

บทที่ 5

การคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยม

บทนี้จะกล่าวถึงส่วนสำคัญของการคำนวณอย่างเป็นขั้นตอน โดยแยกออกตามกรณีของการปรับแก้ จากกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 5 ซึ่งจะเน้นถึงข้อกำหนดของการปรับแก้ การจัดเมตริกซ์ ขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ โครงสร้างเมตริกซ์ ตัวอย่างการจัดเมตริกซ์ และผลสรุป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 การคำนวณปรับแก้กรณีที่ 1

5.1.1 ข้อกำหนดของการปรับแก้

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ประกอบด้วยค่าสังเกตของการวัด 32 ค่า คือมุม 29 มุม ระยะเวลา 2 ระยะเวลา และแอซิมัท 1 ทิศทาง พร้อมด้วยค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ดังนั้นจึงมีจำนวนสมการค่าสังเกต (n) เท่ากับ 32 สมการ

2. ข้อมูลกำหนด

สถานี 1 ของโครงข่ายถูกตรึงด้วยพิกัด $(0, 0)$ จากจำนวนสถานีทั้งหมด 10 สถานี ดังนั้นจึงมีจำนวนพารามิเตอร์ (u) ของการคำนวณ 18 ตัว

3. ค่ากำหนด

$$\text{ลำดับชั้นอิสระ} = 14 \quad \text{และ} \quad \sigma_0^2 = 1 \text{ หน่วย}$$

4. วิธีการปรับแก้

ใช้วิธีสมการค่าสังเกตแบบปกติ

5.1.2 การจัดเมตริกซ์ของการคำนวณ

1. เวกเตอร์ L_b

เป็นเวกเตอร์ของค่าสังเกต การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L_b(i)$;

$i = 1, 2, \dots, 32$

$L_b(1)$ ถึง $L_b(29)$ เป็นค่าการวัดมุม 29 มุม หน่วยเป็น เรเดียน

$L_b(30)$ และ $L_b(31)$ เป็นค่าการวัดระยะฐาน S_1, S_2 หน่วยเป็น เมตร

$L_b(32)$ เป็นค่าการวัดแอซิมัท A_z หน่วยเป็น เรเดียน

2. เมตริกซ์ P

เป็นเมตริกซ์นำหนักของค่าสังเกต การจัดเมตริกซ์จัดเป็นเมตริกซ์เฉียง

(diagonal matrix) โดยมีสมาชิก (element) เป็น $P(i, j) = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$ สำหรับค่า

$i = j$ และ $P(i, j) = 0$ สำหรับค่า $i \neq j$; $i, j = 1, 2, \dots, 32$

σ_i = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกต มีหน่วยเป็น เรเดียน สำหรับการวัดมุมกับการวัดแอซิมัท และเป็นเมตรสำหรับการวัดระยะฐาน

$P(1, 1)$ ถึง $P(29, 29)$ เป็นค่าเนื่องจากการวัดมุม 29 มุม

$P(30, 30)$ และ $P(31, 31)$ เป็นค่าเนื่องจากการวัดระยะฐาน 2 ระยะ

$P(32, 32)$ เป็นค่าเนื่องจากการวัดแอซิมัท 1 ทิศทาง

3. เวกเตอร์ X_0

เป็นเวกเตอร์ค่าที่กักโดยประมาณของสถานีที่ 2 ถึงสถานีที่ 10 เนื่องจากสถานีที่ 1 ตรงกับที่มีที่กักเป็น $(0, 0)$ การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $X_0(i)$; $i = 1, 2,$

$\dots, 18$

$X_0(1)$ ถึง $X_0(18)$ เป็นค่าที่กักโดยประมาณ คำนวณจากข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง หน่วยเป็น เมตร

4. เวกเตอร์ L_0

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L_0(i)$; $i = 1, 2, \dots, 32$

คำนวณจากค่าที่กักโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง

$L_0(1)$ ถึง $L_0(29)$ เป็นค่าของมุม คำนวณจากสมการ (4-1) หน่วย
เป็น เรเดียน

$L_0(30)$ และ $L_0(31)$ เป็นค่าของระยะฐาน คำนวณจากสมการ (4-4),
หน่วยเป็น เมตร

$L_0(32)$ เป็นค่าของแอสิมัท คำนวณจากสมการ (4-7) หน่วยเป็น เรเดียน

5. เวกเตอร์ L

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L(i)$ และคำนวณจาก $L(i) = L_0(i) - L_0(i)$
 $i = 1, 2, \dots, 32$

$L(1)$ ถึง $L(29)$ เป็นค่าผลต่างของมุม หน่วยเป็น เรเดียน

$L(30)$ และ $L(31)$ เป็นผลต่างของระยะทาง หน่วยเป็น เมตร

$L(32)$ เป็นค่าผลต่างของแอสิมัท หน่วยเป็น เรเดียน

6. เมตริกซ์ A

เป็นเมตริกซ์สัมพันธ์ของพารามิเตอร์ การจัดเมตริกซ์จัดเป็น $A(i, j)$
 $i = 1, 2, \dots, 32$ และ $j = 1, 2, \dots, 18$ คำนวณจากที่กักที่เกี่ยวข้อง

$A(i, j)$ ของสมการมุม คำนวณจากสมการ (4-2);

$i = 1, 2, \dots, 29$

$A(i, j)$ ของสมการระยะ คำนวณจากสมการ (4-5);

$i = 30, 31$

$A(i, j)$ ของสมการแอสิมัท คำนวณจากสมการ (4-8)

$i = 32$

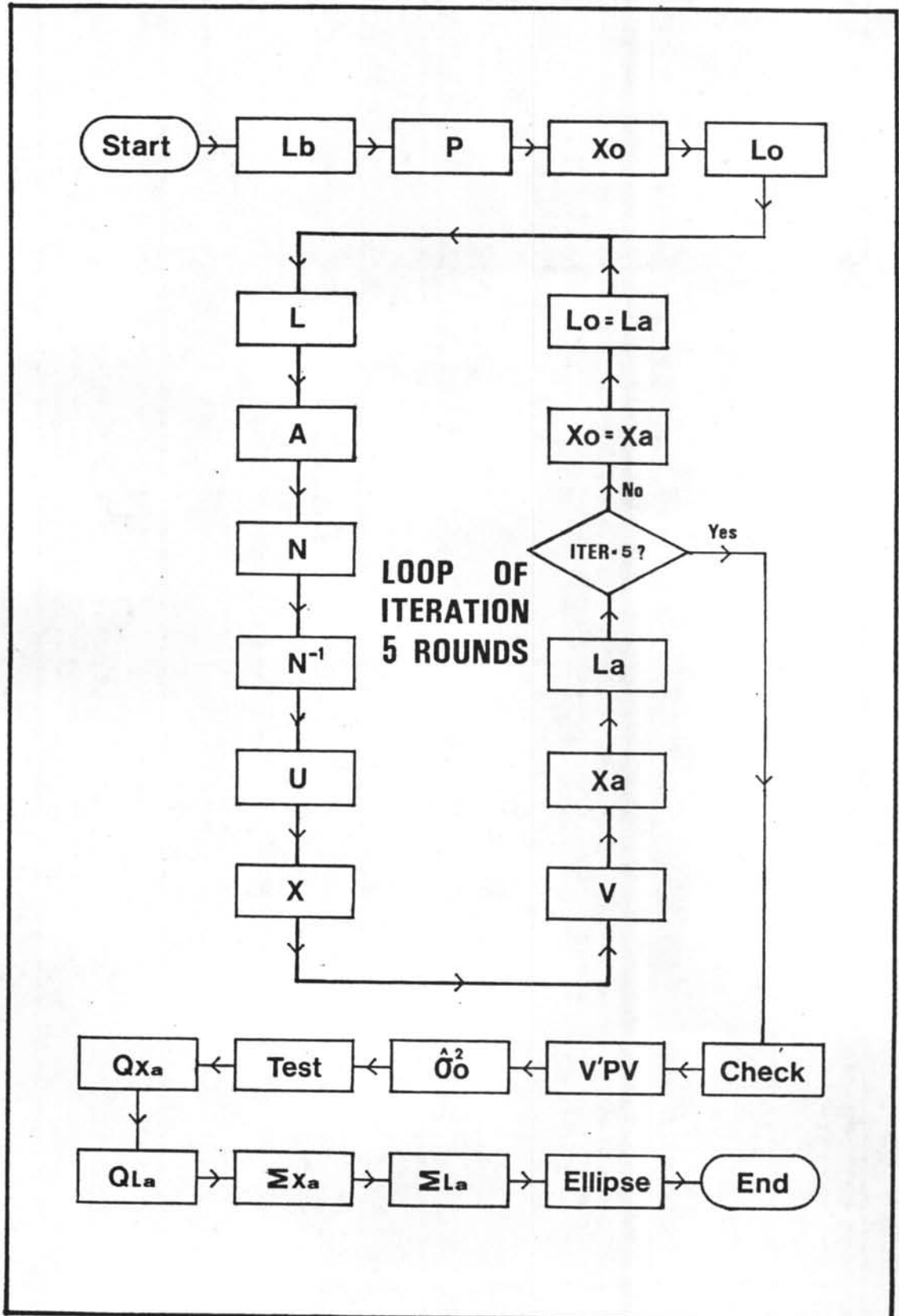
5.1.3 ขั้นตอนการคำนวณปรับแก้

เมื่อทราบปริมาณของ $L_b(32, 1)$, $P(32, 32)$, $X_0(18, 1)$, $L_0(32, 1)$,
 $n = 32$, $u = 18$ และ $r = 14$ สามารถคำนวณหาค่าคาดคะเนด้วยลิสต์สแควร์ วิธีสมการค่า
สังเกตแบบปกติได้ดังนี้

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
1. คำนวณ L	(32, 1)
2. คำนวณ A	(32, 18)
3. สร้าง $N = A'PA$	(18, 18)
4. คำนวณ N^{-1} (ส่วนกลับปกติของ N)	(18, 18)
5. สร้าง $U = A'PL$	(18, 1)
6. คำนวณ $X = -N^{-1}U$	(18, 1)
7. คำนวณ $V = AX + L$	(32, 1)
8. คำนวณ $X_a = X_0 + X$	(18, 1)
9. คำนวณ $L_a = L_b + V$	(32, 1)
10. ตรวจสอบ $NX + U = 0$	(18, 1)
11. คำนวณ $V'PV = L'PL + X'U$	(scalar)
12. คำนวณ $\hat{\sigma}_0^2 = V'PV/r$	(scalar)
13. ทดสอบ $\hat{\sigma}_0^2$	
14. คำนวณโคแฟกเตอร์	
$Q_{X_a} = N^{-1}$	(18, 18)
$Q_{L_a} = AN^{-1}A'$	(32, 32)
15. คำนวณเมตริกซ์ของความแปรปรวน	
$\Sigma_{X_a} = \sigma_0^2 \cdot Q_{X_a}$	(18, 18)
$\Sigma_{L_a} = \sigma_0^2 \cdot Q_{L_a}$	(32, 32)
16. คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
σ_{X_a} จากเมตริกซ์ Σ_{X_a}	(18, 1)
σ_{L_a} จากเมตริกซ์ Σ_{L_a}	(32, 1)
17. คำนวณวงรีของความคลาดเคลื่อน (Error Ellipse)	

จากขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ข้างต้นนี้ ได้เขียนเป็นแผนผังการทำงาน (flow diagram) ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.1

FLOW DIAGRAM : CASE 1



รูปที่ 5.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ กรณีที่ 1

5.1.4 โครงสร้างของเมตริกซ์

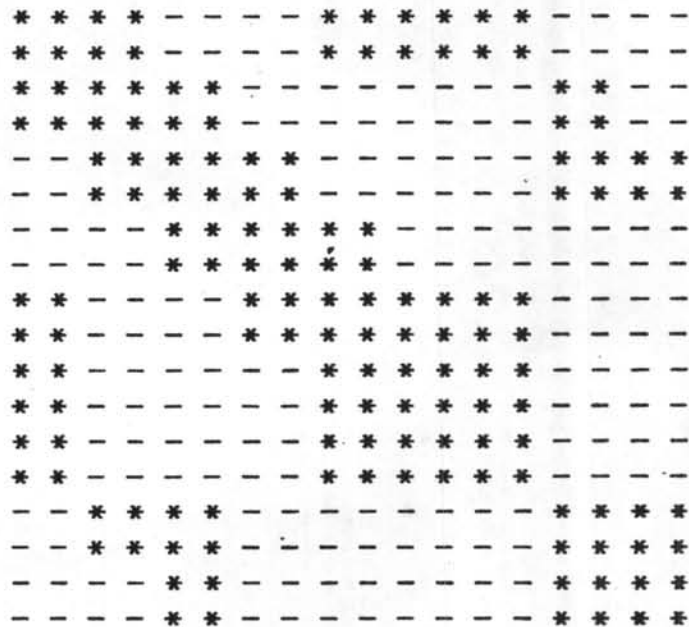
1. เมตริกซ์ A

จากผลการคำนวณค่าสมาชิก (element) $A(i, j)$ ของเมตริกซ์ขนาด $n \times u$ โดยที่ n คือจำนวนสมการของค่าสังเกต และ u คือจำนวนตัวไม่ทราบค่าหรือพารามิเตอร์ ทำให้ทราบลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ A ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งมีขนาดของเมตริกซ์เท่ากับ 32×18 โดยมีค่า $n = 32$ และ $u = 18$

2. เมตริกซ์ N

เมื่อทราบค่าของเมตริกซ์ A ขนาด $n \times u$ และค่าของเมตริกซ์ P ขนาด $n \times n$ สามารถคำนวณเมตริกซ์ N ได้จาก $N = A'PA$ โดยได้ขนาดของเมตริกซ์เป็น $u \times u$ จากการนำเอาค่าของสมาชิกเมตริกซ์ N คือ $N(i, j)$ ซึ่ง $i, j = 1, 2, \dots, u$ มาพล็อต ทำให้ทราบลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ N ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งมีขนาดของเมตริกซ์เท่ากับ 18×18 โดยมีค่า $u = 18$

MATRIX N : CASE 1



รูปที่ 5.3 โครงสร้างเมตริกซ์ N สำหรับการปรับแก้กรณีที่ 1 ขนาด 18×18

5.2 การคำนวณปรับแก้ครั้งที่ 2

5.2.1 ข้อกำหนดของการปรับแก้

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ประกอบด้วยค่าสังเกตเฉพาะการวัดมุม 29 มุม ดังแสดงในตารางที่ 2.2
ดังนั้นจึงมีจำนวนสมการค่าสังเกต (n) เท่ากับ 29 สมการ

2. ข้อมูลกำหนด

ไม่มีข้อมูลกำหนดหรือบังคับเป็นการปรับแก้อิสระ ดังนั้นจึงมีจำนวนตัวแปร
ค่าสุดของการปรับแก้ (n_0) 16 ตัว และจำนวนพารามิเตอร์ (u) ของการคำนวณ 20 ตัว

3. ค่ากำหนด

ลำดับชั้นอิสระ = 13 และ $\sigma_0^2 = 1$ หน่วย

5.2.2 การจัดเมตริกซ์ของการคำนวณ

1. เวกเตอร์ L_b

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L_b(i)$; $i = 1, 2, \dots, 29$

$L_b(1)$ ถึง $L_b(29)$ เป็นค่าการวัดมุม 29 มุม หน่วยเป็นเรเดียน

2. เมตริกซ์ P

การจัดเมตริกซ์จัดเป็นเมตริกซ์เฉียง $P(i, j) = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$ สำหรับค่า
 $i = j$ และ $P(i, j) = 0$ สำหรับค่า $i \neq j$; $i, j = 1, 2, \dots, 29$

$P(1, 1)$ ถึง $P(29, 29)$ เป็นค่าเนื่องจากการวัดมุม 29 มุม

โดยที่ σ_i คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกต หน่วยเป็นเรเดียน

3. เวกเตอร์ X_0

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $X_0(i)$; $i = 1, 2, \dots, 20$

$X_0(1)$ ถึง $X_0(20)$ เป็นค่าที่วัดโดยประมาณ หน่วยเป็นเมตร
จุดที่วัดค่าเนื้อมันอยู่ที่สถานีที่ 1 ด้วยค่าที่วัดโดยประมาณ $X_0(1) = 0$,

$$X_0(2) = 0$$

4. เวกเตอร์ L_0

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L_0(i)$; $i = 1, 2, \dots, 29$ จำนวน
จากค่าที่วัดโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง

$L_0(1)$ ถึง $L_0(29)$ มีค่าของมุม จำนวนจากสมการ (4-1) หน่วยเป็น
เรเดียน

5. เวกเตอร์ L

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $L(i)$ จำนวนจาก $L(i) = L_0(i) - L_b(i)$;
 $i = 1, 2, \dots, 29$

$L(1)$ ถึง $L(29)$ เป็นค่าผลต่างของมุม หน่วยเป็นเรเดียน

6. เมตริกซ์ A

การจัดเมตริกซ์จัดเป็น $A(i, j)$; $i = 1, 2, \dots, 29$ และ
 $j = 1, 2, \dots, 20$ จำนวนจากค่าที่วัดโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง

$A(i, j)$ ของสมการมุม จำนวนจากสมการ (4-2)

5.2.3 ขั้นตอนการคำนวณปรับแก้

เมื่อทราบปริมาณของ $L_b(29, 1)$, $P(29, 29)$, $X_0(20, 1)$, $L_0(29, 1)$,
 $n = 29$, $u = 20$ และ $r = 13$ สามารถคำนวณหาค่าคาดคะเนด้วยวิธีลีสต์สแควร์ วิธีสมการ
ค่าสังเกตโดยใช้เทคนิคของซูโคอินเวอร์สได้ดังนี้

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
1. จำนวน L	(29, 1)
2. จำนวน A	(29, 20)
3. สร้าง $N = A'PA$	(20, 20)
4. จำนวน N^+ (ซูโคอินเวอร์ส N)	(20, 20)

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
5. สร้าง $U = A'PL$	(20, 1)
6. คำนวณ $X = -N^+U$	(20, 1)
7. คำนวณ $V = AX + L$	(29, 1)
8. คำนวณ $X_a = X_o + X$	(20, 1)
9. คำนวณ $L_a = L_b + V$	(29, 1)
10. ตรวจสอบ $NX + U = 0$	(20, 1)
11. คำนวณ $V'PV = L'PL + X'U$	(scalar)
12. คำนวณ $\hat{\sigma}_0^2 = V'PV/r$	(scalar)
13. ทดสอบ $\hat{\sigma}_0^2$	
14. คำนวณโคแฟกเตอร์	
$Q_{X_a} = N^+$	(20, 20)
$Q_{L_a} = AN^+A'$	(29, 29)
15. คำนวณเมตริกซ์ของความแปรปรวน	
$\Sigma_{X_a} = \sigma_0^2 \cdot Q_{X_a}$	(20, 20)
$\Sigma_{L_a} = \sigma_0^2 \cdot Q_{L_a}$	(29, 29)
16. คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
σ_{X_a} จากเมตริกซ์ Σ_{X_a}	(20, 1)
σ_{L_a} จากเมตริกซ์ Σ_{L_a}	(29, 1)
17. คำนวณวงรีของความคลาดเคลื่อน (Error Ellipse)	

จากขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ข้างต้นได้เขียนเป็นแผนผังการทำงาน (flow diagram)

ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.4

5.2.4 โครงสร้างของเมตริกซ์

1. เมตริกซ์ A

ลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ A ขนาด 29×20 แสดงในรูปที่ 5.5

5.3.2 การจัดเมตริกซ์ของการคำนวณ

1. เมตริกซ์ L_b, P, X_o, L_o, L, A เหมือนกรณีที่ 2
2. เมตริกซ์ C

เป็นเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ของพหุนามในสมการเงื่อนไขบังคับ การจัดเมตริกซ์จัดเป็น $C(i, j)$; $i = 1, 2$ และ $j = 1, 2, \dots, 20$ คำนวณจากค่าที่กีดโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง โดยสมาชิก $C(i, j)$ คำนวณจากสมการ (4-5) จากการบังคับระยะฐาน S_1, S_2

3. เวกเตอร์ W

การจัดเวกเตอร์ W ในสมการเงื่อนไขบังคับ จัดเป็น $W(i)$ ซึ่งคำนวณจาก $W(i) = S_o(i) - S_c(i)$; $i = 1, 2$ โดย S_o คือระยะฐานที่คำนวณจากสมการ (4-4) จากค่าที่กีดโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง และ S_c คือระยะฐานที่ยังคับ

5.3.3 ขั้นตอนการคำนวณปรับแก้

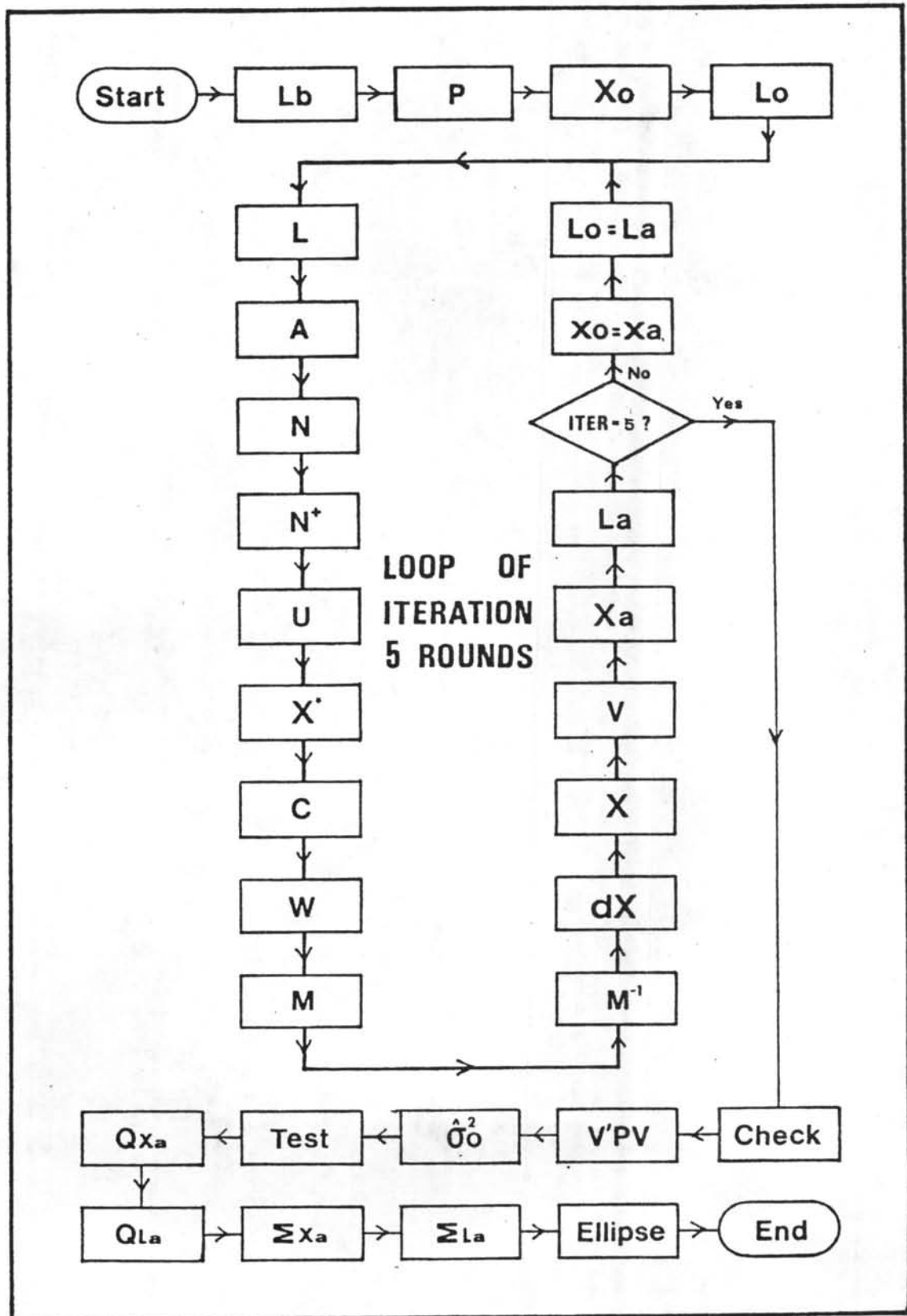
เมื่อทราบปริมาณของ $L_b(29, 1), P(29, 29), X_o(20, 1), L_o(29, 1), n = 29, u = 20$ และ $r = 14$ สามารถคำนวณหาค่าคาดคะเนด้วยวิธีลีสต์สแควร์ วิธีสมการค่าสังเกตผสมเงื่อนไขบังคับโดยใช้เทคนิคของซูโคอินเวอร์สได้ดังนี้

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
1. คำนวณ L	(29, 1)
2. คำนวณ A	(29, 20)
3. สร้าง $N = A'PA$	(20, 20)
4. คำนวณ N^+ (ซูโคอินเวอร์สของ N)	(20, 20)
5. สร้าง $U = A'PL$	(20, 1)
6. คำนวณ $X^* = -N^+U$	(20, 1)
7. คำนวณ C	(2, 20)
8. คำนวณ W	(2, 1)
9. สร้าง $M = CN^+C'$	(2, 2)

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
10. ค่ารวม M^{-1}	(2, 2)
11. ค่ารวม $dX = -N^+C'M^{-1}(CX^* + W)$	(20, 1)
12. ค่ารวม $X = X^* + dX$	(20, 1)
13. ค่ารวม $V = AX + L$	(29, 1)
14. ค่ารวม $X_a = X_o + X$	(20, 1)
15. ค่ารวม $L_a = L_b + V$	(29, 1)
16. ตรวจสอบ $NX + U - C'K = 0$ $CX + W = 0$	(20, 1) (2, 1)
17. ค่ารวม $V'PV = L'PL - X'NX$	(scalar)
18. ค่ารวม $\hat{\sigma}_o^2 = V'PV/r$	(scalar)
19. ทดสอบ $\hat{\sigma}_o^2$	
20. ค่ารวมโคแฟกเตอร์ $Q_{X_a} = N^+ - N^+C'M^{-1}CN^+$ $Q_{L_a} = A \cdot Q_{X_a} \cdot A'$	(20, 20) (29, 29)
21. ค่ารวมเมตริกซ์ของความแปรปรวน $\Sigma_{X_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{X_a}$ $\Sigma_{L_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{L_a}$	(20, 20) (29, 29)
22. ค่ารวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_{X_a} จากเมตริกซ์ Σ_{X_a} σ_{L_a} จากเมตริกซ์ Σ_{L_a}	(20, 1) (29, 1)
23. ค่ารวมวงรีของความคลาดเคลื่อน (Error Ellipse)	

จากขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ข้างต้นได้เขียนเป็นแผนผังการทำงาน (flow diagram) ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.7

FLOW DIAGRAM : CASE 3-5



รูปที่ 5.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ กรณีที่ 3-5

5.3.4 โครงสร้างของเมตริกซ์

1. เมตริกซ์ L_b, P, X_0, L_0, L, A เหมือนกรณีที่ 2
2. เมตริกซ์ C

จากผลการคำนวณค่าของสมาชิก $C(i, j)$ ของเมตริกซ์ C ขนาด $c \times u$ โดยที่ c คือจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ และ u คือจำนวนตัวไม่ทราบค่าหรือพารามิเตอร์ ทำให้ทราบลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ C ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งมีขนาดของเมตริกซ์เท่ากับ 2×20 โดยมีค่า $c = 2$ และ $u = 20$

MATRIX C : CASE 3

```

- - - - - * * * * - - - -
- - - - - - - - - - - * * * *

```

รูปที่ 5.8 โครงสร้างเมตริกซ์ C สำหรับการปรับแก้กรณีที่ 3 ขนาด 2×20

5.4 การคำนวณปรับแก้กรณีที่ 4

5.4.1 ข้อกำหนดของการปรับแก้

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลเบื้องต้นของการปรับแก้เหมือนกรณีที่ 2

2. ข้อมูลกำหนด

ข้อมูลกำหนดคือ เงื่อนไขบังคับที่จุดกำเนิด X_1, Y_1 และระยะฐาน S_1, S_2 ดังนั้นจึงทำให้มีจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ (c) เท่ากับ 4 สมการ

3. ค่ากำหนด

ลำดับชั้นอิสระ = 14 และ $\sigma_0^2 = 1$ หน่วย

5.4.2 การจัดเมตริกซ์ของการคำนวณ

1. เมตริกซ์ L_b, P, X_0, L_0, L, A เหมือนกรณีที่ 2

2. เมตริกซ์ C

การจัดเมตริกซ์จัดเป็น $C(i, j)$; $i = 1, 2, \dots, 4$ และ
 $j = 1, 2, \dots, 20$

$C(i, j)$ จากการบังคับพิกัดจุดกำเนิด X_1, Y_1 มีค่าเท่ากับ 1;
 $i = 1, 2$

$C(i, j)$ จากการบังคับระยะฐาน S_1, S_2 คำนวณจากสมการ (4-5);
 $i = 3, 4$

3. เวกเตอร์ W

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $W(i)$; $i = 1, 2, \dots, 4$

$W(i)$ จากการบังคับพิกัดจุดกำเนิดมีค่าเท่ากับ 0; $i = 1, 2$

$W(i)$ จากการบังคับระยะฐาน S_1, S_2 คำนวณจาก $W(i) = S_0(i)$
 $- S_C(i)$; $i = 3, 4$

5.4.3 ขั้นตอนการคำนวณปรับแก้

เมื่อทราบปริมาณของ $L_b(29, 1)$, $P(29, 29)$, $X_0(20, 1)$, $L_0(29, 1)$,
 $n = 29$, $u = 20$ และ $r = 14$ สามารถคำนวณหาค่าคาดคะเนด้วยวิธีลีสต์สแควร์ วิธีสม-
 การค่าสังเกตผสมเงื่อนไขบังคับ โดยใช้เทคนิคของซูโดอินเวอร์สได้ดังนี้

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
1. คำนวณ L	(29, 1)
2. คำนวณ A	(29, 20)
3. สร้าง $N = A'PA$	(20, 20)
4. คำนวณ N^+ (ซูโดอินเวอร์สของ N)	(20, 20)
5. สร้าง $U = A'PL$	(20, 1)
6. คำนวณ $X^* = -N^+U$	(20, 1)
7. คำนวณ C	(4, 20)
8. คำนวณ W	(4, 1)

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาด เมตริกซ์</u>
9. สร้าง $M = CN^+C'$	(4, 4)
10. คำนวณ M^{-1}	(4, 4)
11. คำนวณ $dx = -N^+C'M^{-1}(CX^* + W)$	(20, 1)
12. คำนวณ $X = X^* + dx$	(20, 1)
13. คำนวณ $V = AX + L$	(29, 1)
14. คำนวณ $X_a = X_o + X$	(20, 1)
15. คำนวณ $L_a = L_b + V$	(29, 1)
16. ตรวจสอบ $NX + U - C'K = 0$	(20, 1)
$CX + W = 0$	(4, 1)
17. คำนวณ $V'PV = L'PL - X'NX$	(scalar)
18. คำนวณ $\hat{\sigma}_o^2 = V'PV/r$	(scalar)
19. ทดสอบ $\hat{\sigma}_o^2$	
20. คำนวณโคแฟกเตอร์	
$Q_{X_a} = N^+ - N^+C'M^{-1}CN^+$	(20, 20)
$Q_{L_a} = A \cdot Q_{X_a} \cdot A'$	(29, 29)
21. คำนวณเมตริกซ์ของความแปรปรวน	
$\Sigma_{X_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{X_a}$	(20, 20)
$\Sigma_{L_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{L_a}$	(29, 29)
22. คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
σ_{X_a} จากเมตริกซ์ Σ_{X_a}	(20, 1)
σ_{L_a} จากเมตริกซ์ Σ_{L_a}	(29, 1)
23. คำนวณวงรีของความคลาดเคลื่อน (Error Ellipse)	

แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณปรับแก้เหมือนกับกรณีที่ 3

5.4.4 โครงสร้างของเมตริกซ์

1. เมตริกซ์ A, N เหมือนกรณีที่ 2
2. เมตริกซ์ C

ลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ C ขนาด 4×20 ดังแสดงในรูปที่ 5.9

MATRIX C : CASE 4

```
* - - - - -
- * - - - - -
- - - - - * * * * - - - -
- - - - - - - - - * * * *
```

รูปที่ 5.9 โครงสร้างเมตริกซ์ C สำหรับการปรับแก้กรณีที่ 4 ขนาด 4×20

5.5 การคำนวณปรับแก้กรณีที่ 5

5.5.1 ข้อกำหนดของการปรับแก้

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลเบื้องต้นของการปรับแก้เหมือนกรณีที่ 2

2. ข้อมูลกำหนด

ข้อมูลกำหนดคือ เงื่อนไขบังคับที่กักจุดกำเนิด X_1, Y_1 ระยะฐาน S_1, S_2 และแอชิต Az ดังนั้นจึงทำให้มีจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ (c) เท่ากับ 5 สมการ

3. ค่ากำหนด

ลำดับชั้นอิสระ = 14 และ $\sigma_0^2 = 1$ หน่วย

5.5.2 การจัดเมตริกซ์ของการคำนวณ

1. เมตริกซ์ L_D, P, A, X_0, L_0, L เหมือนกรณีที่ 2
2. เมตริกซ์ C

การจัดเมตริกซ์จัดเป็น $C(i, j)$; $i = 1, 2, \dots, 5$ และ
 $j = 1, 2, \dots, 20$

$C(i, j)$ จากการบังคับทิศทางจุดกำเนิด X_1, Y_1 มีค่าเท่ากับ 1;
 $i = 1, 2$

$C(i, j)$ จากการบังคับระยะฐาน S_1, S_2 คำนวณจากสมการ (4-5),
 $i = 3, 4$

$C(i, j)$ จากการบังคับแอซิมัท Az คำนวณจากสมการ (4-8), $i = 5$

3. เมตริกซ์ W

การจัดเวกเตอร์จัดเป็น $W(i)$; $i = 1, 2, \dots, 5$

$W(i)$ จากการบังคับทิศทางจุดกำเนิด X_1, Y_1 มีค่าเท่ากับ 0; $i = 1, 2$

$W(i)$ จากการบังคับระยะฐาน S_1, S_2 คำนวณจาก $W(i) = S_0(i)$
 $- S_0(i)$; $i = 3, 4$

$W(i)$ จากการบังคับแอซิมัท Az คำนวณจาก $W(i) = Az_0(i) - Az_c(i)$;
 $i = 5$

เมื่อ Az_0 คือแอซิมัทที่คำนวณจากสมการ (4-7) จากค่าทิศทางโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง
 และ Az_c คือแอซิมัทที่บังคับ

5.5.3 ขั้นตอนของการคำนวณปรับแก้

เมื่อทราบปริมาณของ $L_b(29, 1)$, $P(29, 29)$, $X_0(20, 1)$, $L_0(29, 1)$,
 $n = 29$, $u = 20$ และ $r = 14$ สามารถคำนวณหาค่าคาดคะเนด้วยวิธีลีสต์สแควร์ วิธีสมการ
 ค่าสังเกตผสมเงื่อนไขบังคับโดยใช้เทคนิคของซูโคอินเวอร์สได้ดังนี้

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
1. คำนวณ L	(29, 1)
2. คำนวณ A	(29, 20)
3. สร้าง $N = A'PA$	(20, 20)
4. คำนวณ N^+ (ซูโคอินเวอร์สของ N)	(20, 20)

<u>ขั้นตอน</u>	<u>ขนาดเมตริกซ์</u>
5. สร้าง $U = A'PL$	(20, 1)
6. คำนวณ $X^* = -N^+U$	(20, 1)
7. คำนวณ C	(5, 20)
8. คำนวณ W	(5, 1)
9. สร้าง $M = CN^+C'$	(5, 5)
10. คำนวณ M^{-1}	(5, 5)
11. คำนวณ $dX = -N^+C'M^{-1}(CX^* + W)$	(20, 1)
12. คำนวณ $X = X^* + dX$	(20, 1)
13. คำนวณ $V = AX + L$	(29, 1)
14. คำนวณ $X_a = X_o + X$	(20, 1)
15. คำนวณ $L_a = L_b + V$	(29, 1)
16. ตรวจสอบ $NX + U - C'K = 0$	(20, 1)
$CX + W = 0$	(5, 1)
17. คำนวณ $V'PV = L'PL - X'NX$	(scalar)
18. คำนวณ $\hat{\sigma}_o^2 = V'PV/r$	(scalar)
19. ทดสอบ $\hat{\sigma}_o^2$	
20. คำนวณโคแฟกเตอร์	
$Q_{X_a} = N^+ - N^+C'M^{-1}CN^+$	(20, 20)
$Q_{L_a} = A \cdot Q_{X_a} \cdot A'$	(29, 29)
21. คำนวณเมตริกซ์ของความแปรปรวน	
$\Sigma_{X_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{X_a}$	(20, 20)
$\Sigma_{L_a} = \sigma_o^2 \cdot Q_{L_a}$	(29, 29)
22. คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
σ_{X_a} จากเมตริกซ์ Σ_{X_a}	(20, 1)
σ_{L_a} จากเมตริกซ์ Σ_{L_a}	(29, 1)

ขั้นตอนขนาด เมตริกซ์

23. จำนวนวงรีของความคลาดเคลื่อน (Error Ellipse)

แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณปรับแก้เหมือนกับกรณีที่ 3

5.5.4 โครงสร้างของเมตริกซ์

1. เมตริกซ์ A, N เหมือนกรณีที่ 2

2. เมตริกซ์ C

ลักษณะโครงสร้างของเมตริกซ์ C ขนาด 5×20 ดังแสดงในรูปที่ 5.10

MATRIX C : CASE 5

```
* - - - - -
- * - - - - -
- - - - - * * * * - - - - -
- - - - - - - - * * * *
- - - - - - - - * * * * - - - - -
```

รูปที่ 5.10 โครงสร้างเมตริกซ์ C สำหรับการปรับแก้กรณีที่ 5 ขนาด 5×20

5.6 ตัวอย่างการคำนวณของการจัดเมตริกซ์

1. การคำนวณ L_b

ปริมาณการวัด	ลำดับ (i)	ค่าการวัด	ค่าคำนวณ $L_b(i)$
มุมที่ 1	1	$75^{\circ} 24' 0.97''$	1.316025283 เรเดียน
ระยะฐาน	30	19239.634	19239.634 เมตร
แอซิมัท	32	$29^{\circ} 58' 47.8''$	1.523248740 เรเดียน

2. การคำนวณ P

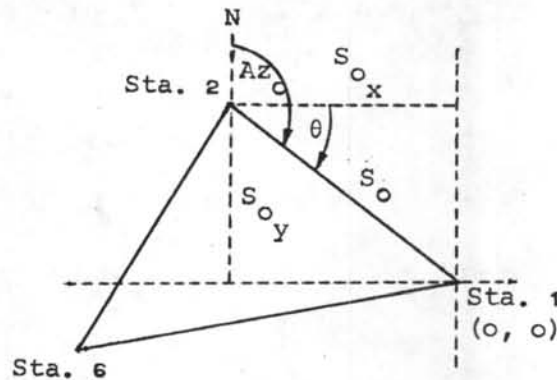
$$\text{คำนวณจากสูตร } P(i, i) = (1/\sigma(i))^2$$

โดยที่ $\sigma(i)$ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกตลำดับที่ i

ปริมาณการวัด	ลำดับ (i)	ค่าการวัด $\sigma(i)$	ค่าคำนวณ $P(i, i)$
มุมที่ 1	1	0".9	52524901600.2
ระยะฐาน	30	0.18 ม.	30.8641975309
แอซิมัท	32	0".5	170180681184.6

3. การคำนวณ X_0

การคำนวณค่าพิกัดโดยประมาณ เริ่มด้วยการหาแอซิมัทของแนวทาง คำนวณระยะ คำนวณมุมสำหรับแต่ละระยะ แต่ละระยะให้เป็นระยะราบและระยะตั้ง จากนั้นถ่ายพิกัดจากพิกัดเริ่มต้นสถานีที่ 1 ซึ่งมีพิกัดเป็น $(0, 0)$ ไปสู่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 5.11 การหาค่าพิกัดโดยประมาณ

จากรูปที่ 5-11 เป็นโครงข่ายที่ประกอบด้วยสถานีที่ 1, 2 และ 6 สถานีที่ 1 มีพิกัดโดยประมาณเป็น $(0, 0)$ ต้องการหาพิกัดโดยประมาณของสถานีที่ 2 โดยทราบแอซิมัทและระยะของ S_0 ดังนี้ $Az_0 = 2.276584609$ เรเดียน และ $S_0 = 18594.44564$ เมตร การหาพิกัดคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{คำนวณมุม } \theta; \theta &= Az_0 - \pi/2 \\ &= 0.696788282 \text{ เรเดียน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แต่ละระยะ } S_{0x}; S_{0x} &= S_0 \cdot \cos \theta \\ &= 14260.2158 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{0y} &= S_0 \cdot \sin \theta \\ &= 11933.1326 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นจากการจัดระบบทางพิกัดรวมจะได้ค่าพิกัดของสถานีที่ 2 คือ (-14260.2158, 11933.1326) หน่วยเป็นเมตร

4. การคำนวณ L_o

ค่าพิกัดที่ใช้กับการคำนวณ (X_o)

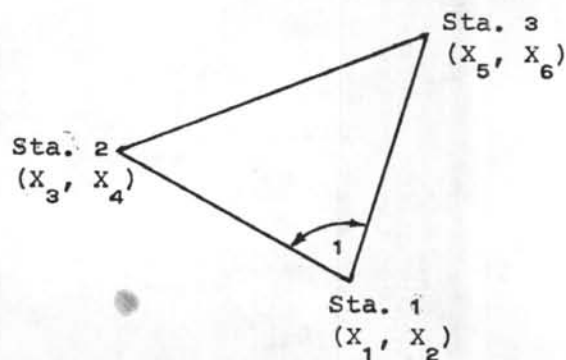
(1)	0.0000	เมตร	(13)	-40509.7414	เมตร
(2)	0.0000	เมตร	(14)	13077.3696	เมตร
(3)	-14260.2158	เมตร	(15)	-30895.7573	เมตร
(4)	11933.1326	เมตร	(16)	29742.6477	เมตร
(5)	6007.7116	เมตร			
(6)	12694.5947	เมตร			

การคำนวณ L_o สำหรับมุมที่ 1 (ดูรูปที่ 5.12)

คำนวณจากสมการ (4-1) มีค่าพิกัดที่เกี่ยวข้องคือ $X_o(1)$ ถึง $X_o(16)$;

$i = 1$

$$L_o(1) = \tan^{-1} \frac{X_o(5) - X_o(1)}{X_o(6) - X_o(2)} - \tan^{-1} \frac{X_o(3) - X_o(1)}{X_o(4) - X_o(2)}$$



รูปที่ 5.12 การวัดมุมที่ 1

โดยการแทนค่าจะได้

$$(1) \quad 1.316027221 \text{ เรเดียน}$$

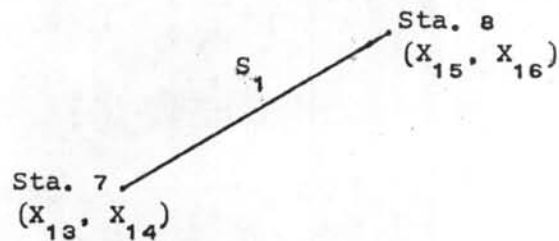
การคำนวณมุม L_o สำหรับระยะฐาน S_1 (ดูรูปที่ 5.13)

คำนวณจากสมการ (4-4) มีค่าพิกัดที่เกี่ยวข้องคือ $X_o(13)$ ถึง $X_o(16)$; $i = 30$

$$L_o(30) = ((X_o(15) - X_o(13))^2 + (X_o(16) - X_o(14))^2)^{1/2}$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$L_o(30) = 19239.807 \text{ เมตร}$$



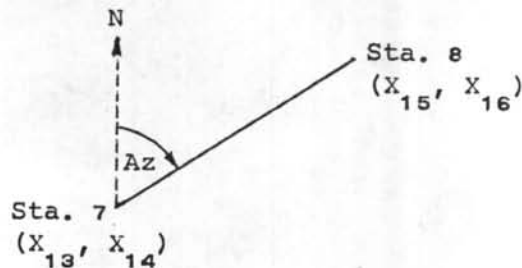
รูปที่ 5.13 การวัดระยะฐาน S_1

การคำนวณ L_o สำหรับแอซิมัท Az (ดูรูปที่ 5.14)

คำนวณจากสมการ (4-7) มีค่าที่กักที่เกี่ยวข้องคือ $X_o(13)$ ถึง $X_o(16)$;

$$i = 32$$

$$L_o(32) = \tan^{-1} ((X_o(15) - X_o(13)) / (X_o(16) - X_o(14)))$$



รูปที่ 5.14 การวัดแอซิมัท Az

5. การคำนวณ L

$$\text{ค่า } L(i) \text{ คำนวณจาก } L(i) = L_o(i) - L_b(i)$$

$$\text{มุมที่ 1 คำนวณจาก } L(1) = L_o(1) - L_b(1) \text{ โดยที่ } i = 1$$

$$\text{เมื่อ } L_o(1) = 1.3160272210 \text{ เรเดียน}$$

$$L_b(1) = 1.3160252829 \text{ เรเดียน}$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$L(1) = 1.939 \times 10^{-6} \text{ เรเดียน}$$

ระยะฐาน S_1 คำนวณจาก $L(30) = L_o(30) - L_b(30)$ โดยที่ $i = 30$

$$\text{เมื่อ } L_o(30) = 19239.807 \text{ เมตร}$$

$$L_b(30) = 19239.634 \text{ เมตร}$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$L(30) = 0.173 \text{ เมตร}$$

แอมป์ Az คำนวณจาก $L(32) = L_o(32) - L_b(32)$ โดยที่ $i = 2$

$$\text{เมื่อ } L_o(32) = 1.5232487401 \text{ เรเดียน}$$

$$L_b(32) = 1.5232487401 \text{ เรเดียน}$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$L(32) = 0 \text{ เรเดียน}$$

6. การคำนวณ A

ค่า $A(i, j)$ คำนวณได้จากค่าที่กักโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง โดยที่

$i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, u$; $n =$ จำนวนสมการกำลังเอก

$u =$ จำนวนพารามิเตอร์

ตัวอย่างกำหนด $n = 32, u = 20$

มุมที่ 1 ค่าที่กักที่เกี่ยวข้องได้แก่ $X_o(1)$ ถึง $X_o(6)$ โดยที่ $i = 1$ (ดูรูปที่

5.12)

$$S_{12}^2 = (X_o(3) - X_o(1))^2 + (X_o(4) - X_o(1))^2$$

$$S_{13}^2 = (X_o(5) - X_o(1))^2 + (X_o(6) - X_o(1))^2$$

$$A(1, 3) = - (X_o(4) - X_o(2)) / S_{12}^2$$

$$A(1, 4) = (X_o(3) - X_o(1)) / S_{12}^2$$

$$A(1, 5) = (X_o(6) - X_o(2)) / S_{12}^2$$

$$A(1, 6) = - (X_o(5) - X_o(1)) / S_{13}^2$$

$$A(1, 1) = - (A(1, 3) + A(1, 5))$$

$$A(1, 2) = - (A(1, 4) + A(1, 6))$$

เมื่อค่าพิกัดเหมือนกับการคำนวณ L_0 ของมุมที่ 1

โดยการแทนค่าจะได้

$$A(1, 1) = -2.9845997239 \times 10^{-5}$$

$$A(1, 2) = 7.1701957550 \times 10^{-5}$$

$$A(1, 3) = -3.4513419980 \times 10^{-5}$$

$$A(1, 4) = -4.1243890758 \times 10^{-5}$$

$$A(1, 5) = 6.4359417218 \times 10^{-5}$$

$$A(1, 6) = -3.0458066792 \times 10^{-5}$$

ระยะฐาน S_1 ค่าพิกัดที่เกี่ยวข้องได้แก่ $X_0(13)$ ถึง $X_0(16)$ โดยที่ $i = 30$

(ดูรูปที่ 5.13)

$$S_1 = ((X_0(15) - X_0(13))^2 + (X_0(16) - X_0(14))^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$A(30, 13) = - (X_0(15) - X_0(13))/S_1$$

$$A(30, 14) = - (X_0(16) - X_0(14))/S_1$$

$$A(30, 15) = - A(30, 13)$$

$$A(30, 16) = - A(30, 14)$$

เพราะค่าพิกัดเหมือนกับการคำนวณ L_0 ของระยะฐาน S_1

โดยการแทนค่าจะได้

$$A(30, 13) = -0.4996968298$$

$$A(30, 14) = -0.8662003685$$

$$A(30, 15) = 0.4996968298$$

$$A(30, 16) = 0.8662003685$$

แอมพิท Az ค่าพิกัดที่เกี่ยวข้องได้แก่ $X_0(13)$ ถึง $X_0(16)$ โดยที่ $i = 32$

(ดูรูปที่ 5.14)

$$S_1^2 = (X_0(15) - X_0(13))^2 + (X_0(16) - X_0(14))^2$$

$$A(32, 13) = - (X_0(16) - X_0(14))/S_1^2$$

$$A(32, 14) = (X_0(15) - X_0(13))/S_1^2$$

$$A(32, 15) = -A(32, 13)$$

$$A(32, 16) = -A(32, 15)$$

เมื่อค่าพิสัยเหมือนกับการคำนวณ L_a ของระยะฐาน S_1

โดยการแทนค่าจะได้

$$A(32, 13) = -4.5021665613 \times 10^{-5}$$

$$A(32, 14) = 2.5972262765 \times 10^{-5}$$

$$A(32, 15) = 4.5021665613 \times 10^{-5}$$

$$A(32, 16) = -2.5972262765 \times 10^{-5}$$

7. การคำนวณ C

ค่า $C(k, j)$ คำนวณได้จากค่าพิสัยโดยประมาณที่เกี่ยวข้อง โดยที่ $i = 1, 2, \dots, c$ และ $j = 1, 2, \dots, u$ เมื่อ $c =$ จำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ
 $u =$ จำนวนพารามิเตอร์

ตัวอย่างกำหนด $c = 5, u = 20$

พิสัย X_1 ค่า $C(1, 1) = 1$ โดยที่ $k = 1$

พิสัย Y_1 ค่า $C(2, 2) = 1$ โดยที่ $k = 2$

ระยะฐาน S_1 ค่า $C(k, j)$ มีค่าเท่ากับ $A(i, j)$; $i = 30, k = 3$

เอซิมัท Az ค่า $C(k, j)$ มีค่าเท่ากับ $A(i, j)$; $i = 32, k = 5$

8. การคำนวณ W

พิสัย X_1 ค่า $w(1) = 0$ โดยที่ $i = 1$

พิสัย Y_1 ค่า $w(2) = 0$ โดยที่ $i = 2$

ระยะฐาน S_1 ค่า $w(3) = S_{10} - S_{1c}$ โดยที่ $i = 3$

ค่า S_{10} คำนวณจากค่าพิสัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ $X_0(13)$ ถึง $X_0(16)$

$$S_{10} = ((X_0(15) - X_0(13))^2 + (X_0(16) - X_0(14))^2)^{\frac{1}{2}}$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$S1_0 = 19239.634 \text{ เมตร}$$

และ $S1_c$ คือระยะฐาน $S1_c$ ที่บังคับเท่ากับ 19239.80697 เมตร

$$\text{ดังนั้นจะได้ } W(3) = -0.17297 \text{ เมตร}$$

แอซิมัท Az ค่า $W(5) = Az_0 - Az_c$ โดยที่ $i = 5$

ค่า Az_0 คำนวณจากค่าพิกัดที่เกี่ยวข้องได้แก่ $X_0(13)$ ถึง $X_0(16)$

$$Az_0 = \tan^{-1} ((X_0(15) - X_0(13)) / (X_0(16) - X_0(14)))$$

โดยการแทนค่าจะได้

$$Az_0 = 0.5232487401 \text{ เรเดียน}$$

และ Az_c คือค่าแอซิมัท Az ที่บังคับเท่ากับ 0.232487401 เรเดียน

$$\text{ดังนั้นจะได้ } W(5) = 0$$

5.7 ผลสรุปของการคำนวณปรับแก้

ในการวิจัยได้ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมตามลักษณะข้อมูล ขั้วกำหนด และเงื่อนไขที่แตกต่างกัน 5 กรณี ดังมีขั้นตอนการคำนวณปรับแก้ แสดงในรูปที่ 5.1, 5.4 และ 5.7 โดยให้ผลการคำนวณสรุปได้ดังนี้

1. ค่าพิกัดโดยประมาณก่อนการปรับแก้

เป็นค่าที่คำนวณจากค่าสังเกตของการวัดมุม และการวัดระยะฐาน S_1 โดยกำหนดค่าพิกัดจุดกำเนิด X_1, Y_1 เป็นศูนย์ ผลการคำนวณได้ค่าพิกัดโดยประมาณสำหรับการปรับแก้ทั้ง 5 กรณี ดังแสดงค่าไว้ในตารางที่ 5.1 มีหน่วยเป็นเมตร

2. ค่าเงื่อนไขบังคับ

ค่าเงื่อนไขบังคับเป็นผลจากการปรับแก้กรณีที่ 1 เพื่อใช้สำหรับการปรับแก้กรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 5 ประกอบด้วยค่าของระยะฐาน S_1, S_2 พิกัดจุดกำเนิด X_1, Y_1 และแอซิมัท Az ดังแสดงค่าไว้ในตารางที่ 5.2 เป็นค่าสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่ปรับแก้กับปริมาณของค่าบังคับ โดยระยะฐานและพิกัดจุดกำเนิดมีหน่วยเป็นเมตร แอซิมัทมีหน่วยเป็นองศา ลิบดา ทิลิบดา ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพิกัดโดยประมาณก่อนการปรับแก้

QUANTITY	VALUE
X [1]	0.000
Y [1]	0.000
X [2]	-14260.216
Y [2]	11933.133
X [3]	6007.712
Y [3]	12694.595
X [4]	15692.005
Y [4]	-4061.248
X [5]	-6748.702
Y [5]	-17876.328
X [6]	-21748.661
Y [6]	-6096.428
X [7]	-40509.741
Y [7]	13077.270
X [8]	-30895.757
Y [8]	29742.648
X [9]	26586.279
Y [9]	15471.322
X [10]	38835.741
Y [10]	5365.653

ค่าพิกัดมีหน่วยเป็น เมตร

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเงื่อนไขบังคับสำหรับการปรับแก้กรณีที่ 3-5

QUANTITY	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
S1	Direct Adjust.		19239.80697 m.	19239.80697 m.	19239.80697 m.
S2			15879.87447 m.	15879.87447 m.	15879.87447 m.
X1		Free		0.00000 m.	0.00000 m.
Y1				0.00000 m.	0.00000 m.
Az					29° 58' 47".80

3. ค่าพิกัดและค่าสังเกตที่ปรับแก้แล้ว

เป็นค่าที่คำนวณจากสูตรความสัมพันธ์

$$X_a = X_o + X$$

$$L_a = L_b + V$$

ผลการคำนวณปรับแก้ทั้ง 5 กรณี ได้แสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.3 และ 5.4 เรียงตามลำดับกรณีโดยสัมพันธ์กับปริมาณของพิกัดสถานี

4. ค่าตรวจสอบการคำนวณ

ค่าตรวจสอบการคำนวณสำหรับการปรับแก้กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 คำนวณจากเทอมของ $NX + U$ และสำหรับการปรับแก้กรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 5 คำนวณจากเทอมของ $NX + U - C'K$ กับ $CX + W$ ดังแสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.5 เป็นค่าสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่ปรับแก้กับสมการการตรวจสอบ

5. ค่าการทดสอบความแปรปรวน

เป็นการทดสอบสมมติฐานของค่า σ_0^2 หลังการปรับแก้โดยใช้ทดสอบโคสแควร์แบบสองทาง ดังแสดงค่าประกอบสำหรับการทดสอบในลักษณะเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.6 ซึ่งประกอบด้วยค่าของลำดับชั้นอิสระ (DF) ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักหนึ่งหน่วยก่อนและหลังการปรับแก้ (a priori and posteriori variance of unit weight) ค่าโคสแควร์

ตารางที่ ๕.๓ แสดงค่าเปรียบเทียบพิกัดหลังการปรับแก้

QUANTITY	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
X [1]	0.000	-0.031	-0.073	0.000	0.000
Y [1]	0.000	0.016	0.021	0.000	0.000
X [2]	-14260.150	-14260.118	-14260.117	-14260.096	-14260.097
Y [2]	11933.129	11933.076	11933.050	11933.068	11933.065
X [3]	6007.770	6007.690	6007.636	6007.670	11933.668
Y [3]	12694.686	12694.625	12694.615	12694.584	12694.584
X [4]	15692.117	15691.974	15691.933	15691.942	15691.943
Y [4]	-4061.328	-4061.255	-4061.268	-4061.227	-4061.226
X [5]	-6748.793	-6748.773	-6748.801	-6748.763	-6748.761
Y [5]	-17876.370	-17876.277	-17876.225	-17876.293	-17876.297
X [6]	-21748.616	-21748.531	-21748.528	-21748.531	-21748.534
Y [6]	-6096.501	-6096.480	-6096.459	-6096.491	-6096.496
X [7]	-40509.886	-40509.805	-40509.785	-40509.812	-40509.814
Y [7]	13077.296	13077.213	13077.177	13077.229	13077.236
X [8]	-30895.816	-30895.765	-30895.740	-30895.752	-30895.744
Y [8]	29742.824	29742.736	29742.720	29742.763	29742.764
X [9]	26586.548	26586.294	26586.272	26586.199	26586.197
Y [9]	15471.426	15471.327	15471.399	15471.389	15471.391
X [10]	38835.741	38835.349	38835.474	38835.414	38835.413
Y [10]	5365.602	5365.637	5365.586	5365.592	5365.595

ค่าพิกัดมีหน่วยเป็น เมตร

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าสังเกตหลังการปรับแก้

QUANTITY	CASE 1			CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
Angle 1	75°	24'	09"87	09"85	09"72	09"30	09"31
2	42	04	29.99	29.81	30.04	29.49	29.49
3	62	31	20.14	20.34	20.23	21.20	21.19
4	79	11	04.62	04.44	04.74	04.63	04.64
5	55	21	07.89	07.86	07.88	07.59	07.60
6	45	27	47.49	47.70	47.38	47.78	47.76
7	96	10	20.33	20.45	20.28	21.01	20.99
8	46	07	39.84	40.03	39.87	40.15	40.18
9	37	41	59.83	59.52	59.85	58.84	58.83
10	53	39	29.18	29.19	29.15	29.06	29.06
11	72	32	20.66	20.70	20.72	20.86	20.86
12	53	48	10.16	10.11	10.13	10.08	10.08
13	55	34	56.00	56.08	56.11	55.99	56.00
14	51	47	08.71	08.60	08.55	08.61	08.56
15	72	37	55.29	55.32	55.34	55.40	55.44
16	69	56	26.31	26.19	26.06	26.29	26.35
17	43	07	38.01	37.72	37.51	37.59	37.57
18	62	30	57.13	57.17	57.16	57.22	57.17
19	44	27	22.64	22.78	23.05	22.74	22.74
20	28	43	48.29	48.10	47.90	48.01	48.00
21	36	52	22.77	22.93	22.99	22.96	22.91
22	30	03	32.91	33.15	33.43	33.17	33.17
23	44	17	51.95	51.95	51.89	52.02	52.09
24	67	39	30.00	29.73	30.38	30.58	30.57
25	53	09	52.88	53.15	52.62	52.70	52.70
26	59	10	37.11	37.13	37.00	36.73	36.73
27	38	41	13.66	13.29	14.33	14.81	14.82
28	79	37	38.56	38.64	38.38	38.22	38.22
29	61	41	07.79	08.07	07.28	06.96	06.96
Dist. S1	19239.807			19239.788	19239.807	19239.807	19239.807 m.
S2	15879.874			15879.682	15879.874	15879.874	15879.874 m.
Azim. Az	29	58	47.80	47.54	47.48	47.67	47.80

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเปรียบเทียบผลการตรวจสอบการคำนวณ

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
---- EQUATION : NX+U=0 ----			----- EQUATION : NX+U-C'K=0 -----		
[1]	5.81611 E-26	-5.45939 E-23	4.47559 E-16	-2.66454 E-15	0.00000
[2]	-2.22143 E-25	-1.57164 E-23	1.24900 E-16	6.66134 E-16	6.66134 E-16
[3]	8.23949 E-26	-4.54949 E-24	7.77156 E-16	-1.66533 E-16	2.22045 E-16
[4]	8.07794 E-28	3.30872 E-24	1.22125 E-15	-1.66533 E-16	-1.66533 E-16
[5]	-3.87741 E-26	2.81241 E-23	-1.04083 E-15	-1.11022 E-16	-3.33067 E-16
[6]	1.05013 E-26	0.00000	1.94289 E-16	6.93889 E-16	3.60822 E-16
[7]	8.07794 E-28	1.65436 E-23	5.55112 E-17	3.33067 E-16	-2.22045 E-16
[8]	9.69352 E-26	1.48893 E-23	9.71445 E-17	1.33227 E-15	-1.85962 E-15
[9]	-1.58328 E-25	9.92617 E-24	-2.08167 E-17	0.00000	-1.11022 E-16
[10]	3.23117 E-27	1.15805 E-23	2.49800 E-16	0.00000	0.00000
[11]	4.00666 E-25	1.65436 E-24	-3.05311 E-16	-4.99600 E-16	2.22045 E-16
[12]	5.16988 E-26	-8.27181 E-25	-4.30211 E-16	-7.21645 E-16	3.33067 E-16
[13]	-4.49133 E-25	1.81479 E-23	-5.55112 E-17	-1.52656 E-16	-1.66533 E-16
[14]	1.13091 E-25	-1.42172 E-23	2.22045 E-16	1.11022 E-16	-2.22045 E-16
[15]	-4.03897 E-27	-5.81611 E-26	-4.44089 E-16	1.38778 E-16	-1.45717 E-16
[16]	1.61559 E-26	2.74399 E-23	-1.11022 E-16	-1.24900 E-16	-1.66533 E-16
[17]	6.46235 E-27	1.10534 E-23	-4.44089 E-16	8.88174 E-16	-8.88178 E-16
[18]	1.93870 E-26	2.55683 E-23	1.33227 E-15	-8.88178 E-16	-1.33227 E-15
[19]		-1.90262 E-23	-8.88178 E-16	0.00000	4.44089 E-16
[20]		-1.33706 E-23	-4.44089 E-16	8.88178 E-16	-4.44089 E-16
			----- EQUATION : CX+W=0 -----		
[1]			-9.17437 E-18	-8.67362 E-19	5.20417 E-18
[2]			3.73763 E-18	-8.67362 E-19	-1.30104 E-18
[3]				-6.84530 E-18	7.00001 E-18
[4]				7.47428 E-18	4.09608 E-18
[5]					8.93730 E-23

(X_r^2) เขตรีกฤดล่าง $(X_{1-\alpha/2,r}^2)$ และเขตรีกฤดบน $(X_{\alpha/2,r}^2)$ โดยให้ผลการทดสอบอยู่ใน
เกณฑ์ที่ยอมรับได้ความทฤษฎีสถิติทุกกรณี

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าประกอบของการทดสอบสมมติฐานของค่า σ_0^2 หลังการปรับแก้

CASE	DF	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	X_r^2	$X_{1-\alpha/2,r}^2$	$X_{\alpha/2,r}^2$
1	14	1.000	0.713	9.983	5.629	26.119
2	13	1.000	0.537	6.977	5.009	24.736
3	14	1.000	0.782	11.089	5.629	26.119
4	14	1.000	1.087	15.217	5.629	26.119
5	14	1.000	1.089	15.249	5.629	26.119

6. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ปรับแก้แล้ว

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ปรับแก้แล้ว คำนวณจากเมตริกซ์ Σ_{X_a} และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกตที่ปรับแก้แล้ว คำนวณจากเมตริกซ์ Σ_{L_a} ดังค่าเปรียบเทียบที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 และ 5.8 สำหรับพิกัดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีหน่วยเป็น เมตร และค่าสังเกตที่เป็นมุมระยะฐาน แอซิมัท ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีหน่วยเป็นฟิลิปดา เมตร และฟิลิปดา คามล่ำคัม

7. ค่าผลลัพท์สุดท้าย

ค่าผลลัพท์สุดท้ายของการปรับแก้แต่ละกรณี ได้แสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.9 เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่ปรับแก้กับปริมาณของเงื่อนไขบังคับ

8. ค่าวงรีของความคลาดเคลื่อน

ค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อนคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนของค่าที่ปรับแก้แล้ว (Σ_{X_a}) ซึ่งได้แสดงค่าองค์ประกอบที่คำนวณได้ของแต่ละกรณีไว้ในตารางที่ 5.10 ถึง 5.14 ประกอบด้วยค่าของ σ_x^2 , σ_y^2 , σ_{xy} , ρ , a , b และ θ จากค่า a , b , θ ที่คำนวณได้นำไปสร้างวงรีของความคลาดเคลื่อน ณ สถานีในโครงข่ายได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 ถึง 5.19

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่ปรับแก้แล้ว

QUANTITY	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
X [1]	0.000	0.056	0.038	0.000	0.000
Y [1]	0.000	0.041	0.041	0.000	0.000
X [2]	0.140	0.053	0.035	0.033	0.033
Y [2]	0.128	0.047	0.045	0.035	0.030
X [3]	0.098	0.057	0.044	0.034	0.032
Y [3]	0.116	0.056	0.052	0.041	0.041
X [4]	0.139	0.045	0.039	0.038	0.038
Y [4]	0.112	0.052	0.049	0.040	0.040
X [5]	0.124	0.076	0.063	0.059	0.058
Y [5]	0.164	0.079	0.074	0.056	0.050
X [6]	0.181	0.055	0.046	0.042	0.039
Y [6]	0.141	0.058	0.055	0.051	0.041
X [7]	0.322	0.072	0.039	0.033	0.031
Y [7]	0.183	0.072	0.069	0.048	0.031
X [8]	0.267	0.082	0.079	0.056	0.031
Y [8]	0.263	0.093	0.042	0.031	0.031
X [9]	0.241	0.062	0.054	0.035	0.033
Y [9]	0.223	0.067	0.044	0.029	0.026
X [10]	0.300	0.100	0.039	0.025	0.024
Y [10]	0.284	0.085	0.082	0.047	0.043

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดมีหน่วยเป็น เมตร

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกตที่ปรับแก้แล้ว

QUANTITY	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
Angle 1	0".17	0".15	0".02	-0".40	-0".39
2	-0.39	-0.16	-0.16	-0.70	-0.71
3	-0.66	-0.46	-0.57	0.40	0.39
4	0.42	0.24	0.54	0.43	0.44
5	-0.21	-0.24	-0.22	-0.51	-0.50
6	-0.21	0.30	-0.32	0.08	0.06
7	0.13	0.25	0.08	0.81	0.79
8	-0.86	-0.67	-0.83	-0.55	-0.52
9	0.03	-0.28	0.05	-0.96	-0.97
10	-0.12	-0.11	-0.15	-0.24	-0.24
11	-0.44	-0.40	-0.38	-0.24	-0.24
12	-0.14	-0.19	-0.17	-0.22	-0.22
13	-0.20	-0.12	-0.09	-0.21	-0.20
14	-1.89	-2.00	-2.05	-1.99	-2.04
15	-0.51	-0.48	-0.46	-0.40	-0.36
16	0.41	0.29	0.16	0.39	0.45
17	0.51	0.22	0.01	0.09	0.07
18	-0.17	-0.13	-0.14	-0.08	-0.13
19	-0.06	0.78	0.35	0.04	0.04
20	-0.31	-0.50	-0.70	-0.59	-0.60
21	0.37	0.53	0.59	0.56	0.51
22	-0.79	-0.55	-0.27	-0.53	-0.53
23	0.05	0.05	-0.01	0.12	0.19
24	0.40	0.13	0.78	0.98	0.97
25	-0.22	0.05	-0.48	-0.40	-0.40
26	0.01	0.03	-0.10	-0.37	-0.37
27	0.06	-0.31	0.73	1.21	1.22
28	-0.14	-0.06	-0.32	-0.48	-0.48
29	-0.41	-0.13	-0.92	-1.24	-1.24
Dist. S1	0.173 m.	-	-	-	-
S2	-0.146 m.	-	-	-	-
Azim. Az	0.00	-	-	-	-

ตารางที่ ๕.๑ แสดงค่าเปรียบเทียบผลลัพท์สุดท้ายของการปรับแก้

QUANTITY	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
S1	19239.80697	19239.78795	19239.80697	19239.80697	19239.80697 m.
S2	15879.87447	15879.68230	15879.87447	15879.87447	15879.87447 m.
X1	0.00000	-0.03149	-0.07258	0.00000	0.00000 m.
Y1	0.00000	0.01592	0.02092	0.00000	0.00000 m.
Az	29° 58' 47".80	29° 58' 47".54	29° 58' 47".48	29° 58' 47".67	29° 58' 47".80

ตารางที่ ๕.๑๐ แสดงค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 1

STA.	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA XY	RHO	SEMI-A	SEMI-B	THETA
1	Fixed Position						
2	0.01952	0.01626	-0.00696	-0.391	0.158	0.104	-44.76
3	0.00951	0.01354	0.00257	0.226	0.122	0.091	-44.48
4	0.01937	0.01256	-0.00155	-0.100	0.140	0.111	-43.00
5	0.01526	0.02676	0.00236	0.117	0.165	0.122	-42.08
6	0.03265	0.01978	0.00787	0.310	0.191	0.127	43.77
7	0.10351	0.03337	-0.02220	-0.378	0.332	0.164	-38.90
8	0.07122	0.06911	-0.04006	-0.571	0.332	0.173	-44.89
9	0.05793	0.04952	0.00739	0.138	0.249	0.213	43.25
10	0.08992	0.08066	0.00939	0.110	0.309	0.274	42.59

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 2

STA.	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA XY	RHO	SEMI-A	SEMI-B	THETA
1	0.00311	0.00170	-0.00005	-0.023	0.056	0.041	-43.16
2	0.00280	0.00217	-0.00018	-0.072	0.053	0.046	-44.74
3	0.00323	0.00315	0.00030	0.095	0.059	0.054	44.98
4	0.00199	0.00271	-0.00014	-0.061	0.052	0.044	44.66
5	0.00581	0.00617	-0.00138	-0.230	0.086	0.068	44.95
6	0.00301	0.00335	0.00068	0.212	0.062	0.050	-44.95
7	0.00518	0.00523	-0.00061	0.118	0.076	0.068	-44.99
8	0.00671	0.00868	-0.00052	-0.068	0.094	0.081	44.17
9	0.00387	0.00455	0.00022	0.052	0.068	0.062	-44.63
10	0.00996	0.00729	-0.00106	-0.124	0.102	0.083	-44.38

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 3

STA.	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA XY	RHO	SEMI-A	SEMI-B	THETA
1	0.00143	0.00168	0.00013	0.084	0.042	0.037	-44.92
2	0.00122	0.00198	0.00002	0.013	0.045	0.035	-43.22
3	0.00190	0.00273	0.00067	0.296	0.056	0.039	-44.92
4	0.00154	0.00241	-0.00036	-0.187	0.050	0.038	44.86
5	0.00397	0.00543	-0.00065	-0.140	0.075	0.061	44.70
6	0.00210	0.00305	0.00101	0.398	0.061	0.038	-44.93
7	0.00153	0.00474	0.00000	-0.002	0.069	0.039	12.75
8	0.00617	0.00181	0.00120	0.360	0.081	0.039	44.59
9	0.00295	0.00197	-0.00040	-0.165	0.056	0.043	-44.83
10	0.00149	0.00665	0.00065	0.205	0.082	0.038	-44.07

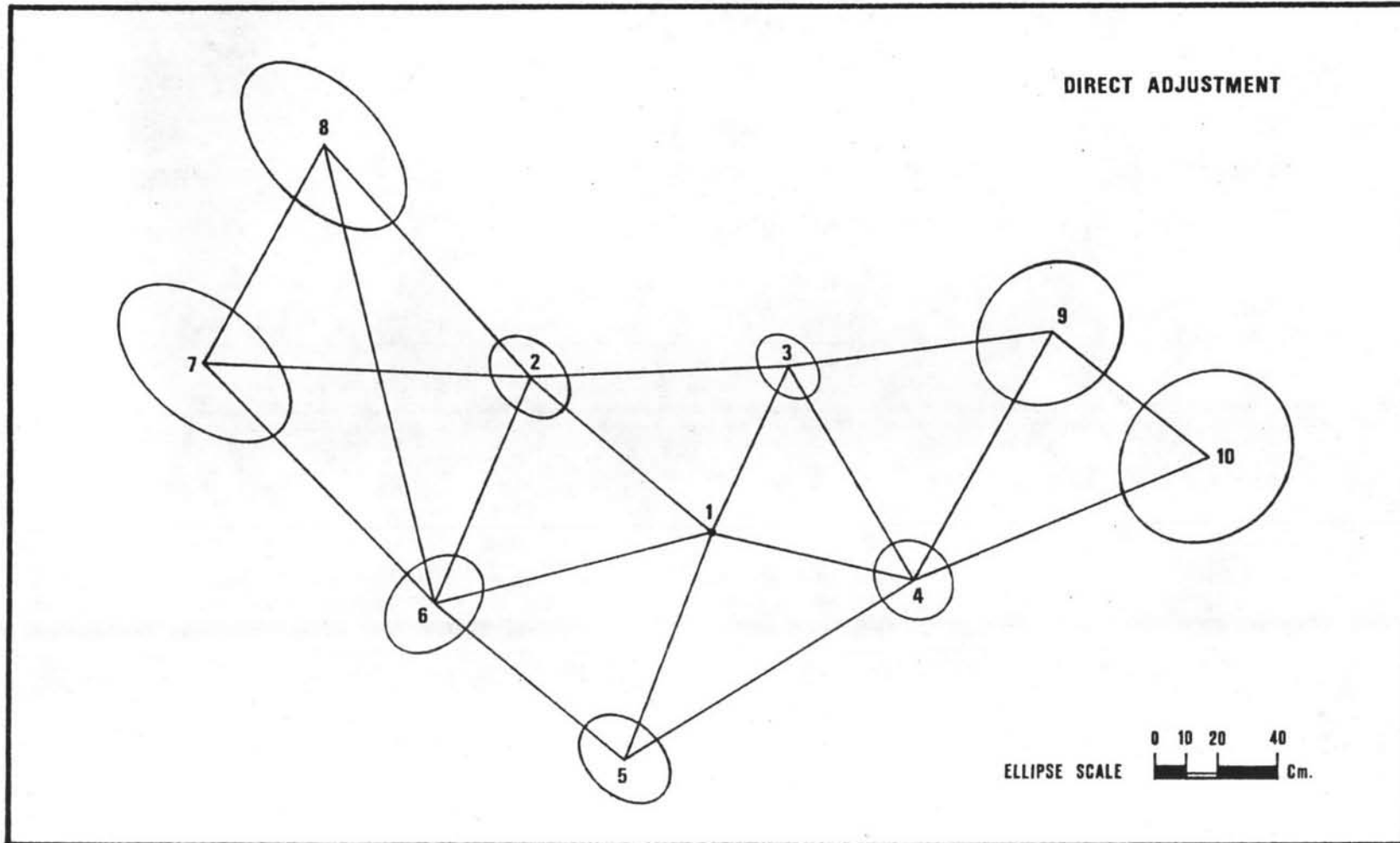
ตารางที่ 5.13 แสดงค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 4

STA.	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA XY	RHO	SEMI-A	SEMI-B	THETA
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	00.00
2	0.00112	0.00125	-0.00002	-0.013	0.035	0.033	44.73
3	0.00115	0.00172	0.00032	0.230	0.043	0.032	-44.93
4	0.00144	0.00163	-0.00027	-0.178	0.043	0.035	44.97
5	0.00346	0.00315	-0.00048	-0.144	0.062	0.053	-44.94
6	0.00173	0.00258	0.00069	0.329	0.054	0.037	-44.92
7	0.00112	0.00229	-0.00031	-0.197	0.049	0.032	44.82
8	0.00315	0.00095	0.00025	0.146	0.056	0.030	44.49
9	0.00123	0.00082	0.00013	0.130	0.036	0.028	44.91
10	0.00060	0.00223	0.00033	0.285	0.048	0.023	-44.80

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าองค์ประกอบวงรีของความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 5

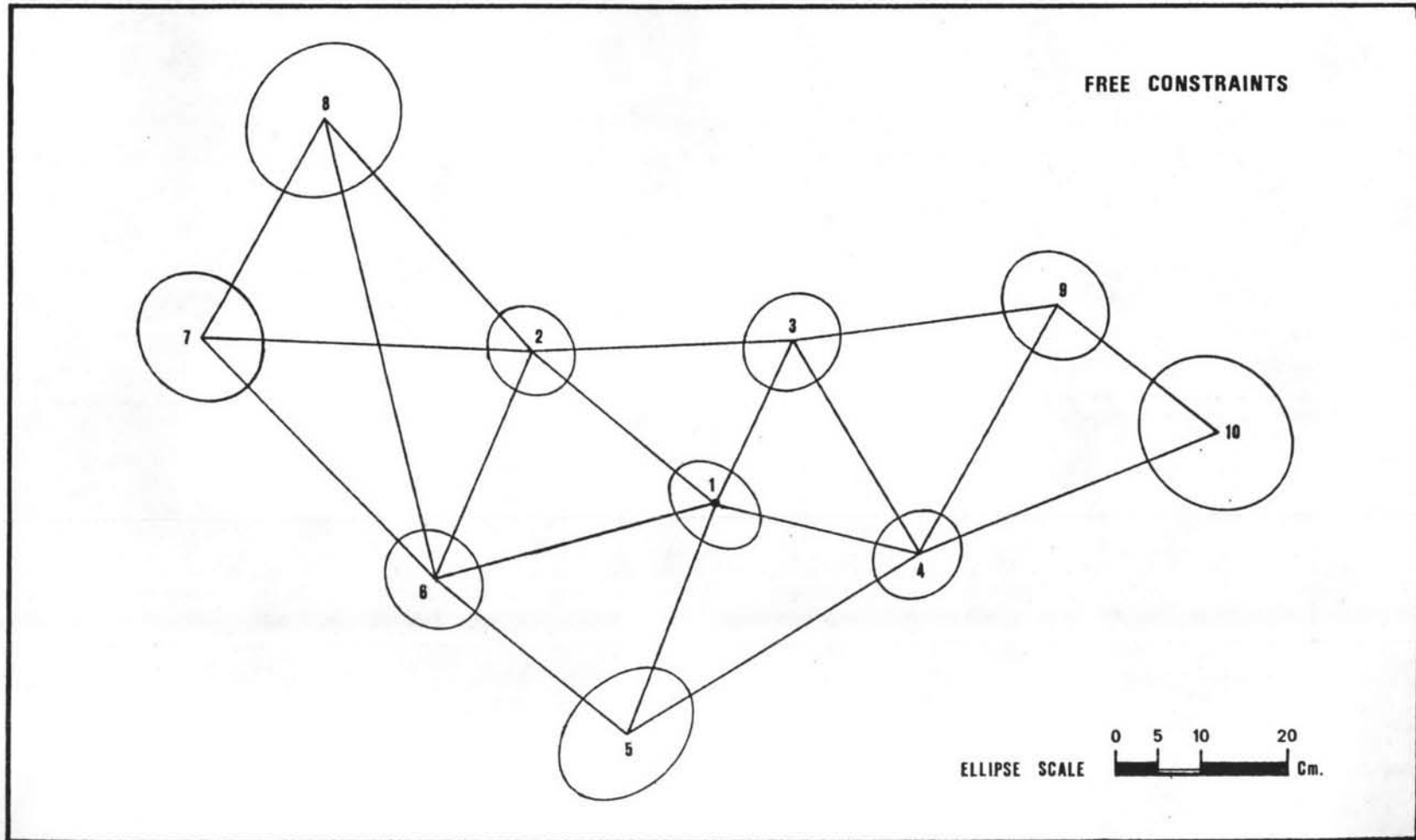
STA.	SIGMA X	SIGMA Y	SIGMA XY	RHO	SEMI-A	SEMI-B	THETA
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	00.00
2	0.00111	0.00090	-0.00008	-0.079	0.034	0.030	-44.92
3	0.00104	0.00171	0.00031	0.229	0.043	0.030	-44.91
4	0.00142	0.00158	-0.00030	-0.200	0.043	0.035	44.98
5	0.00335	0.00247	-0.00021	-0.071	0.058	0.049	-44.64
6	0.00149	0.00169	0.00024	0.150	0.043	0.036	-44.96
7	0.00095	0.00095	0.00016	0.173	0.033	0.028	-45.00
8	0.00095	0.00095	0.00016	0.173	0.033	0.028	-45.00
9	0.00106	0.00070	0.00027	0.319	0.035	0.023	44.97
10	0.00057	0.00184	0.00045	0.436	0.045	0.021	-44.90

ERROR ELLIPSE: CASE 1



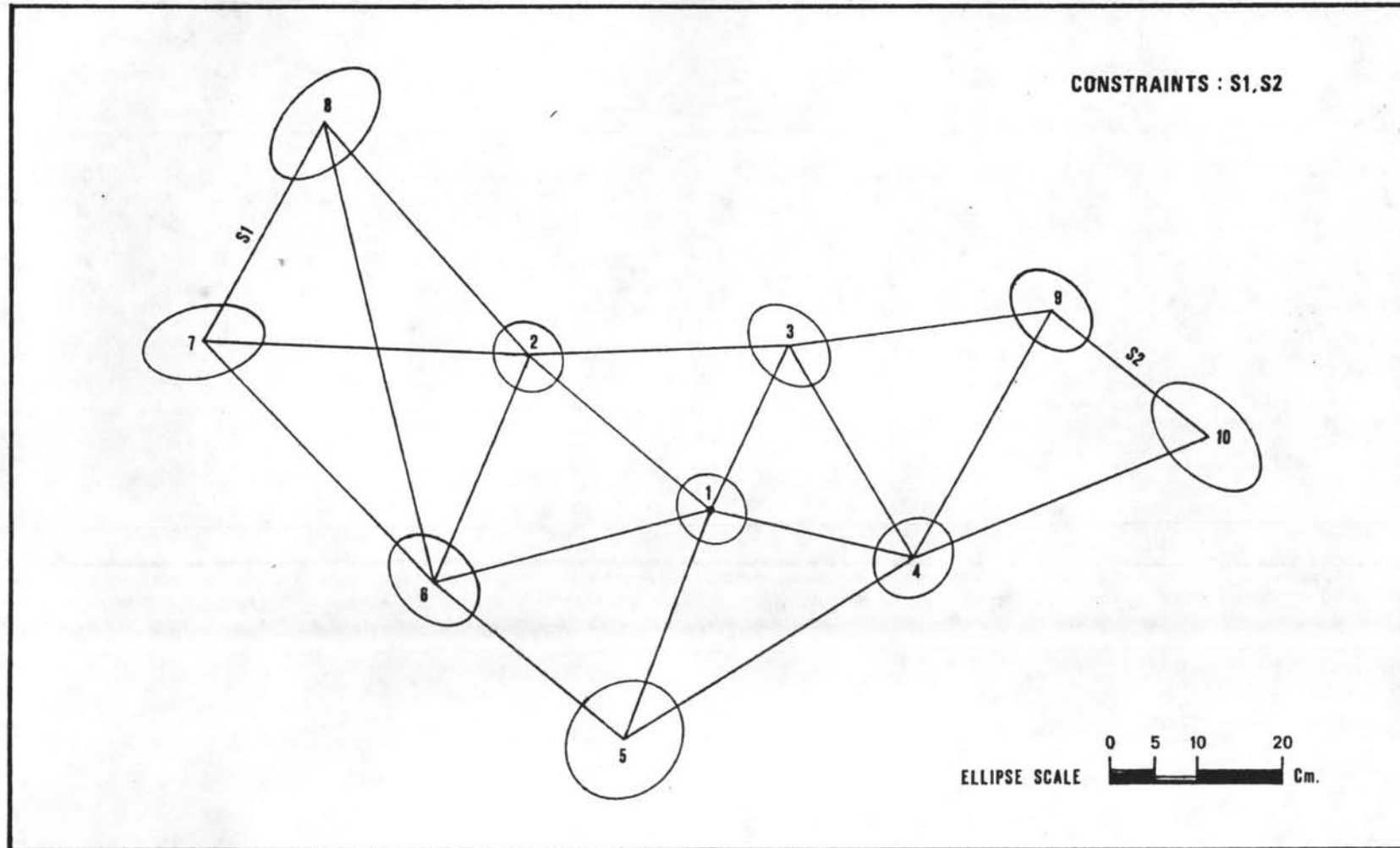
รูปที่ 5.15 วงรีของความคลาดเคลื่อน ผลจากการปรับแก้กรณีที่ 1

ERROR ELLIPSE: CASE 2



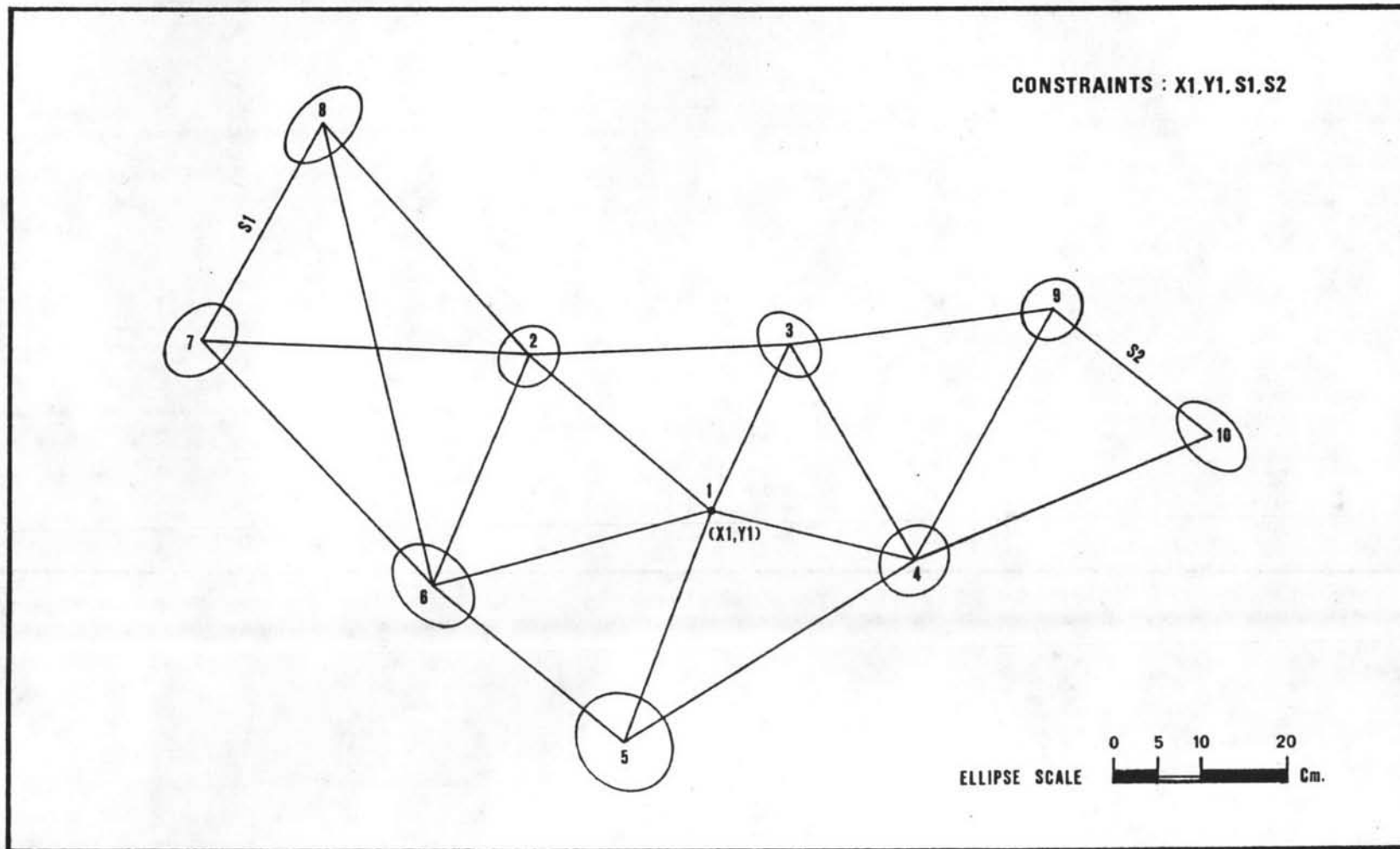
รูปที่ 5.16 วงรีของความคลาดเคลื่อน ผลจากการปรับแก้ครั้งที่ 2

ERROR ELLIPSE : CASE 3



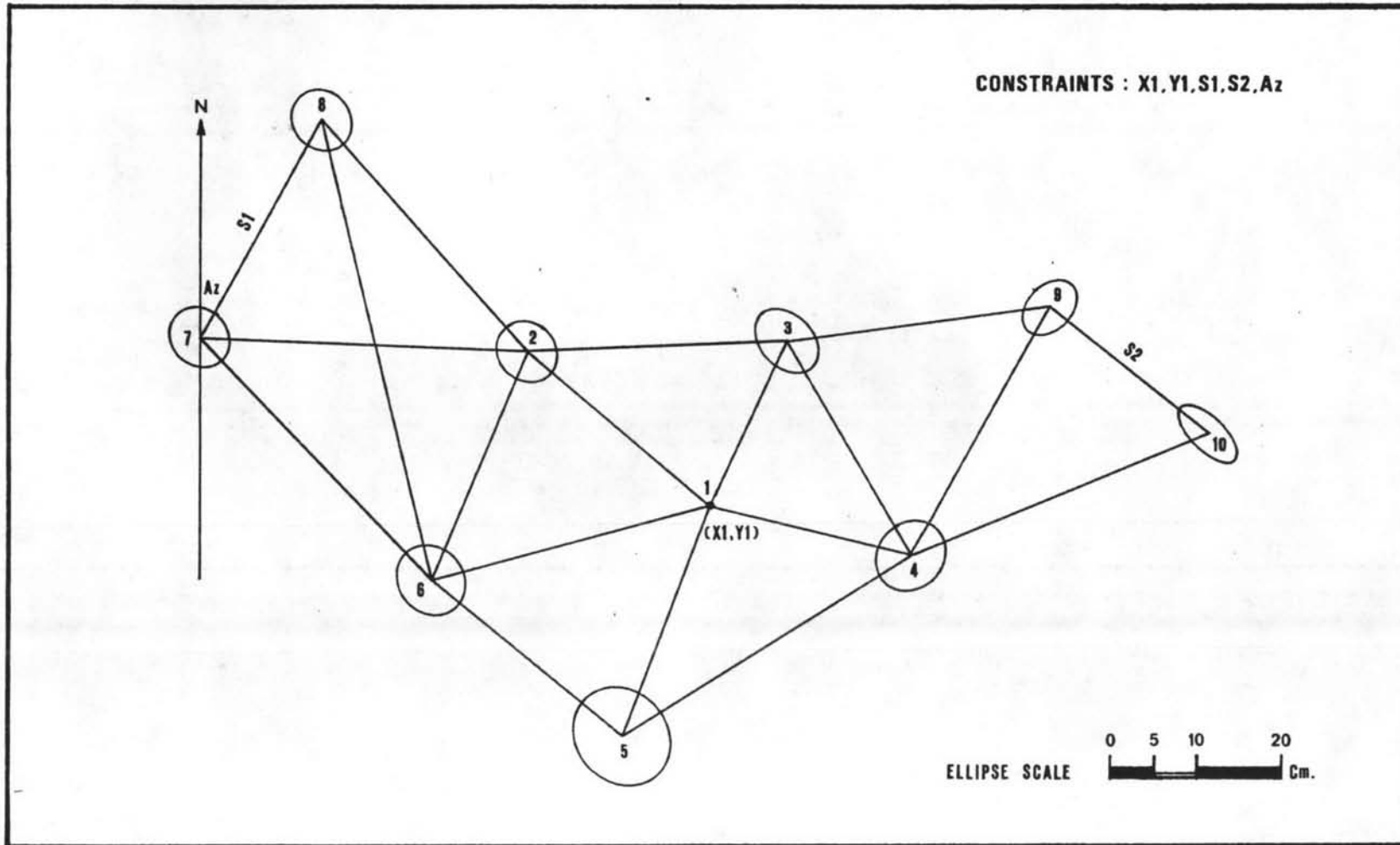
รูปที่ 5.17 วงรีของความคลาดเคลื่อน ผลจากการปรับแก้กรณีที่ 3

ERROR ELLIPSE : CASE 4



รูปที่ 5.18 วงรีของความคลาดเคลื่อน ผลจากการปรับแก้กรณีที่ 4

ERROR ELLIPSE : CASE 5



รูปที่ 5.19 วงรีของความคลาดเคลื่อน ผลจากการปรับแก้กรณีที่ 5