



การศึกษาและประเมินความถูกต้อง
สำหรับงานสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข
จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC)
ภาคเหนือ



ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ
กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน

คำนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาและพัฒนางานด้านทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ที่บันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ที่กลุ่มงานสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน จัดสร้างขึ้น สำหรับใช้ในการกิจของกรมที่ดิน ซึ่งความรู้ที่ได้จากการศึกษา และประเมินผลในครั้งนี้ ประกอบด้วย ความรู้ด้านโฟโตแกรมเมตรี ทฤษฎีเกี่ยวกับภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข มาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งทางแผนที่ เป็นต้น

คณะผู้จัดทำหวังว่า เอกสารฉบับนี้จะให้ความรู้ และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทุกๆ ท่าน และสามารถนำมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานด้านสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศให้แก่กรมที่ดินต่อไป หากเอกสารฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

พ.ศ. ๒๕๕๘

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ ๑ บทนำ	
๑.๑ หลักการและเหตุผล	๑
๑.๒ วัตถุประสงค์	๑
๑.๓ ผลที่คาดว่าจะได้รับ	๑
บทที่ ๒ ทฤษฎีการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข	
๒.๑ วิวัฒนาการของการรังวัดด้วยภาพและเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางอากาศ	๒
๒.๒ แนวคิดเกี่ยวกับงานรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry)	๗
๒.๓ มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)	๑๑
บทที่ ๓ ขั้นตอนการประมวลผล	
๓.๑ ข้อมูลและเครื่องมือสำหรับการประมวลผล	๑๖
๓.๒ พื้นที่ศึกษา	๑๘
๓.๓ ขั้นตอนการประมวลผล	๒๑
บทที่ ๔ ผลการศึกษาและประเมินความถูกต้อง	
๔.๑ ผลจากการคำนวณโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ	๒๘
๔.๒ ผลจากการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)	๒๘
๔.๒.๑ มาตรฐานสากล National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA)	๒๙
๔.๒.๒ มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของสมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกล ๒๙ แห่งอเมริกา American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)	
๔.๒.๓ ตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗	๓๐
บทที่ ๕ บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
๕.๑ บทสรุป	๓๑
๕.๒ ข้อเสนอแนะ	๓๒
๕.๓ การประยุกต์ใช้ในอนาคต	๓๒
เอกสารอ้างอิง	๓๕

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ๑ คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC และขนาดของภาพที่บินถ่าย ในมาตราส่วน ๑ : ๒๕,๐๐๐	๔
ตารางที่ ๒ คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC และขนาดของภาพที่บินถ่าย ในมาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐	๔
ตารางที่ ๓ เกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบของค่า RMSE ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่	๑๔

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ ๑ พัฒนาการของกล้องถ่ายภาพทางอากาศของ Zeiss	๓
รูปที่ ๒ ระบบการถ่ายภาพของกล้อง DMC	๓
รูปที่ ๓ แสดงขนาดและความคมชัดของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC มาตรฐาน ๑ : ๒๕,๐๐๐	๕
รูปที่ ๔ แสดงขนาดและความคมชัดของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC มาตรฐาน ๑ : ๔๐,๐๐๐	๖
รูปที่ ๕ พื้นที่ศึกษาบริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด	๒๐
รูปที่ ๖ ขั้นตอนการประมวลผลของโครงการฯ	๒๑
รูปที่ ๗ หมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (GCP) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด จำนวน ๑,๖๖๔ หมุด	๒๕
รูปที่ ๘ ระวางแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน ๑ : ๕๐,๐๐๐ บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด จำนวน ๒๖๕ ระวาง	๒๖
รูปที่ ๙ หมุดตรวจสอบ (Check Point) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด จำนวน ๑๐๐ หมุด	๒๗
รูปที่ ๑๐ ตัวอย่างผลการคำนวณถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศของบล็อกงาน	๒๘
รูปที่ ๑๑ ตัวอย่างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้ข้อมูลภาพออร์โธจากกล้อง DMC	๓๓
รูปที่ ๑๒ ความละเอียดของข้อมูลภาพกับการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ	๓๔

บทที่ ๑

บทนำ

๑.๑ หลักการและเหตุผล

ตามทีส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ กองเทคโนโลยีทำแผนที่ มีภารกิจในการจัดสร้างระวางภาพถ่ายทางอากาศ และระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อใช้ในการกิจของกรมที่ดิน และสนับสนุนภารกิจต่างๆ ของหน่วยงานภายในและภายนอกกรมที่ดิน โดยได้เริ่มดำเนินการจัดสร้างระวางภาพถ่ายทางอากาศ และระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๑๘ เพื่อใช้ประกอบการออกหนังสือรับรองการทำประโยชน์ที่ดิน (น.ส. ๓ก) และจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๑,๐๐๐ และ ๑ : ๔,๐๐๐ สำหรับใช้ในโครงการพัฒนากรรมที่ดินและเร่งรัดการออกโฉนดที่ดินทั่วประเทศ ปี พ.ศ. ๒๕๒๘ - ๒๕๔๗ ต่อมาได้มีการพัฒนา และศึกษางานด้านจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศอย่างต่อเนื่อง ตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยีทางด้านทำแผนที่ จนกระทั่งในปี พ.ศ. ๒๕๕๒ กรมแผนที่ทหารได้มีการพัฒนาด้านการบินถ่ายภาพทางอากาศ โดยการนำกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (Digital Mapping Camera : DMC) มาบันทึกถ่ายภาพทางอากาศ สำหรับใช้ในการจัดสร้างระวางแผนที่ภูมิประเทศ และในภารกิจอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง หลังจากทีส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ ได้จัดซื้อข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจังหวัดภูเก็ต มาตราส่วน ๑ : ๒๕,๐๐๐ ค่าความละเอียดของจุดภาพ (GSD) เท่ากับ ๐.๓๐ เมตร มาทดลองจัดสร้างเป็นระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ เพื่อทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งและความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการกิจของกรมที่ดิน ซึ่งผลการประมวลผลในการจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศดังกล่าว อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมที่ดิน ตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗ แล้วนั้น ในปี พ.ศ. ๒๕๕๗ ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ กองเทคโนโลยีทำแผนที่ ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ สนับสนุนโครงการศูนย์ข้อมูลที่ดินและแผนที่แห่งชาติ (ระยะที่๑) แผนงานจัดทำแผนที่ฐาน ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวม ๓๕ จังหวัด จึงได้นำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ ค่าความละเอียดของจุดภาพ (GSD) เท่ากับ ๐.๔๘ เมตร ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ รวมทั้งสิ้น ๑๕ จังหวัด ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑๕๓,๓๑๖.๓๖๕ ตารางกิโลเมตร มาจัดสร้างเป็นระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขเป็นจังหวัดนาร่อง เพื่อประเมินและทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข สำหรับใช้เป็นมาตรฐาน และแนวทางในการจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขสำหรับใช้ในราชการกรมที่ดิน และสนับสนุนภารกิจอื่นๆ ตามความเหมาะสมให้ครอบคลุมพื้นที่อื่นๆ ทั่วประเทศต่อไป

๑.๒ วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและประเมินความถูกต้องจากการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข DMC มาใช้ในการจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ สำหรับใช้ในราชการกรมที่ดิน

๑.๓ ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มีระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ทีมีความถูกต้อง และมีมาตรฐานสำหรับใช้ในราชการกรมที่ดิน และสนับสนุนภารกิจอื่นๆ ตามทีได้รับการร้องขอ

บทที่ ๒

ทฤษฎีการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข

ในการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขนั้น ได้นำหลักการเฉพาะทางด้านการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) มาใช้ ซึ่งหลักการดังกล่าวเป็นศาสตร์และเทคโนโลยีหนึ่งสำหรับการรังวัดเพื่อทำแผนที่ และเนื่องด้วยการรังวัดด้วยภาพเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน ต้องใช้เทคโนโลยีและการคำนวณขั้นสูง รวมถึงผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ความเข้าใจ การฝึกฝน และความชำนาญในการทำงาน (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๒) ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข ซึ่งประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับกล้องถ่ายภาพสเตอริโอ และเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางอากาศ แนวคิดเกี่ยวกับงานรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) และมาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)

๒.๑ วิวัฒนาการของการรังวัดด้วยภาพและเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางอากาศ

๒.๑.๑ วิวัฒนาการ

พื้นฐานของการรังวัดด้วยภาพอาจเริ่มตั้งแต่การที่มนุษย์รู้จักหลักปรากฏการณ์การปรากฏของภาพ ซึ่งเดิมมักจะใช้ประโยชน์ในทางศิลปะและการวาดภาพมากกว่าที่จะใช้ในการรังวัด จากนั้นเป็นวิวัฒนาการการเขียนภาพโดยการฉายผ่านศูนย์ การบันทึกภาพด้วยกล้องรูเข็ม การรังวัดด้วยภาพการรังวัดด้วยภาพดิจิทัลทั้งภาพขาว - ดำ และภาพสี การรังวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ การรังวัดด้วยภาพดาวเทียม จนกระทั่ง ปัจจุบันได้นำภาพดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (Digital Mapping Cameras : DMC) มาใช้ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๑๖ - ๑๘)

อีกทั้งในการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศมีเทคนิควิธีการในการทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากระบบอนาล็อกไปสู่ระบบดิจิทัล ทั้งในบริเวณพื้นที่ราบหรือค่อนข้างราบไปจนถึงพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางความสูงของภูมิประเทศด้วย

- การสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศระบบอนาล็อก มีความเหมาะสมในการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ราบหรือค่อนข้างราบ เรียกว่าวิธี *Single Photo Rectification*
- การสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายระบบดิจิทัล สามารถสร้างระวางแผนที่ได้ทั้งบริเวณพื้นที่ราบด้วย วิธี *Single Photo Rectification* และพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางความสูงของภูมิประเทศ ซึ่งเรียกว่า วิธี *Ortho Photo Rectification* (ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ สำนักเทคโนโลยี-ทำแผนที่ กรมที่ดิน, ม.ป.ป.)

๒.๑.๒ เทคโนโลยีการถ่ายภาพทางอากาศ

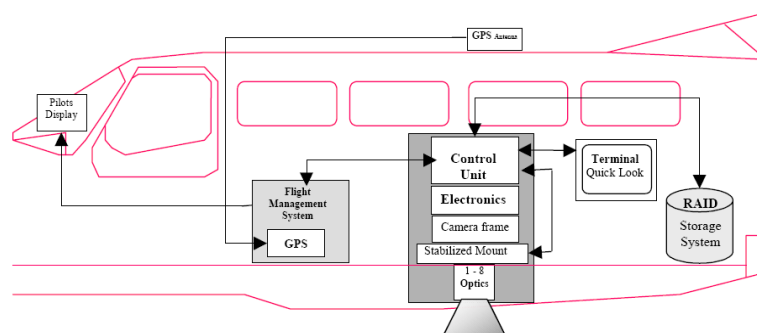
ปัจจุบันเทคโนโลยีการถ่ายภาพทางอากาศ ได้รับการพัฒนาเป็นระบบดิจิทัลดังที่กล่าวข้างต้น โดยมีกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) ซึ่งได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นโดยความร่วมมือระหว่างบริษัท Carl Zeiss และบริษัท Intergraph ซึ่งเป็นการพัฒนามาจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศรุ่นแรกๆ ที่ใช้ฟิล์มในการบันทึกภาพทางอากาศและพัฒนาสำหรับงานทำแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะ เช่น RMK, RMK TOP จนมาถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาในความสามารถของกล้องให้มีระบบที่มีความฉลาด และซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทำให้สามารถบันทึกภาพทางอากาศสำหรับทำแผนที่ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงในระบบเชิงเลข โดยเฉพาะการพัฒนากระบวนการบันทึกภาพ (Sensors) ที่มีความละเอียดสูง ระบบการจัดการการบิน

(Photo-Flight Management) ระบบ GPS และ IMU ช่วยในการนำหน หรือแม้กระทั่งกระบวนการในการบันทึกภาพและการจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ในขณะที่บินถ่ายภาพทางอากาศ ทำให้ได้ข้อมูลแผนที่ภาพที่มีความละเอียดถูกต้องสูงในปัจจุบัน (ดังรูปที่ ๑)



รูปที่ ๑ พัฒนาการของกล้องถ่ายภาพทางอากาศของ Zeiss

ระบบการบันทึกภาพในขณะที่บินถ่ายภาพบนอากาศยานจะประกอบด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความทันสมัย ซึ่งมีระบบนำหนที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูง (GPS และ IMU) อุปกรณ์บันทึกภาพในระบบดิจิทัลที่เป็นลักษณะ CCD Matrix Sensors โดยที่ข้อมูลภาพจะถูกบันทึกลงบนระบบจัดเก็บความเร็วสูง (StorageSystem) รวมถึงยังมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำให้ข้อมูลภาพมีความถูกต้องสูงในขณะที่บินถ่าย FMC (Forward Motion Compensation) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยเฉพาะ ซึ่งระบบทั้งหมดจะถูกติดตั้งอยู่บนอากาศยานในขณะที่บินถ่ายภาพ (ดังรูปที่ ๒)



รูปที่ ๒ ระบบการถ่ายภาพของกล้อง DMC

ข้อมูลภาพเชิงเลขของกล้อง DMC มีคุณลักษณะ ดังนี้ หลังจากการบินถ่ายภาพทางอากาศต้องการผ่านกระบวนการตรวจสอบและคำนวณปรับแก้ (Post-Process) ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) และเชิงรังสี (Radiometric Correction) เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความถูกต้องสูง ข้อมูลจะถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบ Tiff Format ในลักษณะของ Frame Image ที่มีส่วนซ้อนด้านหน้า (Overlap) ในแต่ละภาพประมาณ ๖๐ % และส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelap) ประมาณ ๓๐ % ในการบินถ่ายภาพ

ของกรมแผนที่ทหารในโครงการดังกล่าว ได้บินถ่ายภาพที่มาตราส่วน ๑ : ๒๕,๐๐๐ โดยที่การบันทึกภาพ ๑ เฟรม (ขนาด ๑๓,๕๐๐ x ๘,๐๐๐ pixels) ครอบคลุมพื้นที่บนภูมิประเทศประมาณ ๙.๖ ตารางกิโลเมตร (ขึ้นอยู่กับมาตราส่วนในขณะบินถ่ายภาพ) (ดังตารางที่ ๑) ทำให้มีความละเอียดของจุดภาพใน ๑ pixel (GSD) ครอบคลุมพื้นที่ ๐.๓ x ๐.๓ ตารางเมตร (ดังรูปที่ ๓) ความคมชัดของภาพจะถูกบันทึกให้มีความลึกของระดับสีถึง ๑๒ bits และยังสามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Near Infrared (NIR) ซึ่งมีประโยชน์ในการจำแนกพืชพรรณและวิเคราะห์อ่าน แปลตีความได้

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Size	๑๓,๕๐๐ x ๘,๐๐๐ pixels
Radiometric Resolution	๑๒ bit /Pan+RGB+NIR
Geometric Resolution	๑๒ micron
Capacity	๘ bit = ๓๓๖ Mb./๑๐-๑๖ bit = ๖๗๒ Mb.
Focal Length	๑๒๐ mm.

ตารางที่ ๑ คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC และขนาดของภาพที่บินถ่ายในมาตราส่วน ๑ : ๒๕,๐๐๐

หลังจากนั้นได้มีการบินถ่ายภาพที่มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ โดยที่การบันทึกภาพ ๑ เฟรม (ขนาด ๑๓,๘๒๔ x ๗,๖๘๐ pixels) ครอบคลุมพื้นที่บนภูมิประเทศประมาณ ๙.๖ ตารางกิโลเมตร (ดังตารางที่ ๒) ทำให้มีความละเอียดของจุดภาพใน ๑ pixel (GSD) ครอบคลุมพื้นที่ ๐.๔๘ x ๐.๔๘ ตารางเมตร (ดังรูปที่ ๔) ความคมชัดของภาพจะถูกบันทึกให้มีความลึกของระดับสีถึง ๑๒ bits และยังสามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น Near Infrared (NIR) ซึ่งมีประโยชน์ในการจำแนกพืชพรรณและวิเคราะห์อ่าน แปลตีความได้

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Size	๑๓,๘๒๔ x ๗,๖๘๐ pixels
Radiometric Resolution	๑๒ bit /Pan+RGB+NIR
Geometric Resolution	๑๒ micron
Capacity	๘ bit = ๓๓๖ Mb./๑๐-๑๖ bit = ๖๗๒ Mb.
Focal Length	๑๒๐ mm.

ตารางที่ ๒ คุณสมบัติของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC และขนาดของภาพที่บินถ่ายในมาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐



รูปที่ ๓ แสดงขนาดและความคมชัดของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC มาตราส่วน ๑ : ๒๕,๐๐๐



รูปที่ ๔ แสดงขนาดและความคมชัดของข้อมูลภาพจากกล้อง DMC มาตรฐาน ๑ : ๕๐,๐๐๐

๒.๒ แนวคิดเกี่ยวกับงานรังวัดด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry)

การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry) หรือการสำรวจด้วยภาพถ่ายเชิงเลข เป็นการนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) มาใช้ในกระบวนการรังวัดและประมวลผล ในกระบวนการทำงานใช้การคำนวณเชิงวิเคราะห์โดยอาศัยการคำนวณเชิงเลข ซึ่งเป็นหลักการนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์มาช่วยในการรังวัด สามารถลดความผิดพลาด ลดความเหนื่อยล้าของมนุษย์ในการทำงานได้ แต่ต้องใช้ความรู้ความเข้าใจ มีความชำนาญในการใช้คอมพิวเตอร์ ตลอดจนต้องเรียนรู้ขั้นตอนกรรมวิธีตามระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๕ - ๖)

• การวางแผนและการจัดทำบล็อกภาพถ่าย (Block Planning and Set up)

การวางแผนบล็อกภาพถ่าย เป็นการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการทำงาน ดังนี้

- การกำหนดพื้นที่ของงาน
- การพิจารณาภาพถ่ายทางอากาศที่จะต้องจัดหาใช้ในการทำงานให้ครอบคลุมพื้นที่ที่กำหนด

- การเลือกตำแหน่งในการวางหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ให้เพียงพอและเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและขนาดของบล็อกภาพถ่ายที่ทำงาน

การจัดทำบล็อกภาพถ่าย นอกจากต้องมีการวางแผนอีกประการหนึ่ง คือ ต้องทราบรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ค่าพารามิเตอร์ในการทำ Interior Orientation ประกอบด้วย ชนิดของกล้อง ความยาวโฟกัสของกล้องที่ใช้ (Focal Length) ความละเอียดจุดภาพ และความสูงบิน
- ค่าพารามิเตอร์ในการทำ Exterior Orientation ประกอบด้วย ค่า X_o , Y_o , Z_o , Ω , Φ , κ
- กำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆ ในบล็อกภาพถ่ายที่ทำงาน ได้แก่ การกำหนดระบบพิกัด (Projection) พื้นหลักฐาน (Datum) หน่วยของการวัดระยะ พื้นที่จัดเก็บงาน

• การจัดภาพภายใน (Interior Orientation)

เป็นการกำหนดจุด Fiducial Marks (จุดดัชนี) ของแต่ละภาพในบล็อกภาพถ่ายที่ทำงาน พร้อมทั้งการนำค่าพารามิเตอร์ของกล้องถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภาพ (Image Coordinate System) กับระบบพิกัดกล้อง (Camera Coordinate System) โดยการปรับค่าทางคณิตศาสตร์ของจุดภาพบนภาพดิจิทัล ให้สัมพันธ์กับค่า Fiducial Marks ของภาพถ่ายต้นฉบับ ซึ่งจะใช้ค่า RMSEs ในการตรวจสอบกระบวนการ Interior Orientation ซึ่งค่า RMSEs นี้ไม่ควรเกิน ๐.๕ จุดภาพ (Pixels)

• การรังวัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินและหมุดโยงยึด (Ground Control Point and Tie Point Measurement)

เป็นการกำหนดตำแหน่งหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) พร้อมทั้งหมายเลขประจำหมุดลงบนภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการรังวัดหมุดที่มีค่าพิกัดในระบบพิกัดภาคพื้นดินทั้ง ๓ แกน (แกน X, แกน Y, แกน Z) นำมาคำนวณ เพื่อให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายนอกของภาพถ่ายแต่ละภาพ เพื่อขยายหมุดควบคุมที่ได้จากการสำรวจหมุดหลักฐานภาคพื้นดินให้กระจายครอบคลุมทุกๆ ภาพถ่าย โดยเป็นค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งต้องเป็นตำแหน่งที่เห็นเด่นชัดบนภาพถ่ายทางอากาศ และสามารถชี้ชัดได้บนภาคพื้นดิน รวมทั้งเข้าถึงตำแหน่งได้สะดวก โดยกำหนด

ตำแหน่งของหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินให้รอบบล็อกรงาน และทำการรังวัดหมุดโยงยึด (Tie Point) เป็นหมุดบังคับภาพชนิดหนึ่งที่ไม่ทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดภาคพื้นดิน และมีตำแหน่งเด่นชัดบนภาพถ่ายทางอากาศ โดยไม่ต้องทำการรังวัดในภาคสนาม ซึ่งจะปรากฏอยู่บนส่วนซ้อนด้านหน้าในแนวนเดียวกัน (Overlap) และส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวน (Sidelap) ในทางทฤษฎีนั้นกำหนดให้ใน ๑ ภาพ ต้องมีหมุดโยงยึดอย่างน้อย ๙ หมุด

การรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายเป็นกระบวนการรังวัดบนภาพถ่ายทางอากาศและนำมาคำนวณเพื่อให้ทราบพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกของภาพถ่ายแต่ละภาพ เพื่อขยายจุดควบคุมที่ได้จากการขยายจุดควบคุมภาพถ่ายเป็นระบบเดียวกับค่าพิกัดของหมุดหลักฐานภาคพื้นดิน จุดควบคุมภาพถ่ายทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการจัดภาพภายนอก เพื่อปรับแก้ภาพถ่ายให้เป็นภาพถ่ายออร์โท ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสำรวจภาคสนามได้เป็นอย่างมาก

จุดควบคุมภาพถ่ายประเภทนี้ถูกกำหนดตำแหน่งภายในสำนักงาน เพื่อให้มีจำนวนเพียงพอแก่การคำนวณหาค่าตัวแปร การจัดภาพสมบูรณ์ตามทฤษฎีการรังวัดภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งจุดควบคุมภาพถ่ายเหล่านี้จะถูกกำหนดตำแหน่งบนภาพถ่าย ณ ตำแหน่งที่เด่นชัดอย่างน้อย ๒ ภาพ ที่ต่อเนื่องกัน จากนั้นโปรแกรมประยุกต์จะทำการคำนวณต่อไป

การเลือกจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ โดยทั่วไปมักจะกำหนด ดังนี้

- ๑) ประกอบด้วย จุดผ่าน จุดข้าง และจุดโยงยึด ซึ่งต้องเลือกวางให้อยู่ใกล้จุดหลักของภาพถ่ายเท่าที่จะเป็นไปได้
- ๒) จุดข้าง เป็นจุดที่อยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นฐานภาพถ่าย จะเลือกวางในบริเวณที่ห่างจากจุดผ่านประมาณ ๗ - ๑๐ เซนติเมตร บนภาพถ่าย ยกเว้นแต่จะเป็นบริเวณพื้นน้ำ
- ๓) จุดโยงยึด จะเลือกวางให้อยู่ในบริเวณส่วนเหลื่อมระหว่างแบบจำลองสามมิติของแนวนที่ติดกันที่สามารถโยงยึดแบบจำลองทั้งสองแนวนได้ โดยมีจุดโยงยึดไม่น้อยกว่า ๒ จุด ในบริเวณส่วนเหลื่อมระหว่างแบบจำลองสามมิติของแนวนที่ติดกัน

การจัดวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน ควรเลือกตำแหน่งและกำหนดจำนวนที่เหมาะสม คือ จำนวนไม่มากจนเกินไป จนทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น แต่ในขณะเดียวกันต้องให้เกิดผลลัพธ์จากการคำนวณปรับแก้ที่มีความละเอียดถูกต้องพอสมควร ซึ่งการที่จะหาตำแหน่งการจัดวางจุดบังคับภาคพื้นดินและจำนวนที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการสร้างสนามทดสอบที่มีจุดบังคับภาคพื้นดินอย่างหนาแน่น แล้วทำการคำนวณปรับแก้ เปรียบเทียบผลลัพธ์ของ "จุดตรวจสอบ" กับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดภาคพื้นดินที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า จากนั้นทำการคำนวณใหม่โดยลดจำนวนการจัดวางจุดบังคับภาคพื้นดินลง แล้วทำการคำนวณเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ ซึ่งจะสามารถนำไปสู่ข้อสรุปของตำแหน่งการจัดวางจุดบังคับภาคพื้นดินและจำนวนที่เหมาะสมที่สุดได้ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๑๖๒)

• การรังวัดหมุดตรวจสอบ (Check Point)

หมุดตรวจสอบภาคพื้นดิน (Ground check point) หรือหมุดตรวจสอบ (Check point) เป็นตัวประเมินความคลาดเคลื่อน (Error) ทางพื้นที่ หรือตำแหน่งที่ตั้ง ในเชิงปริมาณหมุดตรวจสอบภาคพื้นดินยังมีชื่อเรียกอีกว่า Validation point, Check point, Survey point, Reference point ซึ่งในการกำหนดที่ตั้งของ Survey point ต้องทำการสร้าง Sample design ก่อน โดยการสร้าง Sample design จะช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการได้ สำหรับ Sample design นั้นจะต้องมี Sample point อย่างน้อย

๒๐ หมด แต่หากยึดตามกฎสถิติจะต้องมี Sample point มากกว่า ๒๐ หมด ซึ่ง Sample design ที่เหมาะสมจะได้มาโดย ขั้นตอนที่ ๑ ต้องคิดจำนวน Survey point ที่ต้องการสำหรับพื้นที่ก่อน ขั้นตอนที่ ๒ ต้องทำการแบ่งพื้นที่ที่สนใจศึกษาออกเป็น ๔ ส่วนของวงกลม (quadrant) และแจกแจงว่าแต่ละ quadrant ต้องมี Survey point จำนวนกี่หมด และต้องทำให้แน่ใจว่าไม่มี Survey point มากกว่า ๒๐ % ที่มาจาก quadrant ใด quadrant หนึ่ง จากนั้นต้องทำการเลือก Sample site ซึ่งต้องให้กระจายห่างจากกันด้วยระยะทางที่เหมาะสม (Sedorovich, A. & O'Hara, C., ๒๐๑๐ : ๖๐ - ๖๓)

แนวทางในการทดสอบและการรายงานผลความถูกต้องของหมดตรวจสอบ (Check Point) นั้น ควรกำหนดให้ มีอย่างน้อย ๒๐ หมด ต้องได้รับการทดสอบ และต้องกระจายอยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจ เพื่อให้สะท้อนสภาพภูมิประเทศและความคลาดเคลื่อนในพื้นที่ เมื่อทดสอบหมด ๒๐ หมดในระดับความเชื่อมั่น (confidence level) ที่ ๙๕ % ทำให้มี ๑ หมด ที่จะมีค่าความถูกต้องต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนด ส่วนในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและการกระจายตัวของหมดตรวจสอบ (Check Point) นั้น ไม่สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานเดียวกันได้ เนื่องจากความต้องการด้านข้อมูลและแผนที่ digital geospatial ที่มีความหลากหลายของกลุ่มผู้ใช้ ผู้ผลิตข้อมูล และ/หรือ แผนที่ต้องกำหนดเองว่า หมดตรวจสอบควรตั้งอยู่ที่ใด ซึ่งหมดตรวจสอบดังกล่าวอาจกระจุกตัวหนาแน่นรอบจุดสำคัญ และกระจายตัวห่างกันในพื้นที่หรือบริเวณจุดที่มีความสนใจน้อยกว่า หากข้อมูลตั้งอยู่เฉพาะในพื้นที่บางส่วนของชุดข้อมูล (dataset) ต้องวางหมดตรวจสอบให้อยู่ในพื้นที่นั้นเท่านั้น หากการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน (error) มีแนวโน้มจะกระจุกตัวในบางพื้นที่ (nonrandom) หมดตรวจสอบควรกระจายตัวไปตามพื้นที่ที่คาดว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน สำหรับชุดข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เชื่อว่าจะมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ตั้งที่เหมือนกันหรือเท่ากันทั้งพื้นที่นั้น หมดตรวจสอบอาจกระจายตัวด้วยระยะห่างระหว่างกัน ๑๐ % ของความยาวเส้นทแยงมุม (diagonal) ($\frac{d}{10}$) ของชุดข้อมูล และอย่างน้อยต้องมีหมดตรวจสอบ ๒๐ % ตั้งอยู่ในแต่ละ quadrant ของชุดข้อมูล (Federal Geographic Data Committee, ๑๙๙๘ : ๓-๔, ๓-๑๖ - ๓-๑๘)

• การคำนวณข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation)

การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ อาจใช้วิธี Bundle block adjustment ที่ละบล็อก โดยค่า Sigma naught (Standard deviation of unit weight) ภายหลังการปรับแก้ของค่าพิกัดภาพถ่ายในทางราบจะต้องไม่มากกว่า ๑๐ ไมครอน ที่มาตราส่วนภาพถ่าย

การคำนวณปรับแก้ค่าพิกัด เป็นการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัด ด้วยวิธีการคำนวณตามหลักการวางโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยใช้ค่าพิกัดของหมดบังคับภาพภาคพื้นดินเป็นหลักในการคำนวณอ้างอิงเพื่อให้หมดบังคับภาพต่างๆ บนภาพดิจิทัลที่เป็นหมดไม่ทราบค่าพิกัดกลายเป็นหมดที่มีค่าพิกัด ซึ่งในการคำนวณดังกล่าวประกอบด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของบล็อกงาน (Total Image Unit-Weight RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของหมดบังคับภาพภาคพื้นดิน มีหน่วยเป็น เมตร (Control Point RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนรวมของหมดบังคับภาพภาคพื้นดิน ที่ได้ทำการรังวัดบนภาพดิจิทัล มีหน่วยเป็น Pixels (Control Point RMSE) นอกจากนี้ให้ทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดโยงยึด และหมดบังคับภาพภาคพื้นดิน ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของบล็อกงาน (Total Image Unit-Weight RMSE) ให้มีค่าไม่เกิน ๐.๕ จุดภาพ (Pixels) และค่าความคลาดเคลื่อนรวมของหมดบังคับภาพภาคพื้นดินทั้งแกน X และแกน Y มีค่าไม่เกิน ๑ เมตร ส่วนแกน Z มีค่าไม่เกิน ๒ เมตร

ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation หรือ Aerotriangulation) เป็นกระบวนการคำนวณหาตำแหน่งการจัตวางภาพภายนอก (Exterior Orientation) ของภาพพร้อมกันทั้งบล็อก นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo Control Points) ในบล็อกของภาพถ่ายของทุกภาพเป็นจำนวนมาก ค่าพิกัดใหม่ที่ได้จากการคำนวณไม่ต้องทำการรังวัดจากในสนาม การเพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพนิยมเรียกว่า การขยายจุดควบคุม (Photo Control Extension) แต่จะต้องมีการรังวัดจุดควบคุมภาพในสนามบ้างบางจุด (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๑๓๙)

• การจัดทำข้อมูลภูมิประเทศเชิงเลข (DEM Extraction)

แบบจำลองระดับ (Digital Elevation Model : DEM) คือ กระบวนการรังวัดความสูงที่เป็นตัวแทนของภูมิประเทศ แบบจำลองระดับมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องทางตำแหน่งของภาพถ่ายตัดแก้ Ortho ที่จะได้ เนื่องจากค่าระดับสูงที่เรียกออกมาใช้ในช่วงการคำนวณความคลาดเคลื่อนบนภาพถ่ายทางอากาศเนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ (Relief Displacement) (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๑๘๓)

Digital Elevation Model (DEM) เป็นข้อมูลแสดงถึงลักษณะภูมิประเทศของโลก หรือพื้นผิวอื่นๆ ในรูปแบบดิจิทัล โดยมีค่าพิกัดและการแสดงค่าความสูง โดยส่วนมากจะถูกใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ DEM อาจใช้งานร่วมกับภาพแสดงพื้นผิวได้ ซึ่ง DEM มักถูกจัดเก็บในลักษณะของ Raster หรือจุดภาพที่เป็นสี่เหลี่ยมโดยแต่ละช่องจะจัดเก็บค่าความสูงเอาไว้ ประโยชน์ของ DEM ใช้ในงานจำลองสภาพภูมิประเทศ การจำลองการบิน หรือการจำลองการไหลของน้ำ เป็นต้น (ODIE, ๒๕๕๑)

ชั้นข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) หมายถึง ข้อมูลที่ใช้แสดงลักษณะความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในพื้นที่แห่งหนึ่ง โดยการบันทึกค่าระดับของกลุ่มของจุดที่มีระยะห่างระหว่างจุดคงที่ครอบคลุมพื้นที่นั้นๆ ลงในแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ (NSDI, ๒๕๕๕)

การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เป็นการรังวัดความสูงของภูมิประเทศ พร้อมทั้งจัดเก็บในรูปแบบที่สามารถเรียกกลับมาใช้งานได้ ซึ่งแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขนี้มีความสำคัญอย่างมากในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศที่เกิดจากความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ (Relief displacement) การจัดทำแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข จะจัดทำจากภาพคู่ซ้อนสามมิติที่อยู่ติดกันทีละคู่ภาพโดยใช้เครื่องมือ Digital photogrammetric workstation ที่มีแว่นมองภาพสามมิติ พร้อมทั้งทำการรังวัดเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงอย่างเฉียบพลัน หรือมีความสูงเด่นชัดในภูมิประเทศ เช่น แนวขอบถนน ร่องน้ำ สันเขื่อน สันเขา ขอบแหล่งน้ำ เป็นต้น ในกรณีที่ภูมิประเทศปกคลุมด้วยป่าหรือพืชพันธุ์ ก็ทำการรังวัดความสูงของภูมิประเทศเท่าที่สภาพจะอำนวย ในการจัดทำภาพ Ortho 1 มาตราส่วนใหญ่ จุดความสูงในแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข โดยทั่วไปจะมีช่วงห่าง ๕ - ๔๐ เมตร และแต่ละจุดความสูง ควรมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ๒ เมตร

• การจัดทำภาพออร์โธสีเชิงเลข (Ortho Generation)

ผลผลิตภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่ภาพถ่ายออร์โธ เป็นแผนที่ภาพถ่ายที่แก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน เนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ การวางตัวของกล้องและเรขาคณิตของการถ่ายภาพ หรืออันยหนึ่ง ภาพถ่ายออร์โธ เป็นภาพถ่ายที่มองดิ่งตรงลงมาที่พื้นดินจากจุดที่อยู่สูงจากพื้นดินเป็นระยะอนันต์ พื้นที่ที่ได้จากแต่ละภาพจะถูกนำมาประกอบเป็นรูปต่อเนื่องกันโดยไม่เห็นรอยต่อ (Seamless mosaic) รวมทั้งต้องเกลี่ยความสว่างภาพให้ดูกลมกลืนกัน

แผนที่ภาพเป็นรูปแบบหนึ่งของแผนที่ที่มีการบันทึกลักษณะสิ่งปกคลุมภูมิประเทศ รายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากการบันทึกภาพจะคงไว้บนภาพทั้งหมด ไม่มีการแปลความหมาย แผนที่ภาพสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้นทั่วไปในการหาพิกัด วัดขนาด และรูปร่างของวัตถุ แผนที่รูปถ่ายได้จากการโมเสก (Mosaic) รูปถ่ายทางอากาศที่ได้ทำการจัดความคลาดเคลื่อนและฉายตั้งฉากลงบนพื้นผิว (Orthorectify) ภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการนี้ เรียกว่า ภาพตัดแก้เออร์โท (Orthorectified photo หรือ Orthophoto) (ไพศาล สันติธรรมนนท์, ๒๕๕๕ : ๒๗๗)

๒.๓ มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)

• มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่ NSSDA

มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) เป็นมาตรฐานที่คณะกรรมการข้อมูลภูมิศาสตร์ระดับรัฐบาลกลางสหรัฐอเมริกา Federal Geographic Data Committee (FGDC) ได้กำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานแห่งชาติเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลปริภูมิ (NSSDA) มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดวิธีการทางสถิติ และวิธีการทดสอบสำหรับการประมาณค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดบนแผนที่และในฐานข้อมูลปริภูมิในรูปแบบดิจิทัล ทั้งแบบราสเตอร์และเวกเตอร์ มาตรฐานนี้ถูกจัดอยู่ในประเภทมาตรฐานในการใช้งานข้อมูล (Data Usability Standard) มาตรฐานนี้มีได้กำหนดเกณฑ์ค่าความถูกต้องขั้นต่ำ โดยหน่วยงานต่างๆ จะต้องกำหนดค่าเกณฑ์ความถูกต้องที่ต้องการสำหรับการประยุกต์ใช้ของตนเอง มาตรฐาน NSSDA นี้ใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าความต่างระหว่างค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่ทดสอบ กับค่าพิกัดของข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ณ จุดเดียวกัน ในการประมาณค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง และรายงานผลในรูปของค่าระยะทางบนพื้นดินที่ความเชื่อมั่น ๙๕% หมายความว่าร้อยละ ๙๕ ของจุดทดสอบมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งบนพื้นดิน เท่ากับหรือน้อยกว่าค่าความละเอียดถูกต้องที่รายงาน ซึ่งค่าความละเอียดถูกต้องนี้ สะท้อนถึงผลรวมของความไม่แน่นอนทั้งหมดที่เกิดขึ้น นับตั้งแต่ค่าพิกัดของจุดควบคุมทางยี่ห้อเดซี กระบวนการทำแผนที่ จนถึงการคำนวณขั้นสุดท้ายของค่าพิกัดบนพื้นดินของแผนที่ทดสอบ มาตรฐาน NSSDA นี้ยังได้กำหนดแนวทางในการทดสอบความถูกต้องทางตำแหน่งของแผนที่หรือชุดข้อมูลใดๆ ไว้โดยให้ใช้แนวทางการตรวจสอบกับแหล่งข้อมูลอิสระอื่นที่มีระดับความถูกต้องสูงกว่า และกำหนดให้ใช้จุดทดสอบอย่างน้อย ๒๐ จุด ซึ่งกระจายอย่างเหมาะสมในพื้นที่ของข้อมูล มาตรฐาน NSSDA กำหนดแนวทางในการรายงานผลค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสำหรับชุดข้อมูลในกรณีต่างๆ เช่นกรณีที่ความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบกับในแนวดิ่งไม่เท่ากัน กรณีที่ข้อมูลมีเฉพาะค่าตำแหน่งในแนวราบ กรณีที่ข้อมูลมีความถูกต้องทางตำแหน่งไม่สม่ำเสมอเท่ากันทั้งพื้นที่ เป็นต้น

การทดสอบและรายงานความละเอียดถูกต้อง NSSDA ใช้แนวทางสำหรับทดสอบความละเอียดถูกต้องโดยใช้แหล่งข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ตามมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data Transfer Standard : SDTS) ซึ่งแหล่งข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูง อาจเป็นความละเอียดถูกต้องสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้หรือเท่าที่ทำได้ เพื่อใช้ประเมินความละเอียดถูกต้องของชุดข้อมูลที่ทดสอบผู้ทดสอบเป็นผู้ตัดสินใจในขอบเขตของการทดสอบ โดยความละเอียดถูกต้องทางราบนั้น ทำการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบของจุดที่เด่นชัดของชุดข้อมูลที่ทดสอบ กับค่าพิกัดของจุดเดียวกันจากข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า สำหรับค่าความละเอียดถูกต้องทางดิ่งก็เช่นเดียวกัน ทดสอบโดยการเปรียบเทียบค่าความสูงของชุดข้อมูลที่ทดสอบ กับค่าความสูง ณ จุดเดียวกัน

จากข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ซึ่งข้อมูลอิสระในที่นี้ หมายถึงข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดในสนาม

ความคลาดเคลื่อนจากการจัดบันทึกหรือจากการประมวลผล เช่น การกลับเครื่องหมายหรือความไม่เป็นระบบอื่นๆ ระหว่างชุดข้อมูลที่ทดสอบกับข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ที่ได้กำหนดไว้ในระบบพิกัดอ้างอิงแล้ว ควรแก้ไขให้ถูกต้องก่อนนำมาคำนวณหาความละเอียดถูกต้อง และจำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ต้องใช้จุดทดสอบจำนวนอย่างน้อย ๒๐ จุดกระจายทั่วพื้นที่ทดสอบ เพื่อเป็นการกระจายความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลทดสอบ เมื่อใช้จุดทดสอบ ๒๐ จุดในการทดสอบแล้วที่ค่าระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ ๙๕ โดยยอมให้มีเพียง ๑ จุดเท่านั้น ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนด

ค่าความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่ จะรายงานผลเป็นค่าความละเอียดถูกต้องทางราบและทางตั้ง สำหรับชุดข้อมูลที่ไม่มีค่าทางตั้ง ให้รายงานเฉพาะค่าความละเอียดถูกต้องทางราบเพียงอย่างเดียวในทางกลับกัน ถ้าเป็นชุดข้อมูล เช่น ค่าระดับสูงเชิงเลขแบบตารางกริด หรือชุดข้อมูลเส้นชั้นความสูง ซึ่งไม่มีจุดที่เด่นชัดก็รายงานเฉพาะค่าทางตั้งเท่านั้น ค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งรายงานเป็นค่าระยะบนพื้นดิน โดยใช้หน่วยวัดในมาตราเมตริก ที่ค่าพิกัดของชุดข้อมูลมีหน่วยเป็นเมตร จำนวนทศนิยมของค่าความละเอียดถูกต้อง ใช้เท่ากับจำนวนทศนิยมของค่าพิกัดในชุดข้อมูล

ค่าสถิติที่ใช้ในการประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง ตามมาตรฐานของ NSSDA ใช้หลักเกณฑ์ค่าสถิติ RMSE ดังนี้

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบ

$$RMSE_x = \sqrt{\sum (X_{data\ i} - X_{check\ i})^2 / n}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\sum (Y_{data\ i} - Y_{check\ i})^2 / n}$$

เมื่อ

$RMSE_x$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางแกน x

$RMSE_y$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางแกน y

sqrt Square Root

$X_{data\ i}$, $Y_{data\ i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล

$X_{check\ i}$, $Y_{check\ i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า

n คือ จำนวนจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

i คือ จุดทดสอบเริ่มจาก ๑ ถึง n

ความคลาดเคลื่อนทางราบของจุดที่ i คือ

$$\sqrt{(X_{data\ i} - X_{check\ i})^2 + (Y_{data\ i} - Y_{check\ i})^2}$$

$RMSE_r$ ทางราบ คือ

$$\begin{aligned} RMSE_r &= \sqrt{\sum ((X_{data\ i} - X_{check\ i})^2 + (Y_{data\ i} - Y_{check\ i})^2) / n} \\ &= \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \end{aligned}$$

กรณีที่ ๑ การคำนวณความละเอียดถูกต้องตามมาตรฐาน NSSDA เมื่อ $RMSE_x = RMSE_y$
 ถ้า $RMSE_x = RMSE_y$ แล้ว
 $RMSE_r = \sqrt{2 \times RMSE_x^2} = \sqrt{2 \times RMSE_y^2}$
 $= 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y$

โดยสมมติว่าได้จัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบออกไปแล้ว ถ้าความคลาดเคลื่อนยังคงมีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระทั้งในแกน x และแกน y จะใช้ค่าแฟคเตอร์ ๒.๔๔๗๗ คำนวณค่าความละเอียดถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ ๙๕ (Federal Geographic Data Committee, ๑๙๙๘)

ดังนั้น ถ้าใช้เงื่อนไขดังกล่าวแล้ว ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบ ($Accuracy_r$) ตามมาตรฐาน NSSDA สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$Accuracy_r = 2.4477 \times RMSE_x = 2.4477 \times RMSE_y$$

$$= 2.4477 \times RMSE_r / 1.4142$$

$$\text{ดังนั้น } Accuracy_r = 1.7308 \times RMSE_r$$

กรณีที่ ๒ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเชิงวงกลม (Approximating circular standard error) เมื่อ $RMSE_x \neq RMSE_y$

ถ้า $RMSE_{min} / RMSE_{max}$ มีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๖ – ๑.๐ ($RMSE_{min}$ คือ ค่าที่น้อยกว่า อาจเป็น $RMSE_x$ หรือ $RMSE_y$ ก็ได้ ส่วน $RMSE_{max}$ คือ ค่า $RMSE_x$ หรือ $RMSE_y$ ที่เป็นค่ามาก) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเชิงวงกลม (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕) อาจประมาณได้เท่ากับ $0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$

ถ้าความคลาดเคลื่อนยังคงมีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระทั้งแกน x และแกน y ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน NSSDA อาจคำนวณประมาณค่าได้ จากสูตร ดังต่อไปนี้
 $Accuracy_r \sim 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$

ค่าความละเอียดถูกต้องทางตั้ง

$$RMSE_z = \sqrt{\sum (Z_{data\ i} - Z_{check\ i})^2 / n}$$

เมื่อ $RMSE_z$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางแกน z

$Z_{data\ i}$ คือ ค่าพิกัดทางตั้งของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล

$Z_{check\ i}$ คือ ค่าพิกัดทางตั้งของจุดทดสอบที่ i จากข้อมูลอ้างอิงที่มีความละเอียดถูกต้อง

สูงกว่า

n คือ จำนวนของจุดทดสอบทั้งหมด

i คือ จุดทดสอบ เริ่มจาก ๑ ถึง n

สมมติว่าได้จัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบออกไปแล้ว ถ้าความคลาดเคลื่อนทางตั้งยังคงมีการกระจายแบบปกติจะใช้ค่าแฟคเตอร์ ๑.๙๖ มาคำนวณความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ ๙๕ (Federal Geographic Data Committee, ๑๙๙๘ : ๓-๑๑) ดังนั้น ความละเอียดถูกต้องทางตั้ง ($Accuracy_z$) ตามมาตรฐาน NSSDA คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

$$Accuracy_z = 1.9600 \times RMSE_z$$

• มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่ ASPRS

มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของสมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกลแห่งอเมริกา American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) หรือ มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่ ASPRS

ในปี ๑๙๙๐ ASPRS Specifications and Standards Committee (๑๙๙๐) ได้จัดทำมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของ ASPRS เป็นการกำหนดขีดจำกัดแบบ RMSE ของความคลาดเคลื่อนทั้งทางราบและทางตั้งที่มาตราส่วนบนพื้นดิน มาตรฐานและคุณลักษณะเฉพาะของ ASPRS ได้กำหนดเกณฑ์ยอมรับความละเอียดถูกต้องของแผนที่มาตราส่วน ๑ : ๒๐,๐๐๐ หรือใหญ่กว่า เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้ทางด้านวิศวกรรมหรือวัตถุประสงค์พิเศษ โดยมาตรฐาน ASPRS ใช้ค่าสถิติ RMSE ในการประเมินโดยรายงานความละเอียดถูกต้องเป็นชั้น (class) ๑, ๒ หรือ ๓ ความละเอียดถูกต้องชั้นที่ ๒ จะใช้กับแผนที่ที่มีค่า RMSE ไม่เกินสองเท่าของชั้นที่ ๑ ส่วนความละเอียดถูกต้องชั้นที่ ๓ ใช้กับแผนที่ที่มีค่า RMSE ไม่เกินสามเท่าของชั้นที่ ๑ มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของ ASPRS สำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ จะประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบทั้งแนวแกน x และแกน y ที่ละแกน โดยความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งจะเป็นระยะบนพื้นดิน โดยความละเอียดถูกต้องทางราบ เป็นเกณฑ์ค่า RMSE ที่มีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่แสดงตามตารางที่ ๓

ตารางที่ ๓ เกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบของค่า RMSE ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่

หน่วย : เมตร

มาตราส่วนแผนที่	เกณฑ์ RMSE ของความละเอียดถูกต้องทางราบชั้นที่ ๑	เกณฑ์ RMSE ของความละเอียดถูกต้องทางราบชั้นที่ ๒	เกณฑ์ RMSE ของความละเอียดถูกต้องทางราบชั้นที่ ๓
๑ : ๕๐	๐.๐๑๒๕	๐.๐๒๕	๐.๐๓๘
๑ : ๑๐๐	๐.๐๒๕	๐.๐๕๐	๐.๐๗๕
๑ : ๒๐๐	๐.๐๕๐	๐.๑๐	๐.๑๕๐
๑ : ๕๐๐	๐.๑๒๕	๐.๒๕	๐.๓๗๕
๑ : ๑,๐๐๐	๐.๒๕	๐.๕๐	๐.๗๕๐
๑ : ๒,๐๐๐	๐.๕	๑.๐๐	๑.๕๐
๑ : ๔,๐๐๐	๑.๐๐	๒.๐๐	๓.๐๐
๑ : ๕,๐๐๐	๑.๒๕	๒.๕๐	๓.๗๕
๑ : ๑๐,๐๐๐	๒.๕๐	๕.๐๐	๗.๕๐
๑ : ๒๐,๐๐๐	๕.๐๐	๑๐.๐๐	๑๕.๐๐

(ที่มา : ASPRS, ๑๙๙๐)

• มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่ กรมที่ดิน

กรมที่ดินได้กำหนดระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ ชื่อว่า “ระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗” เพื่อใช้สำหรับเป็นมาตรฐานในการจัดสร้างระวางแผนที่ของสำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน โดยได้กำหนดหลักเกณฑ์การสร้างระวางแผนที่ไว้ในหมวด ๒ ข้อ ๑๔ มีรายละเอียดดังนี้

การสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ จะต้องมียุคบังคับภาพ อย่างน้อย ๔ จุด ในบริเวณมุมระวางแผนที่ และเป็นจุดที่มีความคมชัด สามารถชี้ตำแหน่งบนรูปถ่ายทางอากาศ และเป็นตำแหน่งที่สามารถมองเห็นรายละเอียดบนพื้นดินได้อย่างชัดเจน มาใช้ในการปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนของรูปถ่ายทางอากาศ เพื่อสร้างเป็นระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ การปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนของรูปถ่ายทางอากาศ เพื่อสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ ให้ดำเนินการตามหลักวิชาการทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ โดยมีวิธีการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

๑) วิธีการปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนจากรูปถ่ายเดี่ยว (Single Photo Rectification) ใช้ในบริเวณพื้นราบหรือพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางระดับของภูมิประเทศไม่มากนัก

๒) วิธีการปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนจากรูปถ่ายคู่ (Ortho Photo Rectification) ใช้ทั้งในบริเวณพื้นราบ และพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางระดับของภูมิประเทศมาก และต้องนำข้อมูลระดับของภูมิประเทศที่ได้จากการรังวัดจริง มาใช้ในกระบวนการสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศตามความเหมาะสมของพื้นที่ ความละเอียดถูกต้องของการต่อริมระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ ให้มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการต่อริมระวางแผนที่ไม่เกิน ๓ มิลลิเมตร

บทที่ ๓

ขั้นตอนการประมวลผล

การประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) เป็นการศึกษาและดำเนินการตามกระบวนการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพ แล้วมาประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากจุดตรวจสอบที่ได้กำหนดขึ้น

สำหรับการศึกษาในรายงานฉบับนี้ได้ศึกษาในพื้นที่ภาคเหนือ รวมทั้งสิ้น ๑๕ จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง แพร่ พะเยา น่าน ตาก กำแพงเพชร สุโขทัย พิษณุโลก อุตรดิตถ์ พิจิตร และเพชรบูรณ์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑๕๓,๓๑๖.๓๖๕ ตารางกิโลเมตร โดยรายละเอียดในการศึกษานี้จะกล่าวในลำดับต่อไป

๓.๑ ข้อมูลและเครื่องมือสำหรับการประมวลผล

๓.๑.๑ ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

๑) ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ในมาตราส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ มีระยะบนพื้นดิน (GSD) เท่ากับ ๐.๔๘ เมตร (หากใช้ในการปฏิบัติงานจะปัดค่าเป็น ๐.๕ เมตร) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑๕๓,๓๑๖.๓๖๕ ตารางกิโลเมตร และเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ได้ทำการแบ่งพื้นที่ในการประมวลผลเป็นบล็อกงานย่อย

๒) หมดบังคับภาพภาคพื้นดิน (GCP) เป็นจุดที่เห็นเด่นชัดทั้งบนภาพถ่ายและในภูมิประเทศจริง และต้องอยู่ในพื้นที่ส่วนซ้อน และส่วนเกยของคู่ภาพสามมิติในแนวนอนและระหว่างแนวนอน ซึ่งใน ๑ ราวมาตรส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ ควรมีหมดบังคับภาพภาคพื้นดินอย่างน้อย ๙ หมด

๓) ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ได้จากการสร้างขึ้นเองโดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine ไฟล์ของข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) นี้จะมีขนาดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ในแต่ละบล็อกงาน และกำหนดค่าความถูกต้องของแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM accuracy) เท่ากับ ๓๐ เมตร

๔) ภาพออร์โทสีเชิงเลข จัดทำขึ้นจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่ทราบค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก และข้อมูล DEM

๕) หมดตรวจสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลแผนที่ภาพออร์โทที่มีความถูกต้องสูง ต้องกำหนดหมดตรวจสอบในภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกัน และเป็นจุดที่เห็นเด่นชัดทั้งบนภาพถ่ายและในภูมิประเทศ เช่น จุดตัดของถนน คันนา แนวรั้ว เป็นต้น จึงได้กำหนดหมดตรวจสอบภาคพื้นดิน โดยแบ่งประเภทของพื้นที่ตามลักษณะภูมิประเทศ ดังนี้

- Middle Mountains : พื้นที่ภูเขาที่มีความสูงไม่เกิน ๖๐๐ เมตร
- Rolling Hills : ที่ราบลูกฟูก ที่มีความสูงต่ำของภูมิประเทศ
- Flat Areas : ที่ราบ
- Low Urban : พื้นที่ชุมชนไม่หนาแน่นมาก

ทั้งนี้การกำหนดหมดตรวจสอบเป็นไปตามเกณฑ์ของ FGDC ๑๙๙๘ กล่าวคือ หมดตรวจสอบในพื้นที่ต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า ๒๐ หมด

๖) ระวางแผนที่ภูมิประเทศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานอ้างอิง คือ แผนที่ภูมิประเทศ ชุด L ๗๐๑๘ มาตราส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ ของกรมแผนที่ทหาร บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด นอกจากนี้ข้อมูลระวางแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ ดังกล่าวได้นำมาช่วยในการแบ่งพื้นที่ในการประมวลผลเป็นบล็อกงานย่อยด้วย

๗) ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (MOAC) ใช้ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขจากโครงการของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ข้อมูลปี พ.ศ. ๒๕๔๕ เพื่อใช้ในการออกแบบ วางแผน ขัณฑ์ และศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษา รวมทั้งใช้ในการกำหนดตำแหน่งหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินและหมุดตรวจสอบ

๘) ข้อมูลหมุดหลักฐาน หมุดหลักฐานที่ใช้อ้างอิงและรังวัดโยยัด โดยใช้หมุดหลักฐานแผนที่ดาวเทียมกรมที่ดินเฉลิมพระเกียรติ และหมุดดาวเทียม Static ของกรมที่ดิน

๓.๑.๒ เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผล

เครื่องมือภาคสนาม

เครื่องมือภาคสนาม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจโยยัดโครงข่ายหมุดหลักฐานมายังพื้นที่ศึกษา และรังวัดหาค่าพิกัดของหมุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ และหมุดตรวจสอบ ได้แก่

๑) เครื่องหาค่าพิกัดโดยรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS) แบบ ๑ ความถี่ (Dual Frequency) จำนวน ๒ ชุด

๒) เครื่องคอมพิวเตอร์สนาม (Note Book) จำนวน ๒ เครื่อง

๓) โปรแกรม Erdas Imagine ใช้ในการรังวัดหมุดตรวจสอบบนแผนที่ภาพออร์โท ที่ได้ผ่านกระบวนการตัดแก้เบื้องต้น

๔) เทปวัดระยะ

๕) เข็มทิศ

๖) กล้องถ่ายรูป

เครื่องมือในสำนักงาน

เครื่องมือในสำนักงาน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลในสำนักงานทั้งในเบื้องต้น ซึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในภาคสนาม และประมวลผลหลังจากการออกภาคสนามแล้ว นั่นคือ การนำเข้าข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการรังวัดและคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ รวมทั้งการตัดแก้ เพื่อให้ได้ผลผลิต คือ ภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) มีเครื่องมือดังนี้

๑) เครื่องคอมพิวเตอร์สำนักงาน

๒) โปรแกรม Erdas Imagine ใช้ในการรังวัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน หมุดโยยัด และหมุดตรวจสอบ

๓) โปรแกรม ArcMap ใช้ช่วยในการรังวัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน หมุดตรวจสอบ และตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC)

๔) External Harddisk เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูลในการประมวลผล รวมถึงภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC)

พื้นหลักฐานและระบบพิกัดที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ระบบพิกัด ๒ ระบบ ดังนี้

- ระบบพิกัดกริด UTM (Universal Transverse Mercator) บนพื้นหลักฐาน WGS ๑๙๘๔ โซน ๔๗ N หรือ ๔๘ N และมีรูปทรงรี (Ellipsoid) ใช้ในกระบวนการสร้างบล็อกงาน
- ระบบพิกัดกริด UTM (Universal Transverse Mercator) บนพื้นหลักฐาน Indian ๑๙๗๕ โซน ๔๗ N หรือ ๔๘ N และมีรูปทรงรี (Ellipsoid) เป็นระบบพิกัดของผลลัพธ์ คือ ภาพออร์โทรีโซแกรม (DMC) ซึ่งจะนำไปใช้ในราชการกรมที่ดินต่อไป

๓.๒ พื้นที่ศึกษา

สำหรับในการศึกษาและประเมินความถูกต้องในครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขมาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ บริเวณภาคเหนือ รวมทั้งสิ้น ๑๕ จังหวัด ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑๕๓,๓๑๖.๓๖๕ ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย

๑. จังหวัดเชียงราย	มีพื้นที่ประมาณ	๑๑,๖๗๘.๓๖๙	ตารางกิโลเมตร
๒. จังหวัดเชียงใหม่	มีพื้นที่ประมาณ	๒๐,๑๐๗.๐๕๗	ตารางกิโลเมตร
๓. จังหวัดแม่ฮ่องสอน	มีพื้นที่ประมาณ	๑๒,๖๘๑.๒๕๙	ตารางกิโลเมตร
๔. จังหวัดพะเยา	มีพื้นที่ประมาณ	๖,๓๓๕.๐๖๐	ตารางกิโลเมตร
๕. จังหวัดน่าน	มีพื้นที่ประมาณ	๑๑,๔๗๒.๐๗๒	ตารางกิโลเมตร
๖. จังหวัดแพร่	มีพื้นที่ประมาณ	๖,๕๓๘.๕๔๘	ตารางกิโลเมตร
๗. จังหวัดลำพูน	มีพื้นที่ประมาณ	๔,๕๐๕.๘๘๒	ตารางกิโลเมตร
๘. จังหวัดลำปาง	มีพื้นที่ประมาณ	๑๒,๕๓๓.๙๖๑	ตารางกิโลเมตร
๙. จังหวัดตาก	มีพื้นที่ประมาณ	๑๖,๔๐๖.๖๕๐	ตารางกิโลเมตร
๑๐. จังหวัดกำแพงเพชร	มีพื้นที่ประมาณ	๘,๖๐๗.๔๙๐	ตารางกิโลเมตร
๑๑. จังหวัดพิจิตร	มีพื้นที่ประมาณ	๔,๕๓๑.๐๑๓	ตารางกิโลเมตร
๑๒. จังหวัดพิษณุโลก	มีพื้นที่ประมาณ	๑๐,๘๑๕.๘๕๔	ตารางกิโลเมตร
๑๓. จังหวัดสุโขทัย	มีพื้นที่ประมาณ	๖,๕๙๖.๐๙๒	ตารางกิโลเมตร
๑๔. จังหวัดอุตรดิตถ์	มีพื้นที่ประมาณ	๗,๘๓๘.๕๙๒	ตารางกิโลเมตร
๑๕. จังหวัดเพชรบูรณ์	มีพื้นที่ประมาณ	๑๒,๖๖๘.๔๑๖	ตารางกิโลเมตร (ดังรูปที่ ๕)

เพื่อนำมาจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ โดยมีรายละเอียดของพื้นที่ศึกษา ดังนี้

ลักษณะภูมิประเทศ

ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเทือกเขา มีภูเขาติดกันเป็นแนวยาวในแนวเหนือ - ใต้ สลับกับหุบเขาทั้งแคบและกว้างมากมาย เทือกเขาที่สำคัญ ได้แก่ เทือกเขาแดนลาว ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือ กั้นเขตแดนระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ และเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำปิง ทางตะวันตกมีเทือกเขาถนนธงชัยและเทือกเขาตะนาวศรีบางส่วน ตอนกลางของภาคมีเทือกเขาฝิปันน้ำ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำวังและแม่น้ำยม ทางตะวันออกมีเทือกเขาหลวงพระบาง ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำน่าน และเทือกเขาเพชรบูรณ์บางส่วน เป็นแนวกั้นระหว่างภาคเหนือกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของภาคเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง วัง ยม และน่าน และเนื่องด้วยลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเทือกเขาสูงเป็นผลให้มีการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

ที่สำคัญของภาคเหนือ เช่น เชื้อนภูมิพล จังหวัดตาก เชื้อนแม่จันทสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ อ่างเก็บน้ำแม่ต้า จังหวัดพะเยา อ่างเก็บน้ำบ้านรักไทย จังหวัดพิษณุโลก เป็นต้น

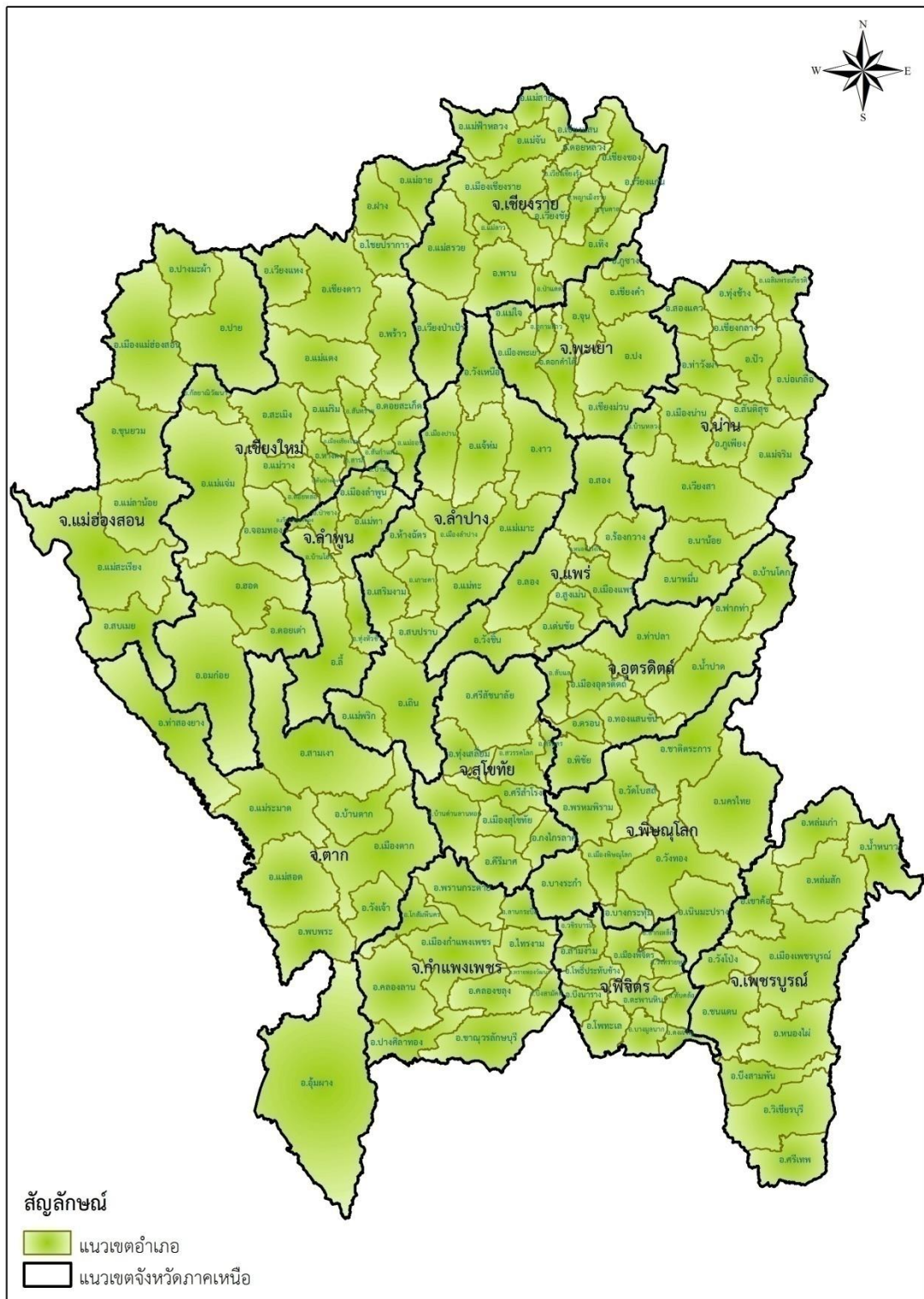
ลักษณะภูมิอากาศ

ภาคเหนือมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับร้อนแห้งแล้ง หรือฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู และเนื่องจากภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงสลับกับแอ่งหุบเขา ส่งผลให้ในฤดูหนาวมีอากาศหนาวจัด ส่วนฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง เพราะอยู่ห่างไกลจากทะเล ลักษณะภูมิอากาศดังกล่าวของภาคเหนือจึงเหมาะสมต่อการเพาะปลูก การทำเกษตรกรรมพืชเมืองร้อนและเมืองหนาว

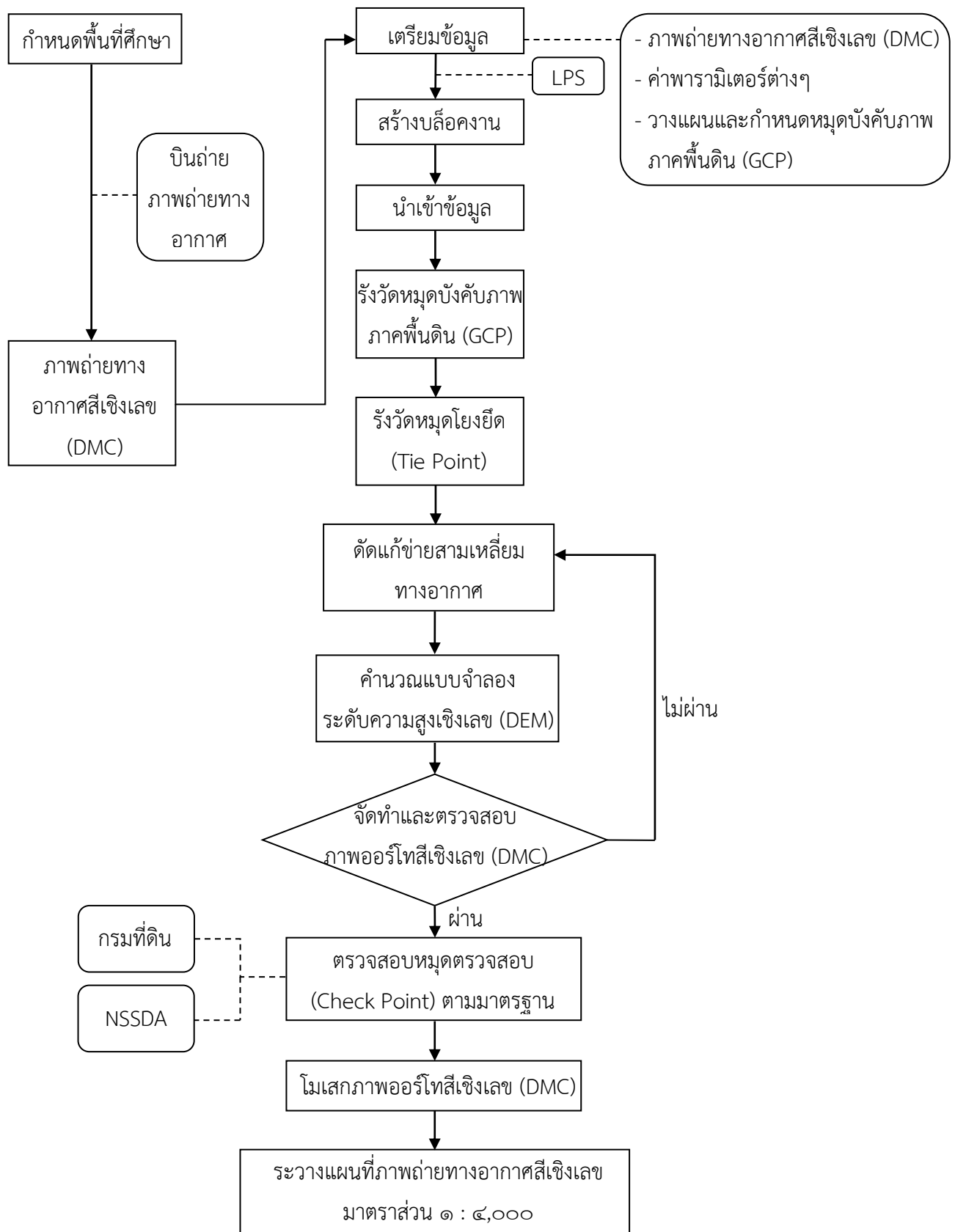
อาณาเขตติดต่อ

พื้นที่ภาคเหนือที่ได้ทำการศึกษานี้มีอาณาเขตติดต่อทางทิศต่างๆ กับจังหวัดใกล้เคียง และประเทศเพื่อนบ้าน ดังนี้

- ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ และสาธารณรัฐประชาชนธิปไตยประชาชนลาว
- ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดลพบุรี จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดอุทัยธานี
- ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย และสาธารณรัฐประชาชนธิปไตยประชาชนลาว
- ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดกาญจนบุรี และสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์



๓.๓ ขั้นตอนการประมวลผล



รูปที่ ๖ ขั้นตอนการประมวลผลของโครงการฯ

๓.๓.๑ กำหนดพื้นที่ศึกษา เพื่อการบินถ่ายภาพทางอากาศ

ในการศึกษานี้จะทำการสร้างบล็อกภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อใช้ในการประมวลผลให้ได้มาซึ่งภาพออร์โธสตีเชิงเลข โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (Digital Mapping Cameras) ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดพื้นที่ศึกษา และบินถ่ายภาพทางอากาศโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) ดังกล่าว เพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในการศึกษาค้างนี้ และการปฏิบัติงานอื่นๆต่อไป

๓.๓.๒ เตรียมข้อมูล

ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลนั้น เป็นทั้งขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและการตรวจสอบความพร้อมของข้อมูล ซึ่งต้องมีข้อมูลที่จำเป็น ดังนี้

- ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่ถ่ายโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) หรือที่เรียกว่า ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) ต้องเตรียมและตรวจสอบให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษา หรือปฏิบัติงาน และสีของภาพถ่ายมีคุณภาพดี สามารถใช้งานได้จริงและชัดเจน

- ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หรือที่เรียกว่า EOP ที่ได้ผ่านการปรับแก้มาแล้วเบื้องต้นหลังจากการบินถ่ายโดยกรมแผนที่ทหาร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้มาพร้อมกับภาพถ่ายทางอากาศ ต้องตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนหรือไม่ และในส่วนของตารางค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นี้ต้องทำความเข้าใจและศึกษารายละเอียดต่างๆ รวมถึงการเลือกข้อมูลที่จำเป็นมาใช้งาน เช่น ค่าพิคกแกน X ค่าพิคกแกน Y ค่าพิคกแกน Z ค่า Omega ค่า Phi และ ค่า Kappa เป็นต้น

- การวางแผนและการรังวัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (GCP) จากภาคสนาม เป็นการกำหนดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน ซึ่งตำแหน่งของหมุดตรวจสอบบนแผนที่ภาพออร์โธ จะกำหนดตำแหน่งที่เด่นชัดบนภูมิประเทศ เช่น จุดตัดของถนน คันนา แนวรั้ว เป็นต้น รวมถึงนำค่าพิคกที่ได้จากภาคสนามของหมุดต่างๆ ดังกล่าวมาตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อเตรียมข้อมูลให้พร้อมทั้งขั้นตอนต่อไป

๓.๓.๓ การสร้างบล็อกงาน

ในการสร้างบล็อกงานจะใช้ คำสั่ง LPS ผ่านโปรแกรม ERDAS IMAGINE ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- ๑) เริ่มจากการตั้งค่าในบล็อกงาน ได้แก่ เลือกเส้นโครงแผนที่ (Projection) ของบล็อกงาน ค่าความสูงบิน ซึ่งสามารถนำค่ามาจากราย EOP ที่ได้มาพร้อมกับข้อมูลภาพ โดยนำค่า ORTHOH ของแต่ละภาพมาเฉลี่ยจากนั้นนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่ถ่ายโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) พร้อมทั้งนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใส่ในส่วนของการตั้งค่า Frame Editor ซึ่งประกอบด้วย การตั้งค่ากล้องเป็นการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของกล้อง เช่น ค่าความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) คือ ๑๒๐ มิลลิเมตร, การรังวัดภายใน (Interior Orientation) เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะของกล้องเช่นเดียวกัน แต่เป็นส่วนหนึ่งของขนาดของจุดภาพ (Pixel size) ของภาพที่ถ่ายจากกล้องดังกล่าว ทั้งแกน X และแกน Y ค่าพารามิเตอร์เท่ากับ ๑๒ ไมครอน, การรังวัดภายนอก (Exterior Information) เป็นค่าบริเวณจุดกึ่งกลางภาพของแต่ละภาพ ได้แก่ ค่าพิคกแกน X, ค่าพิคกแกน Y, ค่าความสูงบิน หรือค่า Z, Omega, Phi, Kappa หากในตารางข้อมูล EOP มีค่า Standard deviation values (Std.) ของค่าพารามิเตอร์ทั้ง ๖ ตัว ที่กล่าวแล้วก่อนหน้านี้มาด้วยให้นำค่าเหล่านั้นไปใช้ในการรังวัดภายนอกด้วย

๒) ทำการรังวัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (GCP) โดยนำค่าพิกัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินที่ได้จากภาคสนาม ซึ่งได้วางแผนและกำหนดไว้แล้วข้างต้นในส่วนการเตรียมข้อมูลนั้น มาทำการรังวัดในบล็อคนงาน เพื่อให้เกิดความถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) กับตำแหน่งบนภูมิประเทศจริง โดยในการศึกษารังวัดครั้งนี้มีหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน ๑,๖๖๔ หมุด (ดังรูปที่ ๗) ซึ่งครอบคลุมระวางแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน ๑ : ๕๐,๐๐๐ จำนวน ๒๖๕ ระวาง (ดังรูปที่ ๘)

๓) ทำการรังวัดหมุดโยงยึด (Tie Point) โดยใช้คำสั่ง Automatic tie properties ซึ่งเป็นวิธีการรังวัดแบบอัตโนมัติในโปรแกรม ERDAS IMAGINE ในการใช้คำสั่งดังกล่าวต้องกำหนดจำนวนหมุดโยงยึดต่อ ๑ ภาพให้กับโปรแกรม ซึ่งตามความเหมาะสมของลักษณะภูมิประเทศและขนาดของบล็อคนงาน สำหรับในการศึกษานี้ได้กำหนดจำนวนหมุดโยงยึดบริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัดเท่ากับ ๓๐ หมุดต่อ ๑ ภาพ

๔) ทำการตัดแก้ย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยคำสั่ง Perform triangulation ซึ่งเป็นการคำนวณความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศ โดยจะแสดงเป็นค่า RMS Error สำหรับในการศึกษารังวัดนี้ได้ใช้เกณฑ์ของกรมที่ดิน คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งไม่เกิน ๓ มิลลิเมตร

เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้งอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นสามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM)

๕) การคำนวณแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) โดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine ในการสร้างและคำนวณแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ซึ่งกำหนดค่าความถูกต้องของแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM accuracy) เท่ากับ ๓๐ เมตร พร้อมทั้งกำหนดระบบพิกัดและพื้นหลักฐาน เมื่อได้แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ซึ่งเป็นค่าความสูงของพื้นที่แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การจัดทำและตรวจสอบภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC)

๖) จัดทำและตรวจสอบภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) เป็นการจัดทำภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่ผ่านการตัดแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งทั้งในทางราบและทางตั้ง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้กำหนดเท่ากับผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้ว จึงได้ทำกระบวนการต่อไป คือ การทำ Ortho Resampling โดยผลผลิตที่ได้ คือ ภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) ในระบบพิกัดฉาก UTM บนพื้นหลักฐาน Indian ๑๙๗๕ โซน ๔๗ หรือ ๔๘ (ตามที่ตั้งของพื้นที่)

ในกรณีที่พบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) โดยการตรวจสอบคุณภาพของภาพ หลังจากผ่านกระบวนการจัดทำภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) แล้วนั้น ให้ทำการตัดแก้ย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ จนกระทั่งความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงจะสามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ คือ ตรวจสอบหมุดตรวจสอบ (Check Point)

๗) ตรวจสอบหมุดตรวจสอบ (Check Point) ที่ได้จากการวางแผนและกำหนดหมุดในสำนักงาน โดยใช้ภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) และคำนวณจำนวนหมุดตรวจสอบและการกระจายตัวที่เหมาะสม(ตามทฤษฎีในบทที่ ๒ เรื่อง การรังวัดหมุดตรวจสอบ) เมื่อวางแผน กำหนดหมุด และเตรียมอุปกรณ์สำหรับภาคสนาม (ดังที่กล่าวในข้อ ๓.๑.๒) เสร็จสิ้น จึงออกภาคสนามเพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โธสีเชิงเลข (DMC) ตามมาตรฐานของ NSSDA โดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMS Error) ซึ่งเป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าความต่างระหว่างค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่ทดสอบกับค่าพิกัดของข้อมูลอิสระที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ณ จุดเดียวกัน ในการประมาณค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง และรายงานผลในรูปของค่าระยะทางบนผิวดินที่ความเชื่อมั่น ๙๕ %

หมายความว่าร้อยละ ๙๕ ของจุดทดสอบมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งบนพื้นดินเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าความละเอียดถูกต้องที่รายงาน และตรวจสอบความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) ตามมาตรฐานกรมที่ดิน โดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMS Error)

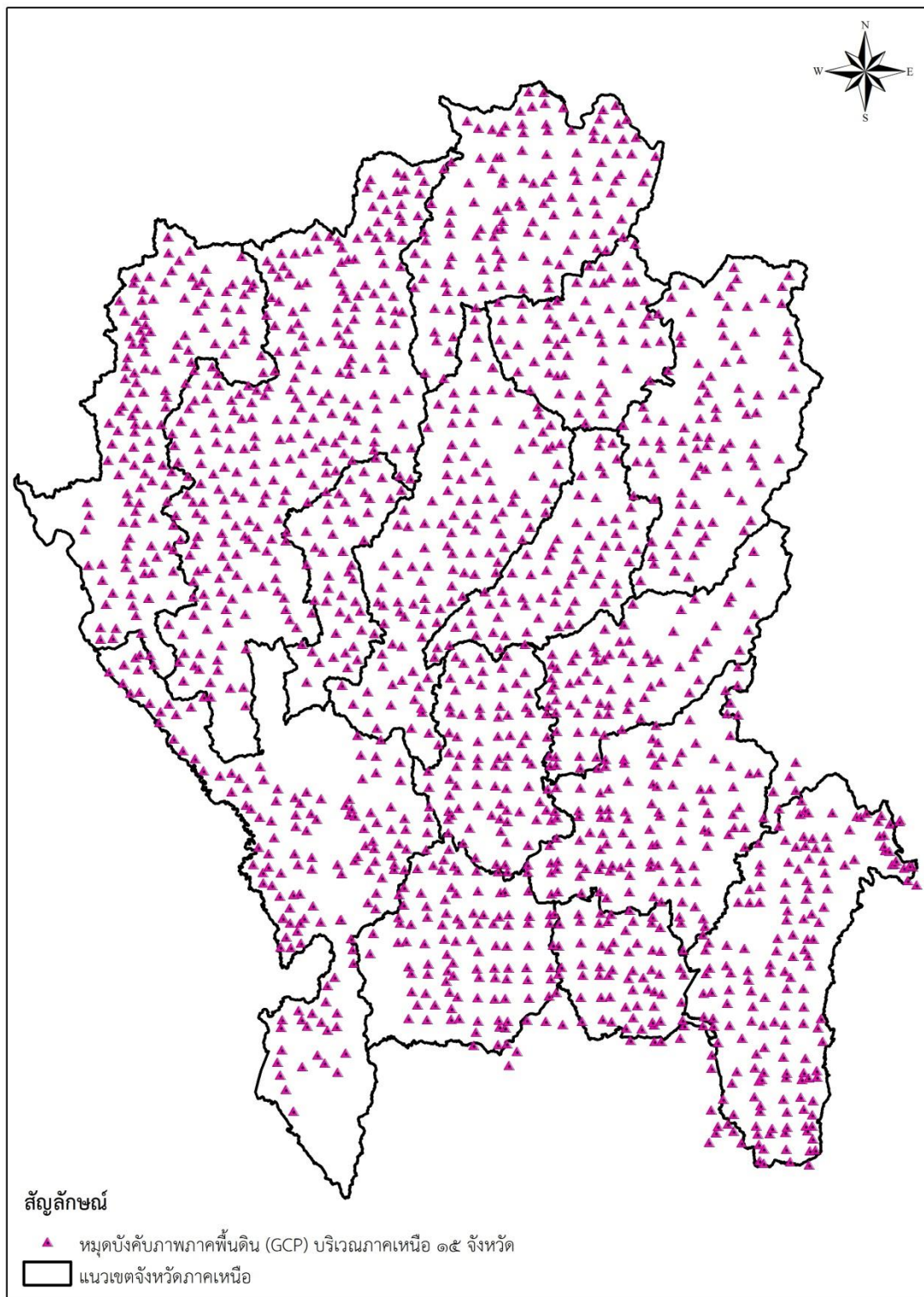
เมื่อผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) ตามมาตรฐานที่ได้กล่าวข้างต้น ให้ดำเนินการขั้นต่อไป คือ การโมเสกภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC)

๘) โมเสกภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) โดยนำภาพออร์โท (ภาพถ่ายที่ทำการตัดแก้แล้วและมีระบบพิกัดเดียวกัน) มาต่อกันจำนวนหลายๆ ภาพให้เป็นเนื้อเดียวเสมือนเป็นภาพเดียวกัน โดยใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE

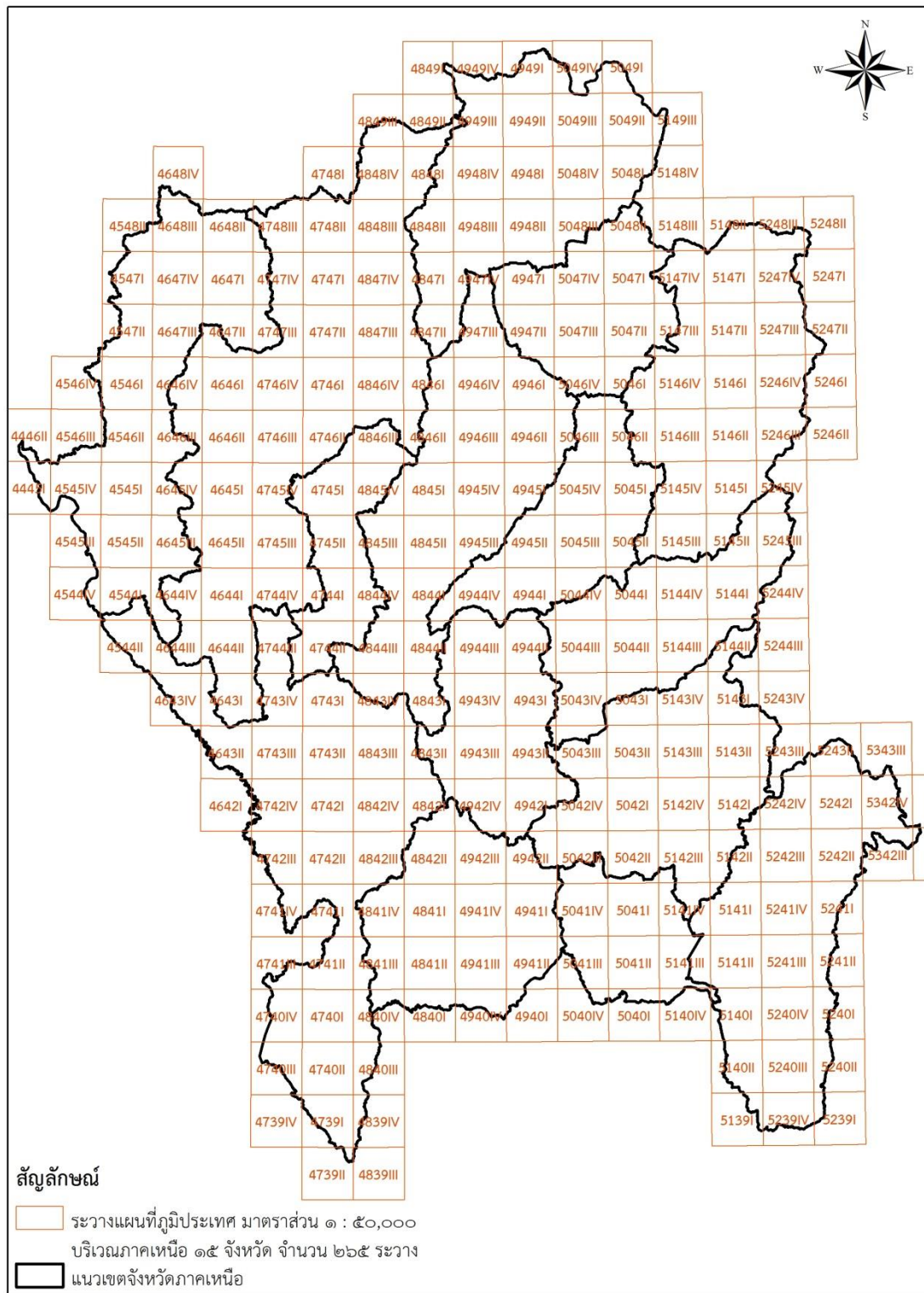
๙) จัดทำระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข มาตรฐาน ๑ : ๔,๐๐๐ เป็นการจัดทำระวางแผนที่โดยใช้ภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) ซึ่งต้องทำการตัดภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) หรือเรียกว่า "การตัดระวาง" ให้มีมาตราส่วนและขนาดเท่ากับที่ต้องการใช้ประโยชน์ เช่น มาตรฐาน ๑ : ๔,๐๐๐ และกำหนดให้ขยายขอบแต่ละด้าน ๕๐ เมตร เป็นต้น เพื่อใช้สำหรับการประกอบระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ

ก่อนทำการตัดระวางนั้นต้องกำหนดวิธีการเกลี่ยสีของภาพ โดยใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE เพื่อให้ภาพถ่ายที่ตัดออกมาสีที่กลมกลืนกันมากยิ่งขึ้น

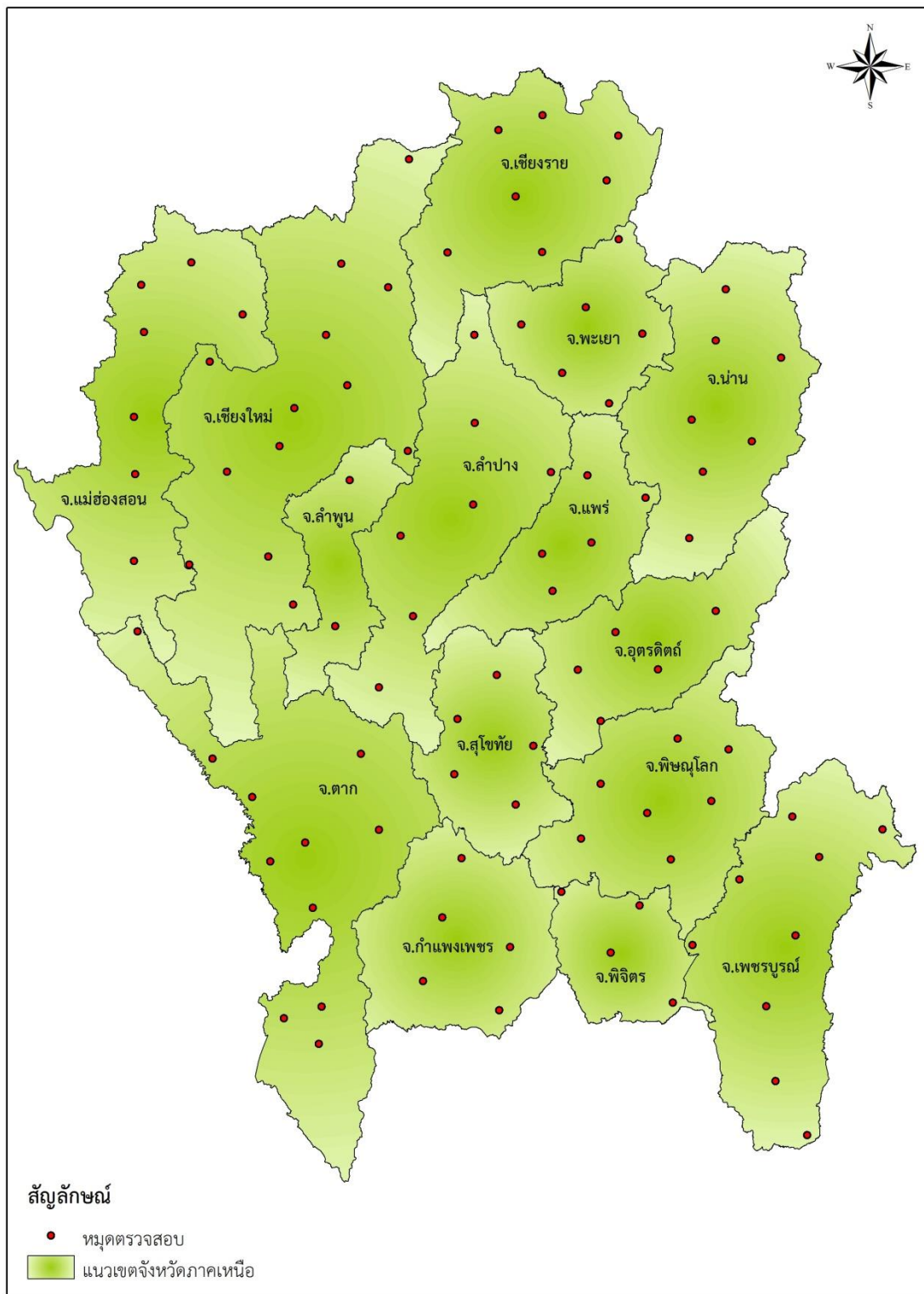
หลังจากที่ตัดภาพออร์โทสีเชิงเลข (DMC) ออกเป็นระวางตามมาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ แล้วให้นำภาพถ่ายที่ตัดมาแล้วนั้นมาตรวจสอบคุณภาพของสี ความถูกต้องทางตำแหน่ง และความสมบูรณ์ของระวางตามมาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ จากนั้นนำไปประกอบระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศได้ตามความต้องการ และวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป



รูปที่ ๗ หมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (GCP) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด จำนวน ๑,๖๖๔ หมุด



รูปที่ ๘ ระวางแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน ๑ : ๕๐,๐๐๐ บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด
จำนวน ๒๖๕ ระวาง



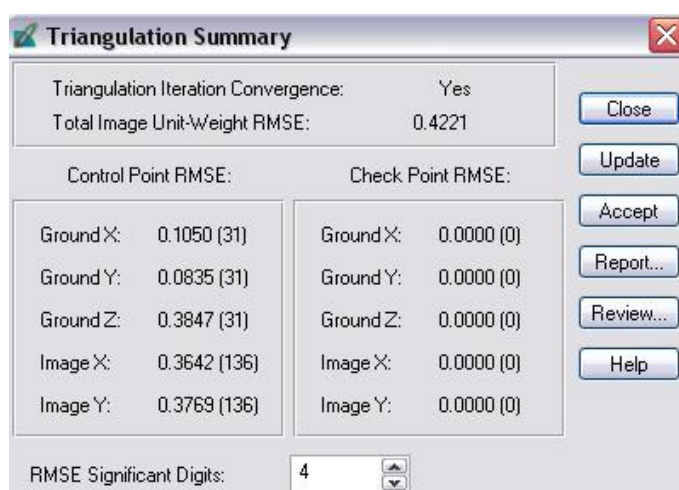
รูปที่ ๙ หมุดตรวจสอบ (Check Point) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด จำนวน ๑๐๐ หมุด

บทที่ ๔ ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการนำเอาภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ บริเวณพื้นที่ศึกษา มาจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข โดยมีผลการศึกษา ดังนี้

๔.๑ ผลจากการคำนวณโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

ในขั้นตอนของการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยใช้วิธีการรังวัดด้วยภาพ และตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยวิธี Orthorectified โดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine ในการประมวลผล ผลการตัดแก้งานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศของแต่ละบล็อกงาน มีค่า RMS Error ไม่เกิน ๐.๕ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของการสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ในมาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ของกรมที่ดิน (เกณฑ์ไม่เกิน ๐.๕ pixels) แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากภาพถ่ายทางอากาศที่ถ่ายภาพจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข (DMC) มีความละเอียดถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ จึงได้ทำการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลในพื้นที่จริง โดยมีรายละเอียดการตรวจสอบในหัวข้อถัดไป



รูปที่ ๑๐ ตัวอย่างผลการคำนวณข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศของบล็อกงาน

๔.๒ ผลจากการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment)

การประเมินความถูกต้องข้อมูลเชิงตำแหน่งของภาพออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข เป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดของหมุดตรวจสอบที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมบนภูมิประเทศจริงกับค่าพิกัดของหมุดตรวจสอบที่ปรากฏบนระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งในการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องในครั้งนี้ จะใช้หมุดตรวจสอบจำนวน ๑๐๐ หมุดกระจายทั่วพื้นที่ศึกษา ซึ่งการกำหนดจุดตรวจสอบเป็นไปตามเกณฑ์ของ FGDC และใช้มาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ **National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA)** เป็นหลัก และใช้ค่า RMSE ประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งจะรายงานเป็นระยะบนพื้นดินที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕% (ดังแสดงในภาคผนวก)

๔.๒.๑ มาตรฐานสากล National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA)

๑) หมดตรตรวจสอบ ที่ใช้ในการคำนวณความละเอียดถูกต้องในการศึกษาครั้งนี้ มีจำนวนทั้งสิ้น ๑๐๐ หมด ซึ่งความแตกต่างของค่าพิกัดในหมดตรตรวจสอบ คือ diff in x และ diff in y

๒) ค่า RMSE ทางราบจากการทดสอบเท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร

๓) ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน NSSDA (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕) เท่ากับ ๑.๗๑๗ เมตร

๔) ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า X (Map) เท่ากับ ๑.๙๐๕ เมตร ที่หมด CK-๐๒๐

๕) ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า Y (Map) เท่ากับ ๑.๕๓๔ เมตร ที่หมด CK-๐๕๐

๖) พิจารณาหมดตรตรวจสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง (x,y) มากกว่าความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน NSSDA พบว่า มีหมดตรตรวจสอบจำนวน ๕ หมด คือ

CK-๐๒๐ มีค่าความคลาดเคลื่อน ๑.๙๑๗ เมตร

CK-๐๓๘ มีค่าความคลาดเคลื่อน ๑.๗๖๖ เมตร

CK-๐๓๙ มีค่าความคลาดเคลื่อน ๑.๗๓๓ เมตร

CK-๐๕๐ มีค่าความคลาดเคลื่อน ๒.๒๔๔ เมตร

CK-๐๘๔ มีค่าความคลาดเคลื่อน ๑.๙๕๘ เมตร

เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษา ค่าที่คำนวณได้ถือว่าผ่านเกณฑ์การทดสอบความละเอียดถูกต้องทางราบ ที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕% ซึ่งยอมให้มีหมดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าความละเอียดถูกต้องที่ได้ ไม่เกิน ๕% (๕ หมด จาก ๑๐๐ หมด)

๔.๒.๒ มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของสมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกลแห่งอเมริกา American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)

มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของ ASPRS ได้กำหนดเกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบของค่า RMSE ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จะใช้ค่าสถิติ RMSE ในการประเมินโดยจะรายงานความละเอียดถูกต้องเป็นชั้น ๑ , ๒ หรือ ๓ ความละเอียดถูกต้องชั้นที่ ๒ จะใช้กับแผนที่ที่มีค่า RMSE ไม่เกินสองเท่าของชั้นที่ ๑ เช่น แผนที่มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ต้องมีความละเอียดถูกต้องทางราบ ระดับชั้นที่ ๑ ไม่เกิน ๑ เมตร ระดับชั้นที่ ๒ ไม่เกิน ๒ เมตร

ข้อมูลระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (แผนที่ภาพถ่ายออร์โท) ที่ได้จัดสร้างจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ จากการประมวลผล แผนที่มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งด้านแกน x เท่ากับ ๐.๘๖๙ เมตร ด้านแกน y เท่ากับ ๐.๔๗๘ เมตร ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งรวม เท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร เมื่อนำมาจัดสร้างเป็นระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASPRS จะอยู่ในระดับชั้นที่ ๑ ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งไม่เกิน ๑ เมตร (รายละเอียดตามตารางที่ ๓)

การทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โทสีเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ ของพื้นที่ศึกษาที่มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งรวม (RMSE) เท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน ASPRS ตามตารางที่ ๓ พบว่ามีสัดส่วนที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนแผนที่ ๑ : ๔,๐๐๐ ซึ่งหมายความว่า สามารถทำแผนที่ในมาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ หรือมาตราส่วนที่เล็กกว่าได้

๔.๒.๓ ตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗

ตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗ หมวด ๒ หลักเกณฑ์การสร้างระวางแผนที่ ข้อ ๑๔ วรรค ๒ กำหนดว่า การปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนของรูปถ่ายทางอากาศ เพื่อสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศให้ดำเนินการตามหลักวิชาการทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศโดยมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

๑) วิธีการปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนจากรูปถ่ายเดี่ยว (Single Photo Rectification) ใช้ในบริเวณพื้นราบหรือพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางระดับของภูมิประเทศไม่มากนัก

๒) วิธีการปรับแก้ความเอียงและมาตราส่วนจากรูปถ่ายคู่ (Ortho Photo Rectification) ใช้ทั้งในบริเวณพื้นราบและพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางระดับของภูมิประเทศมาก และต้องนำข้อมูลระดับของภูมิประเทศที่ได้จากการรังวัดจริงมาใช้ในการกระบวนการสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศตามความเหมาะสมของพื้นที่

ความละเอียดถูกต้องของการต่อขอบระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศให้มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการต่อขอบระวางแผนที่ไม่เกิน ๓ มิลลิเมตร

ดังนั้น ผลการทดสอบข้อมูลภาพออร์โธสีเชิงเลข ที่จัดสร้างจากภาพถ่ายทางอากาศที่ถ่ายภาพทางอากาศด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) โดยใช้หมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งรวม (RMSE) เท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร สามารถนำมาต่อขอบภาพแล้วมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งน้อยกว่าที่กำหนดในระเบียบกรมที่ดินฯ ว่าความคลาดเคลื่อนในการต่อขอบระวางแผนที่ในมาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ไม่เกิน ๑๒ เมตร

บทที่ ๕

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

๕.๑ บทสรุป

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินความถูกต้องสำหรับงานสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) บริเวณภาคเหนือ ๑๕ จังหวัด มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความละเอียดถูกต้องจากการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง แพร่ พะเยา น่าน ตาก กำแพงเพชร สุโขทัย พิษณุโลก อุตรดิตถ์ พิจิตร และเพชรบูรณ์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑๕๓,๓๑๖.๓๖๕ ตารางกิโลเมตร มาใช้ในการจัดสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ โดยวิธีการรังวัดด้วยภาพ มีการรังวัดหาค่าพิกัดของหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินและหมุดโยงยึด และคำนวณข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายออร์โทด้วยการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ตำแหน่งเดียวกันของหมุดตรวจสอบที่รังวัดได้จากภาพถ่ายกับค่าพิกัดที่รังวัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่จริง โดยใช้ค่า RMSE มาประเมินความละเอียดถูกต้องตามหลักเกณฑ์การทดสอบมาตรฐานสำหรับความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่ (NSSDA) ของ FGDC ประเทศสหรัฐอเมริกา และตามระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการสร้างและการใช้ระวางแผนที่ พ.ศ. ๒๕๔๗ โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการประเมินหมุดตรวจสอบในภาคสนามจำนวน ๑๐๐ หมุด โดยใช้มาตรฐานความถูกต้องตาม NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕% ตรวจสอบพบว่า มีค่า RMSE ทางราบ เท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ทางตำแหน่งเท่ากับ ๑.๗๑๗ เมตร และมีจำนวน ๕ หมุดตรวจสอบที่มีค่ามากกว่าความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน NSSDA คือ หมุด CK-๐๒๐ มีค่าเท่ากับ ๑.๙๑๗ เมตร หมุด CK-๐๓๘ มีค่าเท่ากับ ๑.๗๖๖ เมตร หมุด CK-๐๓๙ มีค่าเท่ากับ ๑.๗๓๓ เมตร หมุด CK-๐๕๐ มีค่าเท่ากับ ๒.๒๔๔ เมตร และหมุด CK-๐๘๔ มีค่าเท่ากับ ๑.๙๕๘ เมตร

เมื่อตรวจสอบหมุดดังกล่าวทั้ง ๕ หมุด พบว่าเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันหรือมีความแตกต่างของระดับความสูงค่อนข้างมาก และได้วิเคราะห์ค่าของหมุดตรวจสอบทั้งหมดเทียบกับพื้นที่จริงพบว่า บริเวณพื้นที่ราบ มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยไม่เกิน ๑ เมตร และบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันหรือมีความแตกต่างของระดับความสูง มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยไม่เกิน ๒ เมตร

ดังนั้น การตรวจสอบทางตำแหน่งของภาพออร์โทครั้งนี้มีความเหมาะสมในการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (แผนที่ภาพถ่ายออร์โท) มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ซึ่งสามารถยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕% ตามมาตรฐานสากล NSSDA และจากผลการตรวจสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งรวม (RMSE) เท่ากับ ๐.๙๙๒ เมตร เมื่อมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน ASPRS ตามตารางที่ ๓ ที่แสดงถึงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแต่ละมาตราส่วน พบว่า ความถูกต้องทางตำแหน่งของภาพออร์โทที่สร้างด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) มาตราส่วน ๑ : ๔๐,๐๐๐ ด้วยวิธีการตัดแก้ (Orthorectified) โดยใช้หมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ในครั้งนี้ สามารถนำมาสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ ๑ เมตร หรือสามารถนำมาสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน ๑ : ๔,๐๐๐ ได้ โดยอยู่ในเกณฑ์ชั้นที่ ๑ ตามมาตรฐาน ASPRS

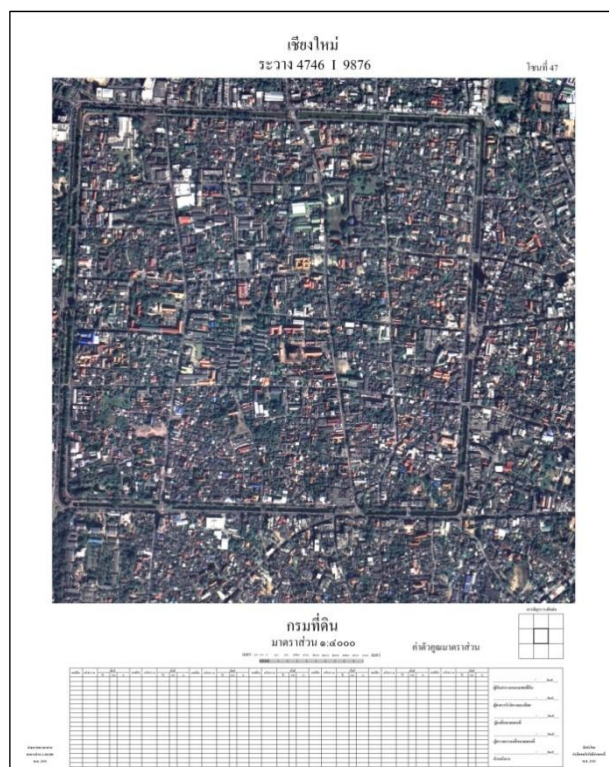
๕.๒ ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาครั้งนี้มีตำแหน่งหมุดบังคับภาพภาคพื้นดินที่มีความคลาดเคลื่อนสูง บางตำแหน่ง สาเหตุของความผิดพลาดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่ และการกำหนดตำแหน่งใน ภาพถ่ายทางอากาศที่ไม่ชัดเจน ส่งผลให้เมื่อนำมาประมวลผลเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูง ดังนั้น การกำหนดหมุดตรวจสอบในภาคสนาม โดยเฉพาะแผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่กว่า ๑ : ๕,๐๐๐ (FGDC-STD-๐๐๗.๓, ๑๙๙๘) ควรหาตำแหน่งที่ชัดเจน (Well-Define) ง่ายต่อการมองเห็น และการเข้าถึง เช่น จุดตัดของทางเดิน ทางรถไฟ คลอง หรือทางเท้า เป็นต้น รวมทั้งต้องบันทึกตำแหน่งด้วย กล้องถ่ายภาพหรือทำแผนที่การเข้าถึงหมุดให้ชัดเจน เพื่อช่วยให้การเข้าไปในพื้นที่จริงสามารถวางตำแหน่งได้ ตรงกับตำแหน่งที่กำหนดในภาพถ่ายทางอากาศ

๕.๓ การประยุกต์ใช้ในอนาคต

๕.๓.๑ การประยุกต์ใช้กับการกิจของกรมที่ดิน

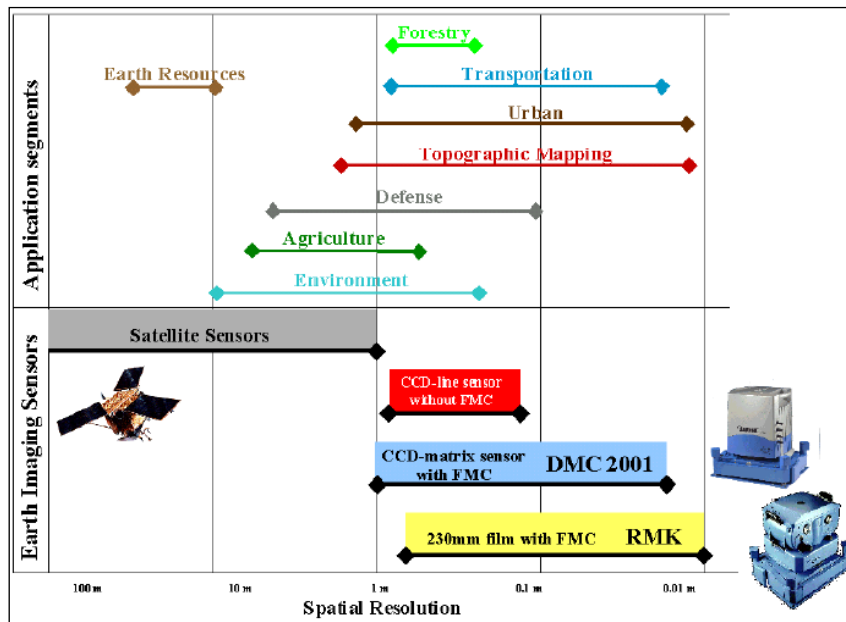
ปัจจุบัน ระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้ในราชการของกรมที่ดิน เป็นระวางแผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศที่บินถ่ายภาพทางอากาศในช่วงปี พ.ศ. ๒๕๒๘ – พ.ศ. ๒๕๔๗ ตามโครงการพัฒนา กรมที่ดินและเร่งรัดการออกโฉนดที่ดินทั่วประเทศ ซึ่งข้อมูลระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศชุดดังกล่าว มีความล้าสมัยไม่ทันต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในปัจจุบัน อีกทั้งเป็นการสร้างระวางแผนที่ขึ้นมาโดย เทคโนโลยีทางด้านทำแผนที่ ด้วยวิธี Simplified Method ที่มีการตัดแก้เฉพาะค่าในแกน X และแกน Y ซึ่งใน ขณะนั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศที่ดีที่สุดแล้ว ต่อมาในปี พ.ศ. ๒๕๔๕ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการบินถ่ายภาพทางอากาศ และจัดสร้างเป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โทสตีชัน โดยเป็นการนำเทคโนโลยีทางด้านทำแผนที่ที่มีภาพถ่ายทางอากาศชนิดสีมาใช้ในประเทศไทย ซึ่งกรมที่ดินได้ จัดซื้อข้อมูลภาพถ่ายออร์โทสตีชันดังกล่าว มาใช้ในราชการกรมที่ดิน ต่อมากรมแผนที่ทหารได้มีแผนการบิน ถ่ายภาพทางอากาศด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (DMC) ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ จึงได้เริ่มดำเนินการศึกษาและประเมินความถูกต้องของข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศดังกล่าว สำหรับนำมา จัดสร้างเป็นระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข เพื่อทดแทนภาพถ่ายทางอากาศชุดเดิมที่มีความล้าสมัย สำหรับใช้ในราชการกรมที่ดินต่อไป



รูปที่ ๑๑ ตัวอย่างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้ข้อมูลภาพออร์โธจากกล้อง DMC

๕.๓.๒ การประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการบินสำรวจถ่ายภาพทางอากาศ สามารถบันทึกภาพลักษณะภูมิประเทศให้มีความละเอียดสูง ไม่ว่าจะเป็นการบันทึกจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) หรือจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศ (Aerial Camera) ทำให้ข้อมูลภาพที่บันทึกได้สามารถนำมาผลิตเป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆได้ อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศประเภทต่างๆ ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสม รวมถึงคุณลักษณะของข้อมูลให้ตรงกับการนำไปประยุกต์ใช้ ถ้าพิจารณาถึงประเภทของข้อมูลแผนที่ภาพที่มีรายละเอียดสูงในปัจจุบัน สามารถแบ่งข้อมูลเป็น ๒ ประเภทใหญ่ๆ คือ ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากดาวเทียมรายละเอียดสูง เช่น Worldview GeoEye เป็นต้น และข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการบินถ่ายภาพจากอากาศยาน เมื่อพิจารณาถึงความละเอียดของจุดภาพ (GSD) พบว่าภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศ จะมีความละเอียดของจุดภาพที่ ๐.๐๑ - ๑ เมตร สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการผลิตแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ผังเมือง การคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ส่วนภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากการบันทึกด้วยดาวเทียมโดยทั่วไป มีความละเอียดของจุดภาพสูงกว่า ๑ เมตรเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการสำรวจทรัพยากร ด้านการเกษตร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น



รูปที่ ๑๒ ความละเอียดของข้อมูลภาพกับการประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). **ความรู้อุตุนิยมวิทยา** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=๒๒> [๒๕๕๘, ๒๕ กุมภาพันธ์].
- กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (๒๕๕๕). **ข้อมูลทั่วไปจังหวัดสุโขทัย** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.sukhothai.go.th/sukhothai/index.php/th/๒๐๑๒-๐๘-๑๖-๐๖-๓๒-๐๑> [๒๕๕๘, ๖ กุมภาพันธ์].
- กลุ่มพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานภูมิสารสนเทศของประเทศ (NSDI). (๒๕๕๕). **ชั้นข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM)** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/fgdsservice/home/fgds/๑๐-khxmuk-khwam-sung-phumiprathes-cheing-lekh-dem> [๒๕๕๗, ๑๓ มิถุนายน].
- ไพศาล สันติธรรมนนท์. (๒๕๕๕). **การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetry)** (พิมพ์ครั้งที่ ๒). กรุงเทพฯ: แอคทีฟ พรินท์.
- ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศ จังหวัดเชียงใหม่. (ม.ป.ป.). **ข้อมูลพื้นฐาน** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://gis.chiangmai.go.th/index.php?name=infobase&themeID=๔&pid=๒๔&District_ID=๒๔ [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สถาบันศึกษาความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (๒๕๕๗). **ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.apecthai.org/index.php/เศรษฐกิจ-๗๖-จังหวัด/รายละเอียดข้อมูลทั้ง-๗๖-จ-๒/ภาคเหนือ.html> [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน. (ม.ป.ป.). **การสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ**. [แผ่นพับ]. นนทบุรี: ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน.
- สำนักงานจังหวัดกำแพงเพชร. (ม.ป.ป.). **ข้อมูลทั่วไป** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.kamphaengphet.go.th/new_web/New_web/his_๐๓.htm [๒๕๕๘, ๖ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดเชียงราย. (ม.ป.ป.). **ข้อมูลทั่วไปของจังหวัดเชียงราย** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.chiangrai.net/cpoc/pages/aboutCr.aspx> [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดตาก. (ม.ป.ป.). **ที่ตั้งและอาณาเขต** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://๑๒๓.๒๔๒.๑๖๕.๑๓๖/?module=general&pages=data_tak&data_type=๐๓ [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดน่าน กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (ม.ป.ป.). **ที่ตั้งอาณาเขต** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://๑๒๓.๒๔๒.๑๗๘.๘๓/webjo/> [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดพะเยา กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (ม.ป.ป.). **สภาพทั่วไป** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.phayao.go.th/au/generalty.php> [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดพิจิตร. (๒๕๕๕). **ข้อมูลทั่วไป** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.phichit.go.th/phichit/index.php/about> [๒๕๕๘, ๖ กุมภาพันธ์].

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก. (๒๕๕๖). **ข้อมูลจังหวัด** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.phitsanulok.go.th/plk/index.php?option=com_content&task=view&id=๓๑&Itemid=๖๑ [๒๕๕๘, ๖ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดเพชรบูรณ์. (ม.ป.ป.). **สภาพทั่วไป** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.phetchabun.go.th/data_detail.php?content_id=๓ [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดแพร่ กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (๒๕๕๗). **บรรยายสรุป จังหวัดแพร่** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.phrae.go.th/file_data/sum_phrae.pdf [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (๒๕๕๖). **ข้อมูลสำคัญจังหวัดแม่ฮ่องสอน ปี พ.ศ. ๒๕๕๖** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.maehongson.go.th/index.php/๒๐๑๒-๐๘-๑๗-๑๕-๐๖-๕๕/mibrief๒๕๕๖> [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดลำปาง. (ม.ป.ป.). **สภาพทั่วไป** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.lampang.go.th/t_lampang/L๖.htm [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดลำพูน กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร. (ม.ป.ป.). **ลักษณะภูมิประเทศ/ภูมิอากาศ** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.lamphun.go.th/officialwebsite/๒๐๑๓/?page_id=๒๘๓ [๒๕๕๘, ๒๔ กุมภาพันธ์].
- สำนักงานจังหวัดอุดรธานี. (๒๕๕๖). **บรรยายสรุปจังหวัดอุดรธานี** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.uttaradit.go.th/acrobat/infobrief_utt.pdf [๒๕๕๘, ๖ กุมภาพันธ์].
- Aronoff, S. (๒๐๐๕). *Remote sensing for GIS managers*. Redlands, CA: ESRI Press.
- ASTER GDEM. (๒๐๑๑). *ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)* (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/๒.html> [๒๕๕๗, ๑๑ มิถุนายน].
- Federal Geographic Data Committee. (๑๙๙๘). *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.
- ODIE. (๒๕๕๑). **ข้อมูลระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model)** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://odie๓๑.blogspot.com/> [๒๕๕๗, ๑๓ มิถุนายน].
- Kraus, K., Jansa, J., & Kager, H. (๑๙๙๗). *Photogrammetry, volume 2 : Advanced methods and applications* (P. Stewardson, Trans.). Bonn, Germany: Dummlers.
- Kraus, K., & Waldhausl, P. (๑๙๙๓). *Photogrammetry, volume 1 : Fundamentals and standard processes* (P. Stewardson, Trans.). Bonn, Germany: Dummlers.
- Moffitt, F. H., & Mikhail, E. M. (๑๙๘๐) *Photogrammetry* (3rd ed.). New York, NY: Harper & Row.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sedorovich, A. & O'Hara, C. (๒๐๑๐). Image accuracy checkpoint collection guide. *PositionIT*, ๑๙, ๖๐-๖๓. http://compassdatainc.com/CompassSIS/rss/content/SIS_CheckPoint_Article_Jan_๒๐๑๐_PositionIT.pdf
- Tachikawa, T., Kaku, M., and Iwasaki, A. (๒๐๑๑). *The characteristics of ASTER GDEM version ๒, IGARSS, July ๒๐๑๑*. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver๒Validation/IGARSS๒๐๑๑_Proceedings_GDEM๒.pdf [๒๕๕๗, ๑๓ มิถุนายน].



ส่วนสร้างระวางแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ
กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน