

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 พื้นที่งานวิจัย

ปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ดำเนินการขุดวัสดุที่ทับถมบนด้านลิกไนต์ และตัวถ่านที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และทำการสำรวจรังวัดในสนามหากัดทางราบและค่าระดับเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณงานขุดต่อไป เฉพาะบริเวณงานขุดมีพื้นที่กว้างและยาวประมาณ 1,000 ม. 2,000 ม. ขุดลึกลงไปที่ค่าระดับสูงสุดประมาณ 298 ม. และค่าสุดประมาณ 260 ม. และที่ขอบบ่อของเหมืองมีค่าระดับประมาณ 310-317 ม. มีรถขุดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นลึกตั้งแต่ 6-13 ม. ในพื้นที่ส่วนที่ใช้คำนวณหาปริมาณงานขุดโดยวิธีสำรวจรังวัดในสนามอยู่ในชั้นระดับประมาณ 282 ม. และชั้นระดับประมาณ 275 ม. เป็นระดับอ้างอิง สำหรับแผนผังบริเวณงานขุดของเหมืองแม่เมาะมีลักษณะดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

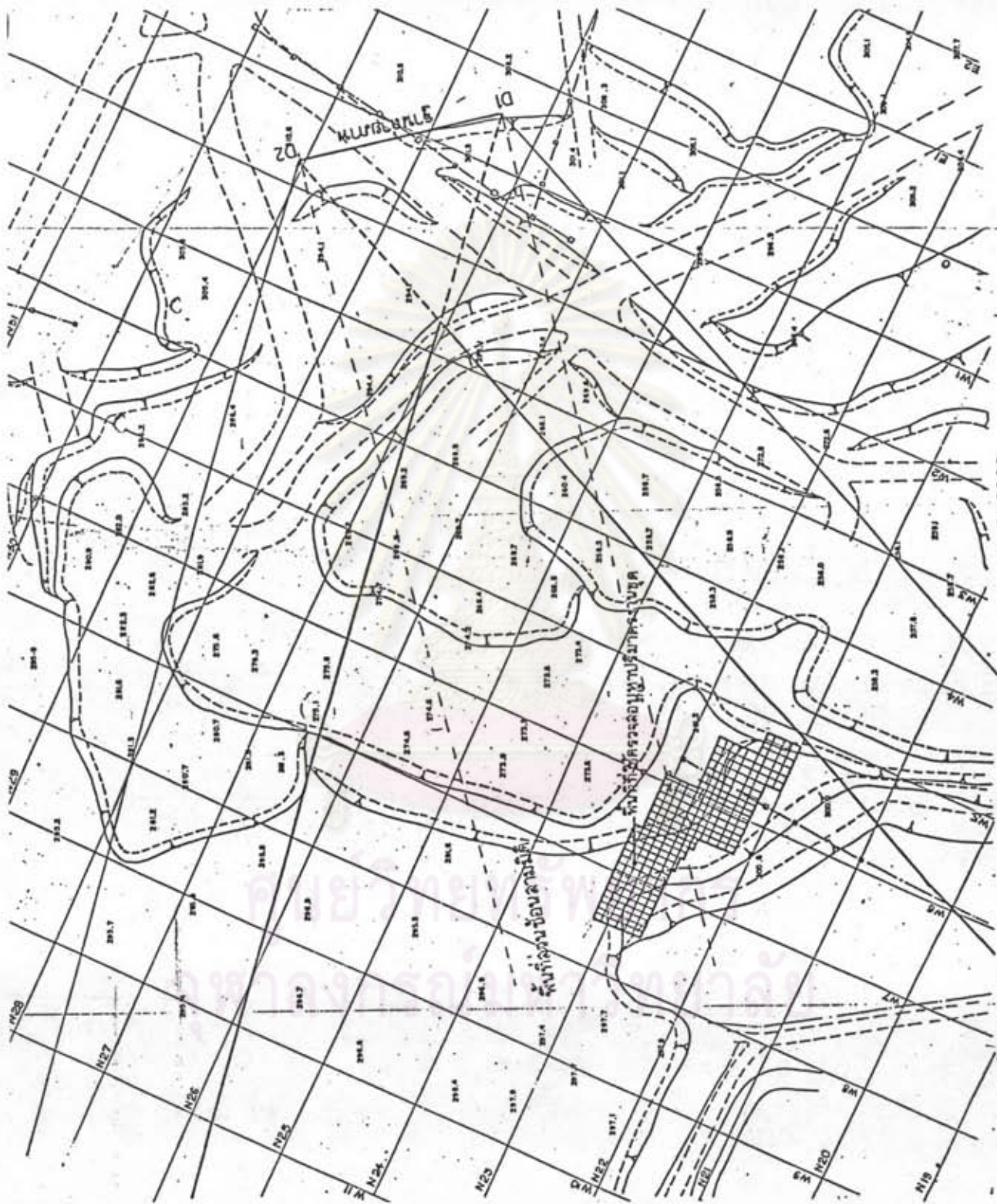
#### 4.2 การวางแผนงาน

การวางแผนงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินงานแต่ละโครงการ ทั้งนี้เพื่อให้งานมีประสิทธิภาพมากที่สุด และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญในการพิจารณาวางแผนงานคือ การศึกษาลักษณะสมบัติของพื้นที่หรือวัตถุที่จะถ่ายภาพโดยสังเขปและเครื่องมือที่จะใช้ในการปฏิบัติงาน เกณฑ์ความถูกต้องของงาน และจุดควบคุมภาคพื้นดิน

##### 4.2.1 การสำรวจสังเขป

ในการดำเนินการวิจัย ได้เข้าไปสำรวจดูลักษณะสมบัติของบริเวณงานขุดและได้ถ่ายภาพบริเวณดังกล่าว และได้ศึกษาจากแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงมาตราส่วน 1:2,000 เพื่อวางแผนการกำหนดจุดตั้งกล้องถ่ายภาพและจุดควบคุมภาคพื้นดินตาม เครื่องมือที่ใช้ปฏิบัติงาน และตาม เกณฑ์กำหนดต่อไป

##### 4.2.2 เครื่องมือที่จะใช้ในการปฏิบัติงาน



มาตราส่วน 1:2000

รูปที่ 4.1 แผนที่บริเวณท่าอากาศยาน

เนื่องจากในการปฏิบัติงานจะต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นการทราบถึงความสามารถหรือขีดจำกัดของเครื่องมือที่มีอยู่ จะทำให้การวางแผนงานกระทำได้อย่างรอบคอบและรัดกุมยิ่งขึ้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เครื่องมือหลักที่สำคัญที่ใช้ในการทำวิจัยนี้คือ

- กล้องถ่ายภาพภาคพื้นดิน Wild P31 มีความยาวโฟกัสประมาณ 100 มม. ขนาดฟิล์มเท่ากับ 83 มม. × 117 มม.
- กล้องสำรวจวัดมุม Wild T16 และ Wild T2 ซึ่งมีความละเอียด 1 ลิบคา และ 1 มิลลิคา ตามลำดับ
- เครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์แบบ Wild DI4
- เครื่องร่างแผนที่จากภาพถ่ายสามมิติเชิงวิเคราะห์ Zeiss Planicomp. C100 ซึ่งไม่มีขีดจำกัดเกี่ยวกับความยาวโฟกัสหรือระยะมุมสำคัญของกล้อง มุมเอียง และผ่านของ Z-column

#### 4.2.3 เกณฑ์ความถูกต้องของงาน

จากการสำรวจรังวัดแบบลักษณะภูมิประเทศของบริเวณที่จะถ่ายภาพและมีข้อมูลสนามเพื่อเปรียบเทียบการหาปริมาตรงานขุด ความสูงโดยประมาณของพื้นที่ใช้ทดสอบอยู่สูงจากระดับ 275 ม. ประมาณ 7 ม. ถ้าหากวัดพิกัดทางราบของแต่ละจุดห่างกันประมาณ 10 ม. แล้วอาศัยหลัก ในหัวข้อ 3.2.1.2 จะสามารถหาความคลาดเคลื่อนของปริมาตรงานขุดได้ตามตัวอย่าง ดังนี้

จากรูปที่ 3.1 ถ้าจุด  $P_1, P_2, P_3$  มีค่าพิกัด  $(X, Y)$  เป็น  $(1610.00, 1010.00), (1610.31, 1020.47)$  และ  $(1620.00, 1010.00)$  ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.1)} \quad A &= \frac{1}{2} (Y_1X_2 + Y_2X_3 + Y_3X_1 - X_1Y_2 - Y_2Y_3 - X_3Y_1) \\ &= 104.71 \quad \text{ม.}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.2)} \quad V &= Ah \\ &= 104.71 \times 7.00 \quad \text{ม.}^2 \\ &= 732.97 \quad \text{ม.}^2 \end{aligned}$$

ถ้าความคลาดเคลื่อนในการวัดทิศทางทุกจุดในทางราบ  $\sigma_X, \sigma_Y = \Sigma 0.10$  ม.

และความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าระดับ  $\sigma_h = \Sigma 0.01$  ม.

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.10)} \quad \sigma_V^2 &= h^2 \sigma_A^2 + A^2 \sigma_h^2 \\ \sigma_V &= 7.19 \text{ ม.}^3 \end{aligned}$$

ถ้ามีรูปสามเหลี่ยมจำนวน  $n$  รูป และการวัดค่าทิศทางของสามเหลี่ยมแต่ละรูป เป็นอิสระ  
แก่กัน สมมุติว่าแท่งวัสดุฐานสามเหลี่ยมแต่ละรูปมีปริมาตรเท่ากันและความคลาดเคลื่อนของปริมาตร  
มีค่าเท่ากัน

$$\text{จากสมการ (3.11)} \quad \sigma_V = h \sigma_V$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } n = 195 \text{ รูป, } \sigma_V &= 195 \times 7.19 \text{ ม.}^3 \\ &= 1402.005 \text{ ม.}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.12) ผลรวมทางปริมาตรงานบุคคลของพื้นที่ทั้งหมด} \\ &= 104.71 \times 7.00 \times 1 \text{ ม.}^3 \\ &= 732.97 \text{ ม.}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3.13) ความคลาดเคลื่อนของปริมาตร} &= \frac{\sigma_V}{\Sigma V} \times 100 \\ &= \frac{1402.005}{732.97} \times 100 \text{ ม.}^3 \\ &= 191.25 \% \end{aligned}$$

อาศัยวิธีการดังกล่าวนี้ และถ้าหากค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดทิศทางราบ  $\sigma_X,$   
 $\sigma_Y$  และค่าคลาดเคลื่อนของการวัดทิศทางระดับ  $\sigma_h$  มีค่าดังในตารางที่ 4.1 จากสมการ  
(3.10), (3.11), (3.12) จะได้ค่า  $\sigma_V, \sigma_V$  และความคลาดเคลื่อนของปริมาตรคิดเป็น  
ร้อยละได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนของการรังวัดทิศทางและปริมาตร				
$\sigma_X, \sigma_Y$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$\sigma_V$ (m <sup>3</sup> )	$\sigma_V$ (m <sup>3</sup> )	ความคลาดเคลื่อนคิดเป็น %
$\pm 0.50$	$\pm 0.01$	$\pm 35.59$	496.99	0.35
$\pm 0.50$	$\pm 0.10$	$\pm 37.08$	517.79	0.36
$\pm 0.50$	$\pm 0.30$	$\pm 47.46$	662.74	0.46
$\pm 0.50$	$\pm 0.50$	$\pm 63.30$	883.94	0.62
$\pm 0.30$	$\pm 0.01$	$\pm 21.37$	298.423	0.21
$\pm 0.30$	$\pm 0.10$	$\pm 23.77$	331.97	0.23
$\pm 0.30$	$\pm 0.30$	$\pm 37.98$	530.36	0.37
$\pm 0.30$	$\pm 0.50$	$\pm 56.54$	789.54	0.55
$\pm 0.10$	$\pm 0.01$	$\pm 7.19$	100.40	0.07
$\pm 0.10$	$\pm 0.10$	$\pm 12.66$	176.79	0.12
$\pm 0.10$	$\pm 0.30$	$\pm 32.21$	449.79	0.31
$\pm 0.10$	$\pm 0.50$	$\pm 52.54$	733.68	0.51

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของการรังวัดทิศทางและปริมาตรจากตารางที่ 4.1  
เห็นควรใช้ค่าความคลาดเคลื่อนในการรังวัดทิศทางที่เหมาะสมกับการใช้เครื่องมือดังนี้

ความคลาดเคลื่อนทางการรังวัดทิศทางรวม = 0.50 ม.  
ความคลาดเคลื่อนของการรังวัดทิศทางตั้ง = 0.10 ม.

ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของปริมาตรเท่ากับ 0.4 % และอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด 1-2 %  
(Richadus. 1974)

เมื่อต้องการให้ผลที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดดังกล่าวจุดควบคุมภาคพื้นดิน ควรมีความ  
คลาดเคลื่อนน้อยกว่าหนึ่งในสองหรือ หนึ่งในสามของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้มีได้ในภาพถ่าย

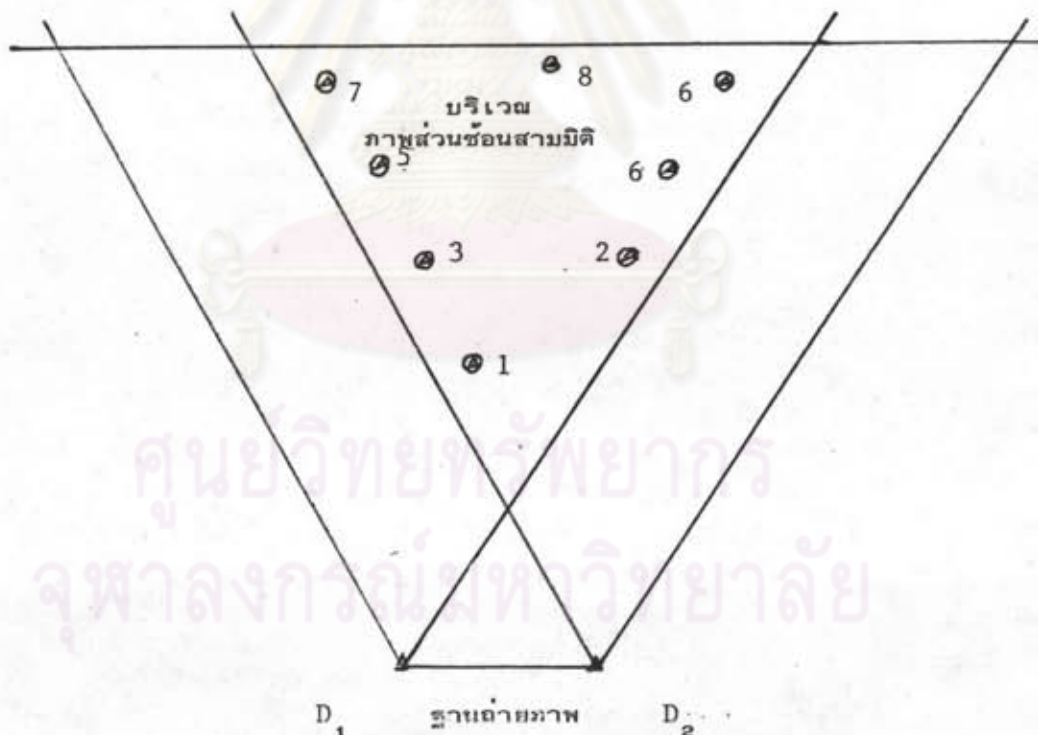
ดังนั้นจึงสมควรกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดิน (จุดบังคับภาพถ่าย) เป็นดังนี้

ความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดินทางราบ = 0.17 ม.

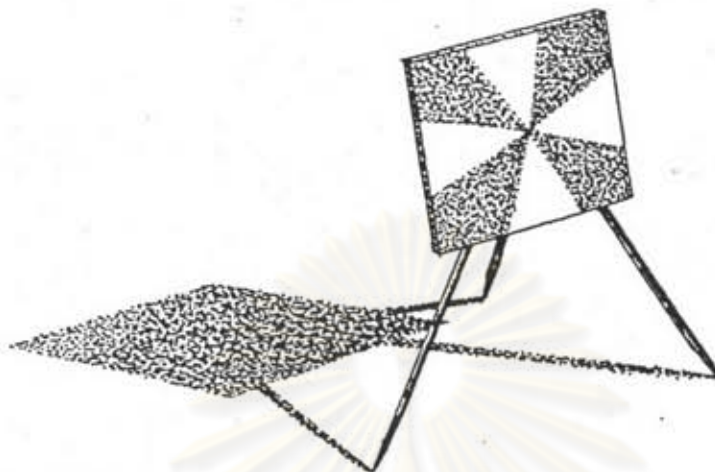
ความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดินทางตั้ง = 0.03 ม.

#### 4.2.4 ตำแหน่งและลักษณะจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ในงานวิจัยนี้ได้วางแผนให้ตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินกระจายไว้ทั่วบริเวณส่วนช้อนสามมิติ โดยเฉพาะส่วนขอบ (รูปที่ 4.2) จุดควบคุมภาคพื้นดิน (เป้า) มีขนาด  $0.60 \times 0.60$  ม.<sup>2</sup> ซึ่งเมื่อปรากฏที่เครื่องร่างสามมิติจะมีขนาดโตกว่าจุดลอยประมาณ 1.5 เท่า ลักษณะของเป้าเป็นไม้อัดแผ่นเรียบ ด้านหน้าทาสีดำ-ขาว สลับกัน (รูปที่ 4.5) เพื่อให้ใช้ได้กับหลายมาตราส่วน ด้านหลังตรงกึ่งกลางเป้าติดท่อเหล็กกลมจาก มีเกลียวตัวเมียยึดติดแน่นไว้เพื่อยึดกับเกลียวของขาตั้งกล้อง (Tripod) โดยทั่ว ๆ ไปได้



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งจุดควบคุมในพื้นที่ส่วนช้อนสามมิติ



รูปที่ 4.3 แสดงรูปเบ้า

#### 4.2.5 การกำหนดจุดตั้งกล้องถ่ายภาพและจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การกำหนดจุดตั้งกล้องถ่ายภาพและจุดควบคุมภาคพื้นดินมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

(1) เขียนมุมทัศนียภาพลงบนแผ่นใสจำนวน 2 แผ่น ให้มีมาตราส่วนเท่ากับ 1:2,000 ซึ่งเป็นมาตราส่วนของแผนที่เดิมที่ใช้ในการวางแผน มุมทัศนียภาพของกล้อง Wild P31 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

(2) นำมุมทัศนียภาพทั้งสองแผ่นมาวางทาบกับแผนที่เดิม (มาตราส่วน 1:2,000) เพื่อให้ส่วนซ้อนครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการหาปริมาณงานชุด (รูปที่ 4.1) โดยพยายามเลื่อนแผ่นใสทั้งสองให้จุดถ่ายภาพอยู่สูงที่สุด เข้าไปตั้งกล้องได้สะดวก และมีอัตราส่วนระยะฐานถ่ายภาพต่อความลึกของระยะวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ ได้ข้อมูลในการวางแผนงานดังนี้

อัตราส่วนฐานถ่ายภาพต่อระยะลึกวัดประมาณ	$\frac{1}{2}$ ถึง $\frac{1}{4}$
ระยะฐานถ่ายภาพโดยประมาณ	210 ม.
ระยะวัดถุไกลที่สุดและใกล้สุด	400 - 800 ม.
ทิศทางกริดเหมืองของจุดถ่ายภาพโดยประมาณ (รูปที่ 4.1)	

$$D_1 = (N 27.5, W 0.5, 308.2)$$

$$D_2 = (N 29.1, W 1.8, 310.6)$$

ถ้าหากนำภาพถ่าย ซึ่งถ่าย ณ จุดตั้งกล้องตั้งกล้องไปสร้างทรวงทรงจำลองสามมิติ  
ในเครื่องร่างสามมิติ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในการวัดพิกัดประมาณ 0.01 มม.

จากสมการ (3.27), (3.28), (3.29)

$$\text{เมื่อ } f = 100 \text{ มม.}$$

$$\sigma = 0.01 \text{ มม.}$$

$$Y = 850 \text{ ม.}$$

$$B = 210 \text{ ม.}$$

$$\text{จะได้ } \sigma_X = 0.08 \text{ ม.}$$

$$\sigma_Y = 0.34 \text{ ม.}$$

$$\sigma_Z = 0.08 \text{ ม.}$$

จากสมการ (3.30)

$$\text{ได้ความถูกต้องทางราบ } \sigma_{\rho} = 0.35 \text{ ม.}$$

$$< 0.50 \text{ ม.}$$

$$\text{ความถูกต้องทางตั้ง } \sigma_z = 0.08 \text{ ม.}$$

$$< 0.10 \text{ ม.}$$

ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าการกำหนดจุดตั้งกล้องตั้งกล้องอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้

จากลักษณะทางเรขาคณิตตั้งกล้อง จะได้มาตราส่วนถ่ายภาพประมาณ  $\frac{100}{400}$  ถึง  $\frac{100}{850}$   
หรือ  $\frac{1}{4,000}$  ถึง  $\frac{1}{8,500}$

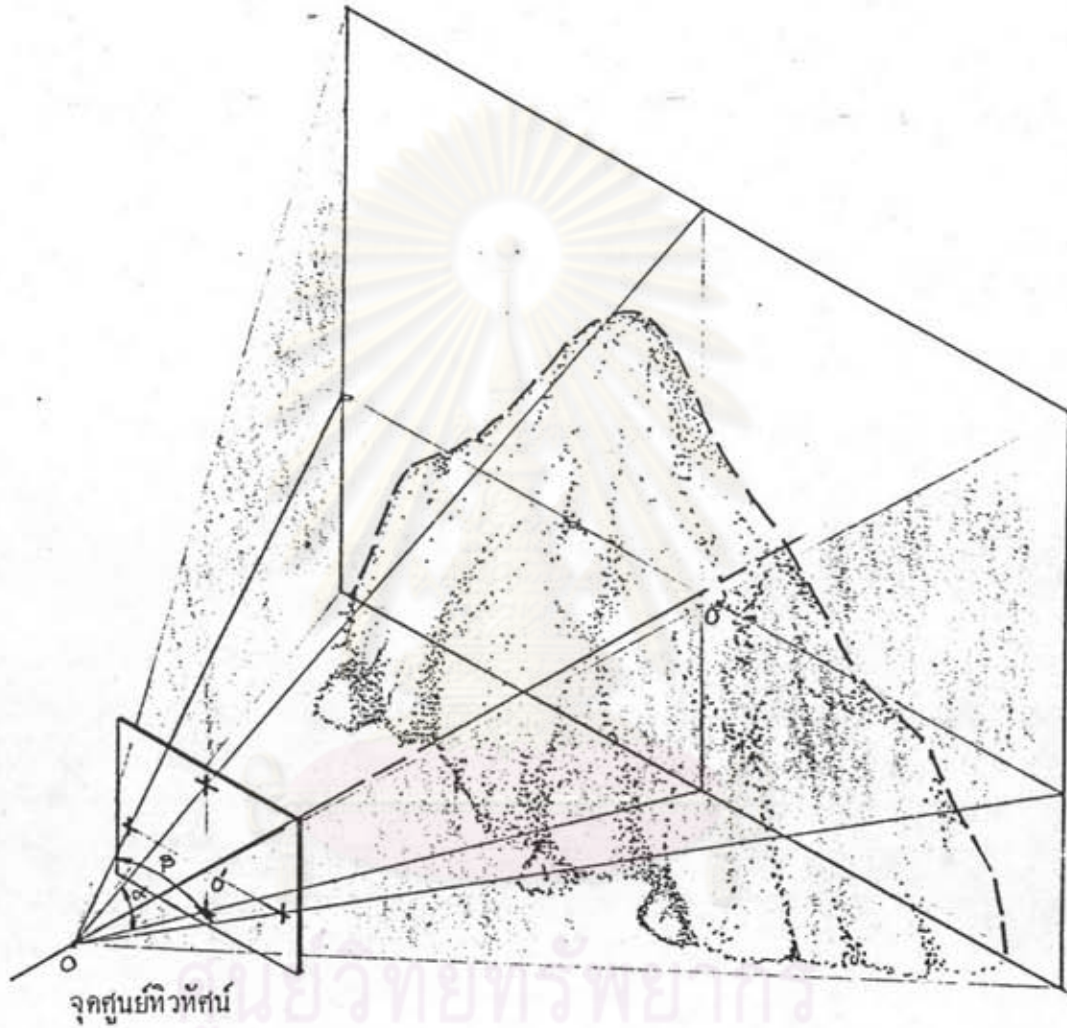
#### 4.2.6 มาตราส่วนภาพถ่าย

การเลือกใช้มาตราส่วนภาพถ่าย จะมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับเรื่องของการ  
ครอบคลุมพื้นที่ที่จะต้องศึกษา ความมันทางเรขาคณิตและ เกณฑ์ความถูกต้องที่ต้องการ

ซึ่งจากหัวข้อ 4.2.6 มาตราส่วนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการวิจัย จึงอยู่ระหว่าง

$$\frac{1}{4,000} \text{ ถึง } \frac{1}{8,500}$$

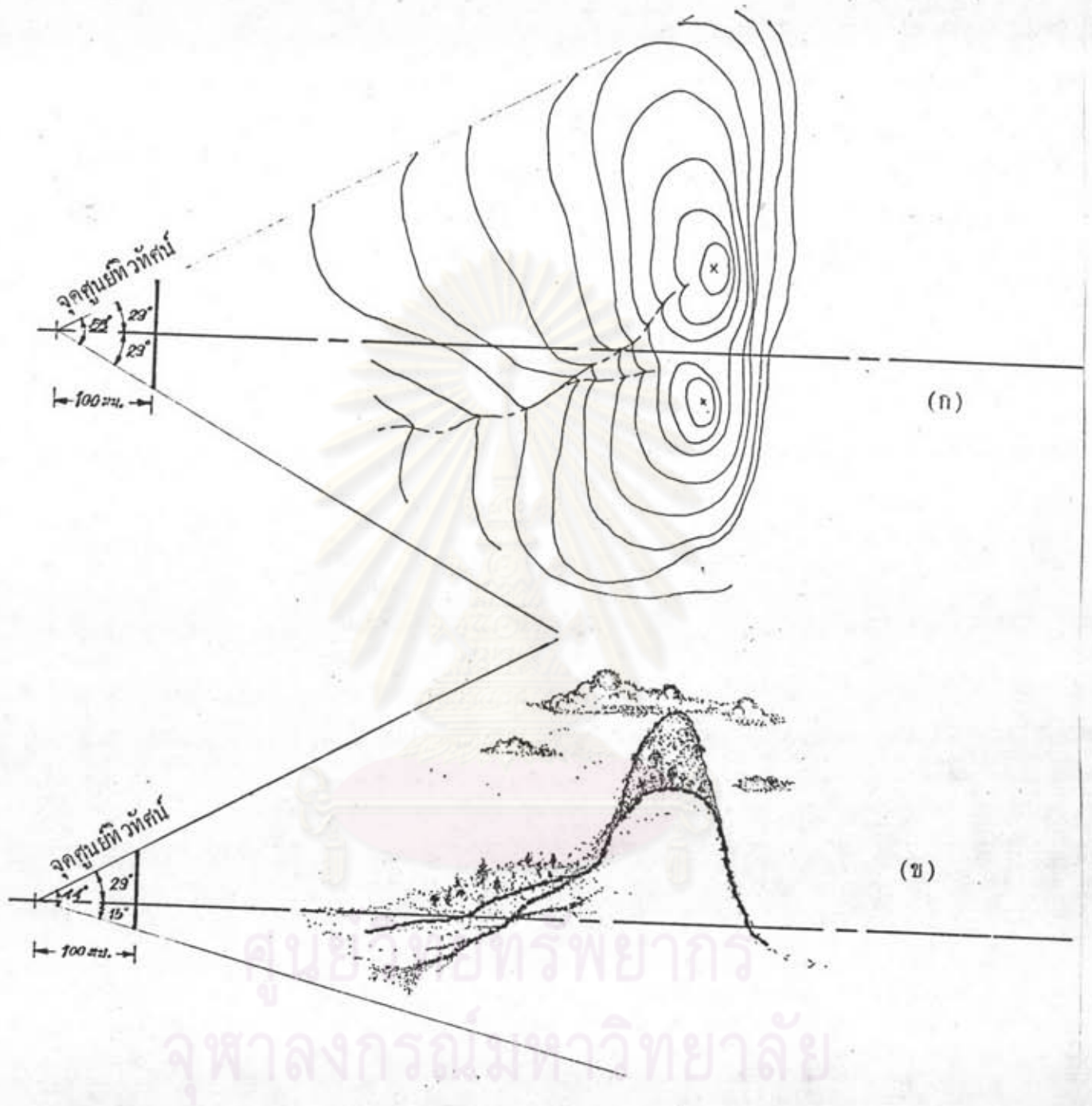




จุดศูนย์กลางทัศน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 แสดงมุมทัศนียภาพของกล้อง Wild P31



รูปที่ 4.5 (ก) แสดงมุมทัศนียภาพในทางราบของกล้อง Wild P31

(ข) แสดงมุมทัศนียภาพในทางตั้งของกล้อง Wild P31

#### 4.2.7 การเลือกใช้ฟิล์มถ่ายภาพ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฟิล์มแบบแผ่นสไลด์สีของโกดัก Kodak Extrachrome 64 Professional Daylight เนื่องจากฟิล์มดังกล่าวให้สีของดินและถ่านหินใกล้เคียงธรรมชาติ ฟิล์มเป็นโพลีเอสเตอร์แล้ว และถึงแม้ว่าฟิล์มสีจะมีสารเคลือบไวแสงหนากว่าฟิล์มขาวดำ แต่ฟิล์มสีดังกล่าวก็มิได้ลดความถูกต้องลงไปมาก โดยเฉพาะงานคำนวณปริมาตรดิน ซึ่งไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องมากนัก

#### 4.3 การบันทึกข้อมูล

##### 4.3.1 การสำรวจรังวัดจุดตั้งกล้องถ่ายภาพและเส้นฐาน

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดตำแหน่งจุดตั้งกล้องถ่ายภาพในพื้นที่จริง ภายหลังจากที่ได้กำหนดไว้แล้วโดยประมาณในขั้นตอนการวางแผนงาน

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ลงตำแหน่งจุดตั้งกล้องถ่ายภาพหาทิศทางรวมโดยวิธีการทำวงรอบวัดมุมด้วยกล้อง Wild T16 วัดหม 4 ครั้ง และวัดระยะทางด้วยเครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ Wild DI4 โดยใช้ระบบพิกัด X, Y ของเหมือง ปรับแก้วงรอบโดยกฎของเขมิตที่มีความคลาดเคลื่อนเข้ามรรจน้อยกว่า 1:5,000 ค่าระดับหาด้วยกล้องระดับ BM โดยถ่ายค่าระดับจากของเหมือง ได้ตำแหน่งจุดตั้งกล้องมีค่าพิกัดดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพิกัดของจุดตั้งกล้องถ่ายภาพ

ชื่อตำแหน่ง	ค่าพิกัดทางราบ		ค่าระดับ (m)
	Y (m)	X (m)	
D <sub>1</sub>	2136.204	542.106	308.444
D <sub>2</sub>	2303.884	669.995	310.619

##### 4.3.2 การสำรวจรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดจุดควบคุมโดยวิธีเล็งสกัด (Intersection) โดยใช้กล้อง Wild T2 วัดมุมราบและมุมตั้ง จำนวนสองศูนย์ที่จุดปลายทั้งสองของฐานถ่ายภาพ คำนวณหาค่าพิกัดทางราบและค่าระดับโดยวิธีตรีโกณมิติ

ในการปฏิบัติงานได้นำเป้าไปวางไว้ในพื้นที่ถ่ายภาพและวัดมุมที่ปลายฐานถ่ายภาพอีกด้านหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันปลายฐานถ่ายภาพอีกด้านก็จะตั้งกล้องเพื่อการถ่ายภาพ เมื่อวางจุดควบคุมเสร็จก็จะถ่ายภาพทันที ในขณะที่การวัดมุมอีกด้านหนึ่งก็จะเสร็จเช่นกัน เมื่อถ่ายภาพเสร็จก็จะย้ายกล้องไปถ่ายภาพอีกด้านสลับกันกับการวัดมุม โดยไม่ต้องย้ายสามขาและไม่ต้องถอดฐานกล้อง (Tribrach) เพราะฐานกล้อง Wild P31 เหมือนกับฐานกล้องของ Wild T2

ในการกำหนดจุดด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถตรวจสอบและมั่นใจได้ว่าจุดควบคุมอยู่ในพื้นที่ส่วนซ้อนของภาพถ่าย

ค่าพิกัดทางราบและค่าระดับของจุดควบคุมภาคพื้นดิน มีดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ชื่อเป้า	ค่าพิกัดทางราบ		ค่าระดับ (m)
	X (m)	Y (m)	
P <sub>1</sub>	1904.156	966.911	270.001
P <sub>2</sub>	1988.983	1113.927	271.523
P <sub>3</sub>	1808.976	959.487	270.226
P <sub>4</sub>	1984.847	1211.214	281.784
P <sub>5</sub>	1659.892	1006.090	282.241
P <sub>6</sub>	1920.891	1383.116	298.376
P <sub>7</sub>	1554.562	1051.391	301.266
P <sub>8</sub>	1702.008	1260.113	298.240

#### 4.3.3 ความถูกต้องของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ในการรังวัดจุดควบคุมทางราบโดยวิธีเล็งสกัด ณ จุดปลายของเส้นฐานด้วยกล้อง Wild T2 จำนวน 2 ศูนย์ ดังรูปที่ 3.2 หัวข้อ 3.2.1.4 จะสามารถหาความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งจุดควบคุมต่าง ๆ ได้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบ  
ของจุดควบคุมต่าง ๆ โดยมีค่า  $\sigma_\alpha = 5$  มิลลิเมตร

ลำดับที่	ชื่อเป้า	d <sub>1</sub> ม.	d <sub>2</sub> ม.	γ			σ <sub>d</sub> ม.	หมายเหตุ
				o	'	"		
1	P <sub>1</sub>	484.05	497.94	24	44	59.3	0.04	เป้า P <sub>6</sub> ไม่ได้นำมาแสดง เพราะไม่ได้ใช้ในรูปภาพ- สามมิติ เนื่องจากมองไม่ เห็น
2	P <sub>2</sub>	590.47	544.28	20	54	43.0	0.05	
3	P <sub>3</sub>	530.36	573.36	21	34	41.9	0.05	
4	P <sub>4</sub>	686.01	628.25	17	46	19.9	0.07	
5	P <sub>5</sub>	661.98	723.70	16	45	06.7	0.08	
6	P <sub>7</sub>	773.10	840.80	14	13	47.2	0.11	
7	P <sub>8</sub>	839.08	842.91	14	24	10.0	0.12	

จากสูตร (3.22) ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบของจุดควบคุมต่าง ๆ  
มีค่าเท่ากับ  $\sqrt{\frac{0.04}{7}} = 0.08$  ม.  
< 0.17 ม.

สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดควบคุมทางตั้ง โดยวิธีการรังวัดมุมตั้ง  
ด้วยกล้อง Wild T2 จำนวน 2 ศูนย์ ณ แต่ละจุดปลายของเส้นฐาน (ซึ่งอ่านค่ามุมตั้งไปพร้อม  
กันกับอ่านค่ามุมราบของแต่ละเป้าในวิธีเล็งสกัด) ฉะนั้นที่เป้าแต่ละจุดจะมีค่าระดับสองค่า และ  
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดควบคุมทางตั้งจำนวนสองค่าคือ  $\sigma_{h_1}$  และ  $\sigma_{h_2}$  ดังรายละเอียด  
ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดควบคุมทางตั้ง

ลำดับที่	ชื่อเป้า	d <sub>1</sub> ม.	β <sub>1</sub>			σ <sub>d</sub> ม.	σ <sub>h1</sub> ม.	d <sub>2</sub> ม.	β <sub>2</sub>			σ <sub>h2</sub> ม.
			o	'	"				o	'	"	
1	P1	484.05	4	42	17.1	0.04	0.01	497.04	4	48	15.1	0.01
2	P2	590.47	3	42	44.6	0.05	0.01	544.28	4	14	18.8	0.02
3	P3	530.36	4	16	18.8	0.05	0.01	573.36	4	09	10.2	0.01
4	P4	686.01	2	20	29.2	0.07	0.02	628.25	2	44	28.2	0.02
5	P5	661.98	2	23	16.4	0.08	0.02	723.70	2	20	34.6	0.02
6	P7	773.10	0	38	06.5	0.11	0.02	840.80	0	43	18.9	0.02
7	P8	839.08	0	47	27.9	0.12	0.02	842.91	0	55	35.3	0.02

จากตารางที่ 4.3 จะได้  $\Sigma_{h1}^2 = 0.009$

$$\Sigma_{h2}^2 = 0.008$$

จากสมการ (3.2.2) หาค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสูตร

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\Sigma \sigma_{h_i}^2}{n}}$$

$$\sigma_{h1} = 0.02 \text{ ม.}$$

$$\sigma_{h2} = 0.02 \text{ ม.}$$

$$\text{ดังนั้นค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระดับ} = \sqrt{\frac{\sigma_{h1}^2 \times \sigma_{h2}^2}{2}} = 0.02 \text{ ม.}$$

< 0.03 ม.

ฉะนั้นความถูกต้องของจุดควบคุมทางรวม = 0.01 ม.

ความถูกต้องของจุดควบคุมทางตั้ง = 0.02 ม.

จะมีความถูกต้องดีกว่าเกณฑ์ที่ต้องการที่จะให้ความถูกต้องทางปริมาตรน้อยกว่า 2% เมื่อเทียบกับการสำรวจจริงวัดในสนาม

### 4.3.3 การถ่ายภาพ

ตั้งกล้องและถ่ายภาพ ณ จุด  $D_1$  และ  $D_2$  (รูปที่ 4.5) ซึ่งได้ลงตำแหน่งไว้แล้ว ในภูมิประเทศจริง เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ในการวิจัยนี้ได้ตั้งแกนกล้องถ่ายภาพในลักษณะปกติ (Normal Case) มีข้อมูลการถ่ายภาพ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการถ่ายภาพ

ลำดับ	รายการ	ภาพถ่ายซ้าย	ภาพถ่ายขวา
1	ความสูงกล้องถ่ายภาพจากระดับอ้างอิง	308.4444	310.619
2	เอฟ-สตอป	f/16	f/16
3	ความเร็วชัตเตอร์	1/30	1/30
4	เวลาถ่ายภาพ	13.48	13.05

หมายเหตุ วันที่ถ่ายภาพ 21 พฤษภาคม 2527 ใช้กล้อง Wild P31 No. 57289  
 ระยะฐานถ่ายภาพ 210.884 ม. ผู้ถ่ายภาพ นายประกอบ มณีเนตร  
 ระยะวัตถุใกล้สุด ประมาณ 400 ม. มุมทัศนียภาพ ทางราบ =  $58^\circ$   
 ระยะวัตถุใกล้สุด ประมาณ 850 ม. มุมทัศนียภาพ ทางตั้ง =  $44^\circ$   
 ถ่ายภาพขวา ก่อนภาพซ้าย ใช้ฟิล์มสไลด์สี

### 4.4 การทอนข้อมูล (Data Reduction)

หลังจากขั้นตอนการบันทึกข้อมูลจะได้ภาพถ่ายและจุดควบคุมภาคพื้นดินของภาพถ่าย ในขั้นตอนการทอนข้อมูลจะเป็นการวัดพิกัดโดยใช้เครื่องรังสามมิติเป็นค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ในรูปจำลองสามมิติ หลังจากนั้นจึงแปลงค่าพิกัดดังกล่าว เป็นพิกัดของภูมิประเทศด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์เมื่อทราบค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ แล้ว จึงคำนวณหาปริมาตรงานขุดในพื้นที่ที่ต้องการ โดยเทคนิคของรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข

#### 4.4.1 การวัดค่าพิทักในเครื่องเขียนร่างแผนที่สามมิติ

ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดพิทักของจุดต่าง ๆ ในรูปจำลองสามมิติโดยใช้เครื่องร่างสามมิติเชิงวิเคราะห์ Zeiss Planicomp C100 มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

##### 4.4.1.1 การจัดภาพภายใน (Interior Orientation)

###### ขั้นตอนจัดภาพภายใน

1. นำแผ่นภาพโคะโหลทึฟของคู่ภาพสามมิติมาวางบนกรอบรับภาพของเครื่องวัด เทียบ (Precision stereocomparator)
2. บ่อนความยาวโฟกัสวัดสอบของกล้องถ่ายภาพ Wild P31 เข้าไปในคอมทิวเตอร์ (กล้องที่ใช้ในงานวิจัยคือ Wild P31 No.57289 มีความยาวโฟกัสวัดสอบเท่ากับ 99.22 มม.)
3. บ่อนระยะระหว่างจุดดัชนีวัดสอบในแนวแกน x และ y (เท่ากับ 114.988 มม. และ 84.997 มม. ตามลำดับ) เข้าไปในคอมทิวเตอร์
4. นำจุดลอยไปวางบนจุดดัชนีของโคะโหลทึฟทั้ง 4 จุด ของแต่ละภาพ (ภาพซ้ายและภาพขวา) พิกัดภาพถ่ายของเครื่องหมายดังกล่าวจะถูกบ่อน เข้าไปในคอมทิวเตอร์
5. คอมทิวเตอร์จะคำนวณตำแหน่งจุดมุมยสำคัญและค่าตรวจแก้ สำหรับการยืดหดตัวของฟิล์มโดยอัตโนมัติ

##### 4.4.1.2 การจัดภาพสัมพัทธ์ (Relative Orientation)

เริ่มด้วยการวัดระยะเหลือมทาง Y ที่จุดมาตรฐานหรือจุดอื่น ๆ อย่างน้อย 5 จุด (ควรจะใช้มากกว่า 5 จุด) ที่อยู่กระจายกันทั่วบริเวณส่วนซ้อนของภาพคู่สามมิติ คอมทิวเตอร์จะคำนวณค่าธาตุมูลของการจัดภาพสัมพัทธ์ การคำนวณกระทำโดยเทคนิคของ ลิสท์สแควร์ ถ้าใช้มากกว่า 5 จุด

เมื่อจัดภาพสัมพัทธ์เสร็จแล้ว ใช้จุดลอยวัดค่าพิทักของรูปจำลองสามมิติที่จุดควบคุมภาคพื้นดินอย่างน้อย 3 จุด (ในงานวิจัยนี้ใช้ 7 จุด) และวัดพิทักของรูปจำลองสามมิติในพื้นที่ส่วนที่จะคำนวณหาปริมาตรดินต่อไป



ค่าพิกัดที่ได้เป็นพิกัดของรูปจำลองสามมิติ

#### 4.4.2 การแปลงค่าพิกัดของรูปจำลองสามมิติไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศ

เป็นการแปลงพิกัดสามมิติแบบคงรูป (Three-dimensional conformal coordinate transformation) ซึ่งก็คือการจัดภาพสัมผัสมุม ตั้งได้แสดงไว้โดยละเอียดในหัวข้อ 3.2.2.2

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แปลงค่าพิกัดของรูปจำลองสามมิติไปเป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก ซึ่งจะได้ผลรวมของค่าเศษคงเหลือ (Residual) กำลังสองของจุดควบคุมภาคพื้นดินตามแนวแกน X, Y, Z ของภูมิประเทศ ดังนี้

$$V_x^2 = 0.77872 \text{ ม.}^2$$

$$V_y^2 = 0.33134 \text{ ม.}^2$$

$$V_z^2 = 0.01235 \text{ ม.}^2$$

จำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดิน  $n = 7$

นำค่า  $V_x, V_y, V_z$  แทนในสมการ (3.25), (3.26), (3.27) จะได้

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{0.77872}{5}} = 0.40 \text{ ม.}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{0.33134}{4}} = 0.29 \text{ ม.}$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{0.01235}{5}} = 0.05 \text{ ม.}$$

$$\text{ความถูกต้องทางราบ} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} = 0.49 \text{ ม.}$$

$$\text{ความถูกต้องทางตั้ง} = \sigma_Z = 0.05 \text{ ม.}$$

#### 4.3.3 การคำนวณหาปริมาตรงานขุด

ในรูปที่ 4.6 เป็นผลที่ได้จาก การดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ในหัวข้อ 3.2.3.3 เพื่อจะสามารถนำไปใช้คำนวณหาปริมาตรงานขุดโดยวิธีรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข รูปที่ 4.7 แสดงถึงขอบเขตพื้นที่งานขุดโดยวิธีการสำรวจรังวัดในสนาม และในรูปที่ 4.8 เป็นผลที่ได้จากการใช้ค่าพิกัดภาพถ่าย มาปรับรูปสามเหลี่ยมย่อย ประกอบรวมกันเป็นพื้นที่งานขุด เพื่อคำนวณปริมาตรงานขุดโดยวิธีรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข

ดังนั้นจากรีธีการในหัวข้อ 3.2.2.3 สามารถคำนวณหาปริมาณงานขุดด้วยเครื่อง  
คำนวณหรือด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข ได้ผลดังนี้

ปริมาณงานขุดโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน = 83,850ม.

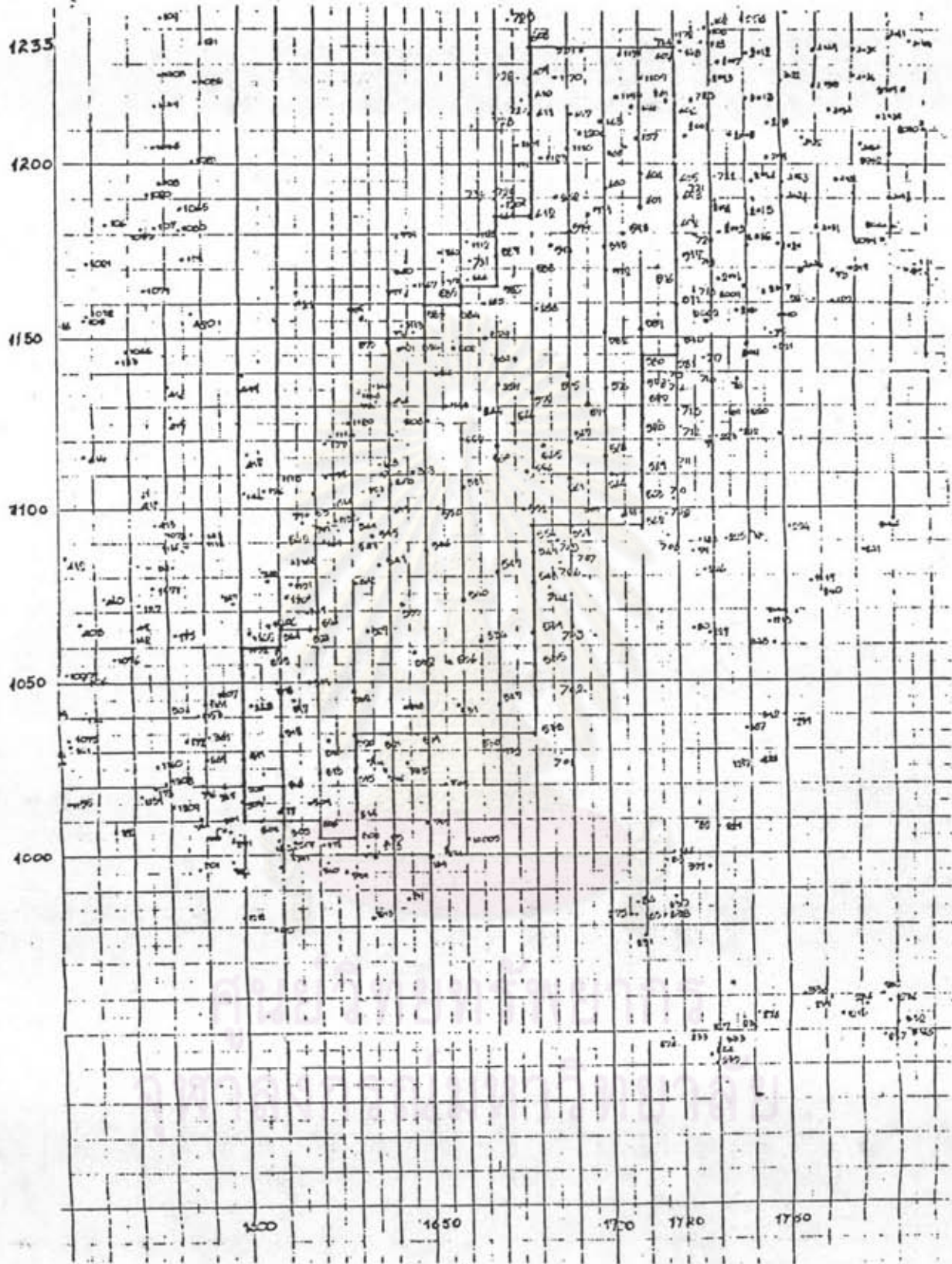
ปริมาณงานขุดโดยวิธีการสำรวจรังวัดในสนามใช้สูตรของแท่งประหยัด

เมื่อพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม = 83,689 ม.<sup>3</sup>

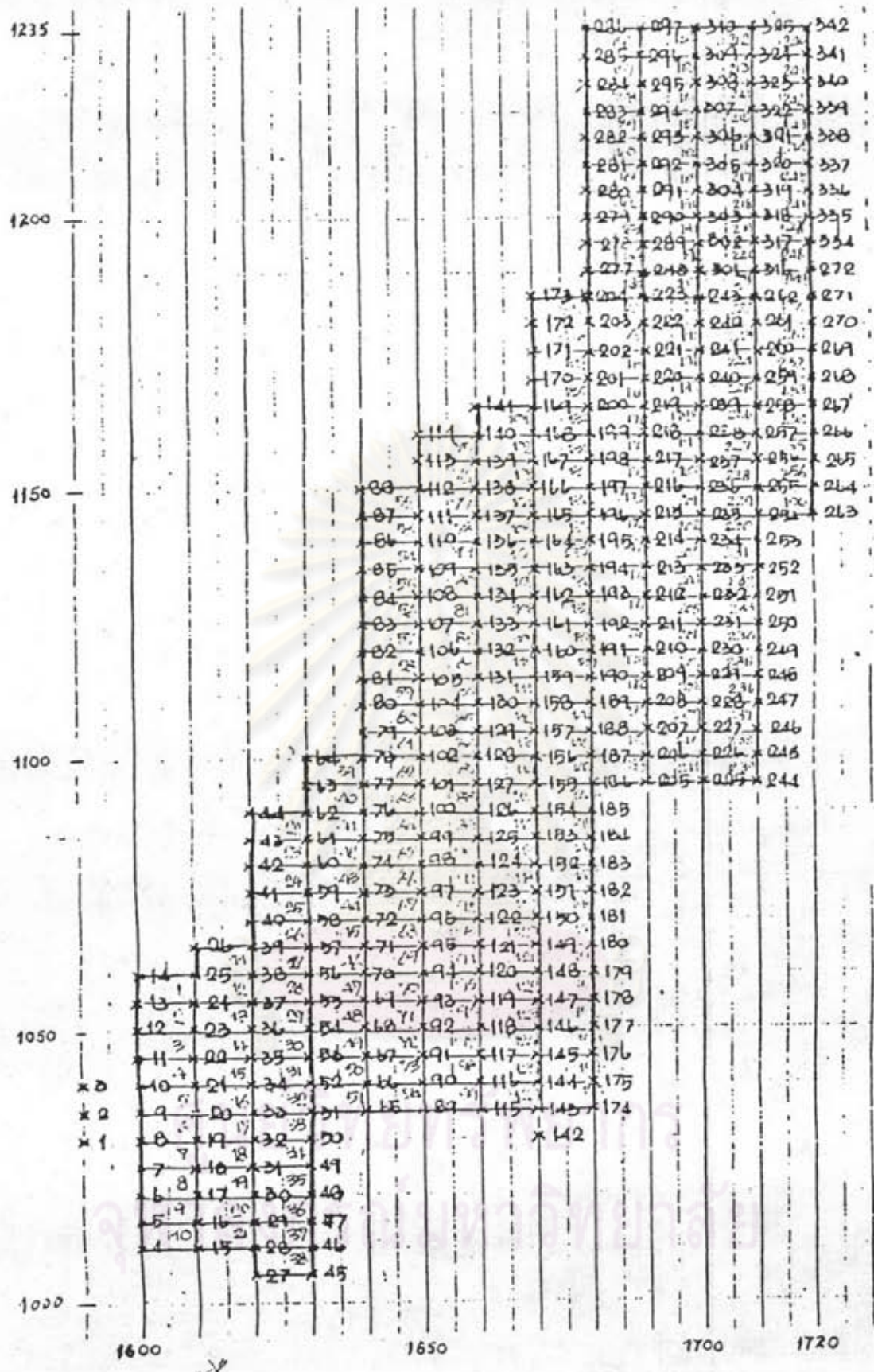
เมื่อพื้นที่หน้าตัดรูปสามเหลี่ยม = 83,738 ม.<sup>3</sup>



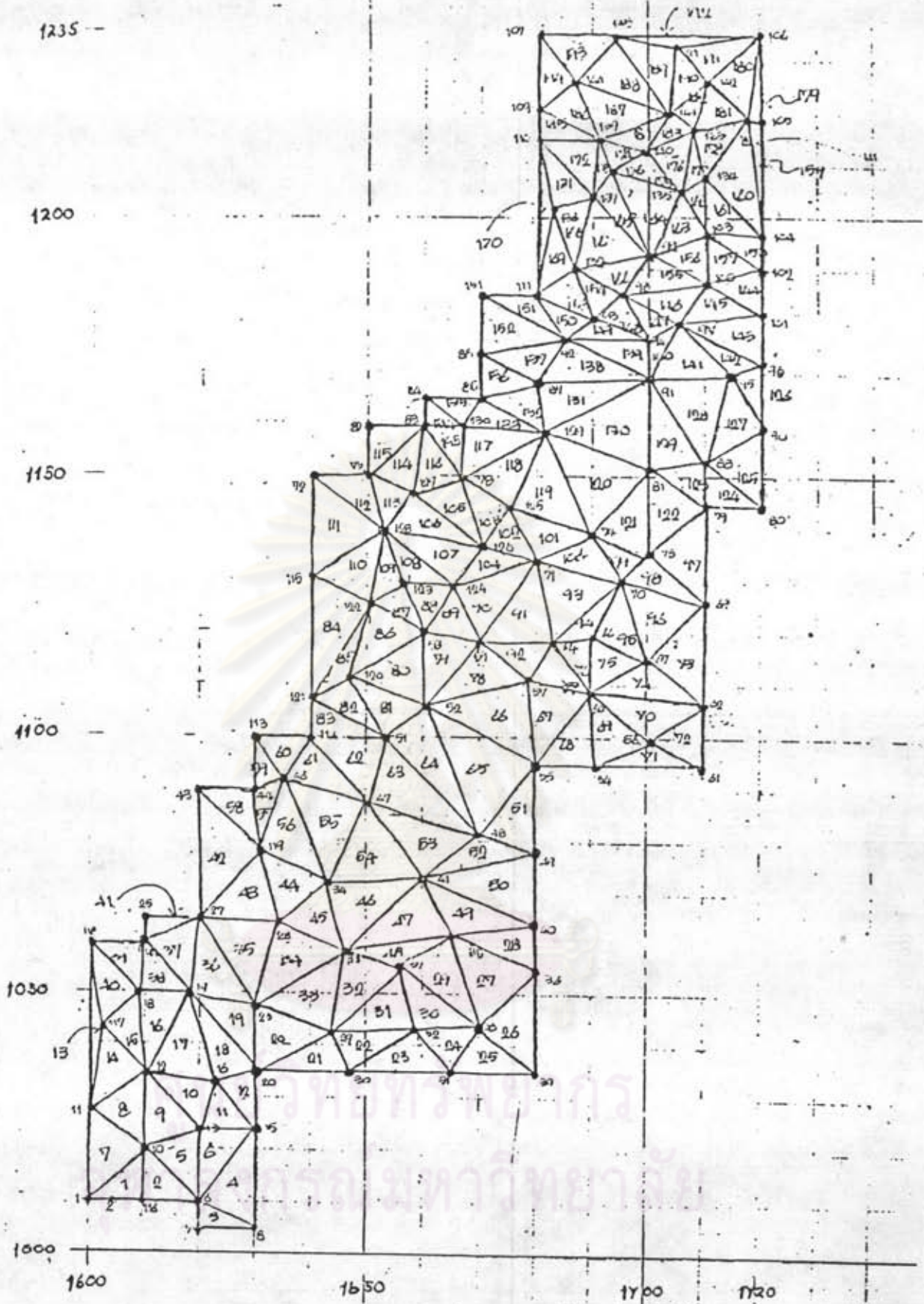
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงการนำค่าสถิติทางรวมที่รังวัดได้จากเครื่องร่าง 3 มิติ มาลงในกระดาษกราฟ



รูปที่ 47 แสดงข้อมูลในพื้นที่การวิจัยเมื่อจัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมแล้วจากงานในภูมิประเทศ



รูปที่ 4.8 แสดงรูปสามเหลี่ยมย่อยที่ประกอบกันเป็นพื้นที่ของบริเวณงานขุด โดยใช้ทิศจาก  
 ภาพถ่าย เพื่อคำนวณงานขุดด้วยวิธีรูปจำลองภูมิประเทศเชิงเลข