

การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

3.1 คำนำ

การสำรวจด้วยภาพถ่ายเป็นวิทยาการทางศิลปะ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีของการที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูล (Information) ที่เชื่อถือได้ ของทางลักษณะกายภาพของวัตถุและสิ่งแวดล้อม โดยผ่านขบวนการบันทึก (Recording) การวัด (Measuring) การแบ่งความหมาย (Intrepreting) จากจุดภาพ (Photographic image) และรูปลักษณะ (Pattern) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่บันทึกไว้ ตลอดจนรวมไปถึงการวิเคราะห์รูปลักษณะของพลังงานเสียง และปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กด้วย

จากที่กล่าวมานี้ การสำรวจด้วยภาพถ่ายจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) งานสำรวจด้วยภาพถ่ายที่เกี่ยวกับการจัดภาพ (Metric Photogrammetry) ซึ่งรวมการวัดอย่างละเอียดและการคำนวณเพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของวัตถุ ตลอดจนปริมาณอื่น ๆ ทางเรขาคณิต

2) งานสำรวจด้วยภาพถ่ายที่เกี่ยวกับการแปลสภาพ (Intrepretation Photogrammetry) ซึ่งเป็นปฏิบัติการเกี่ยวกับการตรวจรู้ (Recognition) และชี้จำแนก (Identification) วัตถุต่าง ๆ โดยอาศัยภาพของวัตถุเหล่านี้ที่ปรากฏบนภาพถ่าย (จิราลัย และธีระวัฒนาสวัสดิ์, 2513)

ด้วยเหตุที่ในการทำวิจัยนี้ เป็นลักษณะของการสำรวจเพื่อหาขนาดและรูปร่างของวัตถุด้วยภาพถ่ายเป็นสำคัญ ดังนั้นในรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปจะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายในลักษณะที่หนึ่ง เป็นประการสำคัญ

3.2 ทฤษฎีของการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน เป็นสาขาที่สำคัญสาขาหนึ่งของวิทยาการทางการสำรวจด้วยภาพถ่าย ลักษณะงานเกี่ยวข้องกับภาพถ่ายโดยกล้องตั้งอยู่บนผิวโลก ในงานสำรวจ

ด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินหากต้องการระบุเป็นการเฉพาะเจาะจง ถ้าหากระยะระหว่างตำแหน่งถ่ายภาพและวัตถุไม่เกิน 300 เมตร จนถึงระยะใกล้สุดเป็นเศษส่วนของมิลลิเมตร เลือกรการสำรวจด้วยภาพถ่ายดังกล่าวเป็นการเฉพาะว่า การสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (Close range photogrammetry) ซึ่งงานดังกล่าวจะต้องโฟกัสวัตถุที่ระยะต่าง ๆ โดยการปรับระยะภาพให้สอดคล้องกับระยะวัตถุเหล่านั้น ในขณะที่การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน โดยทั่วไป (Terrestrial photogrammetry) กล้องจะโฟกัสที่ระยะอนันต์ เช่นเดียวกับกรณีของภาพถ่ายทางอากาศ อย่างไรก็ตาม เมื่อพูดถึงการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน ในความหมายทั่วไป มักหมายความรวมถึงการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ด้วยเช่นกัน

วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน แบ่งการปฏิบัติงานได้เป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ (Karara, 1979) ดังต่อไปนี้

1) การบันทึกข้อมูล (Data acquisition) ส่วนใหญ่เป็นงานในสนาม (Field) ได้แก่ การดำเนินการหาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นและมีความเหมาะสม เช่น การสำรวจสังเขป การกำหนดหาพิกัดจุดตั้งกล้องและจุดควบคุมภาคพื้นดิน การถ่ายภาพ การอัดล้างภาพ เป็นต้น

2) การทอนข้อมูล (Data reduction) เป็นงานในสำนักงาน (Office) ได้แก่ การวัดและแปลงข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาจากงานในสนามและจากการถ่ายภาพ ให้เป็นข้อมูลสำหรับใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ทำให้เป็นแผนที่ หรือเป็นตัวเลข (Map or digital) โดยขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการของการบันทึกข้อมูล และการแสดงผลที่ต้องการในขั้นสุดท้าย

### 3.2.1 การบันทึกข้อมูล (Data acquisition)

ในส่วนของการบันทึกข้อมูล โดยการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน เพื่อหาปริมาณของวัตถุ พอจำแนกงานหลักออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่คือ

- 1) การสำรวจสังเขป
- 2) การกำหนดและหาพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน
- 3) การกำหนดจุดตั้งกล้อง และถ่ายภาพคู่สามมิติ

### 3.2.1.1 การสำรวจสังเขป

เป็นการสำรวจและศึกษาเบื้องต้นในเรื่องของพื้นที่ที่จะทำการสำรวจ โดยอาศัยแผนที่หรือภาพถ่ายทางอากาศที่มีอยู่เดิมมาพิจารณาสังเกตและเข้าไปสำรวจลักษณะของภูมิประเทศ ที่จะทำการถ่ายภาพโดยสังเขป ตลอดจนศึกษาถึงลักษณะสมบัติและขีดความสามารถของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อพิจารณาและวางแผนงาน การนำไปใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสม และถือเป็นส่วนหนึ่งในการใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวางแผนถ่ายภาพต่อไปด้วย

### 3.2.1.2 การกำหนดและหาทิศทางจุดควบคุมภาคพื้นดิน

โดยที่จุดควบคุมภาคพื้นดิน เป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้สามารถจัดภาพหรือทำให้ภาพมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน ดังนั้นการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินเพื่อใช้ในการถ่ายภาพภาคพื้นดิน จึงเป็นขั้นตอนหลักที่สำคัญส่วนหนึ่งของการบันทึกข้อมูล ซึ่งในการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบ่งจุดควบคุมภาคพื้นดินออกเป็น 2 ชนิด คือ จุดควบคุมทางราบ (Horizontal control) และจุดควบคุมทางตั้ง (Vertical control) ซึ่งตามปกติในทางทฤษฎี การสำรวจด้วยภาพถ่ายต้องการจุดควบคุมทางตั้งอย่างน้อย 3 จุด และจุดควบคุมทางราบอย่างน้อย 2 จุด แต่ในทางปฏิบัติการจัดจำนวนน้อยที่สุดของจุดควบคุมที่ต้องใช้ในแต่ละรูปจำลอง 3 มิติ ควรมีจุดควบคุมมากกว่าที่จำเป็นเพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของงาน โดยอย่างน้อยควรมีจุดควบคุมทางราบ 3 จุด และจุดควบคุมทางตั้ง 4 จุด จุดควบคุมทางราบควรอยู่ห่างกันพอสมควร และจุดควบคุมทางตั้งควรอยู่ไกล ๆ กับมุมของรูปจำลอง และที่สำคัญจุดควบคุมเหล่านั้นจะต้องมีความคมเด่นชัด ชี้จำแนกได้ทุก ๆ ภาพ อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ตลอดจนจะต้องทราบค่าตำแหน่งที่อยู่หรือทิศทางของจุดควบคุมเหล่านั้นด้วย (จิवालย์ และ ศิระวัฒนาสวัสดิ์, 2523)

### 3.2.1.3 ความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ต้องการ

ในการรังวัดปริมาตรของงานหุดจากภาพถ่ายทางภาคพื้นดิน ปริมาตรที่คำนวณได้ควรจะมีค่าแตกต่างจากปริมาตรที่ได้จากการทำงานสำรวจในสนามอยู่ในเกณฑ์ 1-2% จึงจะเป็นที่น่าพอใจ (Richardus, 1974) ในการวิเคราะห์เพื่อหาเกณฑ์ความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดินเพื่อยังคับภาพถ่ายที่ต้องการ หากบิตตัวเลข 1-2% ดังกล่าว สามารถกระทำได้ดังนี้

ในการคำนวณปริมาตรจากพิกัดรูปจำลองที่ได้จากภาพถ่าย หากกระทำโดยแบ่งพื้นที่เป็นองค์ประกอบของสามเหลี่ยมเล็ก ๆ จะสามารถหาปริมาตรของแท่งวัสดุที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมเล็ก ๆ นี้ได้ โดยดูพื้นที่ของสามเหลี่ยมดังกล่าวกับความสูงจากระนาบอ้างอิงของระดับดินเฉลี่ยของจุดมุมทั้งสาม ดังเช่นตัวอย่างในรูปที่ 3.1

พื้นที่ของสามเหลี่ยมคำนวณโดยใช้ค่าพิกัดทางราบตาม "กฎการคูณไขว้" (Coordinate Method) ดังนี้

$$A = \frac{1}{2} (Y_1X_2 + Y_2X_3 + Y_3X_1 - X_1Y_2 - X_2Y_3 - X_3Y_1) \quad \dots\dots (3.1)$$

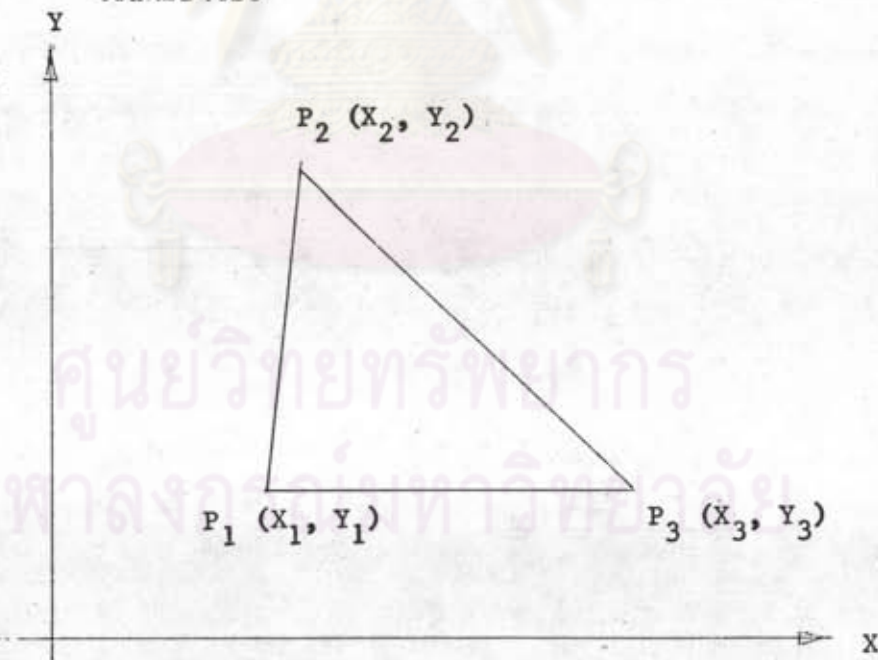
$$\text{ปริมาตรของแท่งปลายตัด } V = A \times h \quad \dots\dots (3.2)$$

โดยที่  $V$  เป็นปริมาตรของแท่งปลายตัด

$A$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของแท่งปลายตัด

$X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$  เป็นค่าพิกัดตามแกน  $X, Y$  ของรูปสามเหลี่ยม

$h$  เป็นความสูงเฉลี่ยตามแกน  $Z$  ของจุดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมเหนือระนาบอ้างอิง



รูปที่ 3.1 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของรูปสามเหลี่ยม

จากเทคนิคการแพร่ของความคลาดเคลื่อน (Propagation of error) สมมุติไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัด จะได้

$$\begin{aligned} \sigma_A^2 &= \left(\frac{\partial A}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_{X_2}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial X_3}\right)^2 \sigma_{X_3}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial Y_1}\right)^2 \sigma_{Y_1}^2 \\ &+ \left(\frac{\partial A}{\partial Y_2}\right)^2 \sigma_{Y_2}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial Y_3}\right)^2 \sigma_{Y_3}^2 \dots\dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial A}{\partial X_1} = \frac{1}{2} (Y_3 - Y_2) \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\frac{\partial A}{\partial X_2} = \frac{1}{2} (Y_1 - Y_3) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\frac{\partial A}{\partial X_3} = \frac{1}{2} (Y_2 - Y_1) \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\frac{\partial A}{\partial Y_1} = \frac{1}{2} (X_2 - X_3) \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\frac{\partial A}{\partial Y_2} = \frac{1}{2} (X_3 - X_1) \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\frac{\partial A}{\partial Y_3} = \frac{1}{2} (X_1 - X_2) \dots\dots\dots (3.9)$$

จากสมการ (3.2) โดยเทคนิคการแพร่ของความคลาดเคลื่อน หากไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับความสูงเฉลี่ย จะได้

$$\begin{aligned} \sigma_V^2 &= \left(\frac{\partial V}{\partial A}\right)^2 \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2 \\ &= h^2 \sigma_A^2 + A^2 \sigma_h^2 \dots\dots\dots (3.10) \end{aligned}$$

เมื่อ  $\sigma_V^2$  เป็นค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของปริมาตร

$\sigma_A^2$  เป็นค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของพื้นที่

$\sigma_h^2$  เป็นค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของค่าระดับสูง

ถ้ามีรูปสามเหลี่ยมจำนวน  $n$  รูป และการวัดค่าพิกัดของสามเหลี่ยมแต่ละรูปเป็นอิสระ  
แก่กัน และสมมติว่าความคลาดเคลื่อนของปริมาตรมีค่าเท่ากัน

จากกฎการแพร่ของความคลาดเคลื่อน จะได้

$$\sigma_V^2 = n \sigma_v^2$$

$$\sigma_V = \sqrt{n} \sigma_v \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

เมื่อ  $\sigma_v$  เป็นความคลาดเคลื่อนของปริมาตรโดยเฉลี่ย

$\sigma_V$  เป็นความคลาดเคลื่อนของปริมาตรของสามเหลี่ยมแต่ละรูป

ถ้าให้  $\Sigma V$  เป็นค่าผลรวมของปริมาตรงานชุดของพื้นที่ทั้งหมด

$$\Sigma V = A \cdot h \cdot n \quad \dots \dots \dots (3.12)$$

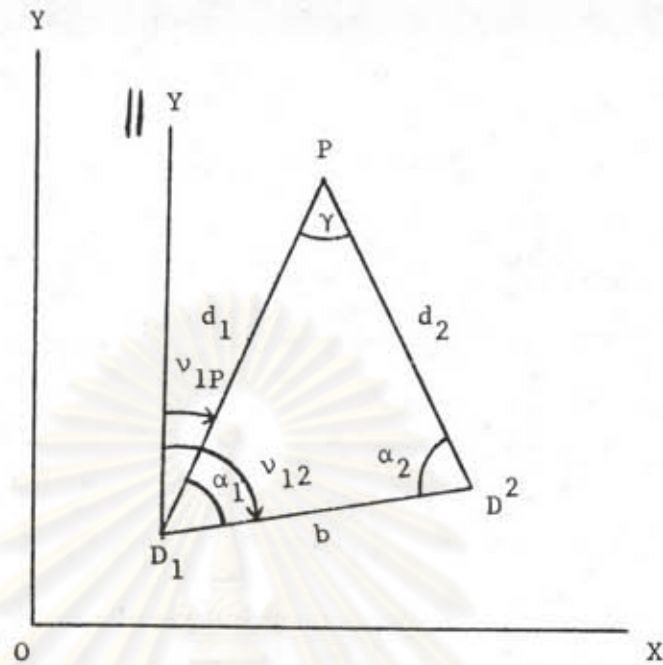
โดยที่  $n$  = จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดที่ครอบคลุมปริมาณงานชุด

ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน ถ้ากำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของการรังวัด  
พิกัดทางราบคือ ในแนวแกน  $X, Y$  เป็น  $\sigma_X, \sigma_Y$  ตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนของ  
การรังวัดพิกัดทางตั้งคือ ในแนวแกน  $Z$  หรือในแนวระดับเป็น  $\sigma_h$  จะสามารถคำนวณหาค่า  
 $\sigma_V$  และ  $\sigma_v$  ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนและค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานชุดที่  
เกิดขึ้น ได้โดยสมการ (3.1), (3.2), ...., (3.11)

$$\text{ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรดินคิดเป็นร้อยละ} = \frac{\sigma_V}{\Sigma V} \times 100 \quad \dots \dots (3.13)$$

#### 3.2.1.4 ความถูกต้องของการรังวัดจุดควบคุมทางราบและทางตั้ง

การหาค่าพิกัดของจุดควบคุมทางราบสามารถกระทำได้หลายวิธี  
ด้วยกัน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้วิธีเล็งสตัด (intersection) ตามรูปที่ 3.2 ซึ่งวิธี  
การนี้ สามารถหาค่าความแปรปรวนของตำแหน่งทางราบได้ดังต่อไปนี้ (Ghosh, 1979)



รูปที่ 3.2 แสดงการรังวัดหาค่าพิกัดของจุดควบคุมโดยวิธีเล็งสกัด

โดยที่

$D_1, D_2$  คือตำแหน่งของจุดที่ทราบค่าแน่นอนแล้ว

$d_1, d_2$  คือระยะทางจาก  $D_1, D_2$  ไปยังจุดที่รังวัด

$\alpha_1, \alpha_2$  คือมุมมุมราบระหว่างฐานถ่ายภาพกับจุดที่ต้องการ

$\gamma$  คือมุมเหลี่ยม (Parallactic angle)

$b$  คือระยะระหว่าง  $D_1$  และ  $D_2$  หรือระยะฐานถ่ายภาพ

$v$  คือกริดอะซิมัท (Grid azimuth)

ความสัมพันธ์จากรูปที่ 5.1

$$d_1 = b \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma} \dots\dots\dots (3.14)$$

008842

$$d_2 = b \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$X = X_1 + \frac{b \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin (\nu_{12} - \alpha_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (3.16)$$

$$Y = Y_1 + \frac{b \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos (\nu_{12} - \alpha_1)}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (3.17)$$

จาก เทคนิคการแพร่ความคลาดเคลื่อนหาก ไม่มีสลับพันธะระหว่างมุมต่าง ๆ

$$\sigma_X^2 = \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha_1}\right)^2 \sigma_{\alpha_1}^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha_2}\right)^2 \sigma_{\alpha_2}^2 \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\sigma_Y^2 = \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha_1}\right)^2 \sigma_{\alpha_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha_2}\right)^2 \sigma_{\alpha_2}^2 \dots\dots\dots (3.19)$$

เนื่องจากการวัดใช้เครื่องมือชุดเดียวกัน ผู้รังวัดคนเดียวกัน

$$\text{ดังนั้น } \sigma_{\alpha_1} = \sigma_{\alpha_2} = \sigma_{\alpha} \dots\dots\dots (3.20)$$

จะได้ค่าความแปรปรวนของตำแหน่งทางราบดังนี้

$$\sigma_d^2 = \frac{d_1^2 + d_2^2}{\sin^2 \gamma} \cdot \sigma_{\alpha}^2 \dots\dots\dots (3.21)$$

ถ้าจำนวนตำแหน่งของจุดควบคุมทางราบมี  $n$  แห่ง ค่าเฉลี่ยของจุดเหล่านี้จะเป็น

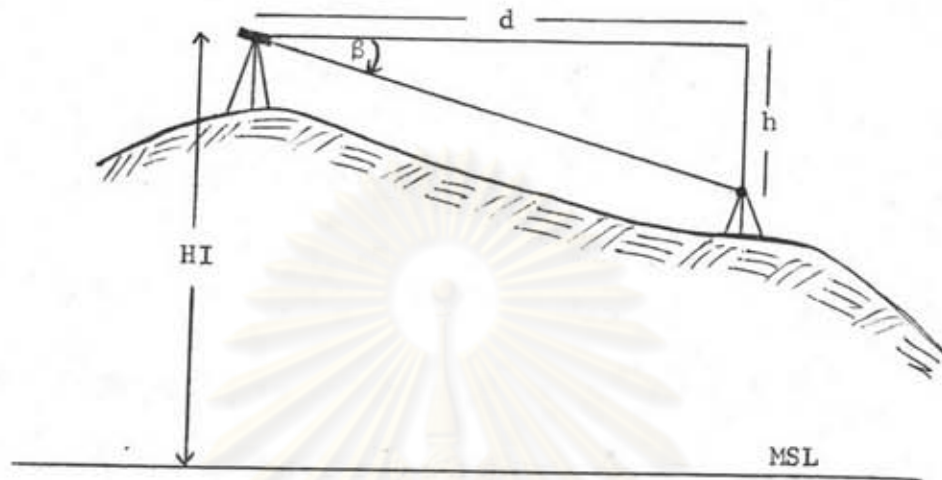
ดัชนีความถูกต้องของการรังวัดจุดทางราบ

$$\text{ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบ } \sigma_d = \sqrt{\frac{\sum \sigma_{di}^2}{n}} \dots\dots (3.22)$$

การคำนวณหาความถูกต้องของจุดควบคุมทางราบสามารถพิจารณาโดยวิธีทางตรีโกณมิติ

ดังรูปที่ 3.3 ข้างล่างนี้





รูปที่ 3.3 การรังวัดระดับโดยวิธีการรังวัดมุมตั้ง

จากรูป  $h = d \tan \beta$

โดยที่  $h$  คือระยะตั้งจากแนวแกนกล้องถึงเป้าเล็ง

$d$  ระยะราบจากที่ตั้งกล้องไปยังจุดควบคุม

$\beta$  มุมตั้งที่รังวัด

HI ระดับความสูงของแกนกล้องจากระดับอ้างอิง

จาก เทคนิคการแพร่ความคลาด เคลื่อนหาก ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างระยะและมุม

$$\begin{aligned} \sigma_h^2 &= \left(\frac{\partial h}{\partial d}\right)^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \beta}\right)^2 \sigma_\beta^2 \\ &= (\tan \beta)^2 \sigma_d^2 + (d \cdot \sec^2 \beta)^2 \sigma_\beta^2 \quad \dots\dots\dots (3.23) \end{aligned}$$

โดยที่  $\sigma_h$  คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานจุดควบคุมทางตั้ง

$\sigma_d$  คือความ เบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดระยะรวม

$\sigma_\beta$  คือความ เบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดมุม ( 5")

จากสมการ 3.23 จะสามารถคำนวณ  $\sigma_h$  ของจุดมั่งคัมทางตั้งทุก ๆ จุดได้ และ เนื่องจากค่าระดับของจุดมั่งคัมทางตั้งสามารถคำนวณได้จากสองแนวทางคือ จุดปลายของเส้นฐาน ทั้งสอง ดังนั้น  $\sigma_h$  ของแต่ละจุดจะมี 2 ค่า แต่ละค่าคำนวณได้จากแต่ละจุดปลายของเส้นฐาน

ถ้าจำนวนค่าแห่งของจุดควบคุมทางตั้งมี  $n$  แห่ง

$$\text{ค่าเฉลี่ยส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระดับ } \sigma_h = \sqrt{\frac{\sum \sigma h_i^2}{n}} \dots\dots (3.24)$$

3.2.1.5 ความถูกต้องของงานที่ได้จากเครื่องร่างแผนที่

จากการจัดภาพลัมปรัณได้ค่าเศษคงเหลือ (Residual) ของค่าที่กััดจุดควบคุมในแนวแกนต่าง ๆ ดังรายละเอียดที่ได้ในภาคผนวก ก จะสามารถหาความเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกนต่าง ๆ ได้ดังนี้ (จตุระสุด, 1984)

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum V_x^2}{n-2}} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum V_y^2}{n-3}} \dots\dots\dots (3.26)$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum V_z^2}{n-2}} \dots\dots\dots (3.27)$$

เมื่อ  $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$  เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.9

$V_X, V_Y, V_Z$  เป็นค่าเศษคงเหลือตามแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ เป็นจำนวนจุดควบคุม

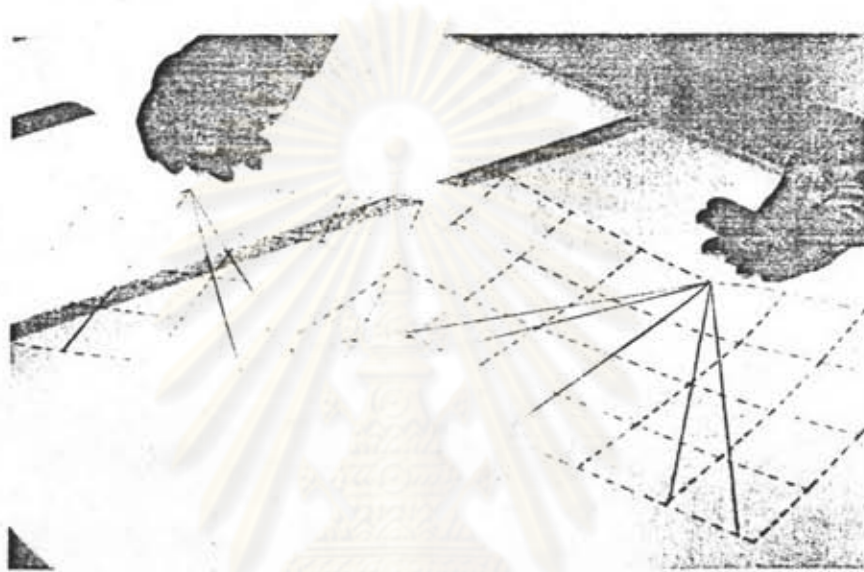
$(n-2), (n-3)$  เป็นลำดับชั้นแห่งความอิสระ

3.2.1.6 การกำหนดจุดตั้งกล้องและการถ่ายภาพคู่สามมิติ

ในการพิจารณาวางแผนตำแหน่งของจุดตั้งกล้อง หลังจากที่ได้ทราบถึงรายละเอียดหรือคุณสมบัติโดยทั่วไปของกล้องถ่ายภาพแล้ว เพื่อจะให้ส่วนของภาพที่ก่อให้เกิด

ภาพสามมิติ สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่จะศึกษาได้ทั้งหมด จึงจำเป็นที่จะต้องวางแผนกำหนดจุดตั้งกล้องก่อนลงมือปฏิบัติงาน

หลักการวางแผนคือ เขียนมุมทัศนียภาพตามชนิดของกล้องที่จะใช้ในการถ่ายภาพลงบนแผ่นใส (Transparent sheets) 2 แผ่น (ดังรูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงแผ่นใสซึ่งเขียนมุมทัศนียภาพของกล้อง 2 แผ่น

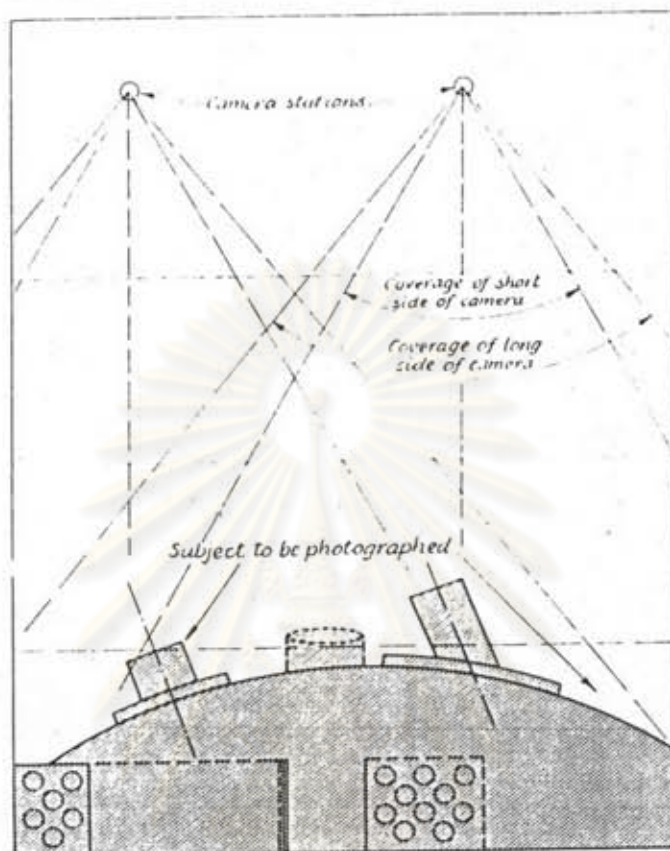
โดยให้มีอัตราส่วนเท่ากับแผนที่ที่นำมาใช้ในการวางแผน แล้วนำแผ่นใสดังกล่าวไปทาบลงบนแผนที่ให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด (ดังแสดงในรูปที่ 3.5) ทำการกำหนดตำแหน่งจุดถ่ายภาพลงในแผนที่ให้มีระยะฐานและระยะลึกของวัตถุที่จะถ่ายภาพให้อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสูตรดังจะกล่าวต่อไปนี้ (Moffit, et. al., 1980)

$$\sigma_X = \frac{Y}{f} \cdot \sigma \dots\dots\dots (3.28)$$

$$\sigma_Y = \frac{Y}{\left(\frac{B}{Y}\right)f} \cdot \sigma \dots\dots\dots (3.29)$$

$$\sigma_Z = \frac{Y}{f} \cdot \sigma \dots\dots\dots (3.30)$$

$$\sigma_{l_h} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \dots\dots\dots (3.31)$$



รูปที่ 3.5 แสดงวางแผนโฟกัสซ้อนกัน เพื่อให้เกิดภาพสามมิติที่จะครอบคลุมวัตถุที่จะศึกษา

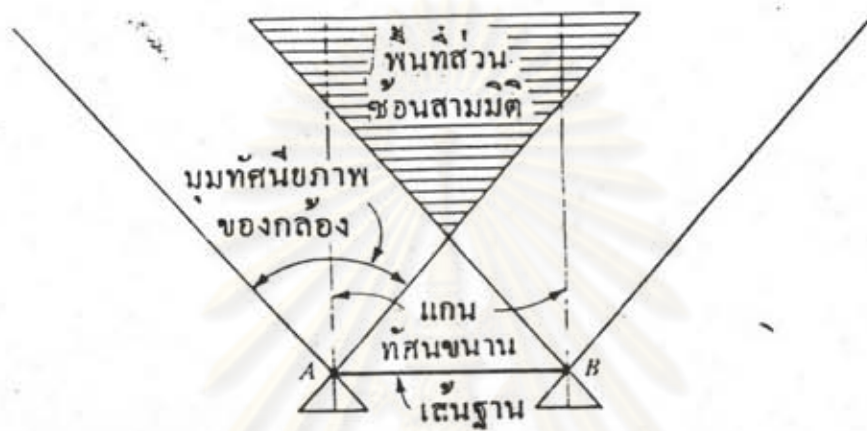
โดย  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$ ,  $\sigma_Z$  เป็นค่าความถูกต้องที่เกิดขึ้นในแนวแกน X, Y, Z ของภูมิประ-

เทศ

- $\sigma_L$  เป็นค่าความถูกต้องในทางราบ
- Y เป็นระยะวัตถุห่างจากฐานถ่ายภาพ
- $\sigma$  เป็นความคลาดเคลื่อนของการวัดใน เครื่องร่างสามมิติ
- B เป็นระยะฐานถ่ายภาพ
- f เป็นความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ

ในขั้นตอนนี้จะทราบได้ว่าควรจะกำหนดจุดตั้งกล้องและจุดควบคุมภาคพื้นดิน ณ ที่ใด รวมทั้งทราบมาตราส่วนภาพถ่ายโดยประมาณ

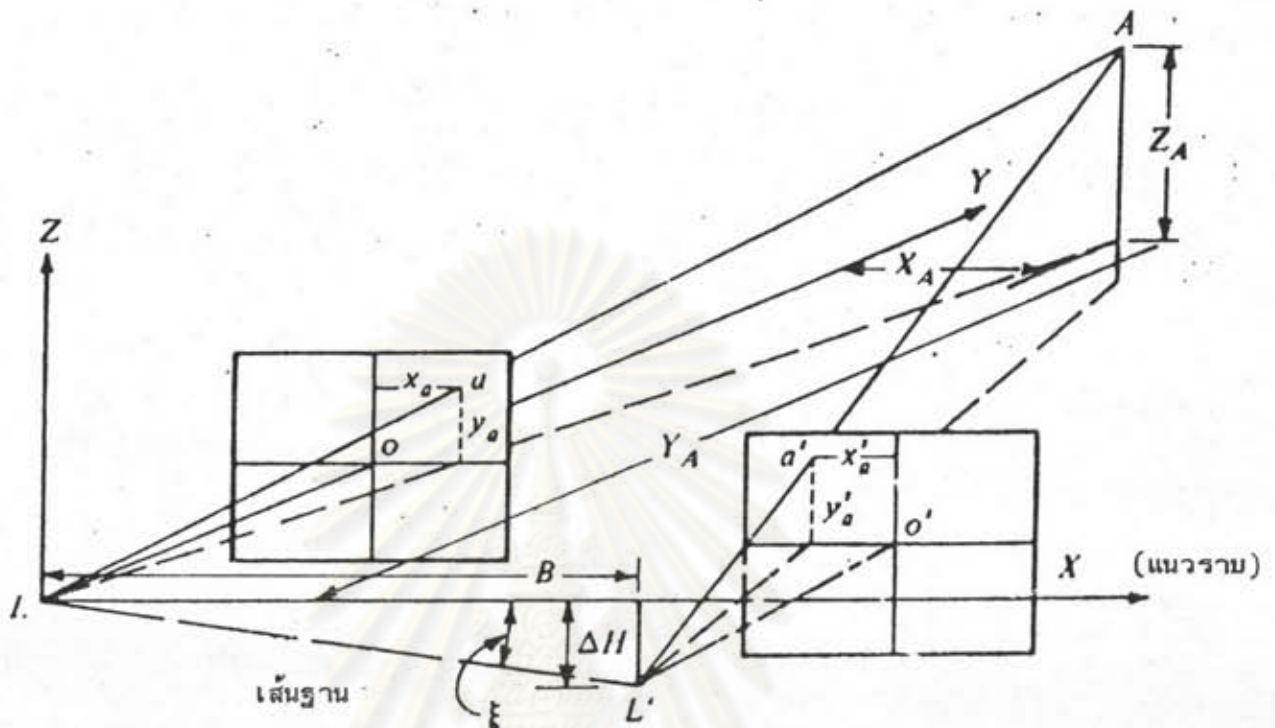
การถ่ายภาพคู่สามมิติซึ่งใช้ในการวิจัยนี้ ลักษณะแกนทัศนของกล้องถ่ายภาพจะอยู่ในแนวระดับและตั้งฉากกับเส้นฐาน (ดังแสดงในรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 แสดงส่วนซ้อนสามมิติที่ครอบคลุมโดยภาพถ่ายภาคพื้นดิน ที่ถ่ายตั้งฉากออกจากจุดปลายของเส้นฐาน

โดยตำแหน่งของจุดตั้งกล้องครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ที่อยู่ในแนวเส้นฐานจะอยู่ต่างระดับกัน (ดังแสดงในรูปที่ 3.7) ซึ่งทำให้ตำแหน่งของภาพถ่ายมีระดับต่างกัน

ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน อัตราส่วนฐานคือความลึก (Base-depth) หรืออัตราส่วนระหว่างระยะทางระหว่างจุดตั้งกล้อง ต่อระยะจากฐานกล้องถึงวัตถุที่จะถ่ายภาพ จะให้ค่าตัวเลขซึ่งแสดงถึงความมั่นคงทางเรขาคณิต (Geometric strength) ซึ่งให้แนวทางเกี่ยวกับความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตสำหรับการถ่ายภาพคู่สามมิติภาคพื้นดิน โดยปกติกำหนดให้ในงานโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง  $1/5$  ถึง  $1/10$  และสำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอยู่ระหว่าง  $1/1$  ถึง  $1/3$  (Wild Heerbrugg, 1980) โดยทั้งนี้ค่าความมั่นคงทางเรขาคณิตจะต้องเป็นค่าที่ทำให้ความถูกต้องทางราบและทางตั้งมีค่าไม่เกิน เกณฑ์ที่ยอมให้ได้ ซึ่งค่าเกณฑ์ที่ยอมให้ได้สำหรับความถูกต้องทางราบและทางตั้ง สามารถคำนวณตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.1.5



รูปที่ 3.7 แสดงภาพคู่ซ้อนของภาพถ่ายภาพทัศนคติในแนวราบ โดยแกนของกล้องขนานกันแต่ตำแหน่งถ่ายภาพมีระดับต่างกัน

### 3.2.2 การทอนข้อมูล (Data Reduction)

จากขั้นตอนของการบันทึกข้อมูล จะได้ภาพถ่ายและจุดควบคุมภาคพื้นดินของภาพถ่าย ซึ่งจะมีส่วนหลักเพื่อหาปริมาณของงานชุดฯ ที่พอจำแนกออกเป็น 4 ส่วน ใหญ่ ๆ ดังนี้คือ

- 1) การสร้างทรวงทรงจำลองใน เครื่องร่างสามมิติและการวัดทิศทางของจุดต่าง ๆ ในเครื่องร่างสามมิติ
- 2) การแปลงค่าทิศทางในรูปจำลองสามมิติไปเป็นค่าทิศทางของภูมิประเทศ
- 3) การคำนวณหาปริมาณงานชุดโดยเทคนิคของรูปจำลองภูมิศาสตร์เชิงเลข

(Digital Terrain Model)

4) การวิเคราะห์และตรวจสอบผล

3.2.2.1 การสร้างทรวดทรงจำลองในเครื่องร่างสามมิติและการวัดพิกัดของจุดต่าง ๆ ในเครื่องร่างสามมิติ

โดยที่เครื่องร่างสามมิติเป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบขึ้น เพื่อหาคำตอบโดยวิธีอุปมานเกี่ยวกับตำแหน่งของจุดวัตถุจากตำแหน่งจุดภาพบนภาพคู่ซ้อน ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของเครื่องร่างสามมิติคือ ใช้ประกอบแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งกระบวนการในการสร้างทรวดทรงจำลองในเครื่องร่างสามมิติจะประกอบไปด้วย

1) การจัดภาพภายใน (Interior orientation) หมายถึงการนำแผ่นภาพไปรับแสง (Diapostitive) ซึ่งได้จากการถ่ายภาพหรือเตรียมขึ้นอย่างได้มาตรฐานจากเนกาทีฟมาจัดวางลงบนกล้องฉายของเครื่องร่างสามมิติให้ได้ศูนย์ โดยอาศัยเครื่องหมายดัชนีและการตั้งระยะมุมสำคัญที่เหมาะสมที่กล้องฉาย ขั้นตอนดังกล่าวนี้จะเปรียบเสมือนการจัดแผ่นภาพให้อยู่ภายในกล้องฉายเหมือนเมื่อแผ่นฟิล์มอยู่ในกล้องถ่ายภาพ

2) การจัดภาพสัมพัทธ์ (Relative Orientation) เป็นการสร้างรูปทรวดทรงจำลองสามมิติของภูมิประเทศ โดยอาศัยภาพของพื้นที่ส่วนซ้อนของคู่ภาพสามมิติ โดยกล้องฉายทั้งสองจะถูกจัดให้ได้โคอะโฮสิตีฟทั้งคู่อยู่ในตำแหน่งที่มุมสัมพัทธ์ของกล้องฉาย เป็นเช่นเดียวกับตำแหน่งของเนกาทีฟขณะอยู่ในกล้องเมื่อตอนถ่ายภาพ

หลังจากการจัดภาพภายใน รังสีแสงของภาพจากจุดวัตถุเดียวกันมักจะไม่ตัดกัน เนื่องจากตำแหน่งสัมพัทธ์ของกล้องฉายยังไม่ถูกต้อง จึงยังไม่ได้รูปจำลองสามมิติที่ต้องการระยะระหว่างรังสีคู่ภาพสามมิติดังกล่าวนี้ แยกออกได้เป็น 2 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบทาง X หรือระยะเหลื่อมทาง X (X-parallax) และองค์ประกอบทาง Y หรือระยะเหลื่อมทาง Y (Y-parallax) องค์ประกอบทาง X จะเป็นฟังก์ชันของความลึก (กรณีภาพถ่ายทางอากาศเป็นฟังก์ชันของความสูง) สามารถจัดได้โดยเลื่อนระนาบรับภาพขึ้นลงแล้วแต่กรณี ส่วนระยะเหลื่อมทาง Y จัดโดยการปรับเลื่อนระนาบรับภาพขึ้นลงแล้วแต่กรณี ส่วนระยะเหลื่อมทาง Y จัดโดยการปรับเลื่อนองค์ประกอบของการจัดภาพที่กล้องฉาย หรือวัดระยะเหลื่อมดังกล่าวที่จุดต่าง ๆ ในรูปจำลองเพื่อแก้สมการดังต่อไปนี้ (จิवालย์ และธีระวัฒนาสวัสดิ์, 2523)

$$\begin{aligned}
 -Py &= \frac{XY}{Z} (dp_I - dp_{II}) - (z + \frac{Y^2}{Z}) (d\omega_I - d\omega_{II}) \\
 &\quad - \frac{Y}{Z} (dbz_I - dbz_{II} - b \cdot dp_{II}) + (dk_I - dk_{II}) \\
 &\quad + (dby_I - dby_{II} + b \cdot dk_{II}) \dots\dots\dots (3.32)
 \end{aligned}$$

หรือ

$$-Py = \frac{XY}{Z} \cdot \Delta A - (Z + \frac{Y^2}{Z}) \cdot \Delta B - \frac{Y}{Z} \cdot \Delta C + X \cdot \Delta D + \Delta E$$

โดยที่

$\Delta A, \Delta B, \Delta D, \Delta E$  : ธาตุมูลเทียมแฝง (Psuedo-elements)

$dbx, dby, dbz$  : ค่าปรับแก้ของการเลื่อน 3 ทาง (3 translation errors)

$d\omega, dp, dk$  : ค่าปรับแก้ของการหมุน 3 ทาง (3 rotation errors)

$b$  : ระยะระหว่างจุดศูนย์ทิวทัศน์

$Z$  : ความสูงของจุดศูนย์ทิวทัศน์เหนือภูมิประเทศจำลอง

$X, Y, Z$  : ระบบพิกัดมือขวาในภูมิประเทศจำลอง

ตัวห้อยท้าย I, II หมายถึง กล้องฉายที่ I และ II

เมื่อเราเลือกใช้ elements ตัวใดตัวหนึ่งจากของแต่ละธาตุมูลเทียมแฝง (Psuedo-elements) ซึ่งจะรวมเป็น 5 ตัว ก็จะสามารถจัดระยะเหลือม  $y$  ได้ และการจัดภาพสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้รูปจำลองสามมิติ ซึ่งยังไม่ทราบมาตราส่วนและระดับยังไม่ได้ เทียบกับค่าอ้างอิง

เนื่องจากในงานภาพถ่ายภาคพื้นดิน ซึ่งรูปจำลองสามมิติมีลักษณะ เป็นรูปจำลองแบบภูเขา (Mountaineous terrain model) และเป็นลักษณะ Incomplete model F.J. Montero ที่มหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ ได้หาวิธีการจัดระยะเหลือมทาง  $Y$  (Y parallax) ในการจัดภาพสัมพันธ์ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการจัดภาพสัมพันธ์ของภาพถ่ายภาคพื้นดินดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค



3) การจัดภาพสัมบูรณ์ (Absolute orientation) มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับขนาดรูปจำลองให้ได้มาตราส่วนและได้ระดับโดยเทียบกับระยะและค่าระดับอ้างอิง หลังจากการจัดภาพสัมพัทธ์เพื่อให้ได้รูปจำลองสามมิติที่ถูกต้องตามสภาพภูมิประเทศจริง การกระทำดังกล่าวอาจกระทำโดยปรับที่เครื่องเขียนร่างแผนที่หรือกระทำโดยการแปลงพิกัดรูปจำลองด้วยการคำนวณในงานนี้จะใช้การแปลงพิกัดโดยการคำนวณหรือวิธีเชิงวิเคราะห์ (analytical method)

### 3.2.2.2 การแปลงค่าพิกัดในรูปจำลองสามมิติไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศโดยวิธีเชิงวิเคราะห์

การจัดภาพสัมบูรณ์โดยวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical) เป็นการลดปัญหาเกี่ยวกับขีดจำกัดของเครื่องร่างแผนที่สำหรับภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นรูปจำลองแบบภูเขาในงานภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งเป็นการคล้ายกับกรณีของงานวิจัยนี้คือ ที่นที่จะมีความต่างความลึกมาก วิธีการดังกล่าวคือ แปลงค่าพิกัดในรูปจำลองสามมิติ  $(X, Y, Z)$  ไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศตามระบบพิกัดอ้างอิง  $(X_g, Y_g, Z_g)$  ด้วยสมการ

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Z_g \\ Y_g \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} R \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_o \\ Z_o \\ Y_o \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

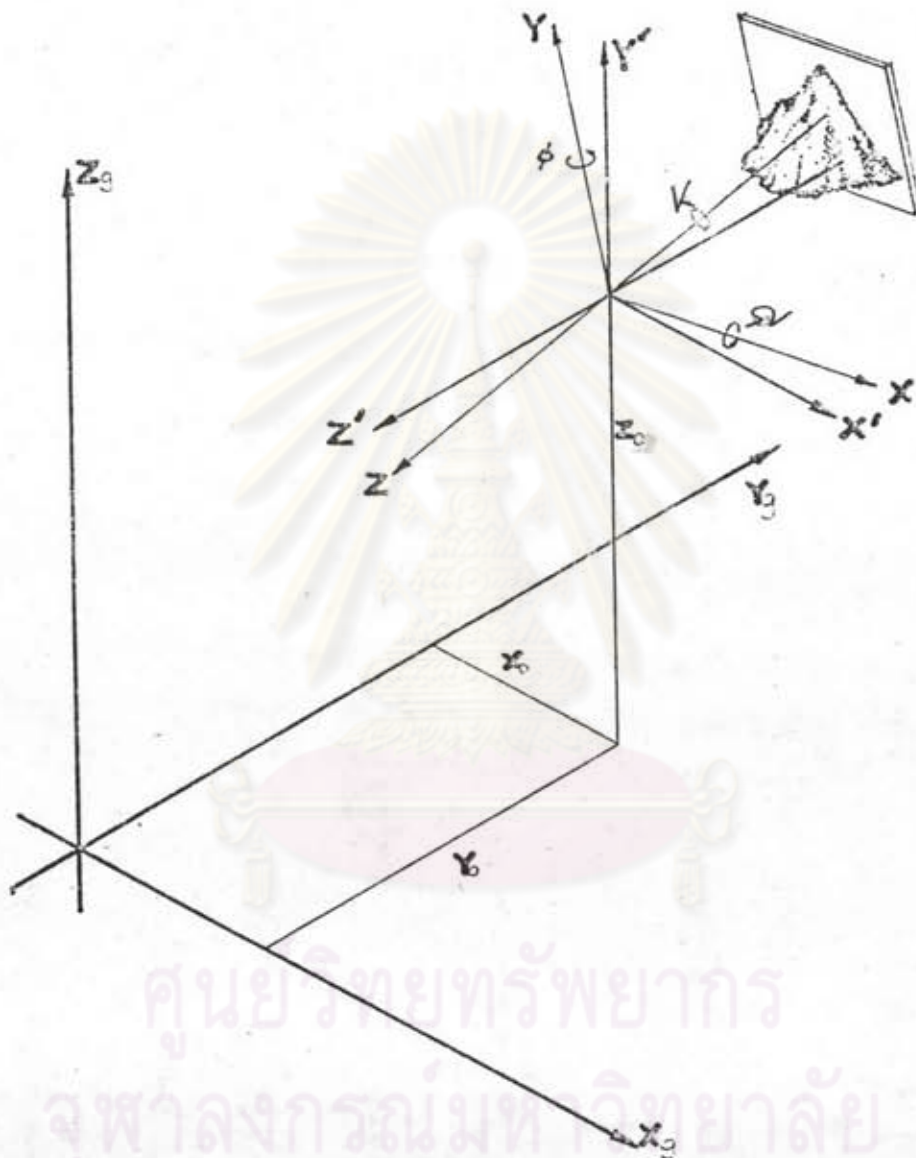
โดยที่ S เป็นตัวประกอบมาตราส่วน

R เป็น เมทริกซ์การหมุนรอบแกนพิกัดฉากทั้งสาม

$X_o, Z_o, Y_o$  เป็นตัวประกอบค่าเลื่อนสามตัว ซึ่งอยู่ในระบบพิกัดของภูมิประเทศ  $X_g, Z_g, Y_g$

สมการ (3.33) เมทริกซ์การหมุน R เป็นฟังก์ชันของมุมหมุนทั้งสามคือ  $\Omega, \phi$  และ  $K$  นอกจากมุมหมุนทั้งสามซึ่งยังไม่รู้ค่าแล้วยังมีตัวประกอบค่าเลื่อน 3 ตัว และตัวประกอบมาตราส่วนอีก 1 ตัว รวมตัวไม่รู้ค่าทั้งหมดเจ็ดตัว ค่าคอมของตัวไม่รู้ค่าจะหาได้ ถ้ามีจุดที่รู้พิกัดทั้งสองระบบอย่างน้อยสามจุด โดยสร้างเป็นสมการได้ 9 สมการแล้ว หาค่าคอมโดยเทคนิคของลีสต์-สแควร์

พิจารณาจากรูปที่ (3.8) และสมการ (3.33)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดของรูปจำลองสามมิติ และระบบพิกัดภูมิประเทศ

ถ้าให้มุมหมุน  $\Omega, \kappa, \phi$  รอบแกน  $X, Z, Y$  เป็นลำดับ การหมุนชั้นที่หนึ่ง ชั้นที่สอง และชั้นที่สามตามลำดับ ของการหมุนแบบกฎของมือขวาแล้ว จะได้เมทริกซ์การหมุนเป็นดังนี้ (จิवालัย และ ธีระวิวัฒนาสวัสดิ์, 2523)

$$R(1, 1) = \cos \phi \cos \kappa$$

$$R(1, 2) = \sin \kappa$$

$$R(1, 3) = -\sin \phi \cos \kappa$$

$$R(2, 1) = -\cos \Omega \cos \phi \sin \kappa + \sin \Omega \sin \phi$$

$$R(2, 2) = \cos \Omega \cos \kappa$$

$$R(2, 3) = \cos \Omega \sin \phi \sin \kappa + \sin \Omega \cos \phi$$

$$R(3, 1) = \sin \Omega \cos \phi \sin \kappa + \cos \Omega \sin \phi$$

$$R(3, 2) = -\sin \Omega \cos \kappa$$

$$R(3, 3) = -\sin \Omega \sin \phi \sin \kappa + \cos \Omega \cos \phi$$

สมการ (3.33) ไม่ได้เป็นสมการเชิงเส้นมีตัวไม่รู้ค่า 7 ตัว คือ  $S, \Omega, \phi, \kappa, X_0, Z_0$  และ  $Y_0$  ในการแก้สมการเหล่านี้ มักทำให้เป็นสมการเชิงเส้น (Linear Equation) โดยทฤษฎีเทย์เลอร์ (Taylor's theorem) ตามทฤษฎีดังกล่าวจะได้รูปแบบสมการเชิงเส้นของสมการ (3.33) เป็นดังนี้

$$X_g = (X_{g_0}) + \left( \frac{\partial X_g}{\partial S} \right)_0 dS + \left( \frac{\partial X_g}{\partial \Omega} \right)_0 d\Omega + \left( \frac{\partial X_g}{\partial \phi} \right)_0 d\phi$$

$$+ \left( \frac{\partial X_g}{\partial \kappa} \right)_0 d\kappa + \left( \frac{\partial X_g}{\partial X_0} \right)_0 dX_0 + \left( \frac{\partial X_g}{\partial Z_0} \right)_0 dZ_0$$

$$+ \left( \frac{\partial X_g}{\partial Y_0} \right)_0 dY_0$$

$$Z_g = (Z_g)_0 + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial S} \right)_0 dS + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial \Omega} \right)_0 d\Omega + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial \phi} \right)_0 d\phi$$

$$\begin{aligned}
 & + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial \kappa} \right)_o d\kappa + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial X_o} \right)_o dX_o + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial Z_o} \right)_o dZ_o \\
 & + \left( \frac{\partial Z_g}{\partial Y_o} \right)_o dY_o \\
 Y_g = & (Y_g)_o + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial s} \right)_o ds + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial \Omega} \right)_o d\Omega + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial \phi} \right)_o d\phi \\
 & + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial \kappa} \right)_o d\kappa + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial X_o} \right)_o dX_o + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial Z_o} \right)_o dZ_o \\
 & + \left( \frac{\partial Y_g}{\partial Y_o} \right)_o dY_o \dots\dots\dots (3.34)
 \end{aligned}$$

ใช้หลักการของดิฟเฟอเรนเชียล โดยวิธีสมการกำลังเทอมมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็น

$$\begin{aligned}
 L_a & = F(X_a) \\
 L_b + V & = F(X_a) \\
 & = F(X_o + X) \\
 & = F(X_o) + \frac{\partial F}{\partial X} (X_a - X_o) \\
 & \qquad \qquad \qquad X = X_o
 \end{aligned}$$

$$L_b + V = F(X_o) + AX \dots\dots\dots (3.35)$$

$$\begin{aligned}
 V & = AX + L_o - L_b \\
 V & = AX + L \dots\dots\dots (3.36)
 \end{aligned}$$

เพื่อให้เป็นไปตามหลักการของดิฟเฟอเรนเชียลเขียนสมการ (3.34) ให้อยู่ในรูปของสมการ (3.35)

$$\begin{aligned}
 X_g + V_x & = (X_g)_o + a_{11}ds + a_{12}d\Omega + a_{13}d\phi + a_{14}d\kappa \\
 & + a_{15}dX_o + a_{16}dZ_o + a_{17}dY_o
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_g + V_z &= (Z_g)_o + a_{21}dS + a_{22}d\Omega + a_{23}d\phi + a_{24}dk \\
 &\quad + a_{25}dX_o + a_{26}dZ_o + a_{27}dY_o \\
 Y_g + V_y &= (Y_g)_o + a_{31}dS + a_{32}d\Omega + a_{33}d\phi + a_{34}dk \\
 &\quad + a_{35}dY_o + a_{36}dZ_o + a_{37}dY_o \quad \dots\dots (3.37)
 \end{aligned}$$

จัดใหม่

$$\begin{aligned}
 V_x &= (X_g)_o - X_g + a_{11}dS + a_{12}d\Omega + a_{13}d\phi + a_{14}dk \\
 &\quad + a_{15}dX_o + a_{16}dZ_o + a_{17}dY_o \\
 V_z &= (Z_g)_o - Z_g + a_{21}dS + a_{22}d\Omega + a_{23}d\phi + a_{24}dk \\
 &\quad + a_{25}dX_o + a_{26}dZ_o + a_{27}dY_o \\
 V_y &= (Y_g)_o - Y_g + a_{31}dS + a_{32}d\Omega + a_{33}d\phi + a_{34}dk \\
 &\quad + a_{35}dX_o + a_{36}dZ_o + a_{37}dY_o \quad \dots\dots (3.38)
 \end{aligned}$$

เขียนในรูปแมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_z \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dS \\ d\Omega \\ d\phi \\ dk \\ dX_o \\ dZ_o \\ dY_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (X_g)_o - X_g \\ (Z_g)_o - Z_g \\ (Y_g)_o - Y_g \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3.38)$$

ในกรณีมีจุดควบคุม n จุด จะเขียนสมการดังกล่าวได้ 3n สมการ

$$V_{3n-1} = A_{3n-7} X_{7-1} + L_{3n-1} \dots\dots\dots (3.39)$$

ในสมการ (3.9)  $(X_g)_o$ ,  $(Z_g)_o$ ,  $(Y_g)_o$  และตัวอื่น ๆ หาค่าโดยการแทนค่าประมาณเริ่มต้นของพารามิเตอร์ ( $S, \Omega, \phi, \kappa, X_o, Z_o$  และ  $Y_o$ ) ลงในสมการ (3.32)

$$\left(\frac{\partial X_g}{\partial S}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial \Omega}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial \phi}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial \kappa}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial X_o}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial Z_o}\right)_o, \left(\frac{\partial X_g}{\partial Y_o}\right)_o$$

และตัวอื่น ๆ หาค่าโดยแทนค่าประมาณเริ่มต้นของพารามิเตอร์ ( $S, \Omega, \phi, \kappa, X_o, Z_o, Y_o$ )

$dS, d\Omega, d\phi, d\kappa, dX_o, dZ_o, dY_o$  เป็นค่าตรวจแก้ของค่าประมาณ

$dS$  เป็นตัวประกอบมาตราส่วนที่ไม่มีหน่วย

$d\Omega, d\phi, d\kappa$  มีหน่วยเป็นเรเดียน

$dX_o, dZ_o, dY_o$  มีหน่วยเป็นเมตร

ในสมการ (3.33) ให้การวัดพิทักทุกจุดมีความละเอียดถูกต้องเท่ากัน (ให้น้ำหนักเท่ากัน) และถือว่าค่าพิทักในภูมิภาคของจุดควบคุมไม่มีความคลาดเคลื่อน

สมการ (3.37) แก้ได้โดยสมการลีสทส์แควร์ เมื่อกำหนดให้ค่าวัดมีน้ำหนักเท่ากัน

กล่าวคือ  $P = I$

$$X = -A'A^{-1}A'L \dots\dots\dots (3.40)$$

เนื่องจากข้อบกพร่องของเทย์เลอร์ จะต้องทำวนซ้ำ (Iterate) จนกระทั่งได้ค่า

$S, \Omega, \phi, \kappa, X_o, Z_o$  และ  $Y_o$  เป็นที่น่าพอใจ (อาทิเช่น  $dS = \pm 0.01$ ,  $d\Omega = \pm 0.00001 \text{ rad}$ ,  $d\phi = \pm 0.00001 \text{ rad}$ ,  $d\kappa = \pm 0.00001 \text{ rad}$ ,  $dX_o = \pm 0.01 \text{ ม.}$ ,  $dZ_o = \pm 0.01 \text{ ม.}$ ,  $dY_o = \pm 0.01 \text{ ม.}$ )

ค่าคงเหลือหาได้จากสมการ

$$V = AX + L$$

$$\text{หรือ } V = L_a - L_b$$

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกนต่าง ๆ หาได้จากสูตรดังนี้ (จตุระสุค, 1984)

$$X_g = \sqrt{\frac{V_X^2}{n-2}} \dots\dots\dots (3.41)$$

$$Y_g = \sqrt{\frac{V_Y^2}{n-3}} \dots\dots\dots (3.42)$$

$$Z_g = \sqrt{\frac{V_Z^2}{n-2}} \dots\dots\dots (3.43)$$

เมื่อ  $X_g, Y_g, Z_g$  เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน  $X_g, Y_g, Z_g$   
 ตามลำดับ

$V_X, V_Y, V_Z$  เป็นค่าเศษคงเหลือตามแนวแกน  $X_g, Y_g, Z_g$  ตามลำดับ  
 รูปที่ 3.8

$n$  เป็นจำนวนจุดควบคุม  
 $(n-2), (n-3)$  เป็นลำดับชั้นแห่งความอิสระ

ด้วยเหตุที่การจัดการสภาพสัมบูรณ์ที่กล่าวมาเป็นการแปลงพิกัดสามมิติแบบคงรูป (Three-dimensional conformal coordinate transformation) ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้นำค่าพิกัดของรูปจำลองสามมิติไปเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังภาคผนวก ก จะได้พิกัดภูมิประเทศในบริเวณต่าง ๆ ได้ตามต้องการ

3.2.2.3 การคำนวณปริมาตรงานขุดโดยเทคนิคของรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital terrain model)

ขั้นตอนของงานพอสรูปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- 1) นำค่าพิกัดทางราบที่รังวัดได้จากเครื่องสามมิติ ตามหัวข้อ

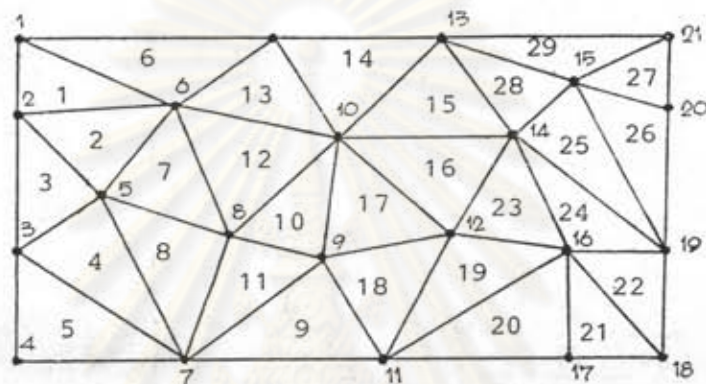
3.2.2.2 มาลงตำแหน่งบนกระดาษกราฟ โดยใช้ระบบพิกัดฉาก

- 2) กำหนดขอบเขตที่ต้องการคำนวณหาปริมาตรของงานขุดให้

สอดคล้องกับที่ได้กระทำการสำรวจในภูมิประเทศตามรายละเอียดในบทที่ 2

3) เลือกจุดเฉพาะที่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด ถ้าจุดใดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นขอบเขต ก็ทำการเปลี่ยนให้เป็นค่าที่อยู่บนเส้นขอบเขตที่กำหนดด้วยวิธีการเทียบสัดส่วน (Interpolation)

4) โยงเส้นตรงระหว่างจุดเหล่านั้น ให้เป็นรูปสามเหลี่ยมจนครบทุกจุด กำหนดหมายเลขประจำจุดต่าง ๆ ตามลำดับ 1, 2, 3, ..., N (N คือจำนวนจุดทั้งหมด) พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขประจำรูปสามเหลี่ยม โดยเรียงลำดับจาก 1, 2, 3 ... , M



รูปที่ 3.9 แสดงการโยงรูปสามเหลี่ยมภายในขอบเขตที่กำหนด

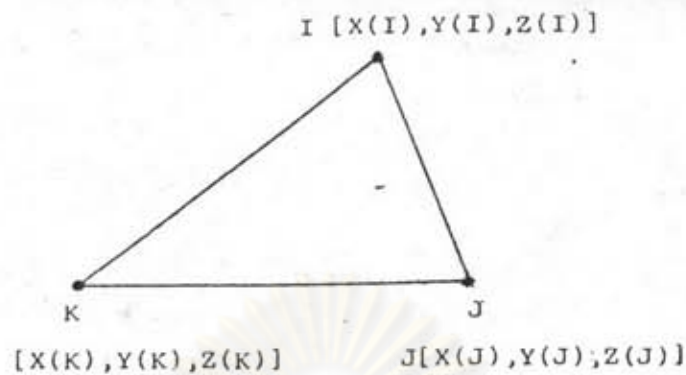
(M คือ จำนวนรูปสามเหลี่ยมทั้งหมด ดังรูปที่ 3.9)

5) การคำนวณหาปริมาตร ได้จากผลคูณของพื้นที่รวมในรูปสามเหลี่ยมกับค่าระดับเฉลี่ยของจุดทั้งสาม โดยพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมหาได้ด้วยวิธีใช้ค่าพิกัดทั้งสาม ดังรูปที่ 3.10

จากรูปที่ 3.10 จะได้

$$\begin{aligned}
 2 \text{ (พื้นที่)} &= \begin{vmatrix} X(I) & X(J) & X(K) & X(I) \\ Y(I) & X(J) & Y(K) & Y(I) \end{vmatrix} \\
 &= Y(I) X(J) + Y(J) X(K) + Y(K) X(I) - X(I) Y(J) \\
 &\quad - X(J) Y(K) - X(K) Y(I)
 \end{aligned}$$





รูปที่ 3.10 แสดงพิกัดรูปสามเหลี่ยม

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่} &= \frac{1}{2} Y(I) X(J) + Y(J) X(K) + Y(K) X(I) - X(I) Y(J) \\ &\quad - X(J) Y(K) - X(K) Y(I) \end{aligned}$$

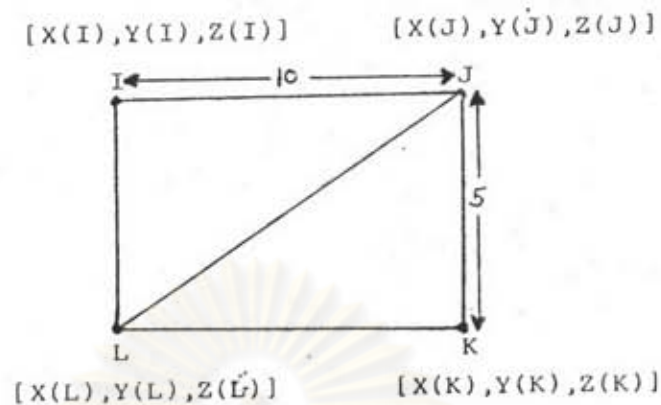
$$\text{ค่าระดับเฉลี่ย} = \frac{1}{3} [Z(I) + Z(J) + Z(K)]$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรดิน} &= \text{พื้นที่} \times \text{ค่าระดับเฉลี่ย} \\ &= \frac{1}{2} [Y(I) X(J) + Y(J) X(K) + Y(K) X(I) - X(I) Y(J) \\ &\quad - X(J) Y(K) - X(K) Y(I)] \times \frac{1}{3} [Z(I) + Z(J) + Z(K)] \end{aligned}$$

ในการคำนวณหาปริมาตรดินโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณนั้น เมื่อได้ปริมาตรดินของสามเหลี่ยมรูปที่ 1 ก็นำมารวมกับปริมาตรดินของรูปที่ 2, 3, 4, ..., M รูปจนได้ปริมาตรดินทั้งหมดในขอบเขตที่กำหนด

ในการคำนวณหาปริมาตรดิน จากการสำรวจภาคพื้นดินนั้นได้ใช้วิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น แต่รูปเหลี่ยมที่ใช้เป็นรูปสี่เหลี่ยม เพราะฉะนั้นสูตรที่ใช้คำนวณก็เปลี่ยนไปดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรดิน} &= \frac{1}{2} [Y(I) X(J) + Y(J) X(K) + Y(K) X(L) + Y(L) X(I) \\ &\quad - X(I) Y(J) - X(J) Y(K) - X(K) Y(L) - X(L) Y(I)] \\ &\quad \frac{1}{4} [Z(I) + Z(J) + Z(K) + Z(L)] \end{aligned}$$



รูปที่ 3.11 แสดงพิกัดรูปสี่เหลี่ยม

จากรูป (3.11) เมื่อแบ่งรูปสี่เหลี่ยมเป็นสามเหลี่ยมสองรูป สูตรที่ใช้คำนวณเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรดิน} &= \frac{1}{2} \left[ Y(I) X(K) + Y(J) X(L) + Y(L) X(I) \right. \\
 &\quad \left. - X(I) Y(J) - X(J) Y(L) - X(L) Y(I) \right] \\
 &\quad \times \frac{1}{3} \left[ Z(I) + Z(J) + Z(L) \right] \\
 &\quad + \frac{1}{2} \left[ Y(J) X(K) + Y(K) X(L) + Y(L) X(J) \right. \\
 &\quad \left. - X(J) Y(K) - X(K) Y(L) - X(L) Y(J) \right] \\
 &\quad \times \frac{1}{3} \left[ Z(J) + Z(K) + Z(L) \right]
 \end{aligned}$$

#### 3.2.2.4 การวิเคราะห์ผลและตรวจสอบ

ในการวิเคราะห์ผลและตรวจสอบ จะทำการวัดค่าที่กีดทางราบและค่าระดับของจุดควบคุมที่ปรากฏอยู่ในรูปภูมิประเทศจำลอง แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าที่หามาได้ในงานสำรวจภาคพื้นดิน เพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น แล้วนำมาเทียบกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามทฤษฎี (ของค่าทางราบและทางตั้ง) จากนั้นก็ทำการหาค่าที่กีดต่าง ๆ ของจุดภาพเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตรของงานขุด ตามทฤษฎีในหัวข้อ 3.2.2.3 ต่อไป

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

#### 3.3.1 กล้องถ่ายภาพภาคพื้นดิน (Terrestrial Cameras)

กล้องถ่ายภาพภาคพื้นดินมีรูปแบบต่าง ๆ กัน แต่สามารถจำแนกเป็นพวกใหญ่ ๆ

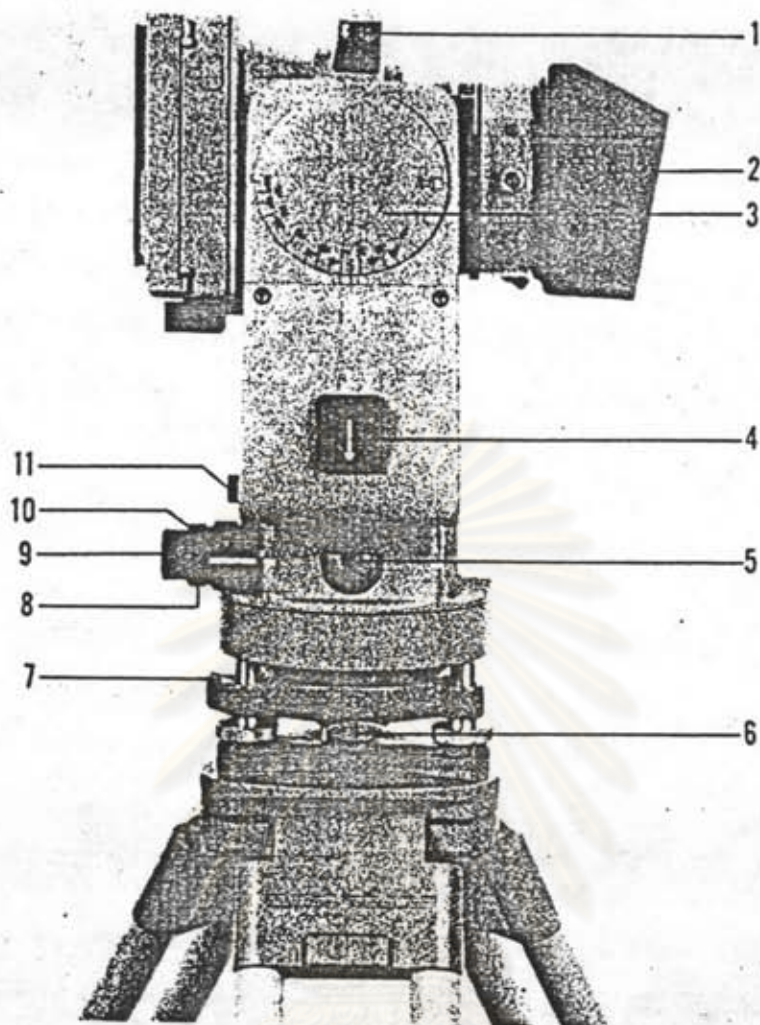
ได้สองประเภทคือ แบบรังวัด (Metric) และแบบทั่วไป (Nonmetric) คำว่า "กล้องถ่ายภาพแบบรังวัด" (Metric camera) ในที่นี้รวมถึงกล้องที่ผลิตขึ้นมาสำหรับประโยชน์ทางการสำรวจด้วยภาพถ่าย กล้องเหล่านี้มีเครื่องหมายดัชนีอยู่ที่ระนาบโฟกัส ทำให้สามารถหาตำแหน่งของจุดมุมยสำคัญได้อย่างถูกต้อง กล้องรังวัดถูกสร้างให้มีเสถียรภาพและได้รับการวัดสอบอย่างละเอียดก่อนใช้งานค่าความยาวโฟกัส ทิศจุดมุมยสำคัญและความเพี้ยนของเลนส์ที่วัดสอบไว้สามารถนำมาใช้อย่างมั่นใจเป็นเวลานาน ๆ

กล้องถ่ายภาพทั่วไปที่ผลิตขึ้นมาสำหรับตากกล้องสมัครเล่นหรือช่างภาพอาชีพมักยึดถือเอาคุณภาพของภาพเป็นสำคัญ แต่ความถูกต้องทางเรขาคณิตไม่ใช่ปัญหาใหญ่ กล้องเหล่านี้ไม่มีเครื่องหมายดัชนีแต่ก็สามารถทำเพิ่ม เข้าไปได้ กล้องแบบทั่วไปก็สามารถจะนำมาวัดสอบและใช้กับงานทางการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินได้และหลาย ๆ งาน ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อต้องการความถูกต้องทางเรขาคณิตสูงควรใช้กล้องแบบรังวัด (จิवालัย และ ธีระวัฒนา-สวัสดิ์, 2523)

กล้องถ่ายภาพแบบรังวัดแบ่งได้เป็นสองแบบคือ กล้องถ่ายภาพแบบรังวัดเดี่ยว (Single camera) และกล้องถ่ายภาพแบบรังวัดคู่ (Stereometric camera)

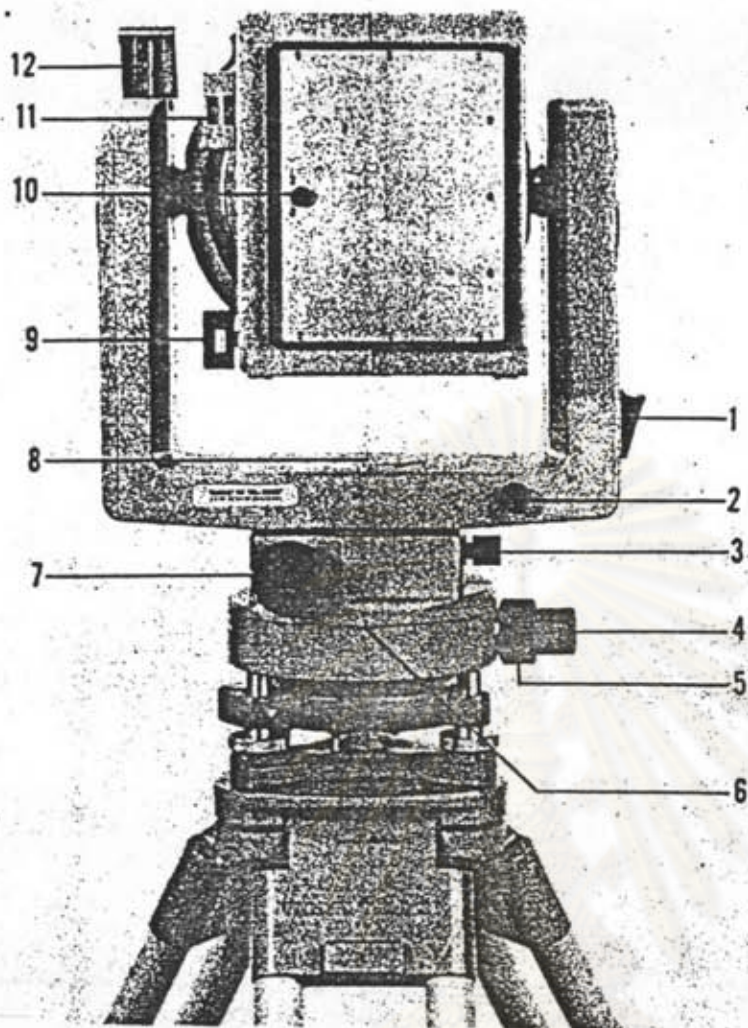
กล้องถ่ายภาพแบบรังวัดเดี่ยว (Single camera) ได้รับการออกแบบให้มีอุปกรณ์เพื่อการถ่ายภาพและอุปกรณ์สำหรับจัดกล้องเพื่อทราบทิศทาง การวางตัวของกล้อง มีใช้แตกต่างกันอยู่มากมายหลายชนิดแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต รายละเอียดของกล้องดังกล่าวดูได้จาก จิวาลัย และ ธีระวัฒนาสวัสดิ์ (2523) Karara (1979) และ Atkinson (1980) สำหรับกล้องที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้กล้อง P31 UNIVERSAL TERRESTRIAL CAMERA ลักษณะดังภาพที่ 3.12, 3.13, 3.14 ซึ่งมีลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้

ความยาวโฟกัส	: 99.22	มิลลิเมตร
รูกระบังของเลนส์	: f/8 - f/22	
ขนาดฟิล์มถ่ายภาพ	: 102 × 117	มิลลิเมตร
ความเพี้ยนตามแนวรัศมี	: < $\pm 4$	ไมโครเมตร



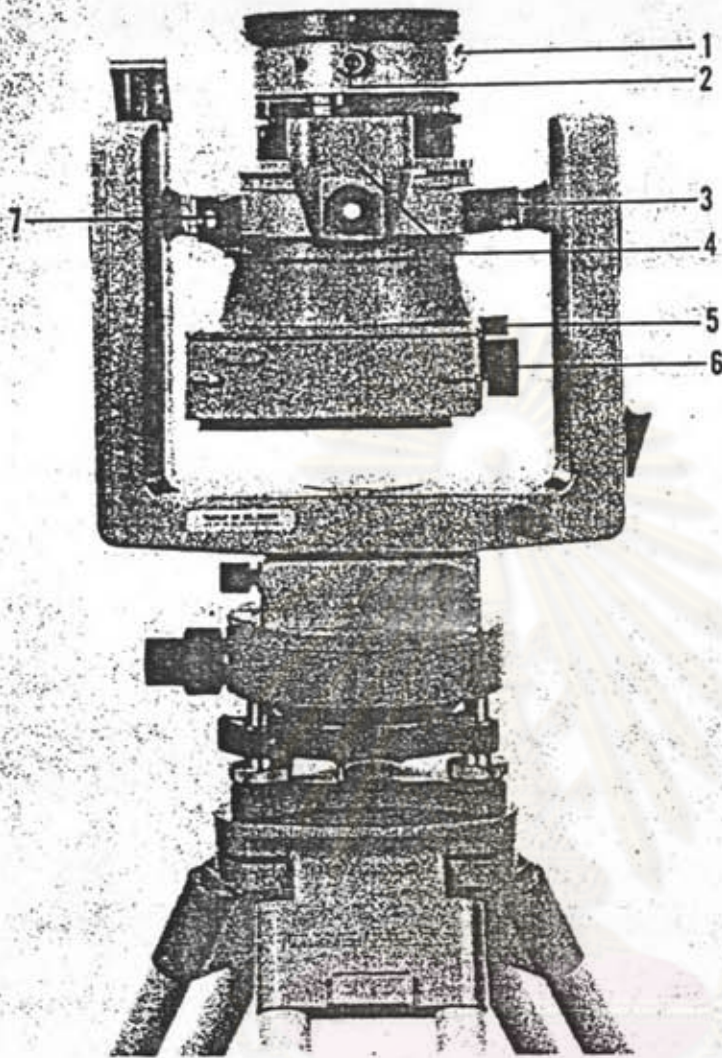
- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1. ตัวล็อกสำหรับการหมุนกล้อง | 9. แวนปรับภาพชัด                              |
| 2. กรอบบังแสง                | 10. แหวนปรับแนวเอียงของกล้องกับกล้องส่อง      |
| 3. ดันนียบอกมุมเอียง         | 11. ล็อกสำหรับแกนกล้องสำหรับหมุนรอบตัวแนวตั้ง |
| 4. ล็อกสำหรับเอียงกล้อง      |   |
| 5. กล้องเล็ง                 |   |
| 6. ตัวล็อกกล้องกับฐาน        |   |
| 7. ระคัมน์น้ำฟองกลม          |   |
| 8. แหวนปรับภาพชัด            |   |

รูปที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบของฐานกล้องถ่ายภาพภาคพื้นดินแบบ Wild P31



1. ล็อกสำหรับ เอียงกล้อง
2. ล็อกแกนกล้องสำหรับหมุนรอบตัวแนวตั้ง
3. กล้องเล็ง (หมุดปรับกล้องเล็ง)
4. แคลมป์ล่าง (หมุดปรับการหมุนกล้องในแนวตั้ง)
5. หมุดปรับละเอียดสำหรับหมุนกล้องในแนวตั้ง
6. ขีดบอกย่านสำหรับปรับละเอียด
7. กล้องเล็ง
8. ดันนียบอกมุมราบ
9. หมุดปรับแผ่นประกบให้ฟิล์มแนบ
10. ล็อกสำหรับแผ่นบังแสงที่ระนาบภาพ
11. หน้าปัทม์ตัว เลขบอกตัว เลขภาพ
12. กระจกเงาสำหรับมองระดับน้ำฟองยาว

รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบของกล้องถ่ายภาพภาคพื้นดินแบบ Wild P31



1. รูเกลียวสำหรับใส่สายชัตเตอร์
2. รูเกลียวสำหรับใส่สายแฟลช
3. ล็อกสำหรับการหมุนของกล้องในแนวตั้ง
4. ที่เลี้ยงภาพ
5. หน้าปัทม์บอกตัว เลขภาพ
6. หมุดปรับแผ่นประกบให้ฟิล์มแนบ
7. คันล็อกการเอียงของกล้อง

รูปที่ 3.14 แสดงส่วนประกอบของกล้องถ่ายภาพภาคพื้นดินแบบ Wild P31

มีวงแหวนสำหรับ เปลี่ยนความยาวโฟกัส

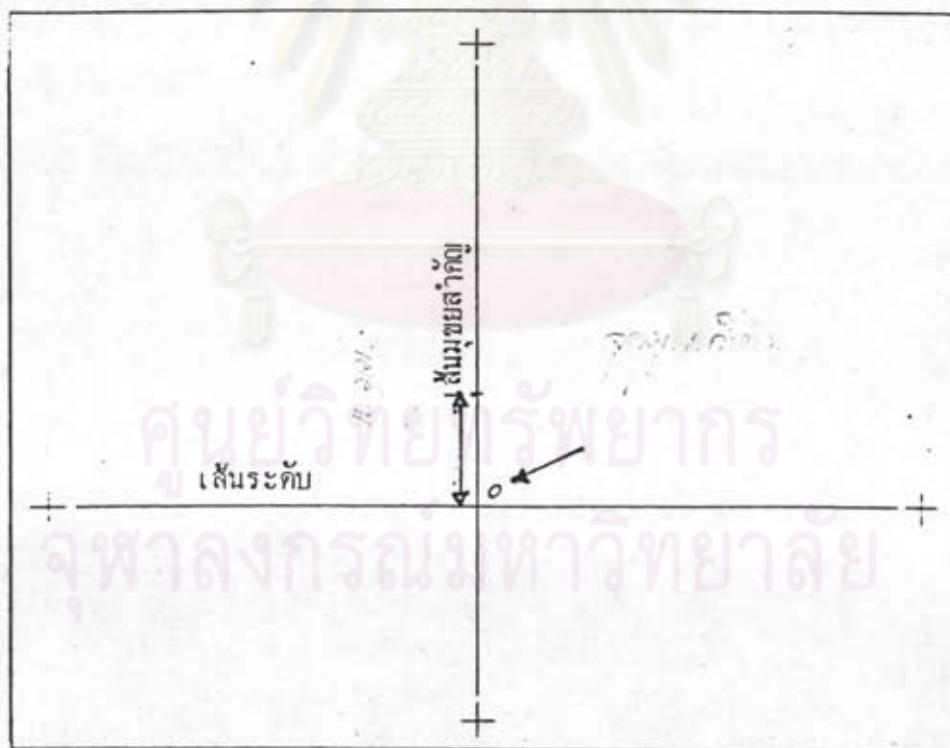
เพื่อโฟกัสวัตถุที่ระยะ : 25, 7, 4, 2.5, 2.1, 1.8, 1.6,  
1.4 เมตร

มุมรวมของแกนกล้องสามารถปรับ

ได้เป็น :  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$

มุมเงยขึ้นหรือเอียงลงของแกนกล้อง :  $0^{\circ}$ ,  $\pm 7^{\circ}$ ,  $\pm 15^{\circ}$ ,  $\pm 30^{\circ}$ ,  $\pm 50^{\circ}$ ,  
สามารถปรับได้เป็น :  $+ 60^{\circ}$ ,  $+ 75^{\circ}$ ,  $+ 85^{\circ}$ ,  $+ 93^{\circ}$ ,  
 $+ 100^{\circ}$

กล้อง Wild P31 นี้ มีจุดमुखสำคัญไม่อยู่ที่กึ่งกลางของภาพแต่เลื่อนไปอยู่ที่ระยะประมาณ 15 มม. จากจุดกึ่งกลางไปตามแนวเส้นमुखสำคัญ ดังรูปที่ 3.15 วัตถุประสงคก็เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.15 แสดงการเลื่อนจุดमुखสำคัญออกไปจากกึ่งกลางภาพของกล้อง Wild P31

กล้องถ่ายภาพแบบรังวัดคู่ (Stereometric Camera) ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพแบบรังวัดเดี่ยวสองกล้องซึ่งเหมือนกันทุกประการ (Two matched camera units) บิดติคอยู่ที่ปลายทั้งสองของฐานความยาวคงที่ (อาทิเช่น 0.4 ม., 1.2 ม., 2.0 ม. หรือ 3.0 ม.) แกนทัศนจะตั้งฉากกับฐานและขนานกัน เมื่อวัดสอบกล้องแล้วจะทราบตำแหน่งสัมพันธ์ของกล้องทั้งสอง และยังคงที่ตลอดสำหรับคู่ภาพสามมิติทุกคู่ ชัตเตอร์ของกล้องทั้งสองจะทำงานพร้อมกัน เนื่องจากความยาวของฐานน้อย เมื่อจัดเป็นคู่ภาพสามมิติจะทำให้ความมั่นคงทางเรขาคณิต (Geometric strength) สูงสำหรับวัตถุที่อยู่ใกล้ตำแหน่งถ่ายภาพ กล้องถ่ายภาพแบบรังวัดคู่จึงใช้งานเฉพาะการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ไม่เหมาะสำหรับงานเหมืองเปิด

### 3.3.2 เครื่องเขียนร่างแผนที่จากภาพคู่สามมิติ (Stereoscopic Plotting instrument)

โดยที่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์เพื่อจัดภาพสัมพันธ์และเพื่อความเข้าใจในรายละเอียดของเครื่องร่างดังกล่าวอย่างถูกต้องและชัดเจน จึงใคร่ขอหยิบยกส่วนหนึ่งของบทความเรื่อง "เครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์" โดย จิวาลย์ (2526) มา กล่าว ณ ที่นี้

เครื่องเขียนร่างแผนที่จากภาพคู่สามมิติ (stereoscopic plotting instrument) เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างแบบจำลองสามมิติ สำหรับประกอบแผนที่ภูมิประเทศจากภาพถ่ายที่ให้ทั้งคัง (planimetry) และข้อมูลเกี่ยวกับค่าระดับ เช่น เส้นชั้นความสูง (contour) ถือได้ว่า เป็นเครื่องมือหลักในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายตั้งแต่ในอดีตมาจนถึงทุกวันนี้ ปัจจุบัน เครื่องมือเหล่านี้สามารถแบ่งออก เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 4 กลุ่ม คือ

1. เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงอุปมาน (analog instruments)
2. เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงอุปมานแบบมีคอมพิวเตอร์สนับสนุน (computer supported analog instruments)
3. เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์ (analytical plotter)
4. เครื่องเขียนร่างแผนที่อัตโนมัติ (automatic plotter)

แต่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือชนิดใดส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ของเครื่องมือจะประกอบด้วย ระบบฉาย (projection system) ระบบดูภาพ (observation system) อุปกรณ์ขับเคลื่อน (dri-



ving agent) ระบบวัดและวาด (measuring and tracking system) หน่วยเขียนร่าง (plotting unit) หน่วยบันทึกค่า (recording unit) และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ กับผู้ใช้เครื่องเป็น ดังที่แสดงไว้ในรูป 3.16 เส้นลูกศรประเป็นการกระทำของผู้ใช้เครื่อง ส่วนเส้นลูกศรทึบ เป็นส่วนที่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงคณิต (metric information)

ในเครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงอุปมานระบบฉายเพื่อสร้างรูปจำลองสามมิติ (stereo model) อาจจะเป็นแบบเชิงทัศน (optical projection) แบบเชิงกล (mechanical projection) หรือแบบเชิงทัศนเชิงกล (optical-mechanical projection) ก็ได้ ส่วนกรณีของเครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์ระบบฉายได้กระทำโดยการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ จึงเรียกได้ว่าเป็นระบบฉายเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical projection system) สำหรับเครื่องเขียนร่างแผนที่อัตโนมัติ นั้น ระบบฉายจะเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับเครื่องมือประเภท ข หรือ ค แต่มีอุปกรณ์สัมพันธ์เชิงภาพ (image correlators) สำหรับกำจัดระยะเหลื่อม (parallax) โดยอัตโนมัติเพิ่ม เข้ามาทำหน้าที่แทนคนใช้เครื่องมือ

เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์มีคอมพิวเตอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นย่อมได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ตามที่กล่าวมาแล้วเป็นหลัก รูปแบบของระบบโดยสังเขปสามารถแทนได้ด้วยผัง ดังในรูป 3.17 ระบบฉายหรือในกรณีนี้ก็ คือ การแปลงค่าเป็นเชิงคณิตศาสตร์ระหว่างค่าพิกัดจุดภาพกับพิกัดของจุดในรูปจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณจากสมการสภาวะร่วมเส้นหรือสภาวะร่วมระนาบ ดังนั้นระบบฉายของเครื่องจึงเปลี่ยนไป ทำให้เครื่องมือในส่วนที่อยู่ด้านซ้ายทั้งหมดของรูป มีลักษณะเป็นคอมพิวเตอร์ (หรือเครื่องวัดลิกกิต) คือผ่านอินเทอร์เฟซ (interfaces) เข้า อินเทอร์เฟซ จะมีรูปแบบการทำงานแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่องมือ เมื่ออินเทอร์เฟซทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลในรูปแบบของคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ให้มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์หรือคินสอมอนโตะลงทิกกิต ฯลฯ มักจะอยู่ในรูปของเซอร์โว (servos หรือ actuators) หากเป็นข้อมูลในรูปตัวเลข ซึ่งเช่นข้อมูลป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ก็จะอยู่ในรูปดิจิไทเซอร์ (digitisers)

ระบบดูภาพส่วนใหญ่ใช้ระบบกล้องสองตาม่านระบบทัศนคล้ายกับคอมพิวเตอร์หรือเครื่องร่างแผนที่แบบระบบฉายเป็นเชิงกลทั่ว ๆ ไป แต่ก็มีบางเครื่องมือที่เป็นแบบฉายออกไป

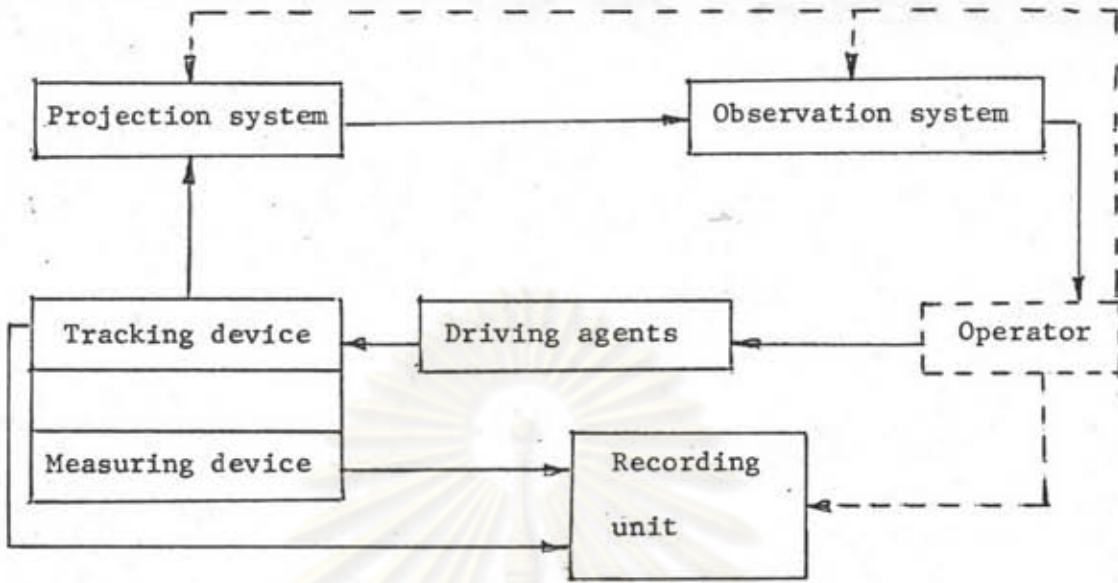
ปรากฏบนจอในระบบแสงโพลาริซ์ เวลามองเห็นแว่นโพลารอยด์ที่สอดคล้องกันแต่ก็ดูสบาย  
ในอีกลักษณะหนึ่ง

คอมพิวเตอร์ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของเครื่องมือ ในปัจจุบันมักเป็นไมโครหรือมินิ  
คอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป ไม่ใช่คอมพิวเตอร์เฉพาะกิจเหมือนแต่ก่อนนี้ บางเครื่องมืออาจใช้คอม-  
พิวเตอร์ขนาดเล็กมากกว่าหนึ่งตัวก็ได้ และบางเครื่องก็สามารถใช้ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ใหญ่  
ของหน่วยงาน เลยก็ได้เช่นกัน ในการส่งข้อมูลผ่านไปยังโต๊ะเขียนแผนที่ปัจจุบันมักใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์แทน

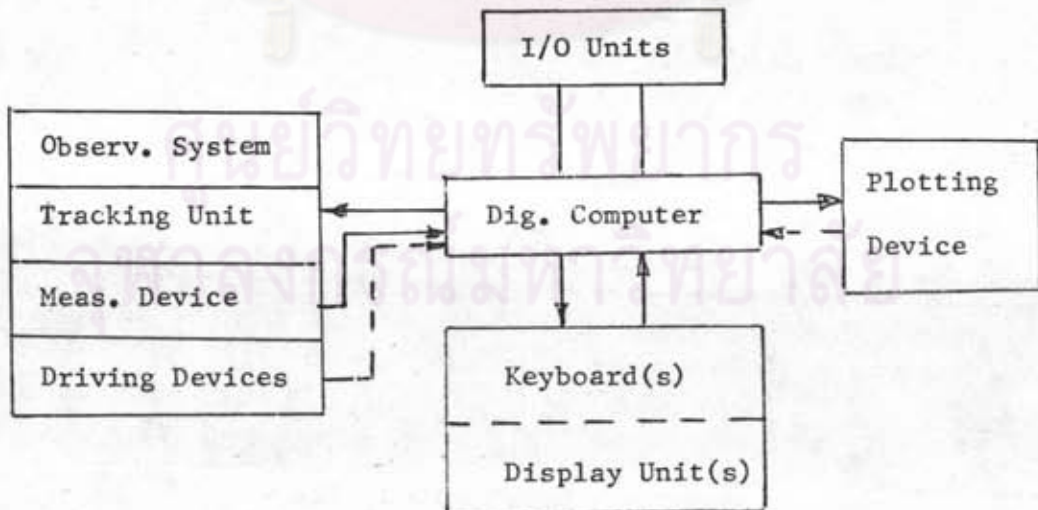
โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเทคนิคการคำนวณก็มีแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่องมากบ้าง  
น้อยบ้าง ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ โปรแกรมหลัก (basic) และโปรแกรมประยุกต์  
(application) โปรแกรมหลักมักเกี่ยวกับโปรแกรมที่สั่งให้เครื่องทำงานตรวจสอบเครื่อง  
ส่วนโปรแกรมประยุกต์เป็นพวกที่ใช้สำหรับงานสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่าย อาทิ การจัดการภายใน  
(interior orientation) การจัดการสัมพัทธ์ (relative orientation) การจัดการภาพ  
สัมบูรณ์ (absolute orientation) การทำรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital  
Terrain Model) การหาภาคตัด (profile) ตลอดจนการทำขยายสามเหลี่ยมทางอากาศวิธี  
ต่าง ๆ เป็นต้น

ข้อเด่นที่สำคัญประการหนึ่งของเครื่องวางแผนที่เชิงวิเคราะห์ก็คือ การที่สามารถ  
ตรวจแก้ค่าคลาดเคลื่อนมีระบบต่าง ๆ ได้สะดวกมาก โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ อาทิ เช่น การ  
หักเหของแสงในบรรยากาศ ความโค้งของผิวโลก ความเพี้ยนของเลนส์ การยืดหดตัวของฟิล์ม  
และความเพี้ยนอื่นใดก็ตามที่มีรูปแบบที่แทนได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือทางสถิติ ค่าที่แก้  
ต่าง ๆ จะถูกตรวจแก้ก่อนที่จะใช้คำนวณการจัดการภาพเพื่อสร้างรูปจำลองสามมิติ นอกจากนั้นคอม-  
พิวเตอร์ยังใช้เป็นตัวควบคุมโต๊ะเขียนแผนที่ในการเขียนเส้นรายละเอียดต่าง ๆ ตลอดจนสัญลักษณ์  
ลักษณะแผนที่ด้วย

นอกจากนั้นในเครื่องมือบางบริษัทยังมีอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน  
อื่น ๆ ด้วย อาทิ เช่น จอภาพแสดงตำแหน่ง จุดลอยในรูปจำลอง จอภาพแสดงตำแหน่งปลาย  
ปากกาบนโต๊ะเขียนแผนที่ จอภาพแสดงค่าที่แก้ ฯลฯ



รูปที่ 3.16 ระบบเครื่องร่างแผนที่จากภาพถ่ายสามมิติ



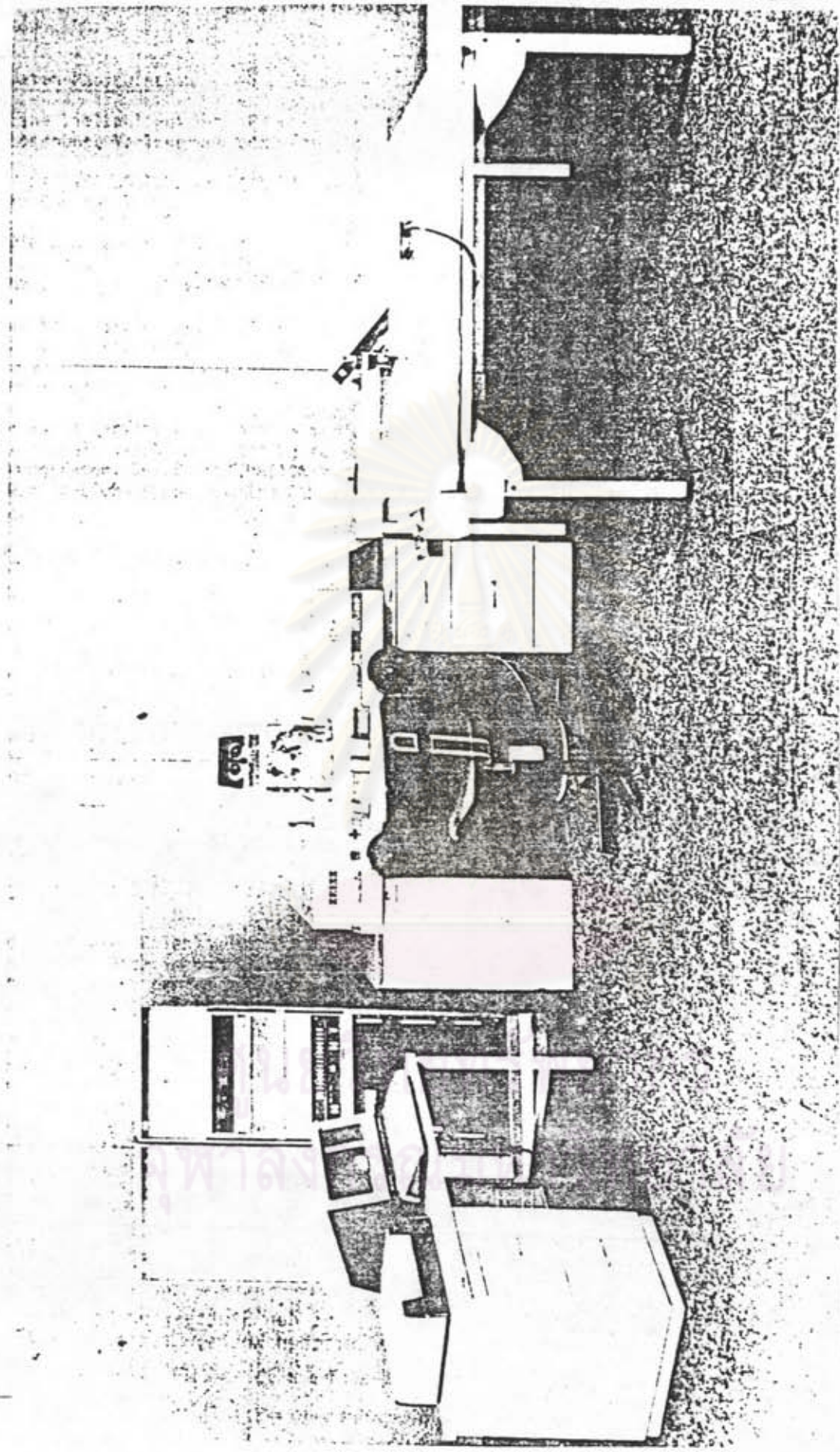
รูปที่ 3.17 ระบบเครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์โดยสังเขป

ในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องเขียนร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์ รุ่น C-100 PLANICOMP  
มีลักษณะและส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งประกอบด้วย

1. หน่วยเชิงทัศน-เชิงกลเบื้องต้น (Basic opto-mechanical unit)
2. แผงควบคุมภาพถ่าย (Photogrammetric control panel)
3. หน่วยควบคุม (Control unit)
4. คอมพิวเตอร์ (Computer)
5. Computer terminal ในรูปของ teleprinter หรือ Video screen
6. อุปกรณ์ประกอบช่วยอื่น ๆ (Peripheral equipment)
7. โต๊ะเขียนร่างแผนที่ (Plotting table)



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.18 แสดงรูปลักษณะและส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องเขียนร่าง  
 แผนที่เชิงวิเคราะห์ C-100 PLANICOMP

### 3.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมืออื่น ๆ

เครื่องมืออื่น ๆ ที่ใช้ในการสำรวจโดยภาพถ่ายภาคพื้นดิน นอกจากเครื่องมือพิเศษที่เป็นหลักสำคัญที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 แล้ว ยังมีอุปกรณ์และเครื่องมืออื่น ๆ ประกอบใช้ร่วมทำงานอีกคือ

1. กล้องวัดมุม เพื่อใช้ส่องสกัดหาตำแหน่งของจุดควบคุมต่าง ๆ และงานวางเส้นฐานในการวิจัยนี้ใช้กล้องวัดมุม Wild T2 และ Wild T16 ในงานควบคุมลำดับ
2. กล้องทำระดับ ใช้รังวัดทำระดับในงานวางเส้นฐาน ในงานวิจัยได้ใช้กล้องวัดระดับของ Wild NAK1
3. เครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ ใช้วัดหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุดตั้งกล้อง ในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ Wild DI4
4. เบ้า เพื่อใช้แสดงตำแหน่งจุดควบคุมในการถ่ายภาพ โดยขนาดของเบ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างขึ้นเองโดยให้มีจุดหรือ เครื่องหมายที่มีขนาดเมื่อปรากฏบนภาพโตกว่าขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของจุดลรอยที่ใช้ในการวัดใน เครื่องเขียนร่างแผนที่อยู่ประมาณ 1.5 เท่า
5. ฟิล์มถ่ายภาพ ซึ่งมีหลายชนิดทั้งขาวดำและสี เพื่อสามารถเลือกใช้ตามความต้องการได้
6. เครื่องวัดแสง ใช้วัดความสว่างของแสงที่เป็นอยู่ในพื้นที่ที่จะทำการถ่ายภาพ เพื่อรับความเร็วของชัตเตอร์หรือ เปิดหน้ากล้องให้พอเหมาะกับขนาดของแสง ซึ่งจะช่วยให้รูปถ่ายที่ได้ออกมามีความสว่างพอเหมาะ

### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในการดำเนินการแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่คือ การบันทึกข้อมูลและการทอนข้อมูล ซึ่งลักษณะของการดำเนินการในแต่ละส่วนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ในหัวข้อ 3.2.1 ถึง

3.2.2.4 ซึ่งหอสรูปเป็นผังระบบงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาปริมาณงานหุดโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

จากแผนภูมิแสดงขั้นตอนการหาปริมาตรงานชุดโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน  
ในรูปที่ 3.1 หอสรุปหลักการโดยสังเขปของขั้นตอนเหล่านั้นได้ดังนี้คือ

1. การสำรวจสังเขป เป็นการพิจารณาอย่างคร่าว ๆ ถึงสภาพที่เป็นอยู่โดยทั่วไป  
ของลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งจะได้ข้อมูลอย่างกว้าง ๆ ในเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่ง  
ประกอบการพิจารณาและวางแผนในการทำงาน ซึ่งอาจจะเริ่มจากการพิจารณาในสำนักงานโดย  
ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ที่สามารถแสดงลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภาพถ่ายหรือแผนที่ ตลอดจนการเข้าไป  
สังเกตดูสภาพพื้นที่จริงที่เป็นอยู่ในสนาม

2. การกำหนดและหาพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน เป็นการกำหนดตำแหน่งจุดควบคุม  
ภาคพื้นดินลงในพื้นที่ที่จะศึกษาวิจัย ให้เหมาะสมและเพียงพอที่จะใช้เป็นจุดควบคุมในภาพถ่าย  
ซึ่งทั้งนี้จะมีการหาตำแหน่งที่อยู่ของจุดควบคุมเหล่านี้ เพื่อนำไปใช้งานในกระบวนการทางเทคนิค  
ของการสำรวจด้วยภาพถ่าย

3. การกำหนดจุดตั้งกล้องและถ่ายภาพสามมิติ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายสามมิติที่ดีที่จะ  
ใช้ในการคำนวณงานชุด จึงต้องมีการวางแผนกำหนดจุดตั้งกล้องที่เหมาะสมลงในพื้นที่ที่ทำการ  
ศึกษาวิจัย แล้วทำการถ่ายภาพโดยวิธีที่ถูกต้อง เพื่อไปล้างและอัดใช้สร้างรูปจำลองสามมิติ

4. การสร้างรูปทรงตรงจำลองในเครื่องร่างสามมิติและวัดพิกัดของจุดต่าง ๆ ใน  
เครื่องร่างสามมิติ โดยการสร้างรูปจำลองภูมิประเทศขึ้นจากภาพถ่ายที่ได้มาให้มีสภาพเหมือน  
ของจริงทุกประการ ยกเว้นขนาดและการวางตัว แล้วทำการวัดค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ที่ต้องการ  
โดยใช้เครื่องเขียนร่างแผนที่สามมิติ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณขั้นต่อไป

5. การแปลงค่าพิกัดในรูปจำลองสามมิติไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศโดยวิธีเชิงวิ-  
เคราะห์ หลังจากที่ได้จำลองสร้างลักษณะของภูมิประเทศขึ้นให้เหมือนของจริง และทำการวัด  
ค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในภูมิประเทศจำลองนั้นแล้ว ก็ทำการแปลงค่าพิกัดของจุดที่ได้เหล่านั้น  
ไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศ โดยการแปลงพิกัดสามมิติแบบคงรูป

6. การคำนวณหาปริมาตรงานชุดโดยเทคนิคของรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข เป็น  
การคำนวณหาปริมาตรงานชุดโดยใช้หลักการของแท่งปริซึม (Truncated prism) ซึ่งถือว่า  
ปริมาตรของวัสดุทั้งหมดก็คือผลรวมของแท่งปริซึมย่อยที่ประกอบกันเป็นปริมาตรของวัสดุนั้น โดย  
ปริซึมแต่ละแท่งที่ประกอบกัน เป็นปริมาตรของวัสดุจะมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมก็ได้



ปริมาณของแม่พิมพ์ซีเมนต์แต่ละแท่งจะ เท่ากับผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับความสูงเฉลี่ย ซึ่งขั้นตอนนี้ใช้คอมพิวเตอร์ เข้าช่วยในการทำงาน

7. วิเคราะห์ผลและตรวจสอบ เป็นการคำนวณและเปรียบเทียบ เกณฑ์ความถูกต้องของงานในเรื่องค่าที่กักจุดควบคุม ที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่านเทียบกับค่าที่ได้จากการสำรวจในสนาม เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณของปริมาณตรงงานชุดต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย