บทที่ 3
ภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photograph) เป็นภาพที่ถ่ายจากทางอากาศในระบบทางอ้อม โดยวิธีการเอากล้องถ่ายรูปติดไปกับอากาศยาน แล้วบินไปเหนือภูมิประเทศบริเวณที่จะทำการถ่ายภาพ แล้วเปิดหน้ากล้อง เพื่อปล่อยให้แสงสะท้อนจากสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ในภูมิประเทศเบื้องล่าง เข้าสู่เลนซ์กล้องถ่ายรูปไปจนถึงแผ่นฟิล์ม จุดที่เปิดหน้ากล้องต้องเป็นไปตามตำแหน่ง ทิศทาง และความสูงของการบินที่ได้วางแผนไว้ก่อนแล้ว หลังจากนั้น จึงนำฟิล์มไปล้างและอัด ก็จะได้ภาพซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ บนพื้นที่ภูมิประเทศในบริเวณที่ทำการถ่ายรูปนั้นปรากฏอยู่

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ

การแปลภาพถ่ายทางอากาศสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลายสาขา ที่ใช้กันมาก คือ การใช้เป็นพื้นฐาน ในการแปลสภาพการใช้ที่ดิน และทำแผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเวลาต่างๆ ในบางประเทศที่กำลังพัฒนา ที่ไม่มีข้อมูลในด้านประชากร หรือทรัพยากร ภาพถ่ายสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนจำนวนประชากรให้ถูกต้องมากขึ้น โดยการคาดคะเนจาก จำนวน และความหนาแน่นของบ้านเรือน ภาพถ่ายทางอากาศยังช่วยในการจัดการเกี่ยวกับการขนส่ง โดยการจำแนกชนิดของรถ การไหลของรถ ปัญหาการจอดรถบนถนนในเมือง หรือคาดคะเนสถานที่จอดรถ และอื่นๆ

ภาพถ่ายทางอากาศมีส่วนอย่างมาก ในการคำนวณความเสียหายหลังการเกิดสาธารณภัยต่างๆ เช่น หลังน้ำท่วม แผ่นดินไหว มีส่วนช่วยในการบรรเทาสาธารณภัย บริษัทประกันภัยใช้ในการคำนวณเพื่อจ่ายค่าชดเชยให้แก่ผู้เสียหายต่างๆ

การแปลภาพถ่ายทางอากาศ ใช้กันมากในงานเกี่ยวกับการจัดผังเมือง และกำหนดพื้นที่เพื่อเป็นสถานที่ราชการ หรือการทำธุรกิจ เช่น สถานที่ตั้งโรงเรียน ห้องสมุด และอื่นๆ โดยการกำหนดหลักเกณฑ์ต่างๆ ซึ่งใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการ ในทำนองเดียวกันการแปลภาพถ่ายทางอากาศยังช่วยในการคัดเลือกพื้นที่ที่ควรหลีกเลี่ยงได้ในการวิเคราะห์เบื้องต้น เช่น จำแนกพื้นที่ที่ไม่อาจนำไปพัฒนาได้ ซึ่งได้แก่ พื้นที่ที่ความลาดชันสูง พื้นที่ที่เป็นดินอินทรีย์ บริเวณกันชนแม่น้ำ ชายฝั่ง พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวทางด้านนิเวศ พื้นที่ที่มีความขัดแย้งในการใช้ที่ดิน พื้นที่ที่เป็นเกษตรชั้น 1 หรือ ชั้น 2 ผู้แปลภาพถ่ายที่มีประสบการณ์ สามารถกำหนดพื้นที่จำกัดเหล่านี้ได้อย่างรวดเร็วในภาพถ่าย ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิคทางด้านสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาใช้ในงานแบบนี้กันมาก แต่การแปลโดยตรงจากภาพถ่าย บ่อยครั้งจะทำได้รวดเร็วกว่าการใช้เวลาไปพัฒนาฐานข้อมูลใหม่

ความได้เปรียบของการใช้ภาพถ่ายทางอากาศเมื่อเทียบกับ การสำรวจในภาคสนาม

- การวัดจากภาพถ่ายง่ายกว่าการทำงานรังวัดในภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลและกันดาร
- ภาพถ่ายทางอากาศทำให้เห็นความสัมพันธ์ของพื้นที่ ที่ซึ่งโดยปกติจะมองไม่เห็นในภาคพื้นดิน
- การใช้ภาพจะลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมากในการทำงานภาคสนาม พร้อมทั้งสามารถขยายพื้นที่และความรวดเร็วในการทำแผนที่ขนาดใหญ่
- การใช้ภาพถ่ายต้องคำนึงถึงอยู่เสมอว่าบริเวณขอบภาพจะมีมาตราส่วน และตำแหน่งที่

คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงบ้าง

แนวทางในการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศแบ่งได้เป็น 2 แนวทาง คือ

1. Photogrammetry : เป็นศาสตร์ที่ทำให้ได้มาซึ่งการวัดวัตถุต่างๆ จากภาพถ่ายได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์หลัก คือ การวัด และ การคำนวณจากภาพถ่าย
2. Photo interpretation : เป็นการจำแนกและสกัดความหมายจากวัตถุที่เห็นในภาพถ่าย ดังนั้น วัตถุประสงค์หลัก คือ การแปลความหมายจากภาพ

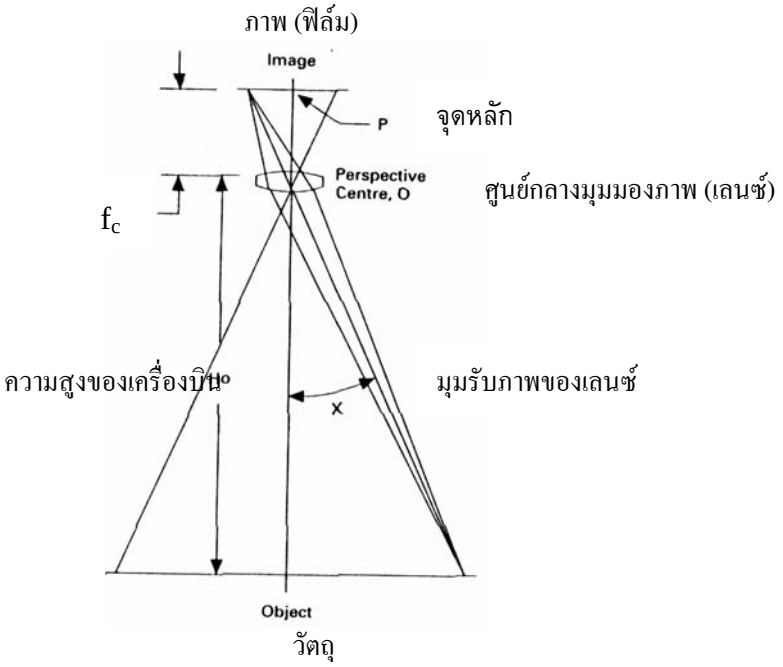
ความรู้ต่างๆ จากประสบการณ์ และการปฏิบัติมีความสำคัญต่อการแปลภาพมาก

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์การถ่ายภาพทางอากาศ

เราสามารถที่จะได้ข้อมูลหลายอย่างจากภาพถ่ายทางอากาศ ถ้าเราทราบองค์ประกอบ และที่มาของภาพนั้นๆ องค์ประกอบต่างๆ ที่ควรจะรู้เกี่ยวกับภาพถ่ายทางอากาศ คือ กล้อง (เลนซ์ ความยาวโฟกัสของเลนซ์ มุมรับภาพของกล้อง) และฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพ

เลนซ์นูน เป็นเลนซ์ที่ใช้ในกล้องถ่ายภาพ ซึ่งสามารถรวมแสง แล้วโฟกัสลงบนฟิล์ม เพื่อให้ได้ภาพคมชัด และรูปร่างเหมือนกับวัตถุเดิมมากที่สุด

ความยาวโฟกัสของเลนซ์ (f_c, **รูปที่ 3.1**) หมายถึง ระยะจากจุดกึ่งกลางของเลนซ์ถึงแผ่นฟิล์ม หรือแผ่นภาพ เมื่อกล้องเพ่งไปยังจุดอนันต์ หรือแสงนั้นมาจากจุดที่เกือบขนานกับหน้าเปิดของเลนส์



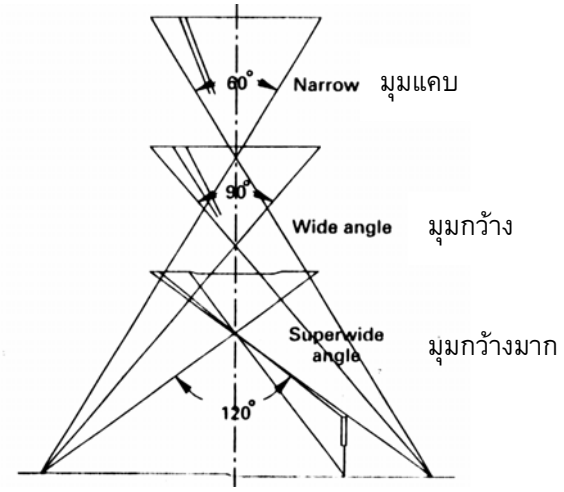
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ทางด้านการวัดจากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องที่สมบูรณ์แบบ
ที่มา : McCloy, 1995

มุมรับภาพของเลนซ์ กล้องถ่ายภาพทางอากาศจะถูกออกแบบตาม มุมรับภาพของเลนซ์ เป็นแบบ มุมแคบ (narrow angle) มุมธรรมดา (normal angle) มุมกว้าง (wide angle) และมุมกว้าง

มาก (super wide angle) ขึ้นอยู่มุมรับภาพของเลนซ์ ตาม**ตารางที่ 3.1** จะเห็นว่าเมื่อมุมรับภาพของเลนซ์เพิ่มขึ้น ถ้าต้องการภาพที่มีขนาดเท่าเดิม ความยาวโฟกัสของเลนซ์จะลดลง และถ้าต้องการภาพที่มีมาตราส่วนเดิม ความสูงของเครื่องบินจะต้องลดลง ดังใน**รูปที่ 3.2** จะเห็นว่าเมื่อความสูงของเครื่องบินคงที่ กล้องที่มีความยาวโฟกัสสั้น จะสามารถถ่ายคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่ากล้องที่มีความยาวโฟกัสยาว การเลือกใช้เลนซ์ที่มีความยาวโฟกัสต่างกัน ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน ความยาวโฟกัสยิ่งสั้น หรือมุมรับภาพของกล้องยิ่งกว้าง มีผลทำให้ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของรายละเอียดบนภาพ อันเนื่องจากความสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศ (relief displacement) ยิ่งมากขึ้น ความยาวโฟกัสที่ใช้กันทั่วไปสำหรับงานถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ คือ ขนาด 6 นิ้ว (ประมาณ 150 มิลลิเมตร) ความยาวโฟกัสของเลนซ์ดังกล่าว ทำให้ได้ภาพที่มีการผสมผสานกันระหว่างการโยงยึดทางเรขาคณิต และมาตราส่วนของภาพถ่ายสำหรับการทำแผนที่ได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโฟกัสและมุมรับภาพของเลนซ์

การจำแนก	ความยาวโฟกัส (ภาพขนาด 23 ซม. X 23 ซม.)	มุมรับภาพ
มุมแคบ	12 นิ้ว = 304.8 มิลลิเมตร	น้อยกว่า 60°
มุมธรรมดา	8 1/4 นิ้ว = 209.5 มิลลิเมตร	60° ถึง 75°
มุมกว้าง	6 นิ้ว = 152.4 มิลลิเมตร	75° ถึง 100°
มุมกว้างมาก	3 1/2 นิ้ว = 88.9 มิลลิเมตร	มากกว่า 100°



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกล้องที่มีมุมรับภาพแตกต่างกัน
ที่มา : McCloy, 1995

1. เลนซ์มุมแคบ เหมาะสำหรับใช้ในการบินถ่ายภาพในระดับความสูงไม่มาก เพื่อให้ได้ภาพถ่ายมาตราส่วนใหญ่ ภาพที่ได้ใช้ในการทำแผนที่ตัวเมืองที่มีบ้านเรือนหนาแน่น หรือใช้ถ่ายภาพป่าไม้ เพื่อนำภาพมาใช้การรังวัดในกิจการป่าไม้ นอกจากนี้ยังเหมาะสม สำหรับใช้ในการถ่ายภาพใน

บริเวณที่มีสภาพพื้นที่สูงต่ำแตกต่างกัน (rolling area) เพื่อนำภาพถ่ายมาทำภาพต่อ (mosaic) หรือทำแผนที่ภาพถ่าย (photo map) ข้อดีของเลนซ์มุมแคบ คือ ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในทางตำแหน่งของรายละเอียดบนภาพถ่าย อันเนื่องมาจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ ได้มากกว่าเลนซ์ชนิดอื่น ส่วนข้อเสียของเลนซ์มุมแคบ คือ ภาพถ่ายที่ได้ครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย ในขณะที่ระดับความสูงของการบินถ่ายภาพเท่ากัน

2. เลนซ์มุมกว้าง นิยมใช้ถ่ายภาพเพื่อใช้ในการผลิตแผนที่ภูมิประเทศ ทั้งแผนที่มาตราส่วนใหญ่ และมาตราส่วนเล็ก รวมทั้งงานรังวัดจากภาพถ่ายทางอากาศ และงานแปลภาพในกิจการอื่นๆ

3. เลนซ์มุมกว้างมาก สามารถถ่ายครอบคลุมพื้นที่ได้บริเวณกว้าง ด้วยภาพจำนวนน้อย ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย แต่ภาพที่ได้มีมาตราส่วนเล็ก และความคลาดเคลื่อนในทางตำแหน่งของรายละเอียดในภาพ อันเนื่องจากความสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศ มีมากกว่ากล้องชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะบริเวณขอบภาพจะสังเกตเห็นได้ง่าย เช่น จะเห็นภาพต้นไม้เอนเข้าหาจุดศูนย์กลางภาพ เลนซ์ชนิดนี้ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ถ่ายภาพบริเวณที่เป็นป่าไม้ หรือบริเวณตัวเมืองที่มีตึกสูงๆ เพราะความสูงของต้นไม้ หรืออาคารจะทอดตัวบังรายละเอียดอื่นๆ และภาพถ่ายดังกล่าวไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ในการทำภาพต่อหรือใช้ในการทำแผนที่

ฟิล์ม กล้องที่ใช้ถ่ายภาพเป็นกล้องแบบเฟรม (frame camera) โดยทั่วไปใช้ฟิล์มขนาด 24 เซนติเมตร x 24 เซนติเมตร ดังนั้น ภาพที่ได้จึงมีขนาด 23 เซนติเมตร x 23 เซนติเมตร ฟิล์ม 1 ม้วนปกติจะยาวประมาณ 30 – 150 เมตร ฟิล์มมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ แผ่นฉาบน้ำยาสารเคลือบไวแสง (emulsion) และฐาน (base) ที่ใช้รองรับแผ่นฉาบน้ำยา สารเคลือบไวแสงประกอบด้วยเกลือของเงินเฮไลด์ (silver halide salt) ที่ไวต่อแสง ซึ่งเปรียบเสมือนตัวบันทึกภาพ และมีกำลังแยกภาพสูง ส่วนฐานชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้ฟิล์มมีความคงตัว และยืดหดตัวน้อย ฟิล์มโดยทั่วไปมี 4 ชนิด ได้แก่

- ฟิล์มขาวดำธรรมดา (panchromatic) เป็นฟิล์มมาตรฐานที่ใช้สำหรับภาพถ่ายทางอากาศ ฟิล์มนี้จะไวต่อช่วงแสง ตั้งแต่อุลตราไวโอเล็ต จนถึงช่วงคลื่นที่ตามองเห็น ซึ่งใช้มากในงานรังวัดจากภาพถ่าย และงานแปลความหมายจากภาพถ่าย ฟิล์มชนิดนี้ให้ความแม่นยำสูงและราคาถูก

- ฟิล์มขาวดำอินฟราเรด (black and white infrared film) ฟิล์มชนิดนี้ไวต่อช่วงคลื่นที่ตามองเห็น จนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (900 นาโนเมตร) ฟิล์มนี้ปกติใช้ในการบันทึกคลื่นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้น จึงต้องมีแผ่นกรองแสงที่ไม่ให้คลื่นที่มีความยาวน้อยกว่า 700 นาโน-เมตร ส่งผ่านเข้ามาสู่ฟิล์ม ส่วนใหญ่ใช้ในงานเฉพาะที่เกี่ยวกับการสำรวจชนิดของพืชพรรณต่างๆ

- ฟิล์มสี (color film) ฟิล์มนี้ประกอบด้วยสารเคลือบ 3 ชั้น แต่ละชั้นบันทึกพลังงานแสงน้ำเงิน เขียว และ แดง ตามลำดับ แต่ละชั้นของฟิล์มประกอบด้วยสีย้อม (dye) สีเหลือง (yellow) สีชมพู-ม่วง (magenta) และสีฟ้า (cyan) ตามลำดับ ฟิล์มนี้ไวต่อแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และเมื่อฟิล์มถูกนำไปอัดด้วยลำดับสีตามช่วงคลื่นนี้ ก็จะได้ภาพถ่ายที่เหมือนกับที่ตามนุษย์มองเห็น ซึ่งเรียกว่า ภาพสีจริง และการกระทำใดที่ไม่อยู่ในหลักเกณฑ์นี้ จะได้ภาพถ่ายที่มีสีผิดธรรมชาติ

- ฟิล์มสีผิดธรรมชาติ (false color film) เป็นฟิล์มสีอีกชนิดหนึ่ง แต่ต่างจากฟิล์มสีธรรมดาตรงที่ฟิล์มนี้มีน้ำยาที่ไวต่อแสงอินฟราเรดซึ่งตามนุษย์มองไม่เห็นฉาบอยู่ด้วย ที่เรียกว่า ฟิล์มสีผิดธรรมชาติ เพราะฟิล์มที่ผลิตขึ้นนี้ใช้บันทึกพลังงานคลื่นในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและตามองไม่เห็น (อินฟราเรดใกล้) เมื่อนำภาพมาอัดเป็นภาพสีที่ตามองเห็นจึงได้ภาพสีที่ผิดไปจากธรรมชาติ

ชนิดของภาพถ่ายภาพทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นภาพถ่ายดิ่ง (vertical photographs) ได้จากการถ่ายรูปด้วยกล้องที่ติดตั้งให้แนวแกนกล้องขนานกับแนวดิ่งมากที่สุด ถ้าแกนกล้องขณะถ่ายภาพอยู่ในแนวดิ่งจริง ระนาบภาพจะขนานกับระนาบของพื้นที่ และภาพที่ได้เรียกว่า ภาพดิ่งจริง (truly vertical) ถ้าแกนกล้องเอียงไม่เกิน 3° ในขณะถ่ายภาพเรียกว่า ภาพถ่ายใกล้ดิ่ง (near vertical) ภาพถ่ายประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งงานการรังวัดจากภาพถ่าย และงานแปลความหมายในกิจการต่างๆ ภาพถ่ายอีกชนิด คือ ภาพถ่ายเฉียง (oblique photographs) เป็นภาพถ่ายที่ได้จากกล้องที่ติดแนวแกนกล้องเฉียงจากแนวดิ่งไปทางด้านข้างลำตัวของเครื่องบิน 3° - 90° แบ่งออกเป็นภาพเฉียงสูง (high oblique) ซึ่งจะปรากฏแนวขอบฟ้าในภาพ และภาพถ่ายเฉียงต่ำ (low oblique) ซึ่งจะไม่ปรากฏเส้นแนวขอบฟ้าให้เห็น

ข้อดีของภาพถ่ายดิ่งเมื่อเทียบกับภาพถ่ายเฉียง ภาพถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจที่แม่นยำจะใช้ภาพถ่ายดิ่งหรือภาพเกือบดิ่ง ภาพถ่ายดิ่งจะง่ายต่อการแปลความหมาย ทั้งนี้เนื่องจากมาตราส่วนคงที่ และรายละเอียดต่างๆ ในภาพ เช่น สิ่งก่อสร้าง ภูเขา จะไม่บังสิ่งอื่นในบริเวณด้านหลังเหมือนภาพถ่ายเฉียง นอกจากนี้ภาพถ่ายดิ่งยังสามารถใช้ดูภาพเป็นแบบสามมิติได้ด้วย การวัดทิศทางในภาพถ่ายดิ่งทำได้ง่าย และถูกต้องมากกว่า ทิศทางหรือมุมที่วัดได้จะให้ผลใกล้เคียงกับที่วัดจากแผนที่ ในบางกรณีภาพถ่ายดิ่งสามารถใช้เป็นแผนที่ได้ ถ้ามีการเติมระบบกริด และข้อมูลอื่นๆ ลงไป

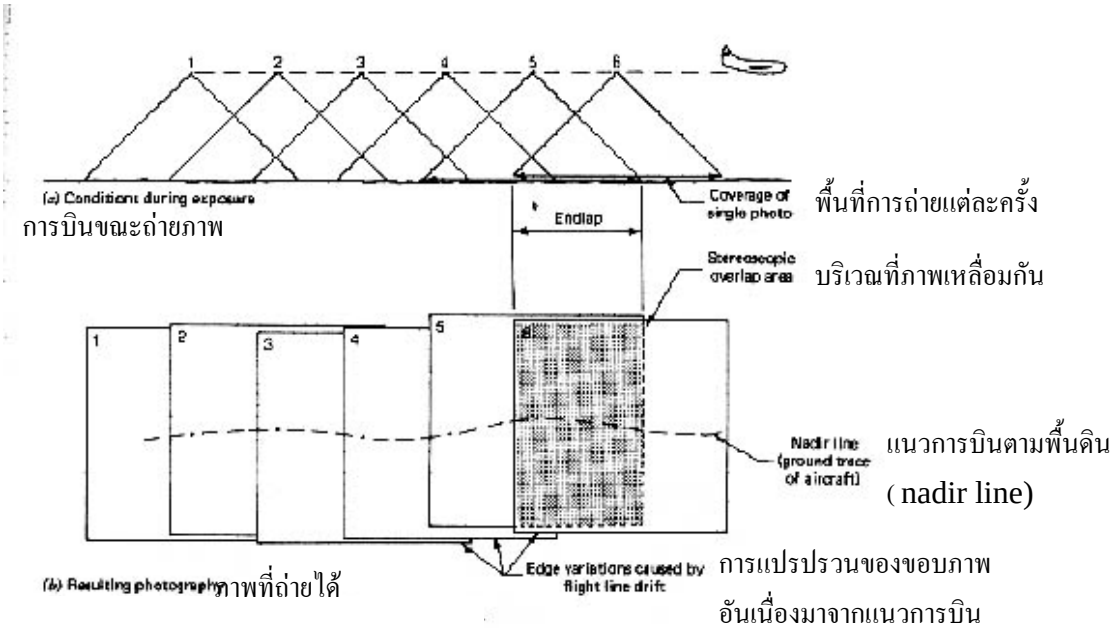
ข้อดีของภาพถ่ายเฉียงเมื่อเทียบกับภาพถ่ายดิ่ง ภาพถ่ายเฉียงสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า เมื่อถ่ายภาพจากความสูงเท่ากัน และใช้เลนซ์ที่มีความยาวโฟกัสของกล้องเท่ากัน ในบริเวณพื้นที่ที่มักจะถูกเมฆปกคลุมอยู่เสมอ การถ่ายเฉียงอาจจะได้ภาพที่ชัดเจนพอสมควร ภาพถ่ายเฉียงจะดูเป็นสภาพธรรมชาติ และรู้สึกคุ้นเคยมากกว่า เพราะเหมือนกับการมองจากที่สูง และสามารถมองเห็นรายละเอียดหรือวัตถุบางอย่าง ที่ไม่สามารถมองเห็นได้จากภาพถ่ายดิ่งถ้าวัตถุนั้นถูกบังจากด้านบน เช่น วัตถุที่อยู่ใต้แนวของพื้นที่ป่าไม้ ภาพถ่ายเฉียงมีมาตราส่วนของภาพไม่เท่ากันตลอดทั้งภาพ ทำให้ยากต่อการทำรังวัด และไม่สามารถมองเป็นภาพสามมิติ

การบินถ่ายรูปภาพดิ่งทางอากาศ

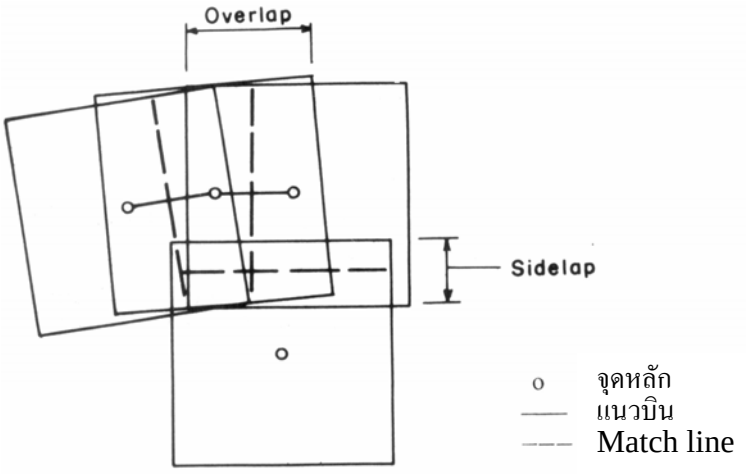
ภาพถ่ายดิ่งเป็นภาพที่ใช้ในการรังวัดและการสำรวจ การถ่ายภาพดิ่งภูมิประเทศทางอากาศต้องถ่ายในเวลากลางวัน ที่อากาศดีและไม่มีเมฆ กล้องที่ใช้ถ่ายภาพเป็นกล้องแบบเฟรม และถ่ายตามแนวบิน (flight line หรือ flight strip) ต่อเนื่อง คลุมพื้นที่เหลื่อมกันตามแนวบิน (overlap) ซึ่งจะได้ภาพที่มีส่วนซ้อนกัน 50 - 60 % ตามแนวบิน และมีการเหลื่อมกันของแต่ละแนวบิน (sidelap) โดยประมาณ 10 - 30 % (**รูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4**) ระยะห่างระหว่างการบินถ่ายภาพแต่ละจุดเรียกว่า ฐานบิน (air base) การถ่ายภาพลักษณะนี้ นอกจากจะมั่นใจว่าได้ถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดในแนวบินแล้ว บริเวณที่เหลื่อมกันสามารถทำให้ดูภาพเป็นสามมิติได้ (stereoscopic coverage) ซึ่งนำไปใช้ในการขยายปริมาณหมุดหลักฐานในงานคำนวณการสำรวจถ่ายภาพ และใช้ในการทำแผนที่

ภาพถ่ายทางอากาศไม่ได้ประกอบด้วยภาพเพียงอย่างเดียว แต่จะมีข้อมูลอื่นๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับภาพที่ติดมากับภาพถ่าย ซึ่งจะเห็นได้จากบริเวณขอบภาพ คือ

- หน่วยงานที่ถ่ายภาพ
- เลขที่แนวบิน และเลขที่ภาพถ่ายในแต่ละแนวบิน
- ความยาวโฟกัสของเลนซ์
- เวลา และวันที่ขณะถ่ายภาพ
- ความสูงขณะถ่ายภาพ
- จุดวัดระดับ (ลูกน้ำ) ที่วัดระดับความเอียงของภาพในขณะที่ถ่ายภาพ
- อื่นๆ เช่น มาตราส่วน ทิศ



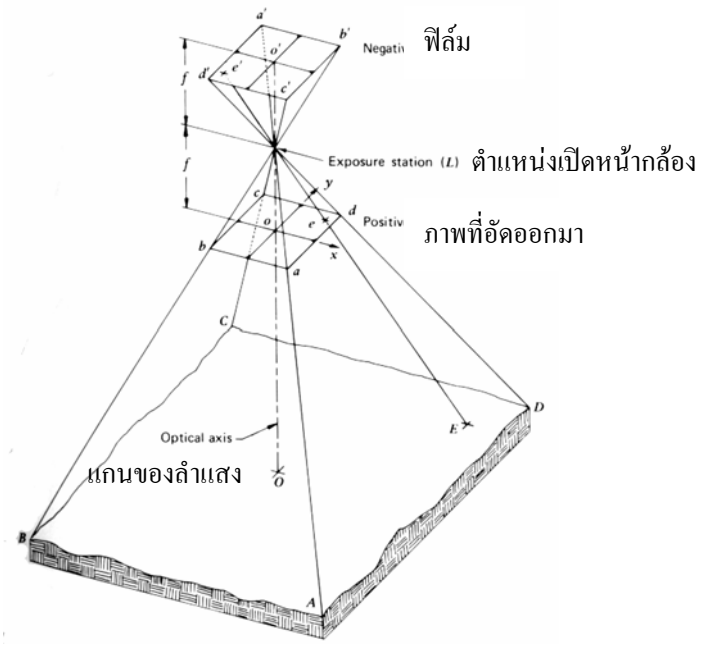
รูปที่ 3.3 การเหลื่อมกันของภาพถ่ายทางอากาศตามแนวบิน
ที่มา : Lillesand and Kiefer,1994



รูปที่ 3.4 การเหลื่อมกันของภาพถ่ายทางอากาศ
ที่มา : Zuidam, 1986

เครื่องหมายและ จุดต่าง ๆ ในภาพถ่าย

การมองภาพสามมิติ จะต้องรู้จักเครื่องหมายต่าง ๆ ในภาพถ่าย การวัดสิ่งต่าง ๆจากภาพถ่ายเดี่ยว เช่น การวัดความยาวของเส้น มุมระหว่างจุด หรือตำแหน่งของจุดบนภาพ ส่วนมากจะอ้างอิงแบบพิกัดฉาก (coordinate axes) ภาพถ่ายดิ่งจริงมีลักษณะทางเรขาคณิตตาม **รูปที่ 3.5** แต่ถ้าภาพไม่ดิ่งจริง จะมีจุดที่แตกต่างไปเป็นจุดศูนย์กลางภาพ 3 จุด **(รูปที่ 3.6)** คือ จุดหลัก (principal point) จุดดิ่ง (nadir point) และจุดไอโซเซนเตอร์ (isocenter) จุดทั้งสามใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง (displacement) จากที่ควรจะเป็นอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ภาพถ่ายดิ่งจริงจะมีเพียงจุดเดียว เพราะจุดทั้งสามจะทับกันตรงจุดศูนย์กลางของภาพ



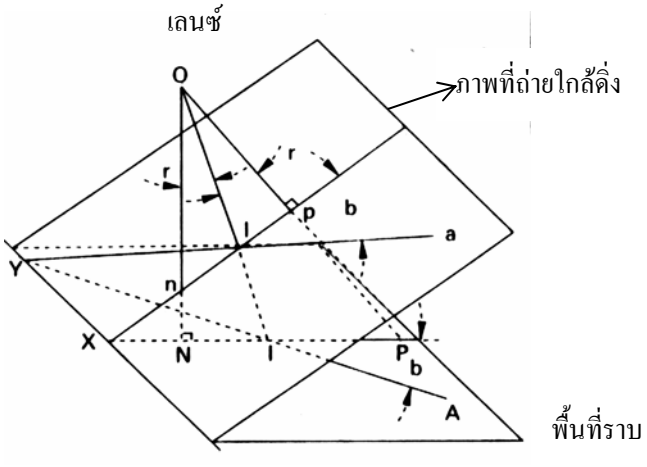
รูปที่ 3.5 องค์ประกอบพื้นฐานทางเรขาคณิตของภาพดิ่ง
ที่มา : Lillesand and Kiefer, 1994

จุดหลัก (p) คือ จุดปลายของเส้นตั้งฉากจากเลนซ์สัมผัสกับพื้นที่รับภาพ ซึ่งเป็นแนวแกนกล้อง จุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของภาพที่ได้ ไม่ว่าภาพหรือเลนซ์จะเอียงอย่างไร จุดนี้จะเป็นจุดกลางภาพเสมอ ความบิดเบี้ยวของภาพที่เกิดจากความบิดเบี้ยวเลนซ์ จะเกิดขึ้นตามแนวรัศมีจากจุดหลักนี้ (ปกติถ้าเลนซ์คุณภาพดีจะไม่มีปัญหานี้)

จุดดิ่ง (n) คือ จุดปลายของเส้นดิ่งที่ลากจากเลนซ์สัมผัสกับภาพถ่ายทางอากาศ หรือตั้งฉากกับพื้นที่หรือภาพที่ถ่ายดิ่งจริง จุดนี้ไม่สามารถหาได้โดยตรงจากภาพถ่าย จะต้องมีข้อมูลอื่นประกอบด้วย ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของจุดภาพ อันเกิดจากความสูงต่ำของสภาพพื้นที่เกิดขึ้นตามแนวรัศมีจากจุดนี้

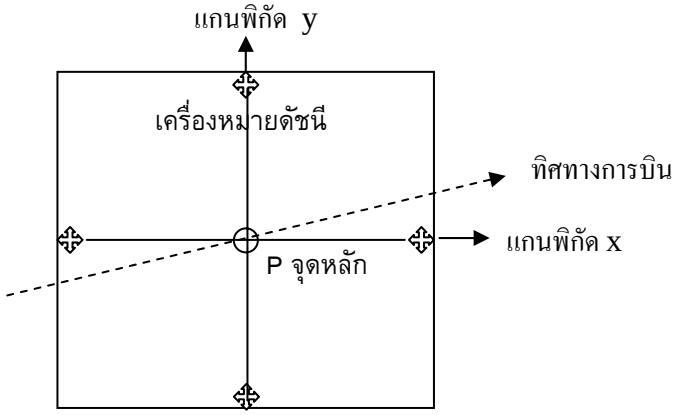
จุดไอโซเซนเตอร์ (i) คือ จุดที่แนวเส้นตรงที่แบ่งครึ่งมุมระหว่างแนวแกนกล้อง กับเส้นดิ่งที่ผ่านจุดรวมแสงของเลนส์สัมผัสกับพื้นที่รับภาพ จุดนี้เป็นจุดกึ่งกลางของความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากการเอียงของกล้องในขณะถ่ายภาพ (tilt displacement) จุดนี้ไม่สามารถกำหนดได้ทันทีบนภาพถ่าย เพราะขึ้นอยู่กับการเอียงของเครื่องบิน ดังนั้น โดยทางเทคนิค ภาพที่ใช้ควรเป็นภาพใกล้ดิ่ง

คือ แกนกล้องเอียงไม่เกิน 3° เพื่อไม่ให้ภาพเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมาก เพราะจุดไอโซเซนเตอร์จะได้อยู่ใกล้กับจุดหลักมากที่สุด



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของจุดหลัก (p) จุดดิ่ง (n) จุดไอโซเซ็นเตอร์ (i) และแกนพิกัดของภาพถ่ายใกล้ดิ่ง
ที่มา : McCloy, 1995

เครื่องหมายดัชนี (fiducial marks) หมายถึง เครื่องหมายที่อยู่กึ่งกลางด้านข้างของรูปภาพหรือบนมุมทั้งสี่ของภาพ เครื่องหมายนี้อาจทำเป็นเครื่องหมาย กากบาท จุด ลูกศร หรืออาจเป็นเครื่องหมายอื่นๆ แล้วแต่ชนิดของกล้อง ระบบอ้างอิงสำหรับพิกัดภาพมักจะเป็น ระบบแกนพิกัดฉากที่เกิดจากเส้นโยงเครื่องหมายดัชนีตรงข้ามดัง**รูป 3.7** ปกติจะถือเอาเส้นโยงเครื่องหมายดัชนีที่อยู่ขนานกับแนวบินเป็นแกน x และค่า x มีเป็นบวกไปตามทิศทางของแนวบิน ส่วน y มีค่าบวกทำมุม 90° ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกากับแกน x ซึ่งถือว่าเกือบตั้งฉากกับแนวบิน



รูปที่ 3.7 เครื่องหมายดัชนี จุดหลัก และ แกนพิกัด ของภาพถ่ายเดี่ยว
ดัดแปลงจาก Zuidam, 1986

มาตราส่วนของภาพถ่าย

มาตราส่วนของแผนที่ หรือภาพถ่าย แสดงถึง หนึ่งหน่วย (มาตรวัดใดก็ได้) ของระยะทางในภาพถ่าย ต่อหน่วยของระยะทางจริงหนึ่งๆ มาตราส่วนอาจแสดงในรูปของ หน่วยสมมูล เศษส่วน หรือ อัตราส่วน เช่น มาตราส่วนของภาพถ่าย 1 มิลลิเมตร = 25 เมตร (หน่วยสมมูล) หรือ 1 / 25,000 (เศษส่วน) หรือ 1:25,000 (อัตราส่วน)

สำหรับผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับมาตราส่วน มักจะสับสนระหว่างมาตราส่วนเล็ก กับ มาตราส่วนใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น ภาพที่มีมาตราส่วน 1:10,000 ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของเมือง ขณะที่ภาพมาตราส่วน 1:50,000 จะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของเมือง มาตราส่วนใดที่ใหญ่กว่ากัน คำตอบตามความรู้สึกมักจะเป็น ภาพที่ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าจะมีมาตราส่วนใหญ่กว่า แต่ความเป็นจริงภาพ ที่มีมาตราส่วนใหญ่กว่า คือ 1:10,000 เพราะภาพนี้แสดงบริเวณภูมิประเทศที่ใหญ่กว่า และให้รายละเอียดมากกว่าภาพมาตราส่วน 1:50,000 หลักการจำง่ายๆ ก็คือ วัตถุเดียวกันจะมีขนาดเล็กกว่าในภาพที่มีมาตราส่วนที่เล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่มีมาตราส่วนที่ใหญ่กว่า หรือเปรียบเทียบขนาดของเศษส่วนของมาตราส่วนก็ได้ เช่น1 / 50,000 มีค่าน้อยกว่า คือ มีขนาดเล็กกว่า 1 / 10,000

มาตราส่วนที่นิยมใช้สำหรับการอ่านและงานแปลความหมายภาพถ่าย จะเป็นมาตราส่วนของภาพถ่ายดิ่ง ระดับความสูงต่ำของภูมิประเทศจะทำให้มาตราส่วนของภาพถ่ายเปลี่ยนแปลงไป เช่น ในบริเวณที่เป็นภูเขา ยอดเขาอยู่ใกล้กล้องถ่ายภาพมากกว่าหุบเขา ดังนั้น มาตราส่วนบริเวณยอดเขาจึงใหญ่กว่ามาตราส่วนบริเวณหุบเขาในภาพเดียวกัน มาตราส่วนของภาพถ่ายดิ่งจะสม่ำเสมอกันในเฉพาะพื้นที่ราบเท่านั้น ดังนั้น มาตราส่วนของภาพถ่ายทางอากาศทั้งภาพ จึงเป็นค่ามาตราส่วนโดยเฉลี่ย ซึ่งเรียกว่า "Representative fraction" ซึ่งมีวิธีการคำนวณได้ดังนี้

1) ในกรณีที่ทราบค่าความยาวโฟกัสของเลนซ์ของกล้อง (f) กับ ความสูงเฉลี่ยของเครื่องบินที่บินเหนือภูมิประเทศ (H′)

มาตราส่วน = ความยาวโฟกัส / ความสูงเฉลี่ยของเครื่องบินเหนือภูมิประเทศ

2) ในกรณีที่สามารถวัดระยะระหว่างจุด 2 จุดบนภาพถ่ายทางอากาศ และ ระยะทางจริงในภูมิประเทศ

มาตราส่วน = ระยะบนภาพถ่าย / ระยะทางในภูมิประเทศจริง

3) ในกรณีที่มีแผนที่ภูมิประเทศที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเดียวกันกับภาพถ่ายทางอากาศ

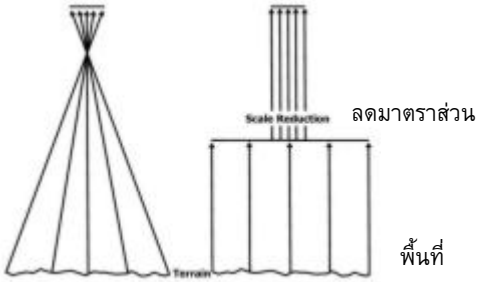
มาตราส่วน = มาตราส่วนของแผนที่ x ระยะบนภาพถ่าย / ระยะบนแผนที่

4) ในกรณีที่ไม่สามารถวัดระยะที่ถูกต้องในสภาพภูมิประเทศ เราสามารถคำนวณหามาตราส่วนของภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยวิธีการวัดระยะความยาววัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่าย เช่น ความยาวของรถยนต์ ความกว้างของรางรถไฟ ระยะห่างระหว่างเสาโทรเลขหรือเสาไฟฟ้า แล้วเทียบกับค่าความยาวมาตรฐานของวัตถุนั้น ในหน่วยการวัดเดียวกัน มาตราส่วนที่ได้เป็นมาตราส่วนเฉพาะจุด (point scale) ของบริเวณที่ทำการวัดระยะ

มาตราส่วน = ขนาดของวัตถุที่วัดได้บนภาพถ่าย / ขนาดมาตรฐานของวัตถุที่เป็นจริง

ความบิดเบี้ยวและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศแตกต่างจากแผนที่ เนื่องจากวัตถุและลักษณะภูมิประเทศบนแผนที่ มีความถูกต้องทั้งทางตำแหน่ง และรูปร่างลักษณะเหมือนกับที่ปรากฏในสภาพจริง ยกเว้น ในมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ เนื่องจากแผนที่ เป็นการถ่ายทอดจุดในลักษณะแนวดิ่ง (orthographic) และใช้มาตราส่วนคงที่ในการแสดงวัตถุนั้น ในทางตรงกันข้ามกับภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งการถ่ายทอดตำแหน่งเป็นแบบการรวม และกระจายจากจุดศูนย์กลาง (central projection) ดัง**รูปที่ 3.8**



กระจายจากจุดศูนย์กลาง กระจายตามแนวดิ่ง

รูปที่ 3.8 การถ่ายทอดจุดในลักษณะกระจายจากจุดศูนย์กลางและจากแนวดิ่ง
ที่มา : Paine, 1981

สาเหตุการเกิดความบิดเบี้ยวและความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพ มีดังนี้ คือ

สาเหตุของความบิดเบี้ยว

1. การยืดหดของฟิล์มหรือกระดาษอัดรูป
2. การสะท้อนของคลื่นแสงในบรรยากาศ
3. ภาพไหว
4. การบิดเบี้ยวของเลนซ์

สาเหตุของการเคลื่อนของตำแหน่ง

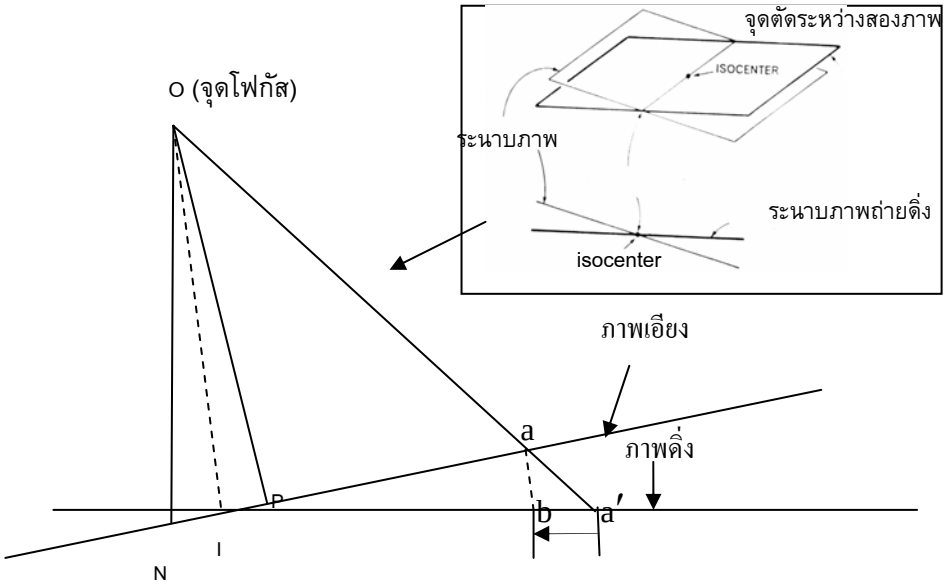
1. ความโค้งของผิวโลก
2. การเอียงของกล้อง
3. ความสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศและ - ความสูงของวัตถุ

โดยปกติการบิดเบี้ยวของภาพจะเกิดขึ้นน้อยมาก ถ้าใช้วัสดุและกล้องที่มีคุณภาพดี แต่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบการถ่ายภาพที่มีจุดโฟกัสอยู่ที่จุดกึ่งกลางเลนซ์ ยังมีการเคลื่อนของตำแหน่ง ซึ่งจะเกิดในแนวรัศมีจากจุดกลางภาพ (radial displacement) เพราะเมื่อถ่ายภาพดิ่งเหนือศูนย์กลางภาพ ทำให้ระยะทางจากกล้องถึงพื้นเพิ่มขึ้น ตามรัศมีออกจากศูนย์กลางภาพ ลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับภาพทุกภาพ แต่จะลดลงเมื่อถ่ายภาพในระดับที่สูงขึ้น

ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดจากการเอียงของเครื่องบิน

ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภูมิประเทศ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน มักจะเกิดจากการเอียงตัวของเครื่องบิน ภาพถ่ายภูมิประเทศที่ได้ จะมีลักษณะคล้ายภาพถ่ายเฉียงต่ำเล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนแบบนี้โดยทั่วไป เกิดตามแนวแกนของปีกเครื่องบิน หรือตามแนวบิน ระยะคลาดเคลื่อนในลักษณะดังกล่าว จะเกิดตามแนวรัศมีจากจุดไอโซเซ็นเตอร์ของภาพ ทำให้ตำแหน่งจริงของวัตถุ เคลื่อนเข้าหาจุดไอโซเซ็นเตอร์ในส่วนบนของภาพ และจะเคลื่อนออกไปจากจุดไอโซเซ็นเตอร์

ถ้าจุดภาพนั้นอยู่ส่วนล่างของภาพ ดัง**รูปที่ 3.9** ดังนั้นถ้าเราทราบทิศทางของการเอียงตัวของเครื่องบิน เราก็จะแก้ไขภาพให้ถูกต้องได้



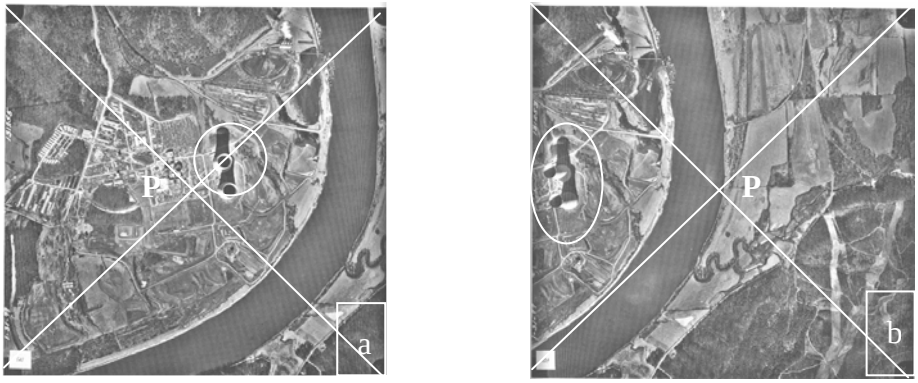
รูปที่ 3.9 การเคลื่อนของตำแหน่งเนื่องจากการเอียงของเครื่องบิน จุด a แทนจุดภาพของพื้นที่บนภาพที่เอียง ส่วน a′แทนจุดภาพของพื้นที่เดียวกันบนภาพดิ่ง
ดัดแปลงจาก McCloy, 1995

จุด a บนภาพที่เอียงได้เคลื่อนตำหน่งจาก จุด a′ ไปยัง b เข้าหาจุดไอโซเซ็นเตอร์ ฉะนั้น ตำแหน่งของจุดภาพที่แท้จริงจะเคลื่อนในแนวรัศมีเข้าใกล้จุดไอโซเซ็นเตอร์เท่ากับระยะทาง ba′ การเคลื่อนตำแหน่งของวัตถุบนภาพดังกล่าวเกิดขึ้นทั้งในส่วนบนและส่วนล่างของภาพจากจุดไอโซเซ็นเตอร์ และมีทิศทางการเคลื่อนไปในทางตรงข้าม การหาค่าเฉลี่ยของมาตราส่วนอาจทำได้โดยการวัดระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุด ที่ห่างจากจุดไอโซเซ็นเตอร์และอยู่ในแนวรัศมีตรงข้าม หารด้วยระยะจริงของจุดทั้งสองในพื้นที่จริง จะเป็นการลดการผิดพลาดให้น้อยลง

ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดจากความสูงของวัตถุ

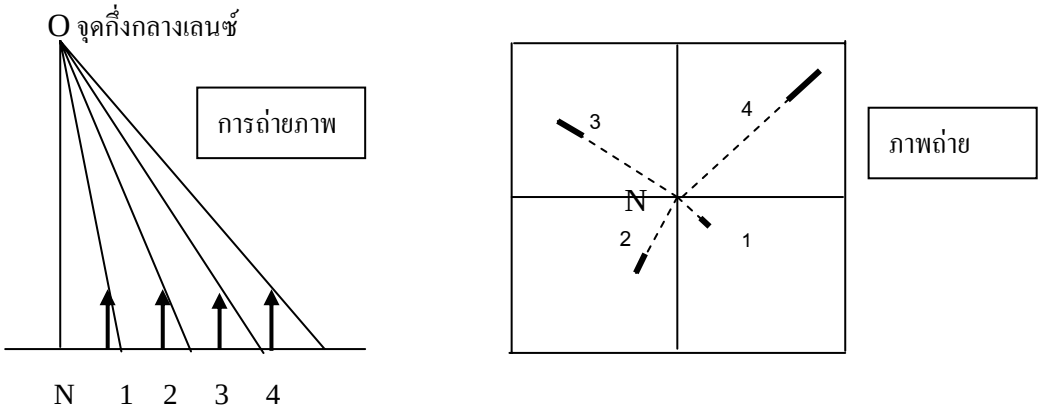
ลักษณะความคลาดเคลื่อนแบบนี้ นับว่ามีความสำคัญในกระบวนการวัดจากภาพ **รูปที่ 3.10** แสดงการเคลื่อนของตำแหน่งอันเนื่องมาจากความสูงของปล่องทำความเย็นของโรงไฟฟ้าปรมาณู ปล่องทำความเย็นที่ถ่ายใกล้กับจุดหลัก มีการเคลื่อนของตำแหน่งน้อยกว่าปล่องทำความเย็นที่ถ่ายไกลจากจุดหลัก

การเคลื่อนของตำแหน่งนี้ เกิดในแนวรัศมีจากจุดดิ่ง **รูปที่ 3.11** แสดงให้เห็น ระยะการเคลื่อนของตำแหน่ง ผันแปรโดยตรงกับระยะห่างจากจุดดิ่งถึงวัตถุนั้น จากรูป วัตถุที่มีความสูงเท่ากันแต่อยู่ห่างจากจุดดิ่งในระยะทางต่างกัน วัตถุตำแหน่งที่ 4 ซึ่งอยู่ไกลจากจุดดิ่งมากที่สุด จะมีการเคลื่อนของตำแหน่งมากกว่าวัตถุตำแหน่งที่ 3 2 1 ซึ่งอยู่ห่างจากจุดดิ่งน้อยลงตามลำดับ



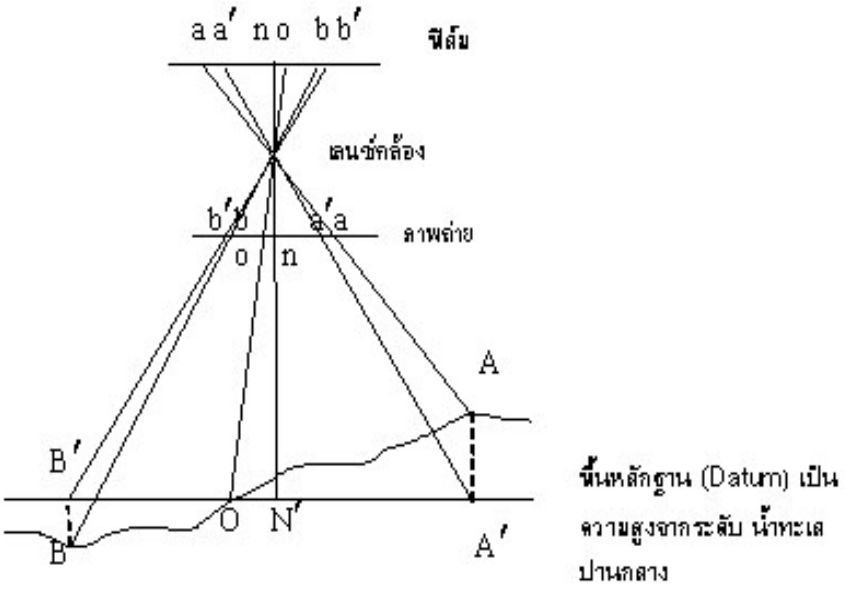
รูปที่ 3.10 การเคลื่อนของตำแหน่งอันเนื่องมาจากความสูง ตัวอย่างจากปล่องทำความเย็นของโรงไฟฟ้าปรมาณูที่อยู่ ใกล้กับจุดหลัก (a) และ ไกลจากจุดหลัก (b)

ที่มา : Lillesand and Kiefer, 1994



รูปที่ 3.11 การเคลื่อนของตำแหน่งที่เกิดจากความสูงของวัตถุเกิดในแนวรัศมีจากจุดดิ่ง
ดัดแปลงจาก www.Geog.uscb.edu

การเคลื่อนของตำแหน่งที่อยู่ในแนวรัศมีจากจุดดิ่ง จะถอยเข้าหรือออกจากจุดดิ่ง ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของวัตถุนั้น เมื่อเทียบกับจุดดิ่ง และพื้นหลักฐาน ดัง**รูป 3.12** จะเห็นว่า ถ้าพื้นหลักฐานอยู่บนจุดดิ่ง จุดที่อยู่สูงกว่าจุดดิ่ง (A) จะเคลื่อนห่างจากจุดดิ่ง (a) และจุดที่อยู่ต่ำกว่าจุดดิ่ง (B) จะมีการเคลื่อนตำแหน่งเข้าหาจุดดิ่ง (b)



รูปที่ 3.12 ทิศทางการเคลื่อนจากตำแหน่งของพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าและต่ำกว่าพื้นหลักฐานและจุดดิ่ง ดัดแปลงจาก www.Geog.uscb.edu

การเคลื่อนของตำแหน่งเนื่องจากความสูงของวัตถุสามารถใช้ในการหาตำแหน่งจุดดิ่งได้ เนื่องจากการเคลื่อนของตำแหน่งนี้เป็นรัศมีออกจากจุดดิ่ง ดังนั้น ถ้าเราขยายการเคลื่อนของตำแหน่งของตึกที่อยู่ในตำแหน่งแตกต่างกัน จุดตัดของเส้นก็จะเป็น จุดดิ่ง

การเคลื่อนของตำแหน่งแบบนี้เกิดจากระบบการถ่ายภาพร่วมกับความสูงต่ำของพื้นที่ แต่ลักษณะนี้ให้ประโยชน์หลายอย่าง คือ ทำให้สามารถเห็นภาพเป็นสามมิติ (stereo viewing) ทำให้สามารถวัดความสูงของวัตถุได้ และสามารถทำแผนที่ภูมิประเทศได้

การวัดความสูงของวัตถุจากภาพเดี่ยว

ภาพถ่ายเดี่ยวสามารถนำมาใช้วัดความสูงของวัตถุได้ ดังแสดงใน**รูปที่ 3.13**

จากรูป 3.13 แสดงให้เห็นจุด A ได้เคลื่อนออกไปจากตำแหน่ง A′ ซึ่งอยู่บนพื้นหลักฐานไปตามแนวรัศมีจากจุดดิ่ง เป็นระยะเท่ากับ d หรือ (r ลบด้วย r′) ซึ่งเราสามารถวัดการเคลื่อนของตำแหน่ง (d) ได้จากรูปภาพ ค่า d หาได้จาก

$$d = r h / H$$

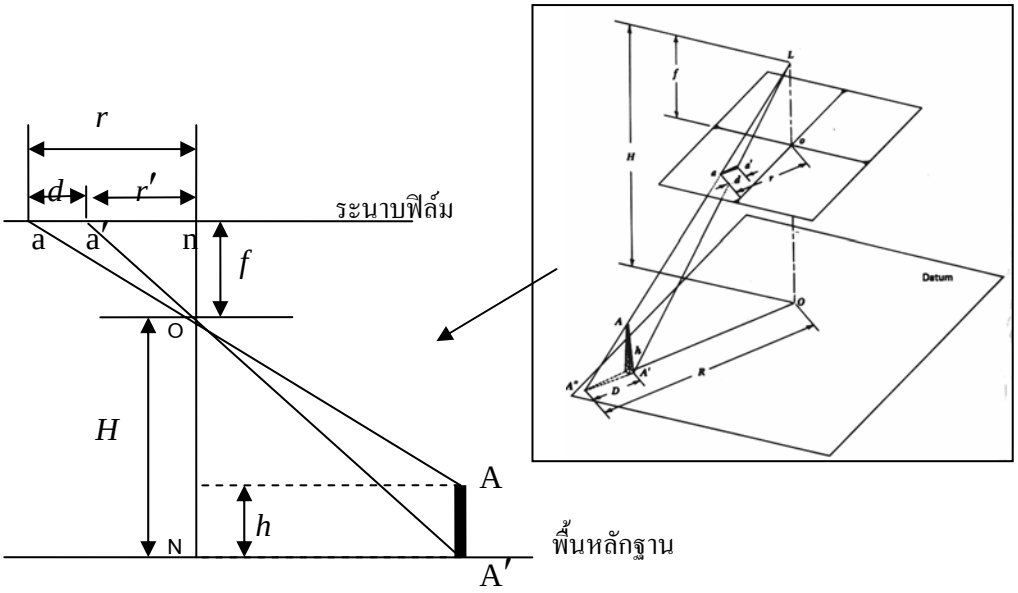
โดยที่ d = ระยะการเคลื่อนตำแหน่งเนื่องจากความสูง

r = ระยะตามแนวรัศมีในภาพถ่ายจากจุดดิ่งไปยังยอดวัตถุที่พิจารณา

h = ความสูงของวัตถุเหนือพื้นหลักฐาน

H = ความสูงของการบินถ่ายภาพเหนือพื้นหลักฐาน

หรือ ถ้าเราทราบค่า d โดยการวัดจากภาพถ่าย เราก็สามารถที่จะคำนวณ**ความสูงของวัตถุเหนือพื้นหลักฐานได้** (h)



รูปที่ 3.13 เรขาคณิตของการเคลื่อนตำแหน่งจากความสูง d เป็นระยะที่เคลื่อนที่เนื่องจากความสูงของวัตถุ

ดัดแปลงจาก Lillesand and Kiefer, 1994

การหาความสูงของวัตถุจากภาพเดี่ยว ภาพที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

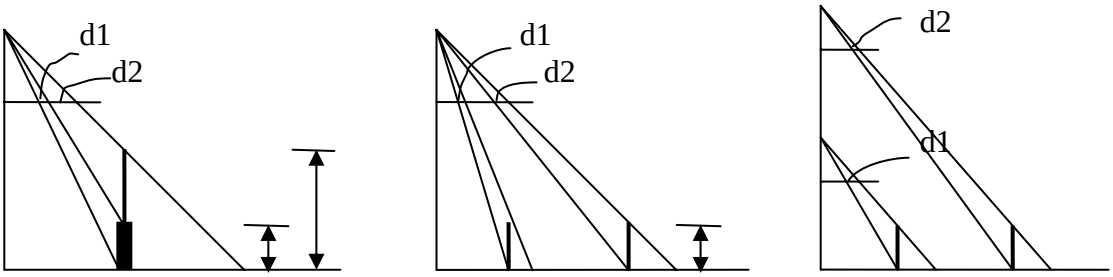
- ภาพต้องมีมาตราส่วนค่อนข้างใหญ่
- วัตถุต้องอยู่บนพื้นหลักฐานเดียวกับจุดดิ่งหรือจุดหลัก
- ภาพถ่ายต้องเป็นภาพถ่ายดิ่ง
- ยอดและฐานวัตถุต้องเห็นได้ชัดเจนในภาพ
- วัตถุต้องฉายดิ่งจากพื้นหลักฐาน
- การเคลื่อนของตำแหน่งต้องเบนออกจากจุดหลัก และจุดยอดต้องทอดตัวออกจากจุดกึ่งกลางภาพไปไกลกว่าฐานของภาพ

จะเห็นว่าการวัดความสูงของวัตถุ แม้ว่าจะทำได้โดยการวัดจากภาพเดี่ยว แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านการถ่ายภาพมาก การวัดจากภาพคู่สามมิติจะมีข้อจำกัดน้อยกว่า เพราะค่าที่วัดได้จะเป็นค่าสัมพัทธ์ หรือเป็นความแตกต่างระหว่างค่าของความสูง ซึ่งสามารถนำไปเทียบเป็นค่าที่ต้องการได้ รายละเอียดของการคำนวณ หาได้จากหนังสือที่เขียนเกี่ยวกับภาพถ่ายทางอากาศ (Lillesand and Kiefer,1994 ; McCloy, 1995 ; Paine, 1981)

อย่างไรก็ตาม จากสมการข้างบนนี้ สามารถสรุปเป็นกฎได้ 3 ข้อ คือ (**รูปที่ 3.14**)

1. ค่า d เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความสูงของวัตถุ (h) เช่น ภูเขาที่สูง1000 ฟุต ย่อมมีระยะการเคลื่อนตำแหน่งเป็นสองเท่าของภูเขาที่สูง 500 ฟุต
2. ค่า d เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ระยะทางจากวัตถุถึงจุดดิ่ง (r) เช่น ในระดับความสูงของวัตถุที่เท่ากัน จุดภาพที่ห่างจากจุดดิ่งเป็นระยะ 4 นิ้ว ย่อมมีการเคลื่อนตำแหน่งเป็นสองเท่าของจุดภาพที่ห่างจากจุดดิ่ง 2 นิ้ว และที่จุดดิ่งจะไม่มีการเคลื่อนของตำแหน่ง

3. ค่า d เป็นสัดส่วนโดยกลับกับ ความสูงของกล้องเหนือพื้นดิน ฉะนั้นจึงแทบไม่มีการเคลื่อนของตำแหน่งของจุดภาพ ถ้าหากความสูงของการถ่ายภาพสูงมากๆ เช่น ถ่ายจากสถานีอวกาศ



ผลของความสูงวัตถุ, h d2 > d1

ผลของความระยะทาง, r d2 > d1

ผลของความสูงการถ่ายภาพ, H d2 < d1

รูปที่ 3.14 ผลของความสูงวัตถุ ระยะทาง และ ความสูงการถ่ายภาพ ที่มีต่อการเคลื่อนของตำแหน่งของวัตถุในภาพ จากการถ่ายภาพแบบมีจุดศูนย์กลางกลางภาพ
ดัดแปลงจาก WWW.Geog.uscb.edu

โดยสรุป ภาพถ่ายทางอากาศเป็นเทคนิคการสำรวจระยะไกลที่มีมานานตั้งแต่อดีต และเปรียบเสมือนกระดูกสันหลังของการสำรวจระยะไกลเพราะสามารถหาภาพได้ทั่วไป ภาพแสดงลักษณะทางเรขาคณิตที่เหมือนจริง เอาไปใช้ได้อย่างหลากหลายและราคาไม่แพง อย่างไรก็ตามภาพถ่ายทางอากาศก็มีข้อจำกัด เช่น ภาพถ่ายทางอากาศได้มายาก เก็บรักษายาก จัดการยาก ปรับแต่งยาก และแปลความหมายได้จำกัด ในปัจจุบันเทคนิคการถ่ายภาพด้วยระบบตัวเลขได้มีการประยุกต์ใช้กันมากขึ้น