

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้พิจารณาใช้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงเชิงตำแหน่งที่ประกอบด้วย

1. หลักหมุดโครงข่ายของประเทศไทย และหมุดควบคุมภาคพื้น GCP ที่กรมแผนที่ทหาร ให้บริการในปัจจุบันที่อยู่ใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 3-1)
2. พิกัดตำแหน่งข้อมูลการบินของสนามบินภูเก็ต ที่ประกาศใน AIP-Thailand สำหรับใช้เป็นข้อมูลศึกษาเปรียบเทียบกับมาตรฐานข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ตารางที่ 3-2)
3. ภาพถ่ายทางอากาศสิกรอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่บินถ่ายในปี พ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2552

ตารางที่ 3-1 หมุดหลักฐานงานรังวัดดาวเทียม GPS

หมายเลขหมุด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84		หมายเหตุ
	ลองจิจูด (E)	ละติจูด (N)	
GPS 3657	98° 18' 12.94083''	07° 45' 32.64102''	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น AA
3356	98° 26' 53.66426''	08° 25' 33.49761''	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น A
26133418	98° 18' 26.06886''	08° 07' 58.95194''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น
26133427	98° 20' 29.47462''	08° 05' 43.84440''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น
26133432	98° 20' 33.76642''	08° 08' 15.83046''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น
26133461	98° 18' 29.88885''	08° 07' 06.91438''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น
26133485	98° 18' 13.60128''	08° 05' 18.85726''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น
26133495	98° 20' 08.42607''	08° 06' 49.49413''	งานรังวัดจุดควบคุมภาคพื้น

ที่มา กรมแผนที่ทหาร (แสดงใน ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลเชิงตำแหน่งด้านการบิน ของสนามบินภูเก็ต

รายละเอียด	ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84		ช่วงเวลาในการประกาศใช้
	ลองจิจูด (E)	ละติจูด (N)	
ARP	98° 18' 33''	08° 06' 45''	19 พ.ย. 41 – ปัจจุบัน
THR 09	98° 18' 11.92''	08° 06' 43.12''	19 พ.ย. 41 – ปัจจุบัน
THR 27	98° 19' 49.48''	08° 06' 52.29''	19 พ.ย. 41 – ปัจจุบัน
DVOR/DME	98° 18' 22.69''	08° 06' 54.83''	19 พ.ย. 41 – ปัจจุบัน
LOC/DME	98° 18' 19.73''	08° 06' 47.42''	30 มิ.ย. 52 – ปัจจุบัน
GP	98° 19' 42.21''	08° 06' 48.27''	13 มี.ค. 51 – ปัจจุบัน
MM	98° 20' 15.73''	08° 06' 55.43''	13 มี.ค. 51 – ปัจจุบัน

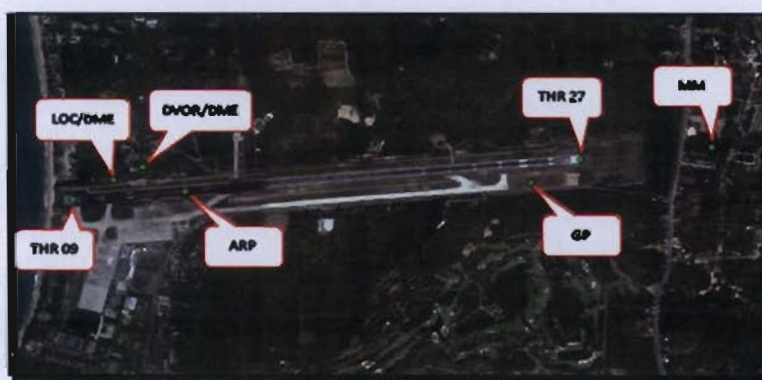
ที่ท่า AIP-Thailand (กรมการบินพลเรือน, 2553) (ภาคผนวก ก.)

การวางแผนงานเบื้องต้น

เป็นการหาข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา และเตรียมแผนปฏิบัติการภาคสนาม ในการตรวจสอบโครงข่ายหมุดหลักฐาน และการจัดทำจุดควบคุมภาคพื้น GCP สำหรับใช้ในการแปลงพิกัดแบบพอลิโนเมียล (Polynomial Transformation) ปรับแก้เชิงเรขาคณิต กับภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) ในลำดับต่อไป

1. การสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance)

เป็นการศึกษาพื้นที่ที่ต้องการ ทำการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ด้วยแผนที่มาตราส่วนเล็ก และมาตราส่วนกลางเท่าที่จะหาได้ ศึกษาเส้นทางรถยนต์ที่สามารถเข้าถึงได้ใกล้ที่สุด พร้อมทั้งออกสำรวจพื้นที่จริงเพื่อศึกษาเส้นทางเหล่านั้น ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลง จากภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth)

2. การสร้างหมุดหลักฐาน

เนื่องด้วยการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ให้ผลลัพธ์เป็นค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง ดังนั้นหมุดหลักฐานที่ใช้ในการทำงานรังวัด ควรเป็นหมุดหลักฐานถาวรเพื่อใช้เป็นหมุดควบคุม สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้หมุดหลักฐานงานรังวัดดาวเทียม GPS ของกรมแผนที่ทหาร ดังตารางที่ 3-1

3. การออกแบบโครงข่าย

การรังวัดดาวเทียม GPS เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าความถูกต้องสูงควรทำการรังวัดเป็นโครงข่าย เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มาสามารถทำการตรวจสอบหาความคลาดเคลื่อน และทำการปรับแก้ด้วยวิธี Least Square Adjustment ดังนั้นค่ารังวัดที่ได้จึงต้องมีจำนวนมากว่าตัวไม่ทราบค่า (Unknowns) จึงจะมีการปรับแก้ได้ โครงข่ายที่ใช้ในการรังวัดดาวเทียม ควรมีการออกแบบไว้ก่อน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง และความเชื่อมั่นสูง เกณฑ์ในการออกแบบโครงข่ายมีดังนี้

3.1 ความถูกต้องของงาน

การรังวัดดาวเทียม GPS เพื่อหาเส้นฐาน (Baseline) สำหรับงานรังวัดที่ต้องการความถูกต้องสูง โครงข่ายที่ออกแบบต้องใช้เส้นฐานในการรังวัดจำนวนมาก งานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมาก การรังวัดเส้นฐานจำนวนมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น ทำนองเดียวกันการรังวัดเส้นฐานจำนวนน้อยเกินไปจะทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องลดลง สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ออกแบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS (ภาพที่ 3-2) ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักของประเทศคือ หลักหมุด 3657 (จังหวัดภูเก็ต) และหลักหมุด 3356 (จังหวัดพังงา)



ภาพที่ 3-2 ตำแหน่งหมุดโครงข่ายครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลง แผนที่ L7018 ระวัง 4625 II)

3.2 ความยาวเส้นฐาน

การรังวัดดาวเทียม GPS ให้ความถูกต้องของความยาวเส้นฐาน ตามข้อกำหนดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ยี่ห้อ Leica รุ่น GX 1230 อยู่ในเกณฑ์ความถูกต้อง $3 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ ppm}$ (rms) และด้วยการประมวลผลความยาวเส้นฐานเหล่านี้เป็นการใช้แบบจำลองของชั้นบรรยากาศที่เหมือนกัน ดังนั้นความยาวเส้นฐานที่ยาวเกินไปชั้นบรรยากาศระหว่างจุดปลายเส้นฐานทั้งสองจะมีสภาพต่างกัน ความยาวเส้นฐานที่ประมวลผลได้ก็就会有ความคลาดเคลื่อนสูง ความยาวเส้นฐานที่เหมาะสมสำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และ โปรแกรมประมวลผลดังกล่าวข้างต้นคือ 2 - 5 กิโลเมตร การออกแบบโครงข่ายจึงได้คำนึงถึงความยาวเส้นฐาน ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโครงข่ายสำหรับการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ตามภาพที่ 3-2

เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดดาวเทียม

การออกแบบโครงข่ายจำเป็นต้องทราบว่าจะใช้เครื่องมือชนิดใด มีคุณสมบัติอย่างไร เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และเวลาที่ใช้ในการรังวัดดาวเทียม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ เครื่องรับสัญญาณ GPS ชนิดสองความถี่ ยี่ห้อ LEICA รุ่น GX 1230 จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย

- สายอากาศ LEICA รุ่น AX1202 GG
- อุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุปรับแก้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง
- โปรแกรมประมวลผล LEICA Geo Office

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

เมื่อผ่านการวางแผนงานเบื้องต้น และการออกแบบโครงข่ายแล้วขั้นตอนต่อไปคือ ขั้นตอนการปฏิบัติงานซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดวันเริ่มปฏิบัติงาน

เพื่อจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ ผู้ปฏิบัติงาน ที่พัก ยานพาหนะ ให้เรียบร้อยก่อนวันเริ่มปฏิบัติงาน

2. ตรวจสอบรายละเอียดดาวเทียม GPS

เพื่อกำหนดช่วงเวลาในการรังวัดดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วยจำนวนดาวเทียม รูปทรงเรขาคณิตดาวเทียม มุมสูง และมุมภาคทิศเหนือของดาวเทียม ที่จำเป็น ณ สถานที่และวันที่ปฏิบัติงานสำรวจภาคสนามเพื่อพิจารณาช่วงเวลาในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

3. ตรวจสอบจำนวนดาวเทียม และเวลา (Number of Visible Satellites vs Time) เพื่อประมาณการณ์เวลาที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานสำรวจภาคสนาม และเพื่อให้ได้รับสัญญาณดาวเทียมได้ตามเกณฑ์

4. ตรวจสอบมุมสูงและเวลาของดาวเทียม (Elevation vs Time) ระหว่างวันปฏิบัติงาน โดยมีมุมสูงที่กำหนดไว้อย่างต่ำ 15° (Cut off Elevation) หมายถึง ตำแหน่งดาวเทียมดวงใด ๆ ที่อยู่สูงเป็นมุมน้อยกว่า 15° กับระนาบของจานรับสัญญาณจะไม่รับสัญญาณจากดาวเทียมในขณะนั้น เนื่องจากมุมสูงที่ต่ำกว่า 15° จะมีต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ มาบดบังสัญญาณจากดาวเทียมทำให้สัญญาณที่ได้รับไม่เหมาะต่อการนำมาประมวลผล

5. ตรวจสอบค่า PDOP และเวลา (All in View PDOP vs Time) เพื่อดูว่าช่วงเวลาปฏิบัติงานช่วงเวลาใดมี PDOP เท่าใดค่า PDOP มากกว่า 7 จะให้ค่าความถูกต้องในการหาตำแหน่งต่ำลง จึงจำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมให้นานขึ้น

6. ตรวจสอบ Skyplot เป็นการตรวจสอบมุมภาคทิศเหนือ และมุมสูงดาวเทียมแต่ละดวงที่สามารถทำการรังวัดได้ โดยแสดงให้เห็นว่าดาวเทียมเหล่านั้น โคจรมาจากทิศทางใดและมีมุมสูงเท่าใดจากการตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น ทำให้ทราบถึงจำนวนดาวเทียม มุมสูงของดาวเทียม มุมภาคทิศเหนือของดาวเทียม และค่า PDOP ในช่วงขณะปฏิบัติงาน ข้อมูลเหล่านี้นำมาใช้ประกอบการวางแผนในการปฏิบัติงานภาคสนามได้ ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่ที่ปฏิบัติงานมีลักษณะพื้นที่เป็นแอ่งมีเนินเขาขนาดทั้งสองด้าน คือ ด้านทิศเหนือมีเขาบางดุก สูง 259 เมตร และทิศใต้มีเขาไสกรู สูง 324 เมตร และเขาตาเกี๋ยงสูง 210 เมตร ด้านทิศตะวันตกติดกับทะเลอันดามัน และด้านทิศตะวันออกเป็นทะเลอ่าวไทย ดังรูปภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ลักษณะภูมิประเทศโดยรอบพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจาก แผนที่ L7018 ระวัง 4625 II)

7. การรังวัดดาวเทียม (Global Positioning System: GPS)

7.1 การรังวัดแบบอยู่กับที่ (Static Observation) โดยทำการโยงยึดโครงข่ายการสำรวจจากหมุดหลักฐานงานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ของกรมแผนที่ทหาร เชื่อมโยงเข้ากับหลักหมุดโครงข่ายที่ออกแบบไว้ (ภาพที่ 3-2) สำหรับใช้เป็นหมุดควบคุมการรังวัดค่าพิกัดทางราบเพื่อหาข้อมูลเชิงตำแหน่งของสนามบินภูเก็ต (ตารางที่ 3-1)

วิธีการคำนวณ ใช้โปรแกรมประมวลผลสำเร็จรูปในการคำนวณเส้นฐาน (Base Line) และปรับแก้ (Adjustment) ชื่อ LEICA Geo Office

มาตรฐานความถูกต้อง ค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าบรรจบ (Loop Closure) ไม่เกิน $3 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm (rms)}$

7.2 การรังวัดแบบประมวลผลในทันที (Real Time Kinematic : RTK) สำหรับใช้ในการรังวัดค่าพิกัดในการทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน GCP และสำรวจตำแหน่งสิ่งกีดขวางที่ให้ผลในทันที ซึ่งมีรูปแบบการทำงานคือ ต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม 1 ชุด ตั้งอยู่กับที่บนหลักหมุดโครงข่ายที่ออกแบบไว้ตลอดเวลาเป็นสถานีฐาน และใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีก 1 ชุด เป็นสถานีจร ในการรังวัดค่าพิกัดที่ต้องใช้เป็นจุดควบคุมภาคพื้นดิน GCP ซึ่งจะมีการส่งค่าแก้ทางตำแหน่ง ไปมาระหว่าง Base กับ Rover ทำให้ค่าที่ประมวลผลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

มาตรฐานความถูกต้อง ค่าความคลาดเคลื่อนในการเก็บค่าพิกัดไม่เกิน $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm (rms)}$

7.3 การสำรวจระดับความสูง ใช้ค่าระดับสูงที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ซึ่งนอกจากการรังวัดค่าพิกัดทางราบแล้ว ยังสามารถให้ผลการรังวัดที่มีค่าระดับความสูง ณ จุดนั้นด้วย แต่ต้องทำการประมวลผลรวมกับแบบจำลองความสูงขี้อยอด EGM96 (Earth Gravitation Model 1996) ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ในย่าน ± 0.10 เมตร โดยตั้งกล้องรังวัดประมวลผลรวม Total Station ณ จุดที่ทราบค่าระดับความสูง และตั้ง Reflector ให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับจุดที่ต้องการทราบค่าความสูงเหนือพื้นดิน แล้วระดกกกล้องขึ้นรังวัด ณ จุดที่สูงที่สุดที่ต้องการทราบค่าความสูงของสิ่งกีดขวาง

มาตรฐานความถูกต้อง จะได้ค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางที่มีความถูกต้องอยู่ในย่าน ± 10 เซนติเมตร และเนื่องจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาหาความคลาดเคลื่อนในทางราบ จึงมิได้นำค่าความสูงมาใช้ประกอบการศึกษาวิจัย

8. การสำรวจด้วยกล้องประมวลผลรวม (Total Station)

เครื่องมือ ใช้กล้อง Total Station ของบริษัท TOPCON รุ่น GTS-620CAF จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งมีความถูกต้องทางราบเท่ากับ $\pm (2+2\text{ppm} \times \text{ระยะทาง})$ มิลลิเมตร

วิธีการรังวัด ดำเนินการ โดยการตั้งกล้องรังวัดประมวลผลรวม Total Station ตรงจุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วรังวัดไปยังจุดที่ทราบค่าอีกจุดหนึ่งก่อน จากนั้นจึงรังวัดค่าพิกัดตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดใหม่ จุดที่ทราบค่าพิกัด ใช้ค่าพิกัดทางราบบนพื้นหลักฐาน WGS-84 จำนวน 2 จุด ที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS

มาตรฐานความถูกต้อง ได้ค่าพิกัดทางราบบนพื้นหลักฐาน WGS-84 ที่มีค่าความถูกต้องในย่าน ± 10 เซนติเมตร

การพิจารณาเลือกใช้โปรแกรมในการประมวลผลข้อมูล

จากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้รับจากฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ GPS เซิงพาณิชย์ (เฉลิมชนม์ สติรพจน์, 2540) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการประมวลผลของซอฟต์แวร์ GPSurvey ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เซิงพาณิชย์กับ Bernese ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ให้ความถูกต้องสูง แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างของเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลจากทั้งสองซอฟต์แวร์ไม่มีนัยสำคัญ

หากพิจารณาถึงเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือในการรังวัด GPS เท่ากับ $a + b1$ เมื่อ a = ค่าคงที่เกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือการรังวัด และ b = ค่าตัวแปรเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือการรังวัดมีหน่วยเป็น PPM และ 1 = ระยะทางของเส้นฐานมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่รังวัด 2 ความถี่จะมีค่าความถูกต้องประมาณ 0.5 เซนติเมตร + 1PPM หมายความว่าถ้ารังวัดเส้นฐานที่มีความยาว 100 กิโลเมตร ความถูกต้องของเส้นฐานที่ได้จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร + (1 PPM คูณ 100 กิโลเมตร) เท่ากับ 10.5 เซนติเมตร จะพบว่าผลการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ GPSurvey โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมแบบ Broadcast orbit เมื่อเทียบกับ Bernese มีค่าแตกต่างไม่เกินเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือ (เฉลิมชนม์ สติรพจน์, 2540)

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยข้อมูลจากหลายแหล่ง มีทั้งข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ของเส้นฐานซึ่งผ่านการประมวลแล้ว และข้อมูลดิบจากการรังวัดซึ่งต้องนำมาประมวลใหม่ในการวิจัยครั้งนี้ รังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ LEICA จึงได้พิจารณาเลือกซอฟต์แวร์ LEICA Geo Office ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ของผู้ผลิตเดียวกับเครื่องรับสัญญาณ LEICA อีกทั้งเป็นซอฟต์แวร์ในการประมวลผลโดยใช้ค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมที่ถูกต้อง และปรับแก้โครงข่ายแบบลีสทส์สแควร์ประมวลผลในขั้นตอนสุดท้าย

การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายงานวิจัย

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลเส้นฐานในแต่ละส่วนมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายเดียวกัน แต่เนื่องจากตำแหน่งของสถานีในแต่ละโครงการไม่ได้ซ้อนทับกันทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้โครงข่ายมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่ดี จึงจำเป็นต้องอาศัยเส้นฐานที่มีระยะทางประมาณ 100 ถึง 5 กิโลเมตร บางเส้นฐานที่เป็นข้อมูลจากการรังวัดในโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร มาเป็นเส้นฐานที่เชื่อมต่อกันระหว่างสถานีในแต่ละโครงการเข้าด้วยกัน โดยเส้นฐานที่นำมาเชื่อมต่อนั้นจะทำการประมวลผลใหม่ทั้งหมด และทำการรังวัดข้อมูลเชิงตำแหน่ง ข้อมูลการบิน (ตารางที่ 3-2) เพื่อหาระยะทางและทิศทางการเคลื่อนที่ ที่จากกระบวนการธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic Process)

การปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตของภาพถ่าย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาใช้วิธีปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิต ด้วยการแปลงค่าพิกัด (Coordinate Transform) หรือการสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างพิกัดของจุดบนภาพถ่ายทางอากาศ และตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน GCP ที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เดียวกันบนแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ การตรวจสอบความถูกต้อง ของการปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตของภาพถ่าย ด้วยค่ารากกำลังสองเฉลี่ยหรือ (Root Mean Square Error: RMSE) ของจุดควบคุมภาคพื้นดิน GCP ด้วยสมการพอลิโนเมียลหลายตัวแปรลำดับที่สอง

$$\begin{aligned} \text{RMSE สำหรับภาพจุดเดียว} &= \sqrt{(X_{\text{act}} - X_{\text{cst}})^2 + (Y_{\text{act}} - Y_{\text{cst}})^2} \\ \text{โดย } X_{\text{act}}, Y_{\text{act}} &= \text{พิกัดของภาพอ้างอิง (พิกัดภูมิศาสตร์)} \\ \text{โดย } X_{\text{cst}}, Y_{\text{cst}} &= \text{พิกัดของภาพที่ถูกแปลง} \end{aligned}$$

RMSE เฉลี่ย (Average RMSE) สำหรับหลายจุดควบคุม สามารถคำนวณได้โดยใช้ผลรวมของ RMSE แต่ละจุดภาพแล้วหารด้วยจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินที่นำมาใช้ทั้งหมด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{RMSE เฉลี่ย} &= \sqrt{[\Sigma(X_{\text{act}} - X_{\text{cst}})^2 + (\Sigma(Y_{\text{act}} - Y_{\text{cst}})^2)] / n} \\ \text{โดยที่ } n &\text{ คือจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลระหว่างข้อมูลเชิงตำแหน่งที่รังวัดด้วยดาวเทียม GPS กับข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ประกาศใน AIP-Thailand (ตารางที่ 3-2) เพื่อหาทิศทางและระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป นำข้อมูลที่ได้จัดทำเป็นกราฟแสดงการเคลื่อนตัวของข้อมูลเชิงตำแหน่งของสนามบินภูเก็ตที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (ตารางที่ 2-2)

1. ตรวจสอบ ความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายหมุดหลักฐาน กรมแผนที่ทหาร (ตารางที่ 3-1)
2. ตรวจสอบ ความคลาดเคลื่อนของ โครงข่ายจุดความคุมภาคพื้น (ตารางที่ 3-1)
3. ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของพิกัดตำแหน่งข้อมูลการบิน (ตารางที่ 3-2)