หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการสำรวจด้วยภาพถ่าย

3.1 คำนำ

ในต่างประเทศได้มีการนำเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายมาใช้กับการสำรวจวางแนวสายส่งกันแล้ว ดังตัวอย่างของผังขั้นตอนการดำเนินการในรูป 3.1 ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. การวางแผนและเตรียมงานทางวิศวกรรม การสำรวจเบื้องต้น และการวางเป้าสร้าง (signalized points)

2. การบินถ่ายภาพมาตราส่วน 1:20,000 และการทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

3. การพิจารณาเลือกแนวสาย คำนวณความสูงของเสา และหาค่าพิกัด

4. การบันทึกตำแหน่งของแนวสายส่งในรูปของระบบตัวเลขและข้อมูลอื่นเข้าคอมพิวเตอร์

5. การออกแบบสายส่งขั้นแรก การหาความสูงของเสา การเลือกใช้ระบบลูกถ้วยและชนิดของเสา

6. การตรวจสอบตามแนวสายที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ในภูมิประเทศและวางเป้าสร้างตามตำแหน่งที่ออกแบบ อาทิ ตำแหน่งเสาและจุดควบคุมทั้งหลาย

7. การบินถ่ายภาพตามแนวสายในมาตราส่วน 1:10,000 และการทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

8. การคำนวณและปรับปรุงตำแหน่งให้ถูกต้องดีกว่าจากภาพถ่าย 1:20,000 ที่ทำไว้เดิม

9. การพิจารณาและออกแบบสายส่งในขั้นสุดท้าย การหาความสูงเสา ประเภทเสาและลูกถ้วย โดยอาศัยเกณฑ์ตาม ข้อ 10

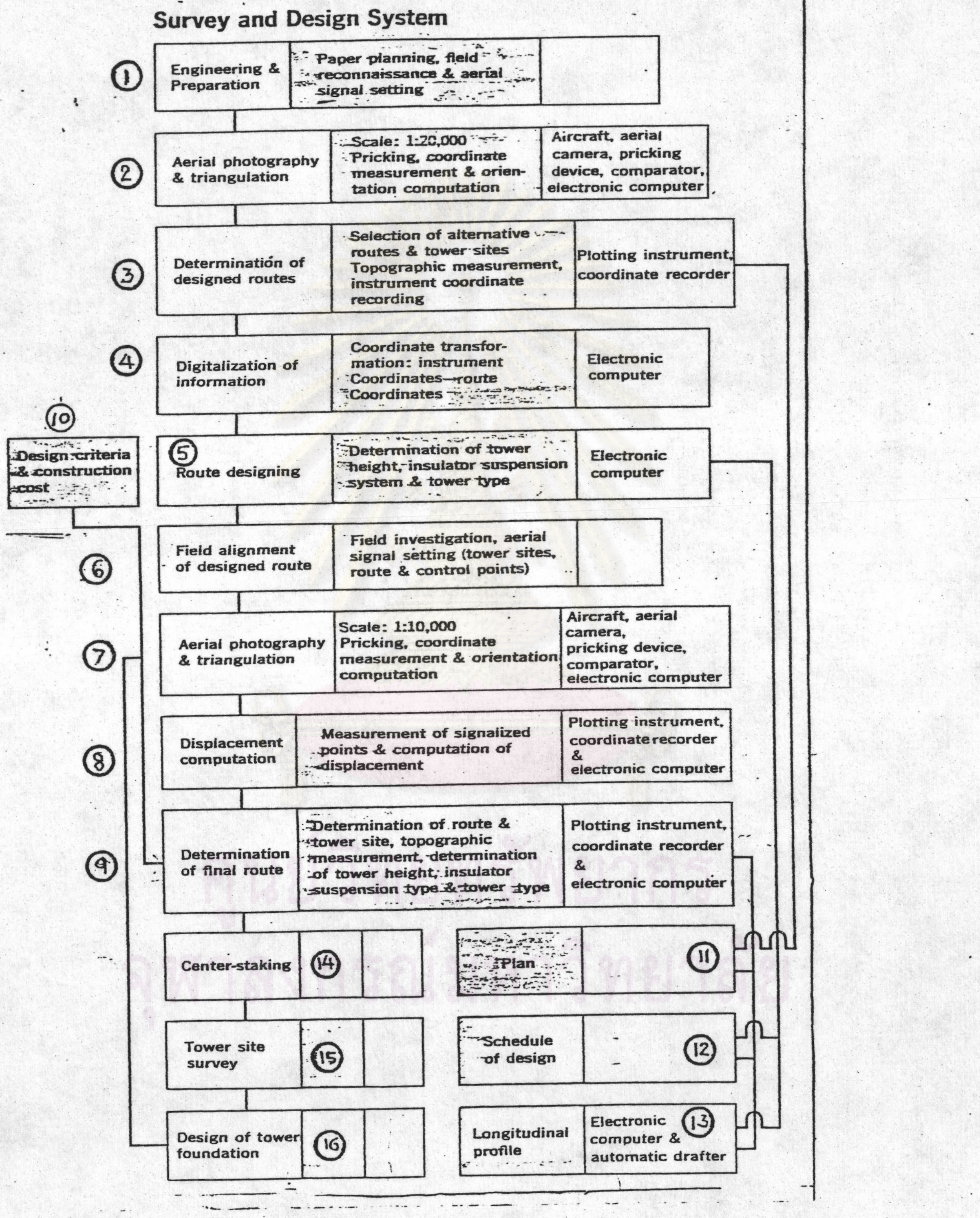
10. การวางแบบเกณฑ์งานและค่าก่อสร้าง

11. การจัดทำผังบริเวณ

12. การจัดทำผังกำหนดการทำงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Survey and Route Design for an Electric Power Transmission Line



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสำรวจแนวสายส่งโดยเทคนิคภาพถ่าย

009408

13. การเขียนรูปตัดตามแนวโดยใช้คอมพิวเตอร์

14. การปักหมุดวางแนวศูนย์กลาง

15. การสำรวจตำแหน่งเสา

16. การออกแบบฐานรากพิจารณาตามเกณฑ์งาน-10

ลำดับงานการวางแนวสายส่งโดยเทคนิคของการถ่ายภาพดังกล่าวน่าจะให้ความถูกต้องสูง ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายการวางเป้าสร้าง, การถ่ายภาพทางอากาศ และการรังวัดค่าต่าง ๆ 2 ครั้ง ย่อมทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

การสำรวจวางแนวสายส่งที่กระทำอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน เมื่อผู้รับประมูลก่อสร้างรับทำงานจะต้องทำการสำรวจขั้นสุดท้ายอีกครั้ง (EGAT,1979) เพื่อตรวจสอบและทำให้สมบูรณ์ก่อนการก่อสร้าง ดังนั้นขั้นตอนและผลงานที่ได้ตามรูป 3.1 สามารถจะตัดทอนตามความต้องการของงาน ซึ่งอยู่ในรูปแบบของงานเขียนแผนที่และรูปตัดตามแนว ที่ลงตำแหน่งเสาและออกแบบเป็นแนวทางให้แก่ผู้รับประมูลงานได้

อาศัยผังการทำงานในรูป 3.1 ประกอบกับหลักปฏิบัติที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตใช้อยู่ การสำรวจแนวสายส่งโดยเทคนิคของภาพถ่ายในการวิจัยครั้งนี้ จะเป็นดังนี้

1) ศึกษาและวางแนวสายส่งจากแผนที่ 1:50,000 ประกอบกับภาพถ่ายมาตราส่วน 1:15,000 ของกรมแผนที่ทหารที่มีอยู่แล้ว (ในงานวิจัยนำข้อมูลแนวสายที่ได้สำรวจทางภาคพื้นดินแล้วมาประกอบลงแนว)

2) ถ่ายภาพในมาตราส่วน 1:8,000 ตามแนวสายส่งที่ได้กำหนด (Van der Weele,1968)

3) การสำรวจรังวัดเพื่อหาจุดควบคุมภาคพื้นดินด้วยเทคนิคงานวงรอบและงานระดับยีออเมตริค

4) ทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และการปรับแก้เพื่อหาจุดควบคุมภาพถ่าย

5) ทำการสร้างรูปจำลองสามมิติในเครื่องร่างแผนที่, การเขียนแผนที่ภูมิประเทศ, การเขียนแผนที่และรูปตัดตามแนว เพื่อใช้ในการออกแบบและกำหนดตำแหน่งเสา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การวางแผนงานในการสำรวจด้วยเทคนิคภาพถ่าย

การวางแผนงานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจแนวสายส่งได้แก่

3.2.1 การเลือกกำหนดแถบแนวสายในแผนที่หรือภาพถ่ายที่มีอยู่ พิจารณาสภาพภูมิประเทศเพื่อกำหนดแนวสายโดยสังเขป จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดของสายโดยพิจารณาให้เป็นไปตามลักษณะข้อกำหนดและการวางเงื่อนไขของสายส่ง

3.2.2 การวางแผนบินถ่ายภาพ ซึ่งประกอบด้วยแผนที่แนวบิน (flight map) และเกณฑ์กำหนด (specification)

แผนที่แนวบิน เป็นแผนที่ที่แสดงตำแหน่งที่จะต้องถ่ายภาพ

เกณฑ์กำหนด เป็นรายละเอียดโดยสังเขปกำหนดวิธีการถ่ายภาพและข้อกำหนดเฉพาะอย่าง อาทิเช่น ข้อกำหนดเกี่ยวกับกล้อง, ฟิล์ม, มาตราส่วน, ระดับบิน, ส่วนซ้อน (end lap) ส่วนเกย (side lap) ความเอียงและความเบนที่ยอมรับได้ (tilt and crab tolerances) เป็นต้น

ตัวอย่างเกณฑ์กำหนดที่วางไว้ (จิวาลัย และ ถีระวัฒนาสวัสดิ์, 2523)

ก. มาตราส่วนของภาพถ่ายกำหนดเหนือพื้นที่โดยเฉลี่ย ถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพแบบกรอบชนิดเลนส์เดี่ยว (single-lens frame camera) มีมุมกว้าง (wide angle) ขนาดภาพ 9 × 9 นิ้ว (23 × 23 เซนติเมตร)

ข. ถ่ายไปตามแนวสาย โดยใช้ภาพถ่ายมีส่วนซ้อน (end lap) ร้อยละ 60-65 ส่วนที่แนวบินสองแนวตัดกันให้ถ่ายคลุมพื้นที่ร่วมกันไว้ด้วย

ค. ความเอียงเนกาทีฟ (negative) ที่ได้จากการถ่ายภาพขณะที่แกนทัศน์ (optical axis) ของกล้องถ่ายภาพทางอากาศอยู่ในแนวดิ่งเป็นสิ่งที่ต้องการ แต่ถ้า... จะต้องไม่เกิน 3 องศา

ง. ความเบน (drift) จะต้องไม่เกิน 3 องศา บนเนกาทีฟของแนวบินนั้น

จ. คุณภาพ ภาพถ่ายจะต้องมีภาพรายละเอียดชัด, คม และมีความเข้มเฉลี่ยสม่ำเสมอ ไม่มีเมฆ เงาเมฆ และรอยตำหนิที่มีผลต่อการนำภาพไปใช้ ขณะถ่ายภาพมุมสูงของดวงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 30 องศา

ฉ. กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ใช้ในการทำแผนที่ภูมิประเทศจะต้องมีความละเอียดสูง เลนส์ เป็นชนิดปลอดความเพี้ยน (distortion free) ความยาวโฟคัส 6 นิ้ว เป็นกล้องชนิดมีชัตเตอร์ระหว่างเลนส์ และเป็นกล้องที่ได้รับการวัดสอบจากโรงงานเป็นอย่างดีแล้ว

ช. ฟิล์มมีสารเคลือบไวแสงแบบอนุภาคละเอียด มีพลังจำแนกสูง ให้คุณสมบัติเชิงคณิตดี

ซ. ภาพอัดแบบประกบ จากเนกาทีฟดิ่ง จะต้องอัดลงบนกระดาษผิวกึ่งด้านอย่างหนา (double weight semimatte) โดยมีความเปรียบต่าง (contrast) ที่เหมาะสม

3.2.3 การวางแผนกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การพิจารณาวางแผนกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินเพื่อใช้ในงานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเป็นการประมาณการ ที่จะกำหนดจำนวนตำแหน่งจุดควบคุมในพื้นที่ให้เป็นไปตามทฤษฎีเพื่อให้ได้พิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้จากการปรับแก้มีความถูกต้องตามต้องการ สำหรับงานสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดินจะต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของชั้นงานสำรวจซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 3.4

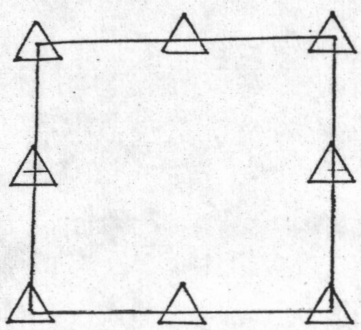
Amer (1978) ได้กล่าวสรุปถึงความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้รับจากการปรับแก้เป็นบลอคในการทำข่ายสามเหลี่ยมด้วยรูปจำลองอิสระ กรณีถ่ายรูปให้มีส่วนเกย (side lap) 20%

<u>กรณีที่ 1</u> เมื่อวางจุดควบคุมที่มุมและกึ่งกลางระหว่างมุมที่ขอบบลอค ค่าความถูกต้องทางราบที่จะได้รับคือ

$$\mu_{xy} = (0.83 + 0.05\, n_s)\, \sigma_{o_{pl}}^{model} \quad (3.1)$$

เมื่อ μ_{xy} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือรากกำลังสองเฉลี่ย (root mean square)

σ_o = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสังเกตุ (standard deviation of boservation or of unit weight หรือ sigma naught)



รูปที่ 3.2 การวางจุดควบคุมกรณีที่ 1

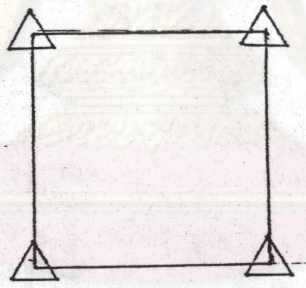
กำหนดให้ σ_o ทางราบในงานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ โดยรูปจำลองอิสระ มีค่า

$\sigma_{o_{pl}}$ = 20 - 30 ไมโครเมตร

n_s = จำนวนแนวบินในช่วงระหว่างจุดควบคุม

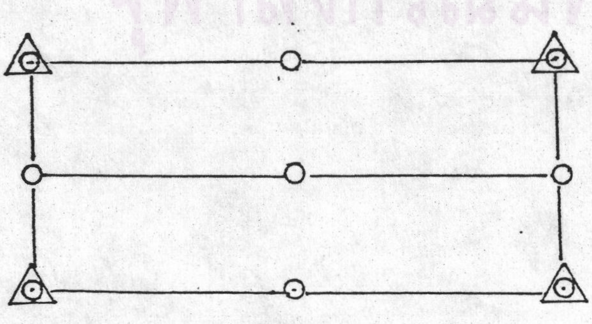
<u>กรณีที่ 2</u> เมื่อวางจุดควบคุมเฉพาะที่มุมบล็อค ค่าความถูกต้องทางราบที่จะได้รับคือ

$$\mu_{xy} = (0.47 + 0.25\, n_s)\, \sigma_{o_{pl}}^{model} \quad \text{............} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.3 การวางจุดควบคุมในกรณีที่ 2

สำหรับความถูกต้องทางดิ่งได้กำหนดให้แต่ละแถบ (strip) ของรูปจำลอง จะต้องมีจุดควบคุมทางดิ่งอย่างน้อยเป็นคู่ดังภาพข้างล่าง



o แสดงจุดควบคุมทางดิ่ง

Δ แสดงจุดควบคุมทางราบ

รูปที่ 3.4 การวางจุดควบคุมภาคพื้นดินในบลอค

ถ้ากำหนดให้ i เป็นช่วงของการวางจุดควบคุม

" H เป็นความสูงระดับบิน

เมื่อ i น้อยกว่า 5 รูปจำลอง ($i<5$) จะได้ความถูกต้องประมาณ

0.1% H .... (3.3)

หากพิจารณาตามที่ถือปฏิบัติกันว่าแถบ (strip) เป็นกรณีพิเศษของบลอค หลักการดังกล่าวก็นำมาใช้ในการวางแผนกำหนดตำแหน่งและจำนวนจุดควบคุมได้

3.3 การถ่ายภาพทางอากาศ

การถ่ายภาพทางอากาศเพื่อให้ได้ภาพถ่ายตามต้องการนั้น ต้องพิจารณาถึง

- กล้องถ่ายภาพทางอากาศและอุปกรณ์ประกอบ
- มาตราส่วนของภาพถ่าย

3.3.1 กล้องถ่ายภาพทางอากาศ

กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นกล้องถ่ายภาพแบบกรอบชนิดเลนส์เดี่ยว (single-lens frame camera) อาจเป็นชนิดมีมุมรับภาพเป็นมุมปกติ (normal angle:NA), มุมกว้าง (wide angle:W.A.) และ มุมกว้างพิเศษ (super wide angle: S.W.A.) ซึ่งถ่ายภาพคลุมพื้นที่ภูมิประเทศจะแตกต่างกันจากน้อยถึงมากตามลำดับ ขนาดของภาพที่ได้จากกล้องจะมีขนาด 230 x 230 $มม.^2$

นอกจากนี้กล้องถ่ายภาพควรมีคุณสมบัติ

- พลังจำแนก (resolving power) ของเลนส์ไม่น้อยกว่า 20 เส้นต่อมม.
- ความเพี้ยนของเลนส์น้อยกว่า 10 ไมโครเมตร
- ความเร็วของชัตเตอร์ (shutter speed) ได้ถึง $\frac{1}{1,000}$ วินาที สำหรับฟิล์มถ่ายภาพที่ใช้เป็นชนิดที่มีความยืดหดน้อยมาก (polyester base)

3.3.2 มาตราส่วนของภาพถ่าย

มาตราส่วนของภาพถ่ายสำหรับการสำรวจวางแนว (route survey) ได้กำหนดขนาดตามลักษณะงานที่ใช้ (van der weele, 1968)

- งานสำรวจโดยสังเขป (reconnaisance survey) ใช้มาตราส่วน

1:20,000 ถึง 1:60,000

- งานสำรวจเพื่อออกแบบรายละเอียด (detailed design) ที่ทำในแผนที่ ซึ่งมีมาตราส่วน 1:500 ถึง 1:5,000 สำหรับการถ่ายภาพเพื่อให้ได้แผนที่มาตราส่วนดังกล่าว และต้องการความถูกต้องถึง 15 ซม. จะถ่ายในมาตราส่วน 1:4,000 ถึง 1:8,000

3.4 การสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดินในงานภาพถ่าย

จากหลักเบื้องต้นของการสำรวจด้วยภาพถ่าย (จิวาลัยและถีระวัฒนาสวัสดิ์, 2523) ได้กล่าวถึงวิธีสนามของงานรังวัดจุดควบคุมสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายปกติแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการจัดสร้าง "จุดควบคุมหลัก (basic control)" เพื่อกระจายในพื้นที่ของโครงงานจะประกอบด้วยหมุดหลักฐานทางราบและหมุดระดับที่จะใช้เป็นหมุดอ้างอิงในขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่สองเป็นการหาตำแหน่งของ "จุดควบคุมภาพถ่าย (photo control)" ซึ่งเป็นจุดที่ปรากฏบนภาพถ่าย โดยทำการรังวัดออกจากข่ายของจุดควบคุมหลัก

งานรังวัดจุดควบคุมทางราบ ทั้งจุดควบคุมหลักและจุดควบคุมภาพถ่ายจะใช้วิธีสนามวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน คือ งานวงรอบ (traversing), งานข่ายสามเหลี่ยมวัดมุม (triangulation) หรืองานข่ายสามเหลี่ยมวัดด้าน (trilateration) แต่วิธีที่ใช้มากที่สุดคือ งานวงรอบ ไม่ว่าจะใช้วิธีใดการรังวัดจะกระทำออกจากจุดควบคุมที่มีอยู่เดิม (existing control point) ที่อยู่ใกล้บริเวณโครงการ จุดควบคุมจะต้องมีอย่างน้อยสองจุดซึ่งมองเห็นกันและกัน และต้องทราบตำแหน่งกับทิศทาง (เช่น แอซิมัธจากทิศเหนือ)

งานรังวัดจุดควบคุมทางดิ่ง (vertical control) ได้แก่การถ่ายระดับ (spirit or differentical levelling) เมื่อต้องการความถูกต้องสูงสุด การหาค่าระดับโดยวิธีตรีโกณมิติ (trigonometric levelling) สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เหมาะสำหรับพื้นที่ขรุขระ (เช่น ไปตามแนวภูเขา) การทำระดับด้วยบารอมิเตอร์ (barometric levelling) สำหรับงานที่ต้องการค่าระดับอย่างหยาบ ๆ เช่น แผนที่มาตราส่วนเล็ก

สำหรับงานสำรวจที่ใช้เป็นจุดควบคุมในการสำรวจด้วยภาพถ่ายเพื่อให้ได้แผนที่ จะต้องคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานของแผนที่ที่ได้ภายหลังด้วย

เกณฑ์มาตรฐานความถูกต้องของแผนที่แห่งชาติ (National Map Standard of Accuracy) ได้กำหนดมาตรฐานไว้ว่า ร้อยละ 90 ของลักษณะรายละเอียดทางราบ (planimetric feature) ต้องมีตำแหน่งในแผนที่ต่างจากตำแหน่งจริงได้ไม่เกิน $\frac{1}{30}$ นิ้ว (0.9 มม.) ในแผนที่มาตราส่วน 1:20,000 หรือใหญ่กว่าและไม่เกิน $\frac{1}{50}$ นิ้ว (0.5 มม.) ในแผนที่ที่มีมาตราส่วนเล็กกว่า 1:20,000 จากประสบการณ์จุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มีได้ในแผนที่ทางด้านระดับความสูง กำหนดว่า ร้อยละ 90 ของจุดทดสอบค่าระดับความสูง จะต้องมีค่าระดับถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ครึ่งหนึ่งของช่วงเส้นชั้นความสูง (contour interval) จากประสบการณ์ของการทำแผนที่ภูมิประเทศ กำหนดไว้ว่าค่าระดับของจุดควบคุมทางดิ่ง ของภาพถ่ายจะต้องมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ $\frac{1}{5}$ ของช่วงเส้นชั้นความสูง

ในงานสำรวจแผนที่ภูมิประเทศโดยวิธีภาพถ่ายทางอากาศนั้น จุดควบคุมภาพถ่ายทางราบจะใช้งานวงรอบชั้นที่ 3 (third order traverse) โดยใช้เกณฑ์กำหนดของงานวงรอบที่กรมแผนที่ทหารใช้อยู่คือ

จะต้องออกงานและเข้าบรรจบหมุดหลักฐานชั้นที่ 3 หรือชั้นสูงกว่าที่ปรับแก้แล้ว

การวัดมุมราบด้วยเครื่องมือ วัดมุมที่มีความละเอียด ทำการรังวัดอย่างน้อย 2 ศูนย์

ความคลาดเคลื่อนโดยบังเอิญ (probable error) ของมุมที่ทำการรังวัด ณ ตำบลหนึ่ง ๆ ไม่เกิน 5"

ความยาวของสายงานวงรอบไม่ควรเกิน 40 กม.

ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบตำแหน่ง (position check) ไม่น้อยกว่า $\frac{1}{5,000}$

การวัดระยะด้วยเครื่องมืออีเล็คทรอนิคส์ ให้รังวัดอย่างน้อย 2 ชุด ความละเอียดของการวัดระยะไม่น้อยกว่า 1 ใน 15,000

จำนวนมุมระหว่างสถานีที่ทำการรังวัดแอซิมัธไม่เกิน 35 มุม

การวัดแอซิมัธด้วยดวงอาทิตย์

การรังวัดกระทำทุก ๆ 25-35 สถานี

วัดดวงอาทิตย์ตอนเช้าและบ่ายข้างละอย่างน้อย 4 ดวง ความต่างไม่เกิน 5"

ระยะระหว่างหมุดที่ตั้งอุปกรณ์วัดแอซิมัธ กับที่หมายเล็งไม่น้อยกว่า 150 ม.

สำหรับจุดควบคุมทางดิ่งใช้ระดับยีออเมตริคชั้นที่ 3 จะมีเกณฑ์งานดังนี้

ความยาวของสายงานระดับไม่เกิน 40 กม.

การรังวัดระดับกระทำ 2 เที่ยว

ความแตกต่างระหว่างการวัด 2 เที่ยว และความคลาดเคลื่อนในการเข้าบรรจบไม่เกิน 12 มม. $\sqrt{K}$ โดยที่ K คือระยะทางเป็นกิโลเมตร

3.5 การขยายข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

การปรับรูปจำลองสามมิติที่ปรากฏขึ้นภายในเครื่องร่างแผนที่สามมิติ (stereo plotter) ก่อนการประกอบแผนที่ (map compilation) จะต้องปรับให้มีมาตราส่วนตามต้องการและรูปจำลองได้ระดับเมื่อเทียบกับระดับอ้างอิง ในการนี้จำเป็นต้องอาศัยจุดควบคุมภาพถ่าย (photo control) ซึ่งเป็นจุดที่ทราบตำแหน่งทางราบอย่างน้อย 2 จุด และทางดิ่ง 3 จุด ณ บริเวณตำแหน่งที่เหมาะสม ในงานที่ประกอบด้วยภาพถ่ายหลายแนวบินและแต่ละแนวบินประกอบด้วยภาพถ่ายจัดได้เป็นหลายรูปจำลองนั้น จะทำให้การสำรวจจุดควบคุมภาคพื้นดินมีเป็นจำนวนมากเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและงบประมาณค่าใช้จ่ายวิธีการขยายข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (aerial triangulation) สามารถนำมาใช้ช่วยหาพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย (จุดที่ได้กำหนดนี้เรียกว่าจุดผ่าน:pass points) โดยการออกสำรวจในภูมิประเทศเพียงบางส่วน และงานขยายข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศจะกระทำในสำนักงาน

วิธีการทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศทำได้หลายวิธี และสามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ หลายแบบตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ แบ่งตามลักษณะการคำนวณ

การแบ่งตามลักษณะของการคำนวณ (K. Kubik 1967:6-7) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม

กลุ่ม 1 ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยรูปจำลองต่อเนื่อง (Aeropolygon method) กระทำโดยการปรับภาพสัมพัทธ์และสัมบูรณ์ ได้รูปจำลองสามมิติรูปแรก สำหรับรูปจำลองต่อไปนั้นจะรักษาสภาพต่อเนื่องกับรูปจำลองรูปแรก โดยคงสภาพกล้องฉายด้านที่ต่อเนื่องกับรูปจำลองถัดไป เครื่องมือที่ใช้ได้แก่เครื่องร่างหลายกล้องฉาย (multiprojector

instrument) อาทิเช่น Multiplex, Balplex หรือเครื่องร่างเอนกประสงค์ (universal instrument) ซึ่งประกอบด้วยสองกล้องฉายและมีอุปกรณ์สี่เหลี่ยมด้านขนานของไซส์ (zeiss parallelogram) ที่มีสมรรถนะในการปรับสภาวะฐานใน (base-in, ฐาน-นอก (base out) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวปรับให้มีสภาพต่อเนื่อง ทำการวัดค่าพิกัดของจุดผ่านแต่ละรูปจำลองซึ่งเป็นค่าพิกัดต่อเนื่องเป็นแนวหรือแถบ (strip coordinates)

กลุ่ม 2 ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยรูปจำลองอิสระ (independent model triangulation) หรืออาจเรียกว่า ข่ายสามเหลี่ยมสามมิติแบบกึ่งวิเคราะห์ (semianalytical stereotriangulation) เหมาะสำหรับเครื่องร่างแผนที่ที่มีสองกล้องฉาย มีเครื่องอ่านพิกัดของรูปจำลอง แม้จะมีอุปกรณ์สี่เหลี่ยมด้านขนานของไซส์หรือไม่ก็ตาม (เครื่องร่างเอนกประสงค์) ก็สามารถใช้วิธีนี้ได้โดยคงที่สภาวะฐานเพียงอย่างเดียวตลอดการรังวัด การปฏิบัติแต่ละรูปจำลองจะทำเพียงปรับภาพสัมพัทธ์อิสระจากกันแต่ละรูปจำลอง การต่อกันของรูปจำลองเพื่อให้ได้เป็นแถบหรือบลอคของรูปจำลอง ทำโดยวิธีการคำนวณต่อจุดผ่านที่เป็นจุดเชื่อมโยง (tie point) และจุดศูนย์ทิวทัศน์ (perspective or projection center) ซึ่งปัจจุบันจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

กลุ่ม 3 ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเชิงวิเคราะห์ (analytical triangulation methods) วิธีนี้ขั้นตอนส่วนใหญ่ใช้การคำนวณ แม้แต่การปรับภาพสัมพัทธ์เพื่อให้ได้เป็นรูปจำลอง การปฏิบัติในเครื่องมือทำเพียงแต่การรังวัดพิกัดของภาพถ่าย (photo or plate coordinates) จากนั้นพิกัดภาพเหล่านี้จะถูกคำนวณเป็นพิกัดของจุดผ่านที่แปลงอยู่ในระบบของพิกัดภูมิประเทศได้เลย (ground or terrain system) โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งสามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วสรุปได้ดังนี้

วิธี (method)	ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยรูปจำลองต่อเนื่อง	ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยรูปจำลองอิสระ	ข่ายสามเหลี่ยมทาง-อากาศเชิงวิเคราะห์
เครื่องมือ (equipment)	เครื่องร่างแบบหลายกล้องฉาย, เครื่องร่างแบบเอนกประสงค์	เครื่องร่างที่สามารถอ่านพิกัดของรูปจำลองได้ (เช่น precision, topographic plotter) พร้อมด้วยคอมพิวเตอร์ (electronic computer)	เครื่องวัดพิกัด (เครื่องวัดเทียบ:comparator) หรือเครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์ (analytical plotter)
ข้อมูลที่ได้ (results)	พิกัดของจุดผ่านซึ่งจะใช้เป็นจุดควบคุมภาพถ่ายในระบบของพิกัดภูมิประเทศ (terrain system) ต่อไปนั้นจะนำมาปรับแก้ในลักษณะพิกัดเป็นแถบ (strip adjustment) หรือเป็นบลอค (block adjustment)		

หมายเหตุ ตาม Makarovic (1972:175) ได้ให้ความหมาย precision plotter เป็นเครื่องร่างแผนที่ที่มีอุปกรณ์การส่งผ่าน (transmission) การเคลื่อน (tracking) และการรังวัดมีความละเอียดสูง นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายทอดรายละเอียดจากภาพถ่ายไปเป็นแผนที่ในอัตราส่วนการขยายได้มากกว่า 8 เท่า topographic plotter มีอุปกรณ์ที่มีความถูกต้องน้อยกว่า precision plotter และให้อัตราส่วนการขยายจากภาพไปเป็นแผนที่น้อยกว่า 8 เท่า

3.5.1 การเตรียมงานก่อนการทำข่ายสามเหลี่ยม

ภายหลังจากได้วางแผนงานและได้ภาพถ่ายทางอากาศแล้ว งานที่จะต้องจัดทำก่อนการรังวัดในเครื่องร่างแผนที่ในการทำข่ายสามเหลี่ยมประกอบด้วย

ก. การสำรวจจุดควบคุมทางพื้นดิน และการวางเป้าสร้าง (ในกรณีต้องการความถูกต้องสูง)

ข. การเลือกจุดผ่าน และจุดผ่านที่เป็นจุดเชื่อมโยง (tiepoints) รวมถึงการทำแผนที่สารบาญของตำแหน่งจุด (index map)

ค. การลงตำแหน่งจุดผ่าน จุดเชื่อมโยง จุดควบคุมทางพื้นดินลงบนแผ่นไดอะโพสิทิปด้วยเครื่องถ่ายจุด

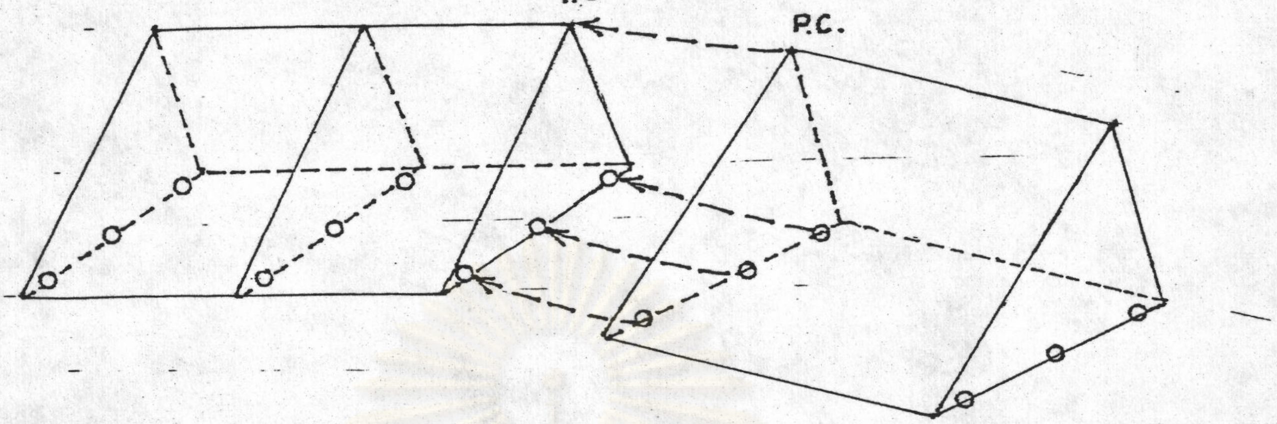
ง. การเตรียมอุปกรณ์ ผู้ปฏิบัติ แบบบันทึกค่าการรังวัดเพื่อเตรียมสำหรับงานขยายข่ายสามเหลี่ยมที่ได้กำหนดวิธีไว้แล้ว

3.5.2 การทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยรูปจำลองอิสระ (independent model aerial triangulation)

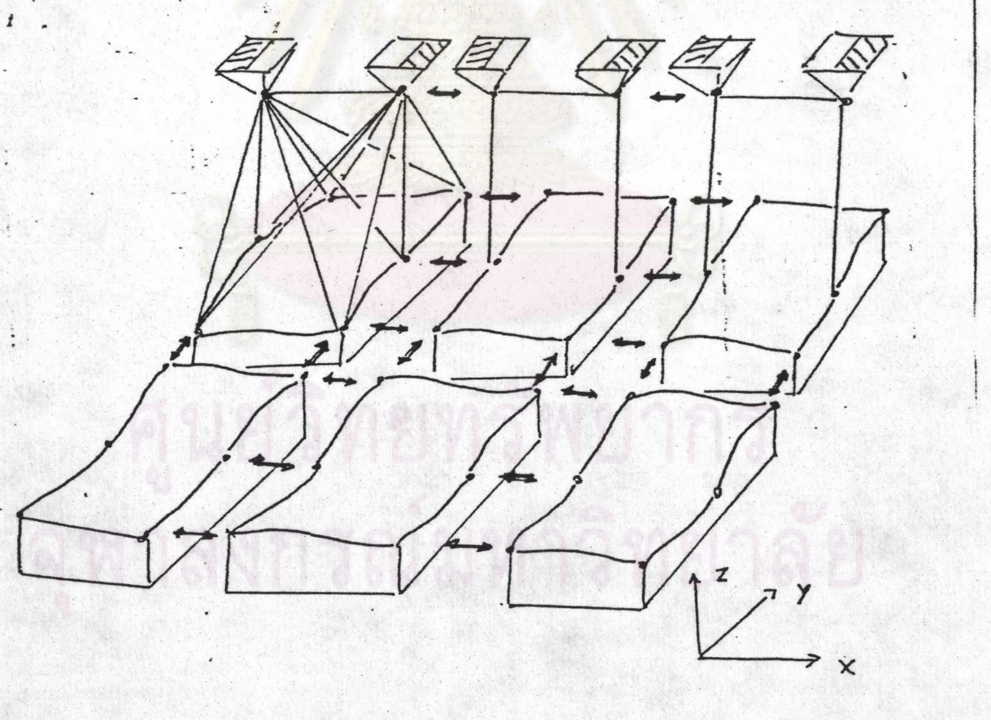
วิธีนี้มักจะใช้เครื่องร่างแผนที่ชนิดที่ให้ความละเอียดสูง (precision plotter) หรือเครื่องร่างแผนที่ชนิดทำแผนที่ภูมิประเทศ (topographic plotter) ซึ่งประกอบกับอุปกรณ์การบันทึกพิกัด สามารถอ่านพิกัดของรูปจำลองได้ในระบบพิกัดทั้ง 3 แกน (x, y, z) เช่น ระบบของเครื่องร่างแผนที่ชนิด Wild AG1 ประกอบกับอุปกรณ์ linear encoder แสดงค่าพิกัดที่เครื่องบันทึก Wild EK.22 เป็นต้น

หลักการของวิธีนี้จะนำภาพคู่สามมิติ (stereo pair) ในรูปของไดอะโพสิทิป ปรับภาพสัมพัทธ์ในเครื่องร่างแผนที่ดังกล่าว จากนั้นก็อ่านและบันทึกพิกัดของจุดทั้งหมดภายในรูปจำลองพร้อมกับการวัดหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดศูนย์ทิวทัศน์ของกล้องฉายทางซ้ายมือและขวามือ (Projection Center:P.C.) ในแต่ละรูปจำลอง ในกรณีที่เครื่องร่างมีระบบจุดศูนย์ทิวทัศน์ไม่เคลื่อนที่ขณะปรับธาตุมูลการหมุน (rotation elements) ในขั้นของการปรับภาพสัมพัทธ์ การรังวัดจุดศูนย์ทิวทัศน์อาจทำเพียงครั้งเดียวตลอดโดยให้ระยะฐานคงที่ (instrument-base: bx) พร้อมกับคงที่ระบบของพิกัดการรังวัดซึ่งหมายถึงว่า ทุก ๆ รูปจำลองจะคงค่าของจุดศูนย์ทิวทัศน์ไม่ให้เปลี่ยนแปลง เช่น การใช้เครื่องร่างแผนที่ชนิด Wild A8. การวัด P.C. อาจใช้ส่วนของการเคลื่อนที่อิสระ (handgrip for hand movement) ของแกน x, y ในขณะปรับภาพสัมพัทธ์ เพื่อให้รวดเร็วมากขึ้น เมื่อได้รูปจำลองสามมิติแล้ว จึงตั้งค่าพิกัดเริ่มต้นให้เหมือนระบบพิกัดเดิม เป็นต้น

การต่อกันของรูปจำลองในลักษณะเป็นแถบของรูปจำลองหรือบลอคก็ตามจะอาศัยจุดผ่านที่เป็นจุดเชื่อมโยงและจุดศูนย์ทิวทัศน์ที่สัมพันธ์กัน ตามรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 รูปจำลองที่ต่อเข้ากันในลักษณะของแถบรูปจำลอง



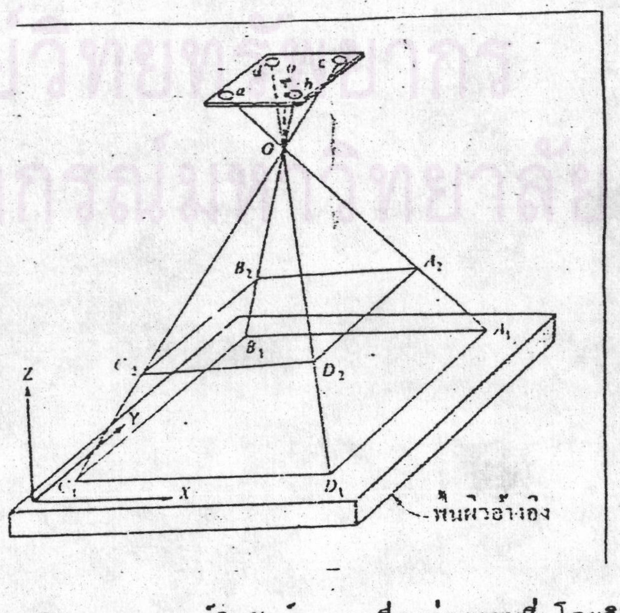
รูปที่ 3.6 รูปจำลองที่ประสานเป็นบลอค

สำหรับจุดทิวทัศน์ เป็นจุดสำคัญในการประสานรูปจำลองนั้น มีวิธีการหาค่าพิกัดตำแหน่ง 3 วิธี คือ

1. อ่านพิกัดโดยตรงจากเครื่องร่างแผนที่ ซึ่งเป็นเครื่องร่างแผนที่ที่ออกแบบเฉพาะ ประกอบด้วยกล้องเล็งกับกระจกสำหรับจัดแนวคันลำแสง (space rod) ให้อยู่ในแนวดิ่งโดยอาศัยหลักการของการปรับแนวเล็ง (autocollimation) ให้อยู่ในแนวดิ่งเพื่ออ่านค่าพิกัด X, Y สำหรับพิกัด Z โดยการเคลื่อนในแนวดิ่ง (Z) ให้ขีดเครื่องหมายบนคันลำแสงตรงกันกับเครื่องหมายอ้างอิงบนโครงเครื่องร่างแผนที่ เมื่อบวกค่าคงที่ของการวัดสอบเข้ากับค่า Z ที่วัดได้จากการตั้งดังกล่าวจะได้พิกัด Z ของศูนย์ทิวทัศน์ ตัวอย่างเครื่องร่างชนิดนี้ได้แก่ Zeiss Planimat, Zeiss Planicart ฯลฯ

2. วิธีใช้แผ่นพิกัด (grid-plate method) นำแผ่นพิกัดขนาดเส้นห่าง 1 หรือ 2 ซม. วางลงบนกล้องฉายและปรับให้ได้ศูนย์ อ่านพิกัดของเส้นตัดบนแผ่นพิกัด (บริเวณตำแหน่งจุดที่ใช้ปรับภาพสัมพัทธ์) X, Y และ Z ด้วยการมองตาเดียวจากพิกัดที่หมายทั้งหมดแล้วใช้วิธีแนวสกัดย้อนซึ่งประกอบด้วยสมการร่วมเส้น (collinearlity equation) หาพิกัด X, Y, Z ของจุดศูนย์ทิวทัศน์โดยทำการรังวัดทีละกล้องฉาย

3. วิธีสองระดับ (two-point method) อาจจะใช้ตำแหน่งภาพของไดอะโพสิทีปหรือแผ่นพิกัดก็ได้ ทำการรังวัดพิกัดของจุด (บริเวณตำแหน่งจุดที่ใช้ปรับภาพสัมพัทธ์) โดยการมองตาเดียว ในสองระดับของแคร่ฐาน Z ของเครื่อง (เลื่อนขึ้นในตำแหน่งสูง;High และในตำแหน่งต่ำ; Low)



รูปที่ 3.7 การหาพิกัดของจุดศูนย์ทิวทัศน์ของเครื่องร่างแผนที่ โดยวิธีสองระดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่เครื่องร่างแผนที่มีระบบจุดศูนย์ทิวทัศน์ไม่เคลื่อนที่ขณะปรับภาพสัมพัทธ์ (โดยใช้เฉพาะธาตุมูลการหมุน) การวัดหาค่า X_o, Y_o, Z_o ของกล้องฉายซ้ายและของกล้องขวาเพียงครั้งเดียว เพื่อใช้กับทุก ๆ รูปจำลองนั้นจะต้องให้

ก. ค่าฐานของเครื่องร่าง (instrument base:bx) คงที่ทุก ๆ รูปจำลอง

ข. ไม่ใช้ธาตุมูลการเลื่อน (translation element) b_y, b_z ขณะปรับภาพสัมพัทธ์ ปกติจะตั้งไว้ตำแหน่งศูนย์กลาง

ค. ไม่ใช้ธาตุมูลที่มีผลต่อตำแหน่งจุดศูนย์ทิวทัศน์ เช่น การเอียงทาง y (ϕ)

ง. การใช้ส่วนการเคลื่อนที่อิสระขณะปรับภาพสัมพัทธ์เมื่อเสร็จแล้วจะต้องต่อเข้าให้อ่านค่าพิกัดได้เหมือนเดิม

3.6 การปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมด้วยวิธีการปรับแก้ทั้งบลอคกับข่ายสามเหลี่ยมโดยรูปจำลองอิสระ (independent model block adjustment) ด้วยโปรแกรม PAT M-43

ค่าพิกัดของจุดผ่านที่รังวัดได้จากข่ายสามเหลี่ยมจะถูกนำมาปรับแก้ให้ได้ค่าที่น่าเชื่อที่สุดสำหรับการนำไปใช้เป็นจุดควบคุมภาพถ่าย

การปรับแก้เป็นบลอคของรูปจำลองแบ่งออกเป็น 3 แบบ โดยจำแนกตามหน่วยที่เล็กที่สุดในการปรับแก้

1. หน่วยเป็นแถบของรูปจำลอง (strip) ค่าพิกัดอยู่ในรูปของพิกัดของแต่ละแถบ (strip-coordinates) รวมเป็นบลอค

2. หน่วยเป็นรูปจำลอง (models) โดยมีพิกัดอยู่แต่ละรูปจำลอง (model-coordinates) รวมเข้าเป็นบลอค

3. หน่วยเป็นลำแสง (bundle) ที่ผ่านจุดรวมเป็นบลอค โดยใช้พิกัดภาพถ่ายของแต่ละจุด (photo-coordinates)

ในระยะ 4-5 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยได้นำเอาวิธีการปรับแก้ข่ายสามเหลี่ยมโดยรูปจำลองอิสระ (independent model block adjustment) กับโปรแกรม PAT M-43 (The Program Package for the Aerial Triangulation with Independent Model) มาใช้ซึ่งให้ค่าความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ ข้อดีของโปรแกรมคือสามารถนำค่าพิกัดจาก

การทำข่ายสามเหลี่ยมโดยรูปจำลองอิสระในเครื่องร่างแผนที่ทั่วไปที่สามารถอ่านค่าพิกัดของรูปจำลองได้ และการคำนวณไม่ยุ่งยากหรือต้องการคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากนัก (เช่น การปรับแก้โดยลำแสง:bundle adjustment)

โปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ขณะนี้มีให้เลือกอยู่ 2 ขนาดคือ ใช้กับการปรับแก้บลอคที่มีรูปจำลองไม่เกิน 300 รูปจำลอง (small version) และขนาดไม่เกิน 1,000 รูปจำลอง (big version) ซึ่งพอเพียงกับโครงการงานขยายข่ายสามเหลี่ยม ของหน่วยงานที่กระทำอยู่ปัจจุบัน

ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม PAT M-43

โดยอาศัยพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน พิกัดของจุดผ่านร่วมทั้งพิกัดของจุดศูนย์ทิวทัศน์ของหลาย ๆ รูปจำลองนำมาแปลงค่าและคำนวณปรับแก้โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกปรับแก้ให้ได้พิกัดทางราบและนำผลที่ได้พร้อมข้อมูลทางความสูงไปปรับแก้ในส่วนที่สองซึ่งจะได้ค่าพิกัดของความสูง เนื่องจากการจัดรูปแบบการคำนวณให้อยู่ในเทอมของสมการเส้นตรง ค่าพิกัดที่ได้จะนำกลับไปคำนวณในส่วนแรกและส่วนที่สองกระทำซ้ำกลับไปมาหลายครั้ง เพื่อให้ได้ค่าพิกัดเข้าสู่ค่าที่ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนด (ปกติโปรแกรมจะตั้งไว้เพียง 7 ครั้ง ถ้าไม่ได้เกณฑ์กำหนดจะต้องตรวจสอบค่าผิด (gross error) แล้วนำเข้าปรับแก้ใหม่)

สำหรับการปรับแก้ค่าทางด้านความสูงสามารถเพิ่มข้อมูลเพื่อให้ค่าความถูกต้องสูงขึ้นโดยเพิ่มการรังวัดมาตรบันทึกระดับตามแนวบิน (APR:airborne profile recorder) หรือเครื่องบันทึกความสูงต่างในอากาศ (statoscope recorder) และค่าวัดความสูงของระดับน้ำในแอ่งน้ำที่คาบเกี่ยวกับหลายรูปจำลอง (lake shore information)

สำหรับในที่นี้จะขอกล่าวถึงการนำโปรแกรม PAT M-43 มาปรับแก้กับค่าพิกัดของรูปจำลองและพิกัดของจุดศูนย์ทิวทัศน์ โดยไม่เพิ่มการรังวัดทางสูงกับข้อมูลและเครื่องมือดังกล่าวโดยเน้นถึงการเตรียมข้อมูลและการปฏิบัติในการปรับแก้กับโปรแกรมที่ใช้อยู่ทั่ว ๆ ไป

การนำข้อมูลเข้าในการใช้โปรแกรม PAT M-43 ปรับแก้นั้นแบ่งส่วนของข้อมูลเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. ข้อมูลเบื้องต้น (basic data) ประกอบด้วยการชี้แจงข้อมูลที่เข้าไปและข้อมูลที่ต้องการผล

2. ข้อมูลของพิกัดรูปจำลอง เรียงตามลำดับ

3. ข้อมูลของจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้ออกสำรวจ เป็นพิกัดภาคพื้นดิน

การจัดและเรียงลำดับข้อมูลทั้งหมดจะต้องเป็นไปตามกำหนดของโปรแกรม ดังรายละเอียดใน Ackerman F. (1976) และการแสดงผลการปรับแก้ในภาคผนวก ค.

สำหรับรายละเอียดที่เกี่ยวกับการสร้างรูปจำลอง การบันทึกระดับตามแนว การบันทึกและคำนวณตำแหน่งที่ตั้งของเสา เป็นหลักการที่ได้ปฏิบัติทั่วไป จะขอนำไปกล่าวในบทที่ 4 การดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย