

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ทางสถิติหลังการปรับแก้

#### 5.1 กล่าวนำ

การควบคุมคุณภาพของงาน (Quality Control) เป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อตรวจสอบผลงานว่าอยู่ในเกณฑ์กำหนดหรือไม่ หลังการปรับแก้แล้วสามารถทำได้โดยการประมาณค่าทางสถิติ (Statistical Evaluation) โดยพิจารณาถึงเรื่องต่อไปนี้ (Pope, A.J., 1976)

1. ความละเอียดถูกต้องของข้อมูล
2. ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากการปรับแก้
3. ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่หรือ Blunders ที่ติดอยู่ในข้อมูล
4. การวัดค่าระดับความเชื่อมั่นทางสถิติจากการปรับแก้

ผลจากการปรับแก้โครงข่ายวงรอบด้วยวิธีลีสทส์แควร์โดยวิธีสมการเงื่อนไขจะประกอบด้วยค่าคาดคะเน (Point Estimates) ของค่าสังเกต ( $\Delta N$ ,  $\Delta E$  ของแต่ละ Section) พร้อมด้วยค่าคาดคะเนของโคแฟกเตอร์เมทริกซ์หรือเมทริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม (Cofactor of Variance and Covariance Matrices) ของค่าสังเกตเหล่านั้น ส่วนค่าหาค่าของจุดรวมและโคแฟกเตอร์เมทริกซ์ของจุดรวมได้จากการ Propagation จึงมิใช่ผลของการปรับแก้โดยลีสทส์แควร์โดยตรง

ในการวิเคราะห์ทางสถิติหลังการปรับแก้ สมมุติว่าค่าสังเกตมีการแจกแจงแบบปกติ (Normally Distributed) และการคาดคะเนด้วยลีสทส์แควร์กระทำต่อฟังก์ชันนอลโมเดลที่เป็นเชิงเส้น การทดสอบทางสถิติในการวิจัยนี้ จะทดสอบความแปรปรวนของน้ำหนักหนึ่งหน่วย (Test on the Variance of Unit Weight) และทดสอบเสถียรของค่าสังเกต

## 5.2 การทดสอบค่าความแปรปรวนของน้ำหนักหนึ่งหน่วย (Test on the Variance of Unit Weight)

การทดสอบทางสถิติที่นิยมใช้กับข้อมูลสี่สทส์แควร์ เป็นการทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวนของน้ำหนักหนึ่งหน่วยก่อนการปรับแก้ ( $\sigma_0^2$ -a priori variance) และหลังปรับแก้ ( $\hat{\sigma}_0^2$ -a posteriori variance)

โดยใช้ Chi-Squares Test เนื่องจาก

$$X_r^2 = \frac{r \cdot \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} = \frac{V'PV}{\sigma_0^2} \quad (5-1)$$

มีการกระจายแบบ Chi-Squares ด้วยลำดับขั้นความอิสระ  $r$  ( $r = n - u$ )

ในการทดสอบใช้สมมุติฐาน

$$H_0 : \hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2 \quad (5-2)$$

$$H_1 : \hat{\sigma}_0^2 \neq \sigma_0^2 \quad (5-3)$$

ซึ่งจะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ

$$X_r^2 < X_{1-\alpha/2, r}^2 \text{ หรือ } X_r^2 > X_{\alpha/2, r}^2$$

ในการปรับแก้ใช้การทดสอบที่ระดับมีนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

เมื่อ  $r$  มีขนาดใหญ่ ( $r$  มากกว่า 30) ถ้าการทดสอบไม่ปฏิเสธ  $H_0$  คือ  $X_r^2$  ไม่อยู่ในเขตวิกฤต ค่า  $\hat{\sigma}_0^2$  จากการปรับแก้ก็จะใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายต่อไป แต่การทดสอบปฏิเสธ  $H_0$  โดยที่  $\hat{\sigma}_0^2$  มีค่ามากกว่าหนึ่งก็แสดงว่าค่าสังเกตมีความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic Errors) หรือความผิด (Mistakes or Blunders)

แฝงอยู่ หรือไม่เช่นนั้นก็อาจเกิดจากฟังก์ชันโมเดลยังไม่เหมาะสมประการใดประการหนึ่ง\* จึงต้องค้นหาสาเหตุโดยวิธีต่อไปนี้

1. ตรวจสอบการคำนวณต่าง ๆ ว่าถูกต้องทุกขั้นตอนหรือไม่
2. ตรวจสอบ Blunders หรือ Gross Errors ที่อาจหลงเหลืออยู่
3. ตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนมีระบบต่าง ๆ ถูกกำจัดออกไปจากค่าสังเกตเพียงพอมหรือไม่
4. ตรวจสอบการใช้น้ำหนักของค่าสังเกตว่าเหมาะสมหรือไม่
5. ตรวจสอบรูปแบบจำลองที่ใช้กับโครงข่ายวงรอบไม่เหมาะสมหรือไม่

ในตารางที่ 5.1 เป็นผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับแก้ของโครงข่ายวงรอบในระบบพิกัดฉากธรรมดาและระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ ทั้ง 3 กรณี เนื่องจากการปรับแก้โคแยะระหว่างค่า N และ E ดังนั้นถ้าหากในกรณีใดที่ค่าทาง N หรือ E ไม่ผ่านการทดสอบก็ต้องถือว่าอีกค่าที่เหลือก็ใช้ไม่ได้ไปด้วย ทั้งนี้เพราะค่า  $\Delta N$  และ  $\Delta E$  คำนวณมาจากค่าการวัดในสนามชุกเดียวกัน

จากผลการทดสอบทางสถิติ ปรากฏว่าในระบบพิกัดฉากธรรมดากรณีที่ 1 และ 2 ปฏิเสธสมมติฐานคือ โคค่า  $\sigma_0^2$  โดกว่า  $\sigma_0^2$  มาก ในประการที่ 1 ได้ตรวจสอบขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ไม่พบความผิดพลาด และประการที่ 4 เกี่ยวกับการใช้น้ำหนักของค่าสังเกต ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.4 ก็มีความเหมาะสมกับลักษณะของโครงข่าย ในการปรับแก้ได้ใช้หลักอีลีสต์แควร์แบบสมการเงื่อนไข โดยที่ใช้ค่าความต่างระหว่างจุดร่วม ( $\Delta N$  และ  $\Delta E$ ) เป็นค่าสังเกตในวงรอบปิด (Loop) ที่มีค่าสังเกต  $n$  จำนวน จะมีเงื่อนไขดังนี้

\* Cooper, M.A.R. (1981)

$$\sum_{i=1}^n \Delta N_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta E_i = 0$$

ซึ่งเขียนเป็นสมการเชิงเส้นในรูปแบบแมทริกซ์ได้เป็น  $BV + N = 0$  ค่า  $N$  และ  $E$  เป็นค่าที่คำนวณได้จากค่าประมาณเบื้องต้นที่ขึ้นอยู่กับข้อสมมุติฐานและระบบโปรเจกชัน ดังรายละเอียดในบทที่ 2 สำหรับในงานขั้นที่ 3 การใช้แบบจำลองเชิงคณิตในลักษณะนี้ น่าจะมีความเหมาะสมกับลักษณะของโครงข่าย

ดังนั้นสาเหตุที่ทำให้การปรับแก้ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ไม่ผ่านการทดสอบทางสถิติ ก็น่าจะเป็นสาเหตุประการที่ 2 และ 3 คือ อาจมี Blunder อยู่ในเซตค่าสังเกตและการที่ไม่ได้ขจัดความคลาดเคลื่อนมีระบบออกไปจากค่าสังเกตอย่างเพียงพอ ซึ่งจะตรวจสอบและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของความคลาดเคลื่อนมีระบบที่เกิดขึ้นในหัวข้อต่อไป

### 5.3 การทดสอบค่าเศษคงเหลือ (Test on the Residuals)

การทดสอบค่าเศษคงเหลือ ( $v_i$ ) จากการปรับแก้ เพื่อตรวจสอบว่าในค่าสังเกตมี Blunder ผงอยู่ จาก NOAA Technical Report NOS 65, Pope, A.J. (1976) ได้กล่าวไว้พอสรุปได้ว่า

จากการปรับแก้โดย Least Squares จะได้  $v_i$  ของค่าสังเกต ถ้ารู้ค่า  $\hat{\sigma}_{v_i}^2$  แล้ว ค่าเศษคงเหลือจะ Standardized ได้เป็น

$$\tilde{v}_i = v_i / \hat{\sigma}_{v_i} \quad (5-4)$$

ดังนั้น  $\tilde{v}_i \sim n(0, 1)$  คือ จะมีการกระจายเป็นโด่งปกติมาตรฐาน

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบทางสถิติของ  $\hat{\sigma}_o^2$  เทียบกับ  $\sigma_o^2$

ระบบพิกัด	ครั้งที่	N หรือ E	$r$ (n-u)	$\sigma_o^2$	$\hat{\sigma}_o^2$	$\chi_r^2$	ค่าไคสแควร์นอกเขตวิกฤต	ผลการทดสอบ
ฉากระนาบราบธรรมดา	1	N	33	1.000	3.0319	100.0527	19.035-50.728	ปฏิเสธ $H_o$
		E	33	1.000	1.2535	41.3644	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
	2	N	34	1.000	2.8795	97.9022	19.795-51.969	ปฏิเสธ $H_o$
		E	34	1.000	0.9586	32.5913	19.795-51.969	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
	3	N	33	1.000	0.8619	28.4424	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
		E	33	1.000	0.9675	31.9283	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
ทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์	1	N	33	1.000	1.2446	41.0728	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
		E	33	1.000	1.2676	41.8304	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
	2	N	34	1.000	0.9399	31.9551	19.795-51.969	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
		E	34	1.000	0.9416	32.0132	19.795-51.969	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
	3	N	33	1.000	0.7034	23.2128	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$
		E	33	1.000	0.9621	31.7500	19.035-50.728	ไม่ปฏิเสธ $H_o$



วิธีการที่ใช้ตรวจหา Blunder เรียกว่า Tau Criterion เป็นการควบคุมความน่าจะเป็นของ Type I Error ถ้าให้ C เป็น Critical Value ในการทดสอบสมมติฐานจะ

ไม่ปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $\text{Max. } (v_i / \hat{\sigma}_{v_i}) < C$

ปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $\text{Max. } (v_i / \hat{\sigma}_{v_i}) \geq C$

Pope, A.J. (1976) หน้า 26-133 จะเป็นตารางสำเร็จคำนวณค่า C โดยที่

$r$  = ลำดับชั้นของความเป็นอิสระ

$n$  = จำนวนค่าสังเกต

$\alpha$  = ระดับความน่าจะเป็นที่ต้องการของ Type I Error

$u$  = จำนวนพารามิเตอร์

$F$  = อัตราส่วนระหว่าง  $u$  กับ  $n$  ( $F = u/n$ )

ในการทดสอบค่าเฉลี่ยคงเหลือจากการปรับแก้ในกรณีที่ 1 ทั้งระบบพิกัดฉากธรรมดา และ IM ใช้

$\alpha = 0.05$

$u = 47$

$r = 80$

$x = 33$

$F = 47/80 = 0.59 \approx 0.60$

จากตารางในหน้า 37 จะได้ Max.TAU(C) คือ

$C = 3.201$

ดังนั้นในการตรวจสอบผลการปรับแก้ ถ้า

$$\frac{v_i}{\sigma_{v_i}} \geq 3.201$$

แสดงว่าค่าสังเกตนั้นอาจเป็น Blunder

ตารางที่ ข. 1 และ ข.2 จะแสดงผลการทดสอบค่าเศษคงเหลือ พบว่า

ในระบบพิกัดฉากธรรมดารัศมีที่ 1 มีค่าสังเกตที่สงสัยว่าอาจเป็น Blunder คือ ค่าสังเกตที่ 80 ส่วนในระบบ TM ค่าสังเกตที่ 77 ก็อยู่ในข่ายที่สงสัยว่าอาจเป็น Blunder

ส่วนค่าสังเกตอื่น ๆ ถึงแม้ผลการทดสอบจะไม่อยู่ในข่ายที่จะเป็น Blunder ก็ตาม ค่าสังเกตที่มีค่าเศษคงเหลือโตเมื่อเทียบกับค่าเศษคงเหลือของค่าสังเกตตัวอื่นก็น่าจะนำมาพิจารณา ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะในระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์รัศมีที่ 1 (ตารางที่ ข.2) เพราะค่าสังเกตได้หอนค่าต่าง ๆ ตามลักษณะสมบัติของโปรเจกชัน และการทดสอบ  $\hat{\sigma}_0^2$  เทียบกับ  $\sigma_0^2$  ไม่ปฏิเสธ  $H_0$

ค่าสังเกตที่มีค่าเศษคงเหลือมาก ได้นำข้อมูลสนามในตารางที่ ค.1 มาประกอบการพิจารณาดังนี้

ค่าสังเกตที่	$V_{N_i}$ (ม.)	$V_{E_i}$ (ม.)	จำนวนมุม	ระยะของช่วง (Km.)	$P_{N_i}$ (1/m.)	$P_{E_i}$ (1/m.)
31	0.091	0.969	17	11.8	10.2	3.8
35	-0.411	-3.229	47	28.2	3.4	0.2
37	0.505	-2.501	62	45.7	0.6	0.7
52	0.799	1.390	56	28.7	2.4	1.0
66	-2.152	-0.287	58	31.8	0.8	0.2
67	0.490	-1.118	106	41.0	3.4	1.3
74	-0.626	-1.251	43	19.6	2.8	1.2
78	-0.822	1.425	55	26.6	5.9	0.2
79	-1.097	0.615	30	20.2	2.8	0.7

ตารางที่ 5.2 ค่าสังเกตที่มีค่าเศษคงเหลือมาก

จะเห็นว่าทั้ง 9 ค่าในตารางที่ 5.2 แต่ละช่วงมีจำนวนมุมมากและระยะในช่วงก็ยาวกว่าช่วงอื่น (เปรียบเทียบจากตารางที่ ค.1) ทำให้มีน้ำหนักค่าสังเกตน้อย โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนทางมุมและระยะมีมาก ประกอบกับในบางช่วงไม่ได้วัดอะซิมุทเพื่อควบคุมทิศทางตามเกณฑ์กำหนด ค่าสังเกตที่มีค่าเศษคงเหลือมากนี้ ย่อมจะมีผลกระทบต่ค่าสังเกตตัวอื่นที่อยู่ใกล้เคียงอีกด้วย

#### 5.4 การวิเคราะห์ผลการปรับแก้

จากการทดสอบค่าเศษคงเหลือ พบว่าในกรณีที่ 1 ของทั้งสองระบบแต่ละระบบมีค่าสังเกตที่สงสัยว่าอาจเป็น Blunder เพียงค่าเดียวคือ

- ระบบพิกัดจากระนาบราบธรรมดา ค่า  $\Delta N_{80}$  มีค่าเศษคงเหลือเท่ากับ
- 0.072 เมตร ค่า  $\hat{\sigma}_{V(N)}$  เท่ากับ 0.020 เมตร
- ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ ค่า  $\Delta N_{77}$  มีค่าเศษคงเหลือเท่ากับ
- 0.025 เมตร ค่า  $\hat{\sigma}_{V(N)}$  เท่ากับ 0.007 เมตร

การคำนวณปรับแก้ทั้งสองระบบใช้ข้อมูลชุดเดียวกัน แต่ผลจากการทดสอบได้ค่าสังเกตที่อาจเป็น Blunder ไม่สอดคล้องกันเพราะเป็นค่าสังเกตคนละตัว ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนว่าค่าสังเกตดังกล่าวเป็น Blunder หรือไม่ หรือถึงแม้  $\Delta N_{80}$  จะเป็น Blunder จริง ก็ไม่น่าจะมีผลกระทบถึงกับทำให้การทดสอบทางสถิติปฏิเสธสมมุติฐาน ดังนั้นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การทดสอบไม่ยอมรับการปรับแก้ก็คือ การที่ไม่ได้ขจัดค่าความคลาดเคลื่อนมีระบบออกไปจากค่าสังเกตอย่างเพียงพอ จึงพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนมีระบบที่ เกิดขึ้นดังนี้

1). ตามสมมุติฐาน การรังวัดในโครงการเป็นการรังวัดบนระนาบราบ ข้อมูลที่นำมาใช้ เป็นค่าสังเกตในแบบจำลองไม่มีการทอนค่าใด ๆ ในขณะที่จุดควบคุมที่ใช้เป็นค่าบังคับเป็นค่าพิกัดในระบบ Cassini ตำแหน่งของจุดบังคับอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ โดยประมาณ ต่างจากแนวเมริเดียนกลาง



ประมาณ 60-85 กิโลเมตร จากหัวข้อ 2.3.3 เมื่อคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา จะเกิดความคลาดเคลื่อนทางมุมอะซิมูทในแต่ละมุมอยู่ในย่าน 4" ถึง 8" และเกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะสูงจุดอยู่ระหว่าง 1:22,000 ถึง 1:11,000 ลักษณะของโครงข่ายจะขยายออกไปทางทิศตะวันตก (รูป 4.5 ประกอบ) ทางด้านปลายสุดทางทิศตะวันตกนี้ไม่มีจุดควบคุมสำหรับเข้าบรรจบตรวจสอบความคลาดเคลื่อนบริเวณนี้อยู่ห่างจากแนวเมริเดียนกลางประมาณ 120 กิโลเมตร ซึ่งมีค่า Arc to Chord Correction ประมาณ 18" และค่า Scale Factor ประมาณ 1:5,600 จะเห็นว่าเมื่อข้อมูลไม่มีการทอนค่าตามลักษณะสมบัติของโปรเจกชัน ความคลาดเคลื่อนในค่าสังเกตจะมีขนาดโต และสำหรับเส้นวงรอบที่อยู่ห่างจากแนวเมริเดียนกลางมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนมีระบบก็จะมีขนาดโตขึ้นด้วย

2) ค่าพิกัดของจุดควบคุมที่ใช้เป็นค่าบังคับเป็นค่าพิกัดบนพื้นผิวสเฟียรอยด์ การคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดาถือว่า พื้นผิวที่ทำการวัดกับพื้นผิวสเฟียรอยด์เป็นพื้นเดียวกัน ดังนั้นค่าสังเกตจะมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความต่างของระยะระหว่างสองพื้นผิวนี้นี้แฝงอยู่อีกส่วนหนึ่ง พื้นที่โครงการโดยเฉลี่ยมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (Hm) ประมาณ 45 เมตร จะคำนวณค่า Sea Level Factor ได้จากสูตร (4-7) คือ

$$\begin{aligned}
 \text{Sea Level Factor} &= \frac{R}{R + Hm} \\
 &= \frac{6359684^*}{6359684 + 45} \\
 &= 0.999993
 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยศึกษาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\* ค่า Mean Radius of Curvature คำนวณที่ละติจูด 17°-00'

ถ้าระยะราบที่วัดได้เท่ากับ 1,000 เมตร ระยะบนพื้นสเฟียร์รอยคอร์ดจะเท่ากับ 999.993 เมตร ซึ่งจะเห็นว่ามีความต่างกันน้อย แต่ถ้าพื้นที่ที่พิจารณาอยู่สูงจากพื้นสเฟียร์รอยคอร์ดมากขึ้น ความต่างของระยะระหว่างพื้นผิวทั้งสองก็มากขึ้นด้วย เมื่อไม่มีการทอนค่า ค่าสังเกตที่นำมาใช้ก็มีความคลาดเคลื่อนมีระบบจากสาเหตุนี้แฝงอยู่

ด้วยสาเหตุที่ค่าสังเกตไม่ได้มีการทอนค่าด้วย Scale Factor, Arc to Chord Correction และ Sea Level Factor ดังที่กล่าวแล้วก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อผลการคำนวณปรับแก้ อีกประการหนึ่งค่าบังคับที่ใช้มีสมมุติฐานว่า เป็นค่าที่ไม่มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งอาจจะไม่สมมุติฐานนัก ถ้าจุดควบคุมมีความละเอียดน้อยก็จะกลายเป็นความคลาดเคลื่อนคงที่ที่ติดอยู่ในแบบจำลองเช่นกัน\* จึงกล่าวได้ว่า ความคลาดเคลื่อนมีระบบเกิดขึ้นในแบบจำลองเนื่องจากข้อสมมุติฐานที่ใช้ (Mikhail and Gracie, 1979, PP. 4-5)

ในผลของการคำนวณปรับแก้ ค่าโคสแควร์จะแปรเปลี่ยนไปตามจำนวนจุดควบคุมที่ใช้ในแบบจำลองคือ เมื่อมีจุดควบคุมมากในกรณีที่ 1 ของระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา ค่า  $X_r^2$  มากที่สุด ( $X_{33}^2 = 100.0527$ ) และเมื่อมีจุดควบคุมเพียงจุดเดียว ค่า  $X^2$  น้อยที่สุด ( $X_{33}^2 = 31.9283$ ) ซึ่งจะเป็นลักษณะเดียวกันทั้งในระบบพิกัดฉากธรรมดาและระบบทรานสเวอร์ส-สเมอร์เคเตอร์ ค่าเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อมีจุดควบคุมมากพอ ผลการปรับแก้จะชี้ให้เห็นความไม่สมบูรณ์ที่แฝงอยู่ในค่าสังเกตได้ดีกว่าเมื่อมีจุดควบคุมน้อย ดังนั้นในการทดสอบทางสถิติ โอกาสที่จะปฏิเสธผลการปรับแก้ในกรณีที่มีจุดควบคุมมาก จึงมีมากกว่ากรณีที่มีจุดควบคุมน้อย

การทดสอบผลการปรับแก้ทางสถิติในหัวข้อ 5.2 ผลปรากฏว่าในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดากرณที่ 1 และกรณีที่ 2 การทดสอบปฏิเสธสมมุติฐาน ส่วนกรณีที่ 3 การทดสอบไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน สำหรับในระบบทรานสเวอร์ส-สเมอร์เคเตอร์ ผลการปรับแก้ผ่านการทดสอบทั้ง 3 กรณี

\* Brinker, D.M., ACSM. 1978

จึงนำมาวิเคราะห์ในแต่ละกรณีดังนี้

#### 5.4.1 ระบบพิกัดจากระนาบราบธรรมดา

กรณีที่ 1 การทดสอบปฏิเสธ  $H_0$  สาเหตุสำคัญก็คือ ความคลาดเคลื่อนมีระบบไม่ได้ ขจัดออกไปจากค่าสังเกต และในกรณีนี้มีจุดควบคุมมาก ค่าสังเกตที่นำมาใช้จึงไม่สอดคล้องกับค่าของจุดควบคุม ทำให้ค่า  $\hat{\sigma}_0^2$  จากผลของการปรับแก้ค่ามาก ( $\hat{\sigma}_0^2 = 3.0319$ ) เมื่อเทียบกับ  $\sigma_0^2$  (มีค่าเท่ากับ 1.000)

กรณีที่ 2 การทดสอบปฏิเสธ  $H_0$  สาเหตุสำคัญก็เกิดจากมีความคลาดเคลื่อนมีระบบแฝงอยู่ในแบบจำลองเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่ในกรณีนี้มีจุดควบคุมมีเพียง 2 จุดคือ AZ.1 กับ BHP.963 ในช่วงตอนกลางของโครงข่ายค่าสังเกตจะปรับค่าเข้าหากันมีลักษณะแตกต่างกับกรณีที่ 1 เช่นจุดร่วมที่ 30 ในกรณีที่ 1 มีค่า  $\sigma_N = 0.404$  เมตร และ  $\sigma_E = 0.259$  เมตร ส่วนในกรณีที่ 2 มีค่า  $\sigma_N = 0.689$  เมตร และ  $\sigma_E = 0.684$  เมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ก็ยังมีจุดบังคับห่อที่จะตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีระบบได้ ค่า  $\hat{\sigma}_0^2$  ที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ = 2.8795 เมื่อทดสอบด้วยไคสแควร์จึงปฏิเสธสมมุติฐาน

กรณีที่ 3 การทดสอบไม่ปฏิเสธ  $H_0$  ทั้ง ๆ ที่ข้อมูลเป็นชุดเดียวกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 การทดสอบกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าจุดบังคับเพียงจุดเดียวไม่เพียงพอที่จะบ่งชี้ผลของความคลาดเคลื่อนมีระบบที่แฝงอยู่ในแบบจำลองได้เช่น ของสองกรณีแรก ผลการทดสอบทางสถิติเพียงแค่นี้แสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลที่นำมาคำนวณปรับแก้เท่านั้น

#### 5.4.2 ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

ผลการปรับแก้ผ่านการทดสอบทางสถิติคือ ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานทั้ง 3 กรณี แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีระบบได้รับการขจัดออกไปอย่างเพียงพอ ถึงแม้การทดสอบค่าเศษคงเหลือจะแสดงให้เห็นว่ามีค่าสังเกตที่อาจเป็น Blunder หรือค่าสังเกตบางค่ามีค่าเศษคงเหลือมากก็ไม่มีผลจนทำให้ค่า  $\hat{\sigma}_0^2$  มีค่ามากจนอยู่ในเขตรุกฎในการทดสอบทางสถิติด้วยไคสแควร์

### 5.5 การวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดร่วม

(Positional Accuracy Analysis of Junction Points)

จากการปรับแก้โครงข่ายด้วยวิธีลีสทสแควร์จะให้ค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว พร้อมทั้งเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของจุดเหล่านั้น ผลอันนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดร่วมได้ ซึ่งจะหาได้ใน 2 ลักษณะคือ (Blachut, Chrzanowski and Saastamoinen, 1979, P.57)

#### 1. ความถูกต้องทางตำแหน่งสัมบูรณ์ (Absolute Positional Accuracy)

เป็นการหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่สัมพันธ์กับจุดอ้างอิงซึ่งใช้เป็นค่าบังคับ (ที่ไม่มี ความคลาดเคลื่อน) ในการปรับแก้โครงข่าย

#### 2. ความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative Positional Accuracy)

ระหว่างจุด 2 จุดใด ๆ ที่ได้จากการปรับแก้ในโครงข่ายนั้น

หลักการที่จะใช้ในการวิเคราะห์ก็คือ ทฤษฎี "วงรีของความคลาดเคลื่อน"

(Error Ellipses) ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้ (Mikhail, 1976, PP.29-32)

$$\left(\frac{X}{\sigma_X}\right)^2 - 2\left(\frac{X}{\sigma_X}\right)\left(\frac{Y}{\sigma_Y}\right) + \left(\frac{Y}{\sigma_Y}\right)^2 = c(1 - \rho^2) \quad (5-5)$$

และ

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{XY}}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2} \quad (5-6)$$

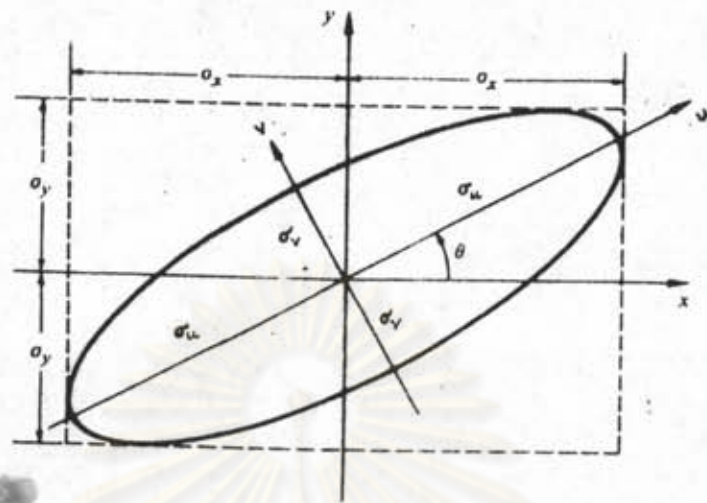
เมื่อ  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  คือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานตามแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

$\rho$  คือสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y มีค่าเท่ากับ

$$\sigma_{XY}/\sigma_X\sigma_Y \text{ และมีค่าอยู่ระหว่าง } -1 \leq \rho \leq 1$$

$\theta$  เป็นมุมระหว่างกึ่งแกนยาวของวงรี ( $\sigma_u$  หรือ  $\sigma$ ) กับแนวแกน X

c เป็นค่าคงที่



รูปที่ 5.1 วงรีของความคลาดเคลื่อน

ถ้ากำหนดให้จุดกำเนิดของระนาบ  $XY$  ทับกับจุดศูนย์กลางของวงรีระนาบ  $UV$  จะได้  $c=1$  เรียกว่า "วงรีของความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน" (Standard Error Ellipse)

ความยาวกึ่งแกนหลัก (Semimajor Axis- $a$  หรือ  $\sigma_u$ ) และความยาวกึ่งแกนรอง (Semiminor Axis- $b$  หรือ  $\sigma_v$ ) คำนวณได้จากสูตร

$$a^2 = \frac{1}{2}(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4\sigma_{XY}^2}) \quad (5-7)$$

$$b^2 = \frac{1}{2}(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4\sigma_{XY}^2}) \quad (5-8)$$

สำหรับการหาวงรีความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Standard Error Ellipse) ของจุด  $i$  และ  $j$  คำนวณจากสูตรต่อไปนี้ (Blachut, Chrzanowski and Saastaminen, 1979, P.58 )

$$a^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{\Delta X}^2 + \sigma_{\Delta Y}^2 + \sqrt{(\sigma_{\Delta X}^2 - \sigma_{\Delta Y}^2)^2 + 4\sigma_{\Delta X, \Delta Y}^2}) \quad (5-9)$$

$$b^2 = \frac{1}{2}(\sigma_{\Delta X}^2 + \sigma_{\Delta Y}^2 - \sqrt{(\sigma_{\Delta X}^2 - \sigma_{\Delta Y}^2)^2 + 4\sigma_{\Delta X, \Delta Y}^2}) \quad (5-10)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{\Delta X, \Delta Y}}{\sigma_{\Delta X}^2 - \sigma_{\Delta Y}^2} \quad (5-11)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_{\Delta X}^2 = \sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2 - 2\sigma_{X_i X_j} \quad (5-12)$$

$$\sigma_{\Delta Y}^2 = \sigma_{Y_i}^2 + \sigma_{Y_j}^2 - 2\sigma_{Y_i Y_j} \quad (5-13)$$

$$\sigma_{\Delta X, \Delta Y} = \sigma_{X_i Y_j} - \sigma_{X_j Y_i} - \sigma_{X_i Y_i} + \sigma_{X_i Y_j} \quad (5-14)$$

ในการวิจัยนี้ได้ตั้งข้อสมมุติฐานไว้ว่า ค่า  $\rho$  และ  $E$  ไม่มีสหสัมพันธ์ ดังนั้น  $\rho = 0$

และ  $\sigma_{XY} = 0$  สูตร (5-7) และ (5-8) จึงเป็น

$$a^2 = \sigma_X^2; \quad b^2 = \sigma_Y^2; \quad \theta = 0 \quad (5-15)$$

$$(\sigma_X > \sigma_Y)$$

เมื่อทราบค่า  $a$ ,  $b$ ,  $\theta$  ก็นำไปพล็อตวงรีความคลาดเคลื่อนได้

ในภาคผนวก ช. แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดร่วมจากการปรับแก้ทั้ง

3 กรณี ในระบบพิกัดฉากธรรมดา และระบบพิกัดสเฟอริกสเมอร์เคเตอร์ รูปที่ ช.1-ช.6

เป็นการพล็อตวงรีความคลาดเคลื่อนของจุดร่วมโดยแยกแต่ละกรณีตามลำดับ

จากวงรีแห่งความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีช่วงแห่งความเชื่อมั่น 39.4% ที่ตำแหน่งของจุดจะตกอยู่ในวงรี ในการทดสอบได้ใช้ช่วงแห่งความเชื่อมั่น 95% ความยาวของทั้งแกนยาวและแกนรองจะเปลี่ยนไปดังนี้ (Maikhail, 1976, P.32)

$$a = 2.447 \sigma_u \quad (5-16)$$

$$b = 2.447 \sigma_v \quad (5-17)$$

แทนในสูตร (5-14) จะได้

$$a = 2.447 \sigma_X$$

$$b = 2.447 \sigma_Y$$

เพื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างจุด 2 จุด จึงนำเอา Circular Error มาประกอบการพิจารณาในช่วงความเชื่อมั่น 95% จะได้

$$\sigma_c = 2.447 \frac{1}{2} (a + b) \quad (5-18)$$

เมื่อ  $0.5 \leq (\sigma_y/\sigma_x) \leq 1.0$  โดยที่  $\sigma_x \geq \sigma_y$

ตารางที่ 5.3(a) และ 5.3(b) เป็นตัวอย่างของการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ระหว่างจุดต่าง ๆ 2 กลุ่ม

- กลุ่มที่ 1 ใช้จุดร่วมที่ 21, 22, 23, 18, 19 และจุดร่วมที่ 17
- กลุ่มที่ 2 ใช้จุด ST.55 จุดร่วมที่ 32, 30, 31, 35, 36, 37 และจุดร่วมที่ 38 (ดูรูปที่ 4.5 ประกอบ)

ในรูปที่ ข.1, ข.2 และ ข.3 ได้เปรียบเทียบค่าเศษคงเหลือของ  $\Delta N$ ,  $\Delta E$  ในระบบพิกัดฉากธรรมดากับระบบ TM เป็นคู่ ๆ ทั้ง 3 กรณี ในกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ค่าเศษคงเหลือทั้งสองระบบจะใกล้เคียงกันมาก ส่วนในกรณีที่ 1 เห็นได้ชัดว่าค่าเศษคงเหลือในระบบ TM โดยเฉลี่ยจะมีขนาดเล็กและราบเรียบกว่าในระบบพิกัดฉากธรรมดา

เมื่อพิจารณาวงรีความคลาดเคลื่อนในรูปที่ ข.1-ข.6 จะพบว่า

1. เมื่อมีจุดอ้างอิงที่เป็นค่าบังคับมากจุดตามกรณีที่ 1 ความละเอียดของตำแหน่งจะดีกว่าอีก 2 กรณี
2. ขนาดของวงรีความคลาดเคลื่อนจะโตขึ้นหรือความละเอียดทางตำแหน่งจะน้อยลงเมื่อจุดนั้นอยู่ห่างจากจุดบังคับมากขึ้น
3. ลักษณะของวงรีในกรณีที่ 3 ส่วนมากจะมีความคลาดเคลื่อนทาง E มากกว่าทาง N เพราะว่าเป็นระหว่างจุดร่วมแต่ละช่วง การแพร่กระจายทางมุมจะมีผลมากเมื่อเส้นวงรอบอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ผลของความคลาดเคลื่อนจะอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก

4. การปรับแก้โครงข่ายในระบบ TM กรณีที่ 1 ให้ความละเอียดทางตำแหน่งดีกว่ากรณีอื่น ๆ ทุกกรณี

จากการพิจารณาในการทดสอบความแปรปรวน, วงรีความคลาดเคลื่อน และจากตัวอย่างการเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์จึงสรุปได้ว่า การปรับแก้โครงข่ายในระบบทรานสเวอร์สเมออร์เคเตอร์ ตามกรณีที่ 1 มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

#### ตารางที่ 5.3 ความถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์

##### (a) กลุ่มที่ 1

Line	Distance (Km.)	Simple Plane Coord.Syst.		TM.Coord.System.	
		$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$	$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$
21-22	14.6	1.212	1/12,000	1.015	1/14,300
21-23	19.4	1.162	1/16,600	1.220	1/15,100
21-18	12.7	1.260	1/10,000	1.031	1/12,300
21-19	4.1	0.680	1/6,700	0.389	1/10,500
21-17	18.7	1.770	1/10,500	1.400	1/18,300

##### (b) กลุ่มที่ 2

Line	Distance (Km.)	Simple Plane Coord.Syst.		TM.Coord.System.	
		$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$	$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$
ST.55-32	2.5	0.349	1/7,100	0.283	1/8,800
ST.55-30	10.0	1.417	1/8,700	0.894	1/11,100
ST.55-31	14.0	1.246	1/11,200	0.973	1/14,300
ST.55-35	14.0	1.376	1/10,100	1.099	1/12,700



## (b) กลุ่มที่ 2 (ต่อ)

Line	Distance (Km.)	Simple Plane Coord.Syst.		TM.Coord.System.	
		$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$	$\sigma_c$	$\sigma_{c/D}$
ST.55-36	17.8	1.389	1/12,800	1.106	1/16,000
ST.55-37	16.0	1.185	1/13,500	0.969	1/16,300
ST.55-38	16.4	0.699	1/23,400	0.512	1/32,000

จากผลการเปรียบเทียบทั้ง 2 กลุ่ม ค่าความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสัมพัทธ์ในระบบ TM จะดีกว่า

## 5.6 การเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดร่วม

การเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดร่วม (Junction Points) มีจุดประสงค์ดังนี้

1. เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดของจุดร่วมที่คำนวณโดยวิธีกฎเข้มทิศ กับค่าที่คำนวณปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่ายโดยวิธีสี่เหลี่ยมแควร์
2. เพื่อหาความแตกต่างของการปรับแก้โดยวิธีสี่เหลี่ยมแควร์ ในกรณีที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบนี้จะแสดงให้เห็นทั้งในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดาและระบบทรานสเวอร์สเมอริเคเตอร์ จำนวนจุดร่วมทั้งหมด 58 จุด ดังในตารางและกราฟต่อไปนี้

- ตารางที่ ง.1 เป็นค่าพิกัดของจุดร่วมในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา
- ตารางที่ ง.2 เป็นค่าพิกัดของจุดร่วมในระบบ TM
- ตารางที่ จ.1 เป็นค่าความต่างของจุดร่วมในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา
- ตารางที่ จ.2 เป็นค่าความต่างของจุดร่วมในระบบ TM

ในแต่ละระบบการเปรียบเทียบจะแยกเป็น 3 คู่ ดังค่าในตารางที่ จ.1 และ จ.2

คือ

- คู่ที่ 1 (ช่อง A) เปรียบเทียบค่าจุดรวมในกรณีที่ 1 กับค่าเดิม
- คู่ที่ 2 (ช่อง B) เปรียบเทียบค่าจุดรวมในกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 1
- คู่ที่ 3 (ช่อง C) เปรียบเทียบค่าจุดรวมในกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 1

การใช้ค่าการปรับแก้โดยซิสท์สแควร์ กรณีที่ 1 เป็นหลักในการเปรียบเทียบก็เพราะมีจุดคงตัวมากพอ และมีความน่าเชื่อถือมากกว่ากรณีอื่น

เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบในแต่ละคู่เด่นชัดขึ้น ศึกษาจากเวกเตอร์ที่แสดงในรูปที่ จ.1-จ.8 ดังนี้

#### ก. พิกัดจากระนาบราบธรรมดา

คู่ที่ 1 ขนาดของความต่างไม่เท่ากัน และทิศทางมิได้ไปในทางเดียวกันตลอดทั้งโครงข่ายจะแยกเป็นกลุ่ม ๆ โดยถ้าเป็นวงรอบเส้นเดียวกัน ขนาดความต่างจะใกล้เคียงกันและเป็นไปในทิศทางเดียวกันเช่น ในวงรอบเส้น F (จากรูปที่ 2.3) ความต่างที่จุดร่วม J9, J10, J11, J12 มีขนาด  $d_N$  อยู่ระหว่าง  $-0.935$  ถึง  $-0.436$  เมตร และ  $d_E$  อยู่ระหว่าง  $+0.489$  ถึง  $+0.246$  เมตร ขนาดความต่างที่โตที่สุดคือ ที่ J9;  $d_N = -0.935$  เมตร  $d_E = +0.489$  เมตร

คู่ที่ 2 ในกรณีที่ 2 จะมีจุดคงตัวอยู่เพียง 2 จุดคือ AZ.1 กับ BMP.963 ซึ่งอยู่ห่างกันในแนวเหนือ-ใต้ ประมาณ 127 กิโลเมตร จากรูปที่ จ.2 จุดร่วมที่อยู่ไกลจุดคงตัวมากขึ้น ความต่างของค่าพิกัดของจุดร่วมก็มากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก J48-J57 กลายเป็นจุดร่วมและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ด้วยในขณะที่ค่าเดิมในกรณีที่ 1 เป็นจุดคงตัว และถือว่าจุดเหล่านี้ไม่มีความคลาดเคลื่อน จึงทำให้จุดร่วมอื่น ๆ ได้รับความคลาดเคลื่อนของ J48 ถึง J57 สะสมเข้าไปด้วย

ค่าความต่างที่มากที่สุดที่ J54 มีค่า  $dN = - 0.198$  เมตร;  $dE = - 1.876$  เมตร ซึ่งอยู่ใน  
ตอนกลางของโครงข่าย มีข้อสังเกตได้ว่าเป็นส่วนใหญ่มักจะไปในแนวเดียวกัน

ข้อที่ 3 จากรูปที่ ๑.3 มีจุดคงตัวเพียงจุดเดียวในกรณีที่มี 3 ทิศทางของความต่าง  
ไปในทิศทางเดียวกันหมด และขนาดของความต่างจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตรงกับระยะห่างจากจุดคงตัว  
แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนมีระบบที่สะสมเข้าไปในโครงข่าย ค่าความต่างขนาดโคที่มากที่สุดที่ J58  
มีค่า  $dN = + 6.131$  เมตร;  $dE = - 1.190$  เมตร

กราฟในรูปที่ ๑.7 เป็นการแสดงค่าความต่างทาง N และทาง E โดยพล็อตจาก  
ค่าในตารางที่ ๑.1 เห็นได้ชัดเจนว่ากราฟ C มีค่าต่างมากที่สุด

#### ข. ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

ข้อที่ 1 ในรูป ๑.4 ความต่างคล้ายกับในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา ค่า  
ความต่างมากที่สุดที่ J22 มีค่า  $dN = - 0.138$  เมตร;  $dE = - 0.657$  เมตร

ข้อที่ 2 ในรูป ๑.5 ลักษณะเกี่ยวกับในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา ค่าความ  
ต่างมากที่สุดที่ J38 มีค่า  $dN = - 1.652$  เมตร;  $dE = - 1.879$  เมตร

ข้อที่ 3 ในรูป ๑.6 ค่าความต่างมากที่สุดที่ J57 มีค่า  $dN = - 3.055$  เมตร;  
 $dE = - 0.381$  เมตร กราฟในรูปที่ ๑.8 พล็อตจากตารางที่ ๑.2 กราฟ C จะห่างจากเส้นระดับ  
0 มากที่สุด

จากการเปรียบเทียบความต่างพิกัดของจุดร่วมในกรณีต่าง ๆ ที่กล่าวแล้ว ประกอบ  
กับการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนของจุดร่วม เห็นได้ว่าเมื่อตั้งเงื่อนไขให้มีจุดบึงกับมาก ความ  
ต่างส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก แต่เมื่อมีจุดบึงกับเพียง 2 จุด หรือจุดเดียว ความต่างพิกัดของจุดร่วม  
จะมีขนาดโคขึ้นเป็นสัดส่วน ตรงกับระยะห่างจากจุดบึงกับที่เพิ่มขึ้น

### 5.7 การคำนวณค่าพิกัดของหมุดหลักฐาน

การคำนวณค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในระหว่างจุดร่วมแต่ละ section ใช้ค่าพิกัดของจุดร่วมที่ได้จากการปรับแก้โดยวิธีลีสทสแควร์ในระบบ TM กรณที่ 1 เป็นค่าบังคับ ส่วนอะซิมุทใช้อะซิมุทที่เฉลี่ยกันในแต่ละเส้นเป็นค่าบังคับทางทิศทาง ผลการคำนวณโดยวิธีกฎซิมิทซ ทั้ง 80 sections ของเส้นวงรอบจะให้ค่าหมุดหลักฐานถาวรจำนวน 274 หมุด ดังในตารางที่ ๑.1 และได้แสดงความต่างของค่าพิกัดที่คำนวณใหม่กับที่ใช้อยู่เดิม ค่าความต่างนี้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเมริเดียนกลาง (ลองจิจูด  $101^{\circ} - 00'$ ) ถ้าห่างมากความต่างก็มากขึ้น ในตารางจะปรากฏความต่างสูงสุดคือ ที่หมุด RID.1089 มีค่า  $dx = + 0.754$  เมตร,  $dy = - 8.543$  เมตร หมุดหลักฐานที่คำนวณค่าใหม่จะเป็นอยู่ต่อเนื่องกัน โดยหมุดหมายเลขที่อยู่มาก่อนจะเป็นหมุดอยู่กับหมุดหมายเลขที่อยู่ถัดไปตามลำดับ

การที่คำนวณค่าหมุดหลักฐานใหม่เฉพาะในระบบ TM ก็เพราะระบบเดิมมีข้อสมมุติฐานเป็นเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ในแบบจำลอง ระบบ TM จะรักษารูปร่าง (Conformal) และเป็นระบบที่เหมาะสมกับกิจการแผนที่มากกว่า อีกประการหนึ่งในการคำนวณค่าหมุดหลักฐานใหม่มิได้กำหนดค่า False Northing และ False Easting ของจุดศูนย์กลางกำเนิด (เพื่อให้ค่าพิกัดเป็นบวก) ก็เพราะต้องการจะเปรียบเทียบค่าพิกัดหมุดหลักฐานเดิมกับค่าใหม่นั้นเอง

### 5.8 การนำค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้วไปใช้งานของกรมชลประทาน

ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานและจุดควบคุมต่าง ๆ นำไปใช้ในการสำรวจก่อสร้าง-จัดรูปที่ดิน, การสำรวจรังวัดปีกหลักเขตชลประทาน กับการใช้เป็นจุดควบคุมภาพถ่ายทางพื้นดิน แยกพิจารณาดังนี้

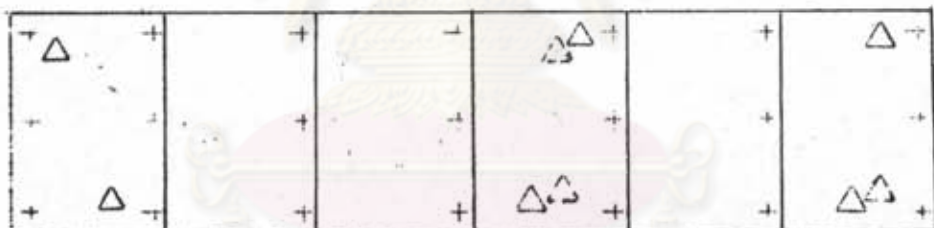
#### 5.8.1 การสำรวจก่อสร้าง-จัดรูปที่ดินและสำรวจรังวัดปีกหลักเขต

การปฏิบัติงานในขั้นนี้จะใช้หมุดหลักฐานที่คำนวณปรับแก้แล้วเป็นจุดออกงานและเข้าบรรจบ โดยเดินวงรอบบรรจบตัวเองหรือเดินวงรอบเข้าบรรจบหมุดคู่อื่น ระยะเส้นวงรอบไม่เกิน 10 กิโลเมตร

ซึ่งเป็นงานเฉพาะบริเวณ เกณฑ์ความคลาดบรรจบไม่น้อยกว่า  $1/5,000$  ผลการคำนวณที่ใช้อยู่เดิม  
 ดังในตารางที่ ค.2 ความคลาดบรรจบของวงรอบทุกเส้นดีกว่า  $1/10,000$  มีเฉพาะเส้นวงรอบ. F  
 และ Q ที่มี ความคลาดบรรจบเท่ากับ  $1/7,417$  และ  $1/8,667$  ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า การใช้  
 ค่าพิกัดเดิมไปใช้เป็นจุดบังคับสำหรับงานลักษณะนี้ จะให้ความละเอียดอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ เพราะค่า  
 จาก การคำนวณของจุดที่อยู่ใกล้กันจะมีความลงรอยกัน (Consistency)

5.8.2 ใช้หาพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายทางราบ

ข้อมูลสนามคือ พิกัดของจุดบังคับภาพถ่ายจะนำไปใช้ในการขยายจุดควบคุมโดยวิธี  
 ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ในการทำแผนที่ลายเส้น มาตราส่วน  
 $1:10,000$  จากภาพถ่ายมาตราส่วน  $1:10,000$  ของกองสำรวจภูมิประเทศ กรมชลประทาน  
 ในระหว่างปี พ.ศ. 2519-2521 ได้กำหนดให้วางจุดควบคุมภาพถ่ายทางพื้นดินในแต่ละแถบ  
 (Strip) ทุก 4 ไมล์เคล ดังรูปที่ 5.2



△ จุดควบคุมทางราบ (ตำแหน่งจริง)

+ จุดผ่าน

△ จุดควบคุม (ตำแหน่งในรูปจำลอง)

รูปที่ 5.2 ผังของการขยายจุดควบคุมในแถบ

จากบทความเรื่อง "แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ" ของกองสำรวจภูมิประเทศ โดย โทเมท หงษ์ภักดี ได้สรุปไว้ว่า การขยายจุดควบคุมภาพถ่ายด้วยข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ของ โครงการศึกษาโลกในระบายนั้น เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของกรรมวิธีข้อมูลและประสบการณ์ของ เจ้าหน้าที่ยังมีไม่มากพอความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดเล็กกว่า  $\pm 3.0$  เมตร ไม่สามารถที่จะตรวจพบ ได้

การพิจารณาค่าพิสัยของจุดร่วมจากการปรับแก้จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ความ ละเอียดที่กำหนดหรือไม่ (สมมติว่าจุดควบคุมภาพถ่ายทางพื้นดินมีความละเอียดเท่ากับจุดร่วม) โดยพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดร่วม การวิจัยนี้ถือระดับความเชื่อมั่นที่ 95% จากสูตร (5-17) และ (5-18)

$$a = 2.447 \sigma_x = 2.447 \sigma_E$$

$$b = 2.447 \sigma_y = 2.447 \sigma_N$$

ในเกณฑ์กำหนดของการขยายจุดควบคุมภาพถ่าย  $a_{max.}$  และ  $b_{max.}$  เท่ากับ 3.0 เมตร จึงคำนวณค่า  $\sigma_{max.}$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_{max.} &= \frac{\sigma_{N_{max.}}}{2.447} = \frac{\sigma_{E_{max.}}}{2.447} \\ &= \frac{3.0}{2.447} = 1.226 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

นั่นคือ จุดร่วมใดที่มีค่า  $\sigma_N$  และ/หรือ  $\sigma_E$  มากกว่า 1.226 เมตร จะมีความ คลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์กำหนดที่ต้องการ เมื่อตรวจค่า  $\sigma_N$  และ  $\sigma_E$  จากการปรับแก้ในตารางที่ ข.1 และ ข.2 ปรากฏผลดังนี้

ระบบที่กักฉากระนาบราบธรรมดา

- กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ไม่มีจุดร่วมที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์กำหนด
- กรณีที่ 3 มีจุดที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์คือ จุดร่วมที่ 45, 46, 47, 57 และ 59 รวมพื้นที่ประมาณ 10% ของพื้นที่โครงการ

ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

- ทั้ง 3 กรณี ไม่มีจุดร่วมใดที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าเกณฑ์กำหนด

เนื่องจากได้นำค่าพิกัดที่คำนวณปรับแก้แบบเดิมใช้เป็นจุดควบคุมภาพถ่ายทางพื้นดิน จึงนำค่าความต่างระหว่างกรณีที่ 1 กับค่าเดิมในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดาตรวจสอบความต่างสูงสุดคือ ที่จุดร่วมที่ 9,  $dN = - 0.935$  เมตร และ  $dE = + 0.489$  เมตร แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของค่าเดิมทั้งหมดอยู่ในวงรีความคลาดเคลื่อน 95% จึงกล่าวได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณปรับแก้แบบเดิมจะลงรอยกันได้กับวิธีการขยายจุดควบคุมด้วยข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศในช่วงปี 2519-2522 แต่แผนที่ที่ผลิตขึ้นมาอาจจะมีความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ค่า

ตั้งแต่ปี 2523 เป็นต้นมา กองสำรวจภูมิประเทศได้ปรับปรุงวิธีการขยายจุดควบคุมด้วยข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศให้ดีขึ้น โดยวิธี Block Adjustment การวางจุดควบคุมทางราบกำหนดดังในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 บลอคภาพเตรียมสำหรับการขยายจุดควบคุม

โดยวิธีที่ปรับปรุงขึ้นนี้ จุดใดที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า  $\pm 1.5$  เมตร สามารถตรวจพบได้ จุดใดที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์จะมีผลกระทบต่อจุดอื่น ๆ ไม่ถึงครึ่งหนึ่งของความคลาดเคลื่อนนั้น และความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจะถูกเฉลี่ยให้เกิดความสมดุลย์ตลอดทั้งโครงข่าย

เมื่อกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์  $\pm 1.5$  เมตร ค่า  $\sigma_{N \max.}$  และ  $\sigma_{E \max.}$  จะเท่ากับ 0.613 เมตร ( $\sigma_{\max.} = \frac{1.5}{2.447}$ ) พิจารณาค่า  $\sigma_N$  และ  $\sigma_E$  ในตารางที่ ข.1 และ ข.2 (ภาคผนวก ข.) พบว่ามีจุดร่วมที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 5.4

จากการตรวจสอบดังกล่าว มีข้อสังเกตดังนี้

- 1) ในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา กรณีที่ 3 ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติไม่ปฏิเสธสมมุติฐาน มีจุดร่วมที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 1.5 เมตร กลุ่มพื้นที่ประมาณ 55% ของพื้นที่โครงการ ในขณะที่กรณีที่ 1 ซึ่งการทดสอบปฏิเสธสมมุติฐานมีจุดที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ กลุ่มพื้นที่เพียง 28% ซึ่งเป็นผลจากการที่กรณีที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมีระบบแฝงอยู่ในค่าสังเกต (ข้อ 5.4) และจำนวนจุดควบคุมมีไม่เพียงพอ ถึงแม้ในการทดสอบทางสถิติจะยอมรับการปรับแก้ แต่เมื่อใช้เกณฑ์กำหนดของงานมาตรวจสอบก็พบว่า ความละเอียดในโครงข่ายนี้มีน้อยกว่ากรณีที่จุดควบคุมมาก ตามกฎการแพร่กระจายของความคลาดเคลื่อน จุดที่อยู่ห่างจากจุดควบคุมมากขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นด้วย อีกประการหนึ่งที่น่าสนใจก็คือ ในกรณีที่ 3 จุดที่มีความละเอียดอยู่ในเกณฑ์ มีค่าความต่างกับกรณีที่ 1 มากที่สุดที่จุดร่วมที่ 29 ซึ่งมีค่า  $d_N = + 2.908$  เมตร และ  $d_E = - 1.028$  เมตร (ตารางที่ จ.1) ลักษณะความต่างของจุดอื่น ๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไป
- 2) ในระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ กรณีที่ 1, 2 และ 3 จะมีจุดที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าเกณฑ์กำหนด กลุ่มพื้นที่ 10%, 42% และ 52% ตามลำดับ



ตารางที่ 5.4 จุดร่วมที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์กำหนด

ระบบกัก	กรณี	จุดร่วมที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 1.5 เมตร	จำนวนจุด	จุดพื้นที่คิดเป็น % ของพื้นที่ทั้งหมด	หมายเหตุ
ฉากระนาบราบธรรมดา	1	17 ถึง 23	7	28 %	รูปที่ ข.1
	2	{ 17 ถึง 23, 28 ถึง 45, 53 ถึง 56	30	70 %	รูปที่ ข.2
	3	{ 22 30 ถึง 47, 53 ถึง 58	25	55 %	รูปที่ ข.3
ทรานสเวอร์สเมอร์-เคเตอร์	1	17, 22, 23	3	10 %	รูปที่ ข.4
	2	{ 22, 23 30 ถึง 44, 53 ถึง 56	21	42 %	รูปที่ ข.5
	3	{ 23 30 ถึง 47, 53 ถึง 58	24	52 %	รูปที่ ข.6

และค่าความต่างระหว่างจุดที่มีความละเอียดตามเกณฑ์กำหนด ในกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 1 จุดที่มากที่สุดคือ จุดร่วมที่ 29 (รูปที่ ๑.6) มีค่า  $dN = -1.072$  เมตร และ  $dE = +0.675$  เมตร เมื่อเปรียบเทียบในลักษณะเดียวกันกับระบบพิกัดจากระนาบราบธรรมดาแล้ว การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตในระบบ TM จะน้อยกว่า

3) ในระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ กรณีที่ 2 โครงข่ายมีจุดบังคับ 2 จุด คือ AZ.1 และ BMP.963 ในรูปที่ ๗.5 บริเวณที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์กำหนดสำหรับงานภาพถ่ายมีอยู่ 2 บริเวณคือ บริเวณด้านปลายทางทิศตะวันตกที่คลุมจุดร่วมที่ 22 และ 23 กับบริเวณตอนกลางที่คลุมจุดร่วมที่ 30 ถึงจุดร่วม 45 สิ่งที่น่าสังเกตก็คือ ส่วนที่อยู่ในเกณฑ์ความละเอียดที่ต้องการทางตอนบนนับจากจุดบังคับ AZ.1 ลงมาประมาณ 50 กิโลเมตร จนถึงจุดร่วมที่ 29 ส่วนทางตอนล่าง นับจากจุดบังคับ BMP.963 ขึ้นไปประมาณ 25 กิโลเมตร จุดร่วมก็มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์กำหนด แทนที่จะเป็น 50 กิโลเมตร นับจากจุดบังคับขึ้นไปในลักษณะเดียวกับตอนบน สาเหตุที่พอจะนำมาพิจารณาได้ก็คือ จากกรณีที่ 1 ทางตอนล่างของโครงข่ายมีค่าสังเกตที่มีเศษคงเหลือมาก ค่าการวัดไม่สมบูรณ์ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 5.4 คือ ค่าสังเกตที่ 66, 67, 78 และ 79 โดยเฉพาะจุดร่วมที่ 45 ซึ่งเป็นจุดบรรจบของค่าสังเกตที่ 66, 67 และ 78 มีความคลาดเคลื่อนมากคือ  $\sigma_N = 0.262$  เมตร และ  $\sigma_E = 0.241$  เมตร ในขณะที่จุดอื่นที่อยู่ใกล้เคียงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.110 เมตร เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดบังคับน้อยลง ดังกรณีที่ 2 ความคลาดเคลื่อนจึงกระจายออกเพื่อให้มีความสมดุลทั่วทั้งโครงข่าย ส่วนของโครงข่ายบริเวณที่ค่าสังเกตมีเศษคงเหลือมากและค่าการวัดไม่สมบูรณ์ จึงมีความละเอียดน้อยลงไปกว่าในกรณีที่ 1 ส่วนการที่จะระบุให้แน่ชัดลงไปว่า จุดควบคุมอ้างอิงควรจะอยู่ห่างกันมากที่สุดเท่าใด จึงจะทำให้ค่าพิกัดทุกจุดมีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดที่ต้องการนั้น อยู่นอกเหนือขอบเขตของการวิจัยนี้

จากเหตุผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า ถ้าได้มีการหอนค่าข้อมูลให้ถูกต้องตามลักษณะสมบัติของโปรเจกชันที่ใช้แล้ว ค่าปรับแก้ของจุดพิกัดจะมีความละเอียดดีขึ้นมาก อีกประการหนึ่งจำนวน

จุดควบคุมที่เป็นค้ำบังคับก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าปรับแก้มีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดที่ต้องการหรือไม่ และประการสุดท้ายในการวางโครงข่ายงานวงรอบควรจะมีจุดควบคุมอ้างอิงจำนวนเพียงพอเพื่อคงลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย