



บทความทางวิชาการ

เทคนิคการสำรวจทางภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข Digital Photogrammetry Surveying Technique

ธีระ ลิลิตวารังกูร วศ.ม. (การสำรวจ)
Theera Lilitwarangkul

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 91 ถ.ประชาธิปไตย
บางมด กรุงเทพฯ 10140
Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 91
Prachauthit Road (Suksawad 48), Bangmod, Thung Kharu District, Bangkok 10140

บทนำ

การสำรวจเป็นรากฐานเพื่อหาตำแหน่งของจุดที่สัมพันธ์กับพื้นผิวของภูมิประเทศโดยการกำหนดตำแหน่งของหมุดได้จากกรวยระยะราบ ระยะตั้ง มุมราบ มุมตั้งและทิศทางของเส้นฐาน (Base Line) ในการทำงานรังวัดจึงถือได้ว่าการสำรวจเป็นศาสตร์อย่างหนึ่งที่มีมานานและได้มีการพัฒนาเครื่องมือให้ความก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นลำดับ จากในอดีตที่ทำการสำรวจจะประกอบด้วยเทปวัดระยะ (Tape) กล้องวัดมุม (Theodolite) และหลักขาวแดง (Pin) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณด้วยมือบนกระดาษ (Hard Copy) ด้วยเครื่องคำนวณ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์และภาพถ่ายเชิงเลขโดด (Digital Image) มาใช้ในการทำงานร่วมกัน จากแนวความคิดเดิมที่ทำการถ่ายภาพเพื่อเก็บรายละเอียดในพื้นที่ในเชิงท้องที่เพียงอย่างเดียวก็ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Image) เพื่อนำมารังวัดหาตำแหน่งของจุดต่าง ๆ บนภูมิประเทศ จากการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง

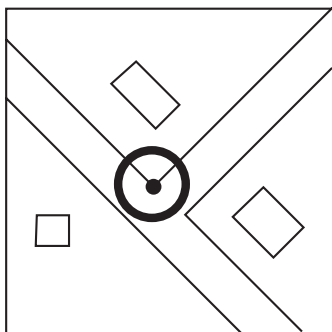
คอมพิวเตอร์จึงทำให้การสำรวจและการกำหนดตำแหน่งของหมุดในพื้นที่ที่ทำการสำรวจมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น ปัจจุบันการหาตำแหน่งของหมุดบนพื้นผิวภูมิประเทศจากวิธีการสำรวจภาคพื้นดิน (Earth Surface Surveying) เพียงอย่างเดียวก็เปลี่ยนไปใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข (Digital Photogrammetry Surveying) ควบคู่กันมากขึ้น ในการหาตำแหน่งและทำการขยายหมุดบังคับทางราบ (Horizontal Ground Control) จำนวนมาก ๆ อีกทั้งยังสามารถทำการเก็บรายละเอียดเพื่อสร้างแผนที่ภูมิประเทศและเส้นชั้นความสูง (Contour) ได้ในระยะเวลาอันรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง จึงเรียกได้ว่าการสำรวจทางภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขจึงมีบทบาทมากในปัจจุบัน โดยขั้นตอนในการสำรวจทางภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขนี้ จะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ๆ 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

- การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย
- การสร้างข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศและทำให้เป็นภาพถ่ายจริง

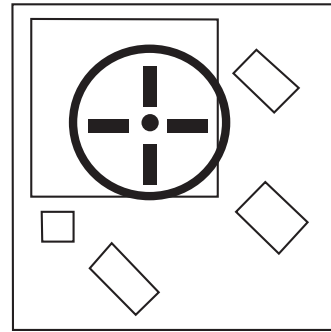


1. การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย

ในการสำรวจทางภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข การกำหนดจุดควบคุมบนภาพถ่าย เป็นสิ่งสำคัญที่จะบ่งชี้ตำแหน่งของพิกัดบนภาพถ่ายที่อ้างอิงกับพิกัดของพื้นหลักฐาน ดังนั้นจุดดังกล่าวจึงจำเป็นต้องเห็นเด่นชัดและชี้เจาะจงได้บนภาพ เพราะเมื่อไปทำการรังวัดหาตำแหน่งในสนามก็จะสามารถรังวัดหาค่าพิกัดบนภูมิประเทศที่สัมพันธ์กับภาพถ่ายได้อย่างถูกต้อง ลักษณะของภูมิประเทศที่กำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo Control Point) จะเป็นส่วนทางแยกของถนนหรือมุมขอบสนามที่มีพื้นที่บริเวณรอบ ๆ กว้างไม่มีสิ่งกีดขวางรบกวนในการมองเห็น เมื่อทำการถ่ายภาพภาพถ่ายทางอากาศแล้วจะสามารถปรากฏให้เห็นบนภาพถ่ายได้ แต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถกำหนดจุดบนภูมิประเทศให้เห็นชัดเจนจึงต้องมีการสร้างเป้าหมายเพื่อให้สามารถไปปรากฏบนภาพถ่ายได้โดยคำนึงถึงว่าจุดต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถเห็นได้หรือประมาณ 40 - 60 ไมครอนของมาตราส่วนภาพถ่ายทางอากาศนั้น แล้วเมื่อนำไปสแกนเป็นภาพถ่ายเชิงเลขโคดแล้วจะต้องมีขนาดของจุดประมาณ 5 - 10 จุดภาพ



รูปที่ 1 จุดควบคุมบนภาพถ่ายโดยกำหนดจากภาพ



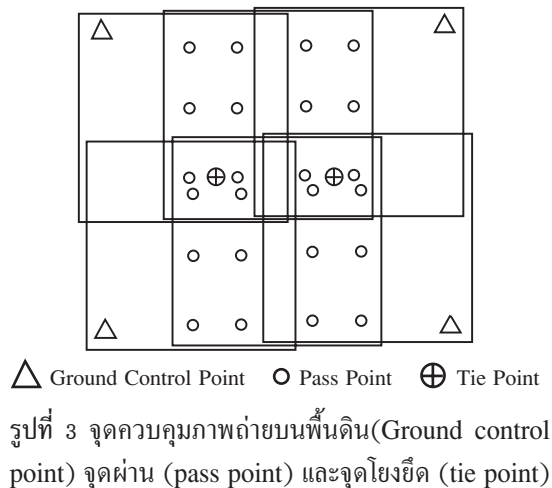
รูปที่ 2 จุดควบคุมบนภาพถ่ายที่สร้างขึ้น

จากจุดควบคุมภาพถ่ายที่ได้กำหนดขึ้นจะสามารถนำไปหาตำแหน่งพิกัดของภาพถ่ายที่สัมพันธ์กับพื้นดิน และขยายหมุดควบคุมได้เพิ่มขึ้นบนภาพถ่าย อีกทั้งยังนำไปใช้ในการปรับแก้แนวบินของการถ่ายภาพในแต่ละเที่ยวบิน ซึ่งอาจจะมีหลายเที่ยวและหลายภาพในแต่ละแนวบิน ในการบินถ่ายภาพ ทำให้ภาพถ่ายทางอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่นั้นมีความสัมพันธ์กันทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพถ่ายและภูมิประเทศในแต่ละแนวบินครอบคลุมภูมิประเทศที่ทำการสำรวจมากยิ่งขึ้น จึงต้องมีการกำหนดจุดบังคับอีก 2 แบบ คือ

1.1 จุดผ่าน (Pass Point)

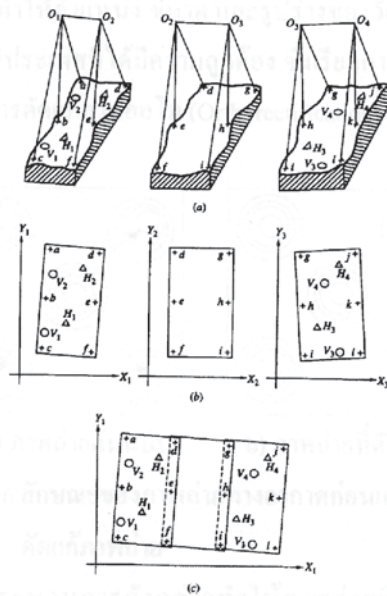
1.2 จุดโยงยึด (Tie Point)

จุดผ่าน (Pass Point) เป็นจุดควบคุมบนภาพถ่ายที่อยู่ระหว่างสองภาพขึ้นไปสัมพันธ์กันในแนวบินเดียวกัน ส่วนจุดโยงยึด (Tie Point) เป็นจุดควบคุมบนภาพถ่ายที่อยู่ระหว่างสองภาพขึ้นไปสัมพันธ์กันในระหว่างแนวบิน ซึ่งจุดผ่านจะมีจำนวนอย่างน้อย 6 จุดในสองภาพแต่ละแนวบิน ส่วนจุดโยงยึดจะมีจำนวนอย่างน้อย 1 จุดในสองภาพระหว่างแนวบิน ดังนั้นในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดบนภาพถ่ายจะเป็นค่าพิกัดของภาพถ่ายเชิงเลขโคดที่มีค่าเป็นจุดภาพ (Pixel) ส่วนค่าพิกัดบนภูมิประเทศที่ต้องการหามีค่าเป็นระยะทางแกน x และ y ของพื้นผิวอ้างอิง (Datum)



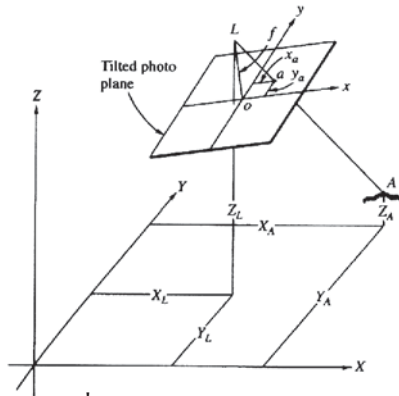
2. ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศและภาพถ่ายดิจิทัล

ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerotriangulation) เป็นการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศหลังจากการถ่ายภาพในแต่ละแนวบินบนภูมิประเทศที่ทำการสำรวจและกำหนดจุดควบคุมในสนามแล้ว เพื่อปรับแก้มุมบนภาพถ่ายด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ให้มีความสัมพันธ์กันตลอดบนพื้นที่ของการสำรวจ ในการปรับแก้นี้จะใช้มุมควบคุมที่ทราบค่าพิกัดบนภูมิประเทศและบนภาพถ่าย พร้อมทั้งค่าพิกัดของจุดเปิดถ่าย แล้วทำการปรับแก้ภาพซึ่งเรียกว่าการจัดภาพภายใน (Interior Orientation) ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัวในแต่ละจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดทางแกน x , y , z และค่าพิกัดของจุดที่ทำการเปิดถ่าย ซึ่งเรียกว่า การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation) ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 6 ตัว ณ จุดที่ทำการเปิดถ่ายในแต่ละภาพ โดยรูปแบบของข่ายสามเหลี่ยมในการปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศจะมีลักษณะดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบของข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ a) ภาพถ่ายแต่ละคู่มีจุดถ่ายภาพที่สัมพันธ์กัน b) จุดควบคุมบนภาพถ่ายที่ตำแหน่งเดียวกันจะถูกปรับให้มีค่าพิกัดเหมือนกันระหว่างภาพถ่ายแต่ละคู่ c) หลังจากการปรับแก้ค่าพิกัดของภาพถ่ายจะทำให้จุดควบคุมซ้อนทับเป็นแนวเดียวกันบนภาพ (Paul and Bon, 2000)

ซึ่งการปรับแก้จะใช้ทฤษฎีสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Condition) (Paul and Bon, 2000) ซึ่งสภาวะร่วมเส้นคือสภาพที่ตำแหน่งถ่ายภาพ จุดของวัตถุใดๆ และจุดภาพของวัตถุนั้นอยู่บนภาพถ่ายในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังรูปที่ 5 ซึ่งวิธีเชิงวิเคราะห์โดยการปรับแก้จะใช้หลักการของลีสต์สแควร์แบบสมการค่าสังเกต (Observation Equation Least Square)



รูปที่ 5 สภาวะของสมการร่วมเส้น

โดยรูปสมการมีดังนี้คือ

$$x_a = x_o - f \begin{bmatrix} m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L) \\ m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L) \end{bmatrix}$$

$$y_a = y_o - f \begin{bmatrix} m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L) \\ m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L) \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$m_{11} = \cos\phi \cos\kappa$$

$$m_{12} = \sin\omega \sin\phi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa$$

$$m_{13} = -\cos\omega \sin\phi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa$$

$$m_{21} = -\cos\phi \sin\kappa$$

$$m_{22} = -\sin\omega \sin\phi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa$$

$$m_{23} = \cos\omega \sin\phi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa$$

$$m_{31} = \sin\phi$$

$$m_{32} = -\sin\omega \cos\phi$$

$$m_{33} = \cos\omega \cos\phi$$

โดยที่

m คือสัมประสิทธิ์การหมุนของรูปโดยที่ ω , ϕ และ

κ เป็นการหมุนรอบแกน x , y และ z ตามลำดับ

f = ความยาวโฟกัส

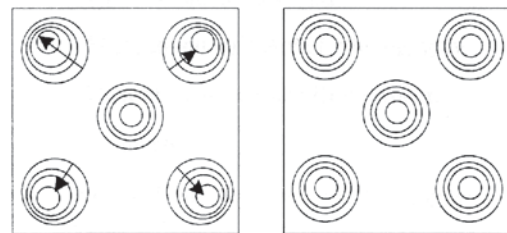
x_a, y_a = ค่าพิกัดบนภาพถ่ายของจุดที่ต้องการ

x_o, y_o = ค่าพิกัดบนภาพถ่ายของจุดกลางภาพ

X_A, Y_A, Z_A = ค่าพิกัดบนพื้นดินที่ตำแหน่งเดียวกันกับ
ภาพถ่าย

X_L, Y_L, Z_L = ค่าพิกัดบนพื้นดินของจุดถ่ายภาพ

จากสมการสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Condition) จะ
ทำปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความคลาดเคลื่อนทาง
ด้านเรขาคณิต (Geometric Correction) และทาง
ตำแหน่งของจุดภาพ (Relief Displacement)
ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็เนื่องมาจากการบิน
ถ่ายภาพแล้วกล้องเกิดการเบนออกจากศูนย์กลางของ
กล้องทำให้การวางตัวของกล้องและความสูงต่ำของภูมิ-
ประเทศเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น เมื่อทำปรับแก้ผลที่ได้
จะทำให้ตำแหน่ง ขนาด และรูปร่างของวัตถุต่างๆ บน
ภูมิประเทศที่ได้มีความถูกต้อง ซึ่งเรียกการปรับแก้นี้ว่า
การตัดแก้ภาพออร์ทอ (Orthorectification)



a) ภาพถ่ายต้นฉบับ

b) ภาพถ่ายที่ตัดแก้

รูปที่ 6 ลักษณะของภาพถ่ายทางอากาศก่อนและหลังตัด
แก้ภาพถ่าย

จากกระบวนการดังกล่าวทำให้ภาพถ่ายที่ได้เป็น
ภาพถ่ายดั้งจริง สามารถนำไปทำแผนที่ภูมิประเทศได้แต่
ก็ยังมีข้อจำกัดในบางรายละเอียดที่เกิดจากตำแหน่ง
ของจุดภาพนั่นเอง

ดังนั้นสรุปได้ว่าในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทาง
อากาศเพื่อทำการสร้างแผนที่จากภาพถ่ายดั้งจริงภาพนั้น
มีกระบวนการหลายขั้นตอนซึ่งประกอบด้วย

1. คุณสมบัติของฟิล์มที่ใช้การถ่ายภาพ
2. การวัดสอบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ
3. การจัดภาพภายใน (Interior Orientation)
4. การวัดค่าพิกัดของจุดควบคุม จุดผ่านและจุดโยงยึด
5. การวัดแบบจำลอง (Digital Terrain Model)

โดยกระบวนการที่ 1 - 2 จะเกี่ยวข้องกับกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ ส่วนในกระบวนการที่ 3 - 5 เป็นการวิเคราะห์โดยถ่ายสามเหลี่ยมและการทำแผนที่ภาพอโท ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาต้องทำโดยประณีตและแม่นยำเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด ปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาททำให้การประมวลผลในการวัดสอบกล้อง การจัดภาพภายใน การวัดค่าพิกัดและการสร้างแบบจำลองมีความรวดเร็วและถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในการหาค่าพิกัดบนภาพถ่ายของพื้นผิวภูมิประเทศที่ทำการรังวัดจึงต้องใช้การคำนวณด้วยมืออีกซึ่งให้ผลที่ช้าและมีความยุ่งยากมากในการแก้สมการในปัจจุบัน สำหรับในทางปฏิบัติทั่วไปการทำแผนที่มาตราส่วน 1 : 1,000 จากภาพถ่ายทางอากาศที่มีมาตราส่วน 1 : 6,000 โดยทั่วไปการผลิตแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศที่มีมาตราส่วนเล็กจะทำให้ประหยังบประมาณและใช้ระยะเวลาสั้นลง อีกทั้งการขยายภาพถ่ายทางอากาศให้อยู่ในระนาบตัดแก้อโทจะถูกจำกัดเพียงสามถึงสี่เท่า (สูงสุดไม่เกินหกเท่า) เมื่อภาพตัดแก้อโทที่พิจารณาอยู่ในช่วงระหว่างมาตราส่วน 1 : 1,000 ถึง 1 : 10,000 (Schwedfsky and Ackemann, 1976) แต่จากการศึกษาทางด้านภาพถ่ายทางอากาศในต่างประเทศซึ่งได้มีการศึกษาและสรุปให้เห็นถึงผลจากการสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้ทำการทำให้อยู่ในภาพถ่ายอโทหรือภาพถ่ายจริงแล้วพบว่าแผนที่ที่สามารถผลิตได้จากภาพถ่ายอโตนั้นมีมาตราส่วนที่สัมพันธ์กันระหว่างภาพถ่าย อโทและภาพถ่ายทางอากาศดังตารางที่ 1 ที่แสดงให้เห็นดังข้างล่างนี้ โดยเรียงจากมาตราส่วนที่มีขนาดใหญ่ไปยังมาตราส่วนที่มีขนาดเล็กตามลำดับ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตราส่วนภาพถ่าย
อโทและมาตราส่วนภาพถ่ายทางอากาศ
(Hobbie, 1974)

มาตราส่วนภาพถ่ายอโท	มาตราส่วนภาพถ่ายทางอากาศ
1,000	3,700 to 4,300
2,500	7,200 to 10,500
5,000	13,000 to 18,000
10,000	23,000 to 30,000
25,000	52,000 to 65,000
50,000	100,000 to 130,000
100,000	200,000 to 250,000

ดังนั้นจากการวิเคราะห์และปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขในการสำรวจจะทำให้งานสำรวจมีความรวดเร็วยิ่งขึ้นแต่ก็ยังต้องคำนึงถึงความถูกต้องของงานที่ต้องการเพื่อให้ได้แผนที่ที่มีความถูกต้องตามมาตราส่วนที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

- Hobbie D., (1974). Method of Disposition by Differential Rectification for Photogrammetric Aerial Photography. Deutsch Geodaetische Kommission. Munich.
- Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt, (2000). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. McGraw-Hill. USA.
- K. Schwedfsky and F. Ackemann, (1976). Photogrammetric. Teubner Stuttgart.