หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบการรังวัดในสนามทดสอบ

6.1 กล่าวนำ

หลักการที่ได้ดำเนินการ ออกแบบ และสร้างสนามทดสอบ ตลอดจนทำการคำนวณปรับแก้ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดในสนามทดสอบจนได้ค่าพิกัดของระบบหมุดหลักฐานทางราบที่น่าเชื่อถือและมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการแล้ว ขั้นต่อมาเป็นการทดสอบการรังวัดในสนามทดสอบ ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 ลักษณะคือ (รูปที่ 6.1)

ก. ทดสอบความละเอียดความถูกต้องในการวัดมุมและการวัดระยะ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการปฏิบัติงานสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป

ข. ทดสอบวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ปฏิบัติในกิจการสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป

6.2 การทดสอบการวัดมุมและการวัดระยะ

การวัดมุมและการวัดระยะเป็นปริมาณพื้นฐานที่จำเป็นและสำคัญต่องานรังวัดทางวิศวกรรมสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไปเป็นอย่างมาก เพราะถ้าการรังวัดมุมและการวัดระยะมีความคลาดเคลื่อนก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานนั้น ๆ ทั้งโครงการ สำหรับการทดสอบความละเอียดและความถูกต้องของการวัดมุมและการวัดระยะในงานวิจัยนี้ จะเป็นการทดสอบผลการรังวัดมุมและการวัดระยะโดยใช้เครื่องมือรังวัดที่นิยมใช้ปฏิบัติกันในงานสำรวจหรืองานวิศวกรรมทั่วไปในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า ซึ่งผลหรือข้อมูลที่ได้ในตัวอย่างที่จะกล่าวถึงนี้ ได้จากการทดลองทดสอบการรังวัดจริงในสนามทดสอบ เพื่อเป็นการทดลองใช้งานสนามทดสอบให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

6.2.1 การทดสอบความละเอียดและความถูกต้องในการวัดมุม

ก่อนที่จะทำการตรวจสอบความละเอียดและความถูกต้องในการวัดมุมนั้น จะต้องทำการตรวจสอบและปรับแก้กล้องวัดมุมให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์และเหมาะสมตามหลัก-

รูปที่ 6.1 ลำดับขั้นตอนการทดสอบการรังวัดในสนามทดสอบ

สรุปได้ว่า ค่ามุมและค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ ให้ค่าที่น่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นต่อไปได้

ข. การตรวจสอบการวัดระยะ

การตรวจสอบการวัดระยะสามารถกระทำได้ลักษณะเดียวกับการตรวจสอบการวัดมุม แต่ก่อนที่จะตรวจสอบการวัดระยะในโครงข่ายฯ ได้นำเครื่องวัดระยะอิเลคทรอนิคส์ DI 3S (ใช้กับกล้องวัดมุม Wild T-2 หมายเลข 45401) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะใช้ Random Check มาวัดระยะเส้นฐานเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ ผลปรากฏว่าเครื่องวัดระยะ DI 3S ให้ค่าระยะที่สอดคล้องกับค่าระยะเส้นฐานที่รังวัดไว้เดิมด้วยอินวาร์และ Eldi-2 (ค่าระยะที่ใช้ในการตรวจสอบความต่างระยะสูงสุดไม่เกิน 0.010 เมตร)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้อง แสดงว่าเครื่องมือวัดระยะ DI 3S นี้ มีความถูกต้องพอที่จะใช้ Random Check โครงข่ายของสนามทดสอบได้ จากนั้นจึงได้นำเครื่องวัดระยะ DI 3S นี้ มาวัดระยะแบบ Random Check ในโครงข่าย เพื่อเปรียบเทียบค่าระยะที่ได้กับค่าระยะที่คำนวณจากพิกัดที่ปรับแก้แล้ว ในที่นี้ได้ทำการ Random Check ระยะในโครงข่ายหลักที่ระยะ 1-2, 1-3, 1-4, 3-4 และวัดระยะในโครงข่ายเชื่อมโยงโครงข่ายกริดเข้ากับโครงข่ายหลักที่ระยะ 1-908, 2-308, 3-908, 4-908 และ 5-308 (รูปที่ 4.10) ผลการรังวัดปรากฏ ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าระยะที่ได้จากการ Random Check กับค่าปรับแก้

ระยะจาก (เมตร)	ระยะที่ได้จากการปรับแก้ฯ	ระยะที่ได้จาก Random Check	ความต่าง (เมตร)
1-2	75.885	75.884	0.001
1-3	83.897	83.894	0.003
1-4	95.320	95.330	-0.010
3-4	72.751	72.746	0.005
1-908	27.107	27.103	0.004
2-308	106.454	106.452	0.002
3-308	39.956	39.955	0.001
4-908	85.303	85.306	-0.003
5-308	89.468	89.465	0.003

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นว่า ค่าระยะที่ได้จากการ Random Check โดยทั่วไปมีค่าใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับค่าระยะที่คำนวณจากค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว มีเพียงบางค่าที่ผลลัพธ์แตกต่างกันออกไปบ้าง แต่ก็ไม่เกิน 0.010 เมตร ซึ่งเป็นเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระยะอิเลคทรอนิคส์โดยทั่วไป จึงสรุปผลการ Random Check ระยะในโครงข่ายดังกล่าวได้ว่า ค่าระยะและค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้เป็นค่าที่น่าเชื่อถือพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นต่อไปได้

ส่วนการ Random Check ระยะในโครงข่ายกริด ได้ใช้ Steel tape วัดระยะตรวจสอบในลักษณะเดียวกันที่ระยะต่าง ๆ ในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ลักษณะเดียวกับการวัดระยะเพื่อวางแนวกริด) ซึ่งผลก็ปรากฏว่า ระยะที่ได้จากการ Random Check ต่างจากระยะเดิมที่คำนวณจากพิกัดที่ปรับแก้แล้วน้อยมาก (ไม่เกิน 0.004 เมตร) จึงสรุปผลได้ว่า ค่าระยะและพิกัดที่ได้จากการปรับแก้ของโครงข่ายกริด เป็นค่าที่น่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้เช่นกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จากผลการ Random Check ค่าสังเกตและค่าพิกัดของสนามทดสอบที่ได้จากการปรับแก้ให้ค่าที่น่าเชื่อถือ

ค. การตรวจสอบโดยวิธีวงรอบ

การที่จะใช้สนามทดสอบ ตรวจสอบการรังวัดในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่าได้นั้น สนามทดสอบจะต้องมีเกณฑ์งานจัดอยู่ในระดับที่สูงกว่าจึงจะสามารถดำเนินการดังกล่าวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ตรวจสอบสนามทดสอบด้วยวิธีวงรอบเพื่อหาค่าคลาดบรรจบ (Closure) ซึ่งจะเป็นตัวบอกเกณฑ์ของงานที่ได้ โดยได้ทำวงรอบออกจากหมุด 1 และ หมุด 7 และไปเข้าบรรจบที่หมุด 2 และ 1 (ตารางที่ จ.1 ภาคผนวก จ) ซึ่งเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วจากการปรับแก้ ส่วนค่าอะซิมุทแรกออกและเข้าบรรจบคำนวณจากพิกัดที่ทราบค่าแล้ว ผลจากการตรวจสอบสนามทดสอบด้วยการทำวงรอบปรากฏว่า ได้ค่าคลาดบรรจบ (Closure) เท่ากับ 1 ต่อ 44,380 (ตารางที่ จ.1 ภาคผนวก จ) ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวนี้จัดว่า อยู่ในเกณฑ์งานชั้นที่ 2 (ตารางที่ จ.4) จึงสรุปได้ว่า สนามทดสอบมีเกณฑ์งานอยู่ในระดับที่สูงกว่างานชั้นที่ 3 และสามารถนำไปตรวจสอบงานรังวัดในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่าได้ตามวัตถุประสงค์

การใช้งานก่อน ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดหรือขจัดความคลาดเคลื่อนในการรังวัดที่มีสาเหตุมาจากเครื่องมือรังวัด ซึ่งลักษณะอันพึงประสงค์ของกล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ที่เหมาะแก่การใช้งานนั้น จะต้องทำการตรวจสอบและปรับแก้กล้องวัดมุมให้อยู่ในสภาพหรือลักษณะดังต่อไปนี้คือ

- แกนดิ่งจะต้องตั้งได้ฉากกับแกนราบ
- แกนราบต้องตั้งได้ฉากกับแกนกล้อง
- แกนดิ่งต้องตั้งได้ฉากกับแกนหลอดระดับ
- แกนดิ่งต้องตั้งได้ฉากและผ่านศูนย์กลางของจานองศาราบ
- แกนราบต้องตั้งได้ฉากและผ่านศูนย์กลางของจานองศาดิ่ง
- แกนราบต้องขนานกับแกนหลอดระดับ

สำหรับรายละเอียดและลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบและปรับแก้กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์นั้น จะไม่กล่าวในที่นี้ ผู้สนใจสามารถศึกษาได้จากตำราด้านสำรวจขั้นพื้นฐานโดยทั่วไป

เมื่อได้ตรวจสอบและปรับแก้กล้องวัดมุมตามหลักการใช้งานแล้ว จึงทำการทดสอบความละเอียดและความถูกต้องในการวัดมุม ซึ่งสามารถกระทำได้ลักษณะเดียวกับตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างการทดสอบความละเอียดและความถูกต้องในการวัดมุม

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบความละเอียดในการรังวัดมุม ระหว่างผู้ทำรังวัด 2 คน โดยใช้กล้องวัดมุมกล้องเดียวกัน

เครื่องมือที่ใช้ กล้องวัดมุมทีโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 104258

ผู้รังวัด นายอิทธิ และ นายสุรศักดิ์

จำนวนชุดที่รังวัด วัดมุมคนละ 4 ชุด (ศูนย์) เท่ากัน

มุมที่กำหนดให้รังวัด ง่ามมุม $4\hat{3}1$ (ดูรูปที่ 4.2) ตั้งกล้องที่จุด 3

ผลการรังวัด

นายอิทธิ วัดมุมได้ $74^{o}\ 34.'8$ S.D. = $0.'096$ (σ_1)

นายสุรศักดิ์ วัดมุมได้ $74^{o}\ 34.'6$ S.D. = $0.'208$ (σ_2)

การทดสอบในแง่สถิติ

การทดสอบนี้เป็นการตรวจสอบ dispersion statistic ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ F-test ทดสอบสมมุติฐาน

$H_o : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_A : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

S.D. คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการรังวัดใช้สัญญลักษณ์ σ

จาก $F = \sigma_2^2/\sigma_1^2 = (0.096)^2/(0.208)^2$

$= 4.701$

ใช้ค่าระดับความเชื่อมั่นที่ 95% Significant Level ($\alpha = 0.5$)

บริเวณวิกฤตคือ $F < f_{1-\alpha}(n_1 - 1, n_2 - 1)$ (จะหาค่าได้จากตารางสำเร็จ)

n คือจำนวนชุดในการรังวัด ซึ่งในที่นี้ n_1 จะเท่ากับ n_2 รังวัด 2 ชุดเท่ากัน

$F < f_{1 - 0.5}(4 - 1, 4 - 1)$

$F < f_{0.95}(4 - 1, 4 - 1)$

$F < \frac{1}{f_{0.5}(4 - 1, 4 - 1)} = \frac{1}{9.28} = 0.107$

ค่า F ที่คำนวณได้มากกว่าค่า f จากตารางแสดงว่า ไม่ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต นั่นคือไม่ปฏิเสธ H_o และสรุปว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

นั่นคือ ทั้งนายอิทธิ และ นายสุรศักดิ์ วัดมุมได้มีความละเอียดเท่ากัน ส่วนการทดสอบว่าใครจะวัดมุมได้ถูกต้องหรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการทดสอบลักษณะเดียวกับการตรวจสอบผลการวัดระยะในตัวอย่าง 6.2.1 โดยเปรียบเทียบกับผลการรังวัดมุมที่ได้แต่ละคนกับค่าปรับแก้ดังนี้

สมมุติฐานที่ตั้ง

$H_o : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$

$H_A : \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$

$$T_A = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2}} \qquad (\text{ทดสอบแล้ว } \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2)$$

ความหมายของสัญญลักษณ์คงเหมือนกับที่กล่าวไว้ในข้อ ก หน้า

เมื่อนายอิทธิรังวัด

$$T_A = \frac{74^o\ 34'.8 - 74^o\ 34'.881}{\sqrt{(.096)^2/4 + (.023)^2/10}}$$

(df = 3)

$$= \frac{-0.0081}{0.049} = -0.167$$

เมื่อนายสุรศักดิ์รังวัด

$$T_B = \frac{74^o\ 34'.6 - 74^o\ 34'.881}{\sqrt{(.208)^2/4 + (.023)^2/10}}$$

(df = 3)

$$= \frac{-0.281}{0.104} = -2.695$$

Test ที่ α = 0.10

บริเวณวิกฤตที่ $T_{.05,\ 3}$ คือ $T < -2.353$ หรือ $T > 2.353$ ซึ่งค่า T_A ที่คำนวณได้ยอมรับ H_0 เฉพาะการรังวัดของนายอิทธิ เพราะไม่อยู่ในบริเวณวิกฤต แต่ T_B (นายสุรศักดิ์) ไม่ยอมรับ H_0 นั่นคือ นายอิทธิวัดได้ถูกต้องกว่านายสุรศักดิ์ การแก้ไขจึงควรให้นายสุรศักดิ์ทำการรังวัดใหม่ จนได้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ

จากตัวอย่างที่กล่าวมาจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการทดสอบความละเอียดและความถูกต้องในการวัดมุม เมื่อมีการทดสอบการรังวัดจริงในสนามทดสอบได้

ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบความละเอียดหรือความถูกต้องของกล้องวัดมุม สามารถทำได้โดยใช้ผู้รังวัดมุมคนเดิมที่ได้ตรวจสอบแล้วว่า มีความคงเส้นคงวา (Consistency) ในการวัดมุมละเอียด ผ่านการทดสอบแล้ว มาทำการวัดมุม แล้วทดลองเปลี่ยนกล้องวัดมุม มาทำการรังวัดมุม ๆ

เดิม โดยใช้กรรมวิธีในการรังวัดเหมือนกับครั้งก่อน แล้วทำการทดสอบผลในลักษณะของ Dispersion และ Location statistics เช่น ทดลองใช้กล้อง Wild T-16 รังวัด แล้วเปลี่ยนมาใช้กล้อง Wild T-2 ทำการรังวัดและตรวจสอบผลในแง่สถิติ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเครื่องยืนยันได้ว่า กล้องวัดมุมที่มีราคาสูงสามารถวัดมุมได้ละเอียดและถูกต้องมากกว่ากล้องวัดมุมที่มีราคาต่ำกว่าจริงหรือไม่ จะได้เลือกซื้อกล้องวัดมุมให้เหมาะกับวัตถุประสงค์และความละเอียดถูกต้องในงานประเภทต่าง ๆ เพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณและระยะเวลาในการรังวัด

การแยกสาเหตุของปัญหา (กรณีการวัดมุม)

กรณีที่ผลการวัดมุมไม่ผ่านการตรวจสอบในแง่สถิติ แสดงว่าจะต้องมีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดเกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการรังวัดจะต้องเกิดจากเครื่องมือรังวัดหรือไม่ก็ตัวผู้ทำการรังวัดหรือทั้งสองอย่างผสมกัน ดังนั้นถ้ากล้องวัดมุมที่ใช้ปฏิบัติงาน ได้ผ่านการตรวจสอบและปรับแก้แล้วดังที่กล่าวในหัวข้อ 6.2 ก็จะมีความมั่นใจได้ว่าสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นควรเกิดจากตัวบุคคลผู้ทำการรังวัด ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก

- ผู้ทำการรังวัดยังขาดความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับการใช้กล้องวัดมุม และวิธีการปฏิบัติการรังวัดอย่างถูกต้อง

- ผู้รังวัดยังมีความละเอียด ความปราณีต และความชำนาญ ตลอดจนเทคนิคเกี่ยวกับการรังวัดมุมไม่ดีเท่าที่ควร เช่น ขาดความปราณีตในการตั้งกล้อง หรือตั้งกล้องไม่ตรงหัวหมุด การจับ (ส่อง) ที่หมายเล็งไม่ได้ปรับไฟกัส หรือไมโครมิเตอร์ เมื่ออ่านขีดส่วนแบ่งบนจานองศาให้มาตรงกัน

แนวทางการแก้ไข

เมื่อทราบถึงสาเหตุของปัญหาก็จะทำให้สามารถลดหรือแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้ โดยขจัดที่ต้นเหตุของปัญหา ซึ่งกรณีนี้สามารถแก้ไขโดย

- ให้การศึกษาอบรมเพื่อเพิ่มพูนความรู้ ความเข้าใจในการรังวัดให้แก่เจ้าหน้าที่รังวัดทั้งในแง่ทฤษฎีและปฏิบัติ โดยฝึกฝนให้เจ้าหน้าที่รังวัดให้มีความรู้ ความชำนาญ ทราบถึงเทคนิคในการใช้เครื่องมือและวิธีการในการรังวัดอย่างถูกต้อง แล้วทำการตรวจสอบผลการรังวัด จนกว่าเจ้าหน้าที่รังวัดจะปฏิบัติการรังวัดจนได้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพึงพอใจ

6.2.2 การทดสอบเครื่องมือวัดระยะ

เครื่องมือวัดระยะมีตั้งแต่ ไข่วัดระยะ แถบวัดระยะ ซึ่งทำด้วยโลหะหรือสารผสม ซึ่งมีช่วงความยาวและความละเอียดที่แตกต่างกันออกไป จนกระทั่งถึงเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ในปัจจุบัน ที่ใช้งานสะดวกและมีความละเอียดสูงพอเพียงแก่การปฏิบัติงานรังวัดต่าง ๆ สำหรับการตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะโกลัที่ใช้ในงานสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป ซึ่งสามารถตรวจสอบไข่ หรือแถบวัดระยะทางรวมทั้งเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์แบบต่าง ๆ โดยการวัดสอบกับค่ามาตรฐานของเส้นฐานตรวจสอบ ซึ่งมีตั้งแต่ระยะ 0 เมตร, 30 เมตร, 40 เมตร, 50 เมตร, 100 เมตร, 135 เมตร และ 140 เมตร (ดูรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4) เพราะค่ามาตรฐานดังกล่าวได้ทำการรังวัดอย่างละเอียดโดยใช้ลวดอินวาร์และเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ Eldi-2 ทำการวัดระยะอีกครั้งหนึ่ง (ค่าระยะใช้ค่าที่วัดด้วยลวดอินวาร์เป็นหลัก) แล้ว ค่าที่ได้จากการวัดสอบระยะโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจะทำให้ทราบว่า เครื่องมือวัดระยะที่นำมาวัดสอบมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเท่าใด หรืออยู่ในสภาพที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานตามวัตถุประสงค์ได้หรือไม่ กรณีที่ค่ารังวัดและค่ามาตรฐานไม่ลงรอยกัน ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในการรังวัดดังกล่าวจะเป็นจำนวนแก้ของเครื่องมือวัดระยะที่ระยะนั้น ๆ เพื่อความเข้าใจจะขอยกตัวอย่างการวัดระยะจริงในสนามทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดระยะ (DI 3S) วัดสอบกับระยะเส้นฐานฯ ดังนี้ (ตารางที่ 6.1)

<u>ตัวอย่างที่ 6.2.2.1</u> การตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะ

วัตถุประสงค์ ต้องการวัดสอบเครื่องวัดระยะ DI 3S เปรียบเทียบกับระยะเส้นฐานตรวจสอบฯ เพื่อหาค่าที่แน่นอนของเครื่องมือชนิดนี้ เมื่อนำไปปฏิบัติงาน

เครื่องมือที่ใช้วัดสอบ DI 3S ใช้กับชุดกล้องวัดมุม Wild T-2 หมายเลข 130904

ระยะที่วัดสอบ 40 เมตร (วัดระยะจำนวน 6 ชุด)

ผู้รังวัด ร.อ. นพดล ไชติศิริ

สภาพอากาศ - หลังฝนตก (ค่อนข้างชื้น)

- ไม่มีแดด

- ลมอ่อน

- อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 6.1 ค่าระยะที่วัดด้วยเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ DI 3S

ชุดที่	ระยะลาด (ม.)	ระยะเฉลี่ย (ม.)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระยะราบ (ม.)
1	39.992			
2	39.990			
3	39.992	39.991	0.0012	39.989
4	39.991			
5	39.990			
6	39.992			

จากตารางจะเห็นว่า ระยะราบที่วัดได้คือ 39.989 เมตร ซึ่งต่างจากค่ามาตรฐานที่วัดด้วยอินวาร์คือ 39.988 เมตร (ตารางที่ 4.4) อยู่ 0.001 เมตร (1 มม.) ดังนั้นค่าระยะที่เครื่องมือ DI 3S นี้ จะนำไปใช้งานที่ระยะ 40 เมตร คือ (39.989-0.001) $\pm$ 0.0018 เมตร หรือใช้ค่าตัวแก้ 1 มม. หักออกจากค่าเฉลี่ยระยะที่วัดได้ ณ ระยะดังกล่าว ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังคงใช้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาวัดสอบนั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วถือว่าค่าที่แตกต่างกัน 1 มม. นั้น มีผลน้อยมาก

ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบผลการวัดระยะในแง่สถิติว่า ค่าระยะที่ได้จากการวัดสอบที่เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่นั้น อาจทำได้ในลักษณะเดียวกับตัวอย่างที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

<u>ตัวอย่างที่ 6.2.2.2</u> จากการวัดระยะเทียบค่ามาตรฐานกับเส้นฐานฯ ตรวจสอบ โดยใช้เครื่องวัดระยะ DI 3S ทำการวัดระยะที่ระยะ 40 เมตร ในสนามทดสอบโดยรังวัด 6 ชุด ได้ค่า 39.989 เมตร S.D. = $\pm$ 0.0018 เมตร โดยที่ค่ามาตรฐานที่รังวัดไว้ ณ ระยะเดียวกันจำนวน 8 ชุด ได้ค่า 39.988 เมตร $\pm$ 0.0008 เมตร ให้ตรวจสอบโดยใช้ระดับความเชื่อมั่น 90 % ว่า ผลการรังวัดอยู่ในเกณฑ์ที่จะยอมรับหรือไม่

<u>วิธีทำ</u> เนื่องจาก S.D. ของค่าที่วัดระยะมาตรฐานและ S.D. ที่ได้จากการรังวัดต่างก็ได้จากการรังวัด ซึ่งถือเป็น Sample เช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบสมมุติฐานเพื่อดูว่า

S.D. ทั้งสองนั้นเท่ากันหรือไม่ก่อน โดยมีสมมุติฐาน

$H_o : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (σ_1 = S.D. ของค่าที่วัดสอบ)

$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (σ_2 = S.D. ของค่ามาตรฐาน)

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{(0.0018)^2}{(0.0008)^2} = 5.063$$

จากตารางสำเร็จของ F-test

บริเวณวิกฤตคือ $F < f_{1-0.1/2(5, 7)}$ และ $F > f_{0.05(5, 7)}$

หรือ $F < 0.252$ และ $F > 3.97$ ซึ่งผลการคำนวณปรากฏว่าค่าที่ได้อยู่ในบริเวณวิกฤต จึงสรุปว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ต่อมาใช้ T-test เพื่อทดสอบ Location statistics ดูความถูกต้องในการวัดระยะคือ

$H_o : \bar{X}_1 = \bar{X}_2$

$H_A : \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$

$$T_s = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

เนื่องจาก $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จึงใช้สถิตินี้ทดสอบ (คณาจารย์จุฬาฯ, 2523)

$\bar{X}_1$ คือค่าเฉลี่ยของค่ารังวัดที่ได้จากการวัดระยะ = 39.989 เมตร

$\bar{X}_2$ คือค่าเฉลี่ยของค่ามาตรฐานที่ได้รังวัดไว้แล้ว = 39.988 เมตร

σ_1, σ_2 คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จากการวัดสอบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ

n_1 คือจำนวนชุดในการวัดระยะ = 6 ชุด

n_2 คือจำนวนชุดในการวัดที่ใช้เป็นค่ามาตรฐาน = 8 ชุด

$$df = \text{degree of freedom} = \frac{\left[\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right]^2}{\frac{\left[(\sigma_1^2/n_1)\right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[(\sigma_2^2/n_2)\right]^2}{n_2 - 1}}$$

$$= \frac{\left[\frac{(.0018)^2}{6} + \frac{(.0008)^2}{8}\right]^2}{\frac{\left[(.0018)^2/6\right]^2}{5} + \frac{\left[(.0008)^2/8\right]^2}{7}}$$

$$= 6.489 = 6$$

แทนค่า $T_S = \dfrac{.001}{\sqrt{\frac{(.0018)^2}{6} + \frac{(.0008)^2}{8}}}$

$$= 1.270$$

บริเวณวิกฤตสำหรับ T_S ที่ระดับความมีนัยสำคัญ (α) = 0.10 คือ

$T_{.10,\ 6} < -1.440$ หรือ $T_{.10,\ 6} > 1.440$

ค่า T_S ที่คำนวณได้ ไม่ตกอยู่ในบริเวณวิกฤตจึงยอมรับ H_0 และสรุปว่า ผลการวัดระยะด้วย DI 3S ให้ความถูกต้องทัดเทียมกับระยะมาตรฐานที่ได้รังวัดไว้แล้ว

กรณีเปลี่ยนชนิดของเครื่องมือวัดระยะ เพื่อตรวจสอบความละเอียดของเครื่องมือก็คงกระทำได้ในลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนกล้องวัดมุมและตรวจสอบผล แต่การวัดระยะโดยเฉพาะเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ สามารถตรวจสอบผลได้ง่ายสะดวกและรวดเร็ว ถ้าเป็นไซ่ก็วัดระยะและทำการวัดระยะเป็นช่วง ๆ ค่า S.D. สามารถหาได้โดยใช้ทฤษฎีกฎการแพร่ของความคลาดเคลื่อน แล้วทำการทดสอบในแง่สถิติลักษณะเดียวกัน หรือเปรียบเทียบจากผลที่ได้จากการปรับแก้ ก็จะทราบว่าเครื่องมือวัดระยะชนิดใดที่ให้ความละเอียดในการรังวัดสูงกว่า

ส่วนสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากการวัดระยะและแนวทางการแก้ไข คงเป็นไปในลักษณะเดียวกับปัญหาของการวัดมุมที่ได้กล่าวมาแล้ว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ที่ได้รับ

จากการทดสอบการวัดมุมและระยะดังที่ได้กล่าวมา สนามทดสอบจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่การสอนในแง่การศึกษาทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติ สามารถฝึกฝนเจ้าหน้าที่รังวัดให้มีขีดความสามารถในการรังวัดเพิ่มขึ้น ทั้งยังสามารถตรวจสอบผลได้สะดวก เช่น กรณีฝึกหรือทดสอบการรังวัดมุม ก็มีสถานีวัดมุมที่กำหนดให้รังวัด และไม่จำเป็นต้องคอยตรวจสอบผู้รังวัดอยู่ตลอดเวลา เพราะมีค่าวัดมุมที่ได้จากการปรับแก้และน่าเชื่อถือไว้สำหรับตรวจสอบอยู่แล้ว กรณีที่เกิดข้อผิดพลาดในการรังวัดก็จะทราบได้ทันที และยังสามารถตรวจสอบการรังวัดของผู้รังวัดหลาย ๆ คน ได้ในคราวเดียวกัน

6.3 <u>การทดสอบการรังวัดด้วยวิธีการที่นิยมใช้ในการปฏิบัติงานสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป</u>

วิธีการรังวัดในกิจการสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป มักเป็นการรังวัดเพื่อหาตำแหน่ง (พิกัด) หรือกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการ เพื่อใช้เป็นจุดควบคุมอ้างอิงขั้นพื้นฐานให้แก่งานวิศวกรรมขั้นต่อมา ดังนั้นถ้างานในขั้นนี้ไม่ดีพอย่อมมีผลกระทบต่องานวิศวกรรมในขั้นต่อมาโดยตรง การทดสอบการวัดในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้สนามทดสอบที่สร้างขึ้นตรวจสอบผลการรังวัดดังกล่าว เพื่อเป็นการทดสอบและเพิ่มพูนขีดความสามารถของช่างรังวัด ให้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนออกปฏิบัติงานตามโครงการจริง ซึ่งในที่นี้ได้ทดลองทดสอบผลการรังวัดด้วยการทำกรณีศึกษา (Study Case) โดยให้ช่างรังวัดทำการรังวัดจริงในสนามทดสอบด้วยเครื่องมือรังวัด และวิธีการรังวัด แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในกิจการสำรวจและงานวิศวกรรมโดยทั่วไป แล้วตรวจสอบผลการรังวัดที่ได้ว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่ โดยใช้การทดสอบในแง่สถิติเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจผลของการรังวัดที่ได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นตัวอย่างและแนวทางในการใช้สนามทดสอบ ทดสอบการรังวัดในขั้นใช้งานจริง นอกจากนั้นยังทำให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาและข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นได้ในการรังวัด ซึ่งสามารถหาหนทางขจัดหรือหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นต่อไปจะเป็นตัวอย่างการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งและกำหนดตำแหน่งรวมทั้งการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบที่ได้จากการทำ Study Case ซึ่งมีวิธี Polar, Offset, Resection, Intersection, Traversing, Triangulation และ Trilateration เพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้กับค่าปรับแก้ แล้วทำการตรวจสอบผลในแง่สถิติในขั้นต่อไป แต่ก่อนที่จะถึงตัว-

อย่างการรังวัดดังกล่าว จะขอกล่าวถึงหลักการทั่วไปในการทดสอบการรังวัด และเพื่อความเข้าใจจะขออธิบายประกอบแผนผัง ขั้นตอนการทดสอบการรังวัดในรูปที่ 6.6

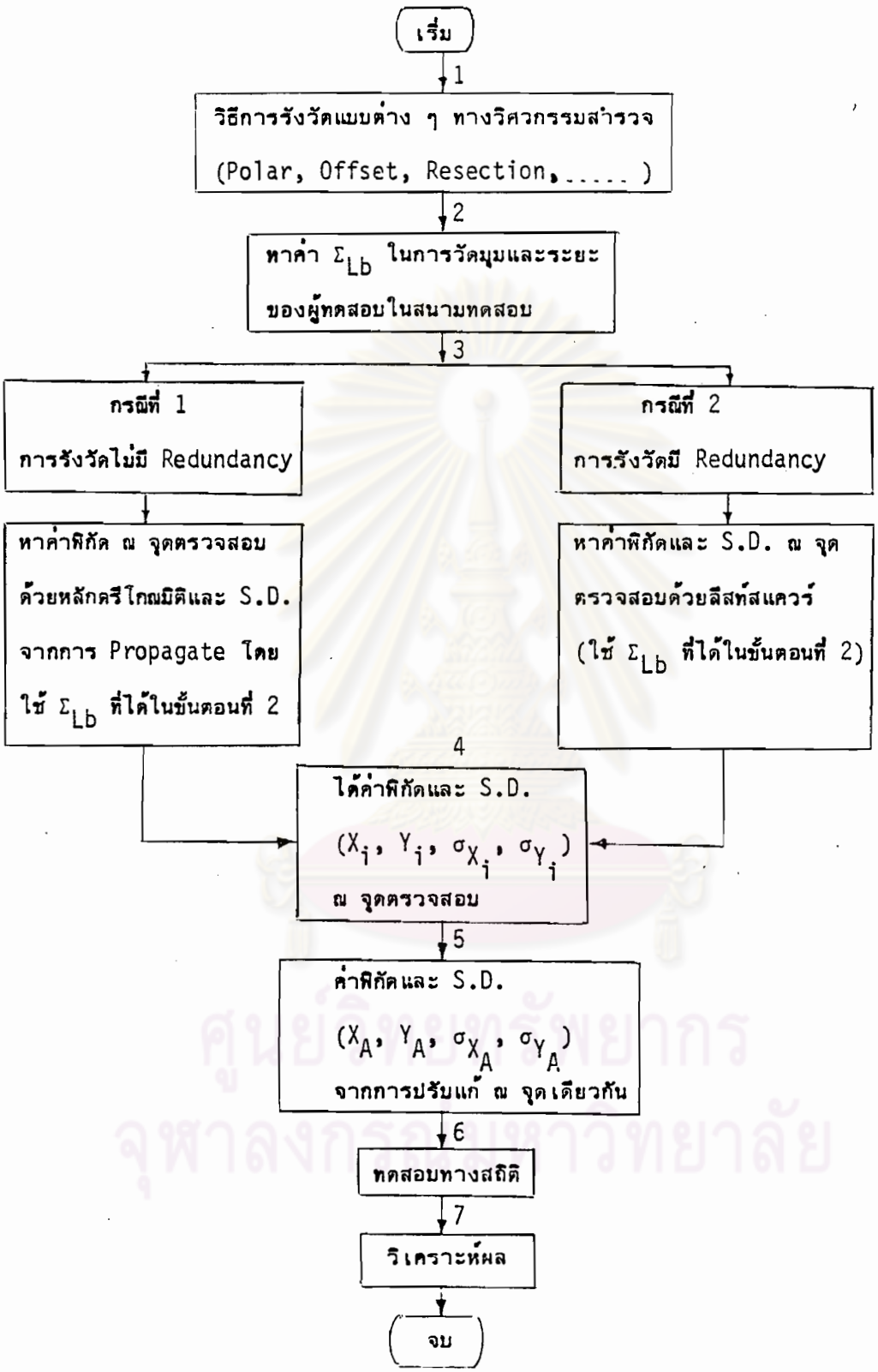
1. ในการทดสอบการรังวัด จะมีวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ หลายแบบด้วยกัน ตามกรรมวิธีของการรังวัดแบบนั้น ๆ เช่น วิธี Polar, Resection หรือ Triangulation ซึ่งในแต่ละวิธีจะต้องมีการรังวัดมุมและ/หรือระยะ เพื่อคำนวณหาพิกัดหรือกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการ สิ่งที่ต้องทราบและนำมาใช้ในการทดสอบก็คือ Σ_{Lb} ของค่าสังเกตเหล่านั้น

2. ค่า Σ_{Lb} ในการวัดมุมและระยะนั้น สามารถประเมินได้จากการทดลองวัดมุมและระยะในสนามทดสอบ หรือได้จากการรังวัดโดยตรงตามวิธีการรังวัดนั้น ๆ (ถ้าจำนวนชุดในการรังวัดน้อย Σ_{Lb} จะให้ค่าที่น่าเชื่อถือน้อยกว่า Σ_{Lb} ที่ได้จากการประเมินโดยการทดลองรังวัดหลายชุด เพราะเป็นการทดสอบ Consistency ของผู้รังวัดด้วย) ค่า Σ_{Lb} นี้ จะแปรเปลี่ยนได้ เพราะขึ้นอยู่กับผู้รังวัด (ผู้ทดสอบ) เครื่องมือรังวัด และวิธีการรังวัด ที่ใช้ในการทดสอบ (การประเมิน Σ_{Lb} สามารถกระทำได้ลักษณะเดียวกับการประเมิน Σ_{Lb} ในขั้นออกแบบตามภาคผนวก ก) แล้วทำการทดสอบการวัดมุมและระยะก่อนลักษณะเดียวกับหัวข้อที่ 6.2.1 และ 6.2.2 ถ้าผลการทดสอบผ่านจึงให้ทำการรังวัดจริง

3. ในการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งหรือกำหนดตำแหน่ง จำเป็นต้องหาพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อนำมาใช้ทดสอบในแง่สถิติ ซึ่งในการรังวัดดังกล่าวสามารถแบ่งการรังวัดออกได้ 2 กรณีคือ ถ้า

- กรณี 1 เป็นการรังวัดที่ไม่มีค่า Redundancy หมายถึงไม่มีค่าสังเกตที่เกินมากว่าจำนวนที่จำเป็น (n_o) ที่จะทำให้หาค่าพารามิเตอร์หรือค่าพิกัดที่ต้องการทราบได้ กรณีนี้จะสามารถหาค่าพิกัดของจุดที่ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดโดยอาศัยหลักตรีโกณมิติและหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้โดยใช้กฎการแพร่ของความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Propagation of random error) และใช้ Σ_{Lb} ที่ได้ในข้อ 2 มาประกอบการคำนวณ เพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดที่ต้องการตรวจสอบ

- กรณี 2 เป็นการรังวัดที่มีค่า Redundancy หมายถึงมีค่าสังเกตที่เกินมากว่าค่าสังเกตจำนวนต่ำสุดที่จำเป็น (n_o) การหาค่าพารามิเตอร์หรือค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตร-



รูปที่ 6.2 แผนผังขั้นตอนการทดสอบการรังวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐานของจุดที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ค่าที่เป็น เอกภาพ สามารถหาได้โดยใช้วิธีการของลีสท์สแควร์ ซึ่งในที่นี้ได้ใช้วิธีสมการค่าสังเกตหาค่าพิกัดและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบดังกล่าว โดยใช้ Σ_{Lb} ที่ประเมินได้ในขั้นตอนที่ 2

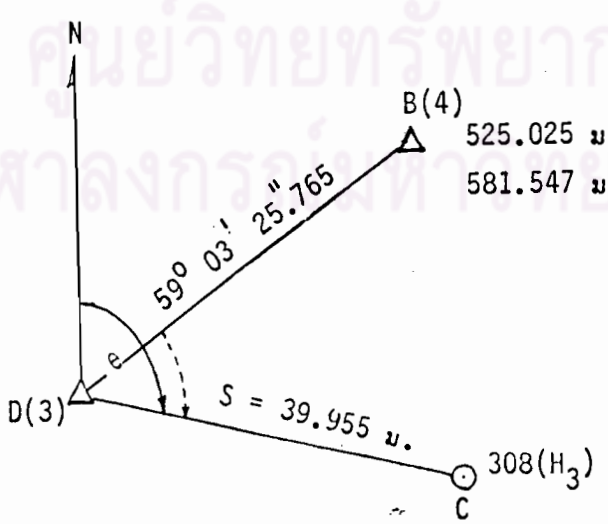
4. จากผลการคำนวณในข้อ 3 จะทำให้ได้ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดตามต้องการ จากนั้นสามารถนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดเดียวกันที่ได้จากการปรับแก้ แล้วทดสอบผลในแง่สถิติ ด้วยการทดสอบสมมุติฐาน เพื่อดูผลลัพธ์ที่ได้แล้ววิเคราะห์ผลในขั้นต่อมา

เมื่อทราบถึงหลักการทั่วไปในการทดสอบการรังวัดแล้ว ต่อไปจะเป็นตัวอย่างการรังวัดที่ได้จากการทำ Study Case ด้วยวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ โดยในขั้นแรกจะเป็นการหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Polar, Offset, Resection, Intersection, Traversing, Triangulation และ Trilateration จากนั้นจึงจะเป็นการตรวจสอบผลการรังวัดในแง่สถิติ โดยนำผลที่ได้จริงจากการรังวัดในแต่ละวิธีมาทำการตรวจสอบและสรุปผล

6.3.1 ตัวอย่างการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6.3.1.1 ตัวอย่างปัญหา วิธี Polar

ปัญหาให้ทดลองรังวัด



รูปที่ 6.3 การรังวัดด้วยวิธี Polar

วัตถุประสงค์ - ต้องการหาค่าพิกัดทางราบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308 จากการรังวัดด้วยวิธี Polar เพื่อนำผลที่ได้ไปตรวจสอบฯ ในแง่สถิติ

สิ่งที่กำหนดให้ - พิกัดทางราบของจุด D หรือหมุดหมายเลข 3 ในสนามทดสอบ

X_3 = 462.674 เมตร σ_{X_3} = 0.0014 เมตร

Y_3 = 544.146 เมตร σ_{Y_3} = 0.0015 เมตร

(ได้จากผลการปรับแก้)

- อะซิมุทจากสถานี D(3) → B(4) = $59^{\circ}\ 03'\ 25.''765$

(เป็นแนวอะซิมุทสมมุติที่คำนวณจากค่าปรับแก้ของจุด 3 และ 4)

สิ่งที่ทราบก่อนการรังวัด - ค่าพิกัดของจุด 308 จากการปรับแก้ เพื่อใช้ตรวจสอบกับผลการรังวัด ซึ่งมีค่า

X_{308} = 500.000 เมตร $\sigma_{X_{308}}$ = 0.000 เมตร

Y_{308} = 529.960 เมตร $\sigma_{Y_{308}}$ = 0.001 เมตร

เครื่องมือรังวัด - กล้องวัดมุม Wild To หมายเลข 48721

- ไซ่เหล็กวัดระยะ (Steel tape)

ผู้รังวัด - นายสุรศักดิ์ เธียรวณิชพันธุ์

การรังวัด - ให้ตั้งกล้องที่จุด 3 แล้วรังวัดง่ามมุมจากจุด 4 ไปยังจุด 308 โดยใช้จำนวนชุดในการรังวัด 2 ชุด ($B\hat{D}C$)

- ให้วัดระยะจากจุด 3 ไปยัง 308 (DC) โดยวัด 2 ชุด (ไป-กลับ)

ผลการรังวัด $B\hat{D}C = 51^{\circ}\ 44' \pm 0.1414$

DC = 39.955 เมตร $\pm$ 0.005 เมตร

การคำนวณ 1) หาค่าพิกัดของจุด 308

อะซิมุทจากจุด D ไปยัง C (3 → 308) = $59^{\circ}\ 03'\ 25.''77 + 51^{\circ}\ 44'$

อะซิมุท D → C = $110^{\circ}\ 47'\ 25.''77$

$\Delta X = 39.955 \sin 110^{\circ}\ 47'\ 25.''77 = 37.353$ เมตร

$\Delta Y = 39.955 \cos 110^{\circ}\ 47'\ 25.77 = -14.182$ เมตร

พิกัดของสถานี 308 X = 462.674 + 37.353 = 500.027 เมตร

Y = 544.146 - 14.182 = 529.964 เมตร

เปรียบเทียบค่าพิกัดจากผลการปรับแก้และผลการรังวัดของจุด 308

ค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว X = 500.000 เมตร Y = 529.960 เมตร

ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัด X = 500.027 เมตร Y = 529.964 เมตร

ความต่าง ΔX = 0.027 เมตร ΔY = 0.004 เมตร

2) หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดนี้ สามารถหาได้โดยอาศัยทฤษฎีของกฎการแพร่ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.6 โดยจะได้

$$\Sigma_{YY} = J_{YX}\,\Sigma_{XX}\,J'_{YX}$$

และจาก

$$\begin{aligned} X_C &= X_D + S \sin\theta \\ Y_C &= Y_D + S \cos\theta \end{aligned} \qquad \text{..... (6-1)}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_{X_C} & \sigma_{X_C Y_C} \\ \sigma_{Y_C X_C} & \sigma^2_{Y_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_C}{\partial \theta} & \frac{\partial X_C}{\partial S} \\ \frac{\partial Y_C}{\partial \theta} & \frac{\partial Y_C}{S} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma^2_\theta & 0 \\ 0 & \sigma^2_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial X_C}{\partial \theta} & \frac{\partial X_C}{\partial S} \\ \frac{\partial Y_C}{\partial \theta} & \frac{\partial Y_C}{\partial S} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} S\cos\theta & \sin\theta \\ -S\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma^2_\theta & 0 \\ 0 & \sigma^2_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S\cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

สำหรับค่า σ^2_θ และ σ^2_S สามารถประเมินได้จากผลการรังวัดมุมและระยะของผู้รังวัดหรือผู้ที่ต้องการทดสอบ ในที่นี้ผู้รังวัดวัดมุมมีความคลาดเคลื่อนหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการรังวัด σ_θ = 0.1414 และ σ^2_S = 0.005 เมตร ดังนั้น

$$= \begin{bmatrix} -6.7446 & 0.98566 \\ -39.421 & -0.16868 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{.1414 \times 60}{206265}^2 & 0 \\ 0 & (.005)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -6.7446 & -39.421 \\ 0.98566 & -0.16868 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_{X_C} & \sigma_{X_C Y_C} \\ \sigma_{Y_C X_C} & \sigma^2_{Y_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.436 \times 10^{-5} \\ -3.7067 \times 10^{-6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3.7067 \times 10^{-6} \\ 3.340 \times 10^{-6} \end{bmatrix}$$

ดังนั้น $\sigma_{X_C} = 0.005$ เมตร

$\sigma_{Y_C} = 0.002$ เมตร

แต่เนื่องจากค่าพิกัดของจุด A(3) ที่ได้จากการปรับแก้ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนหรือมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแฝงอยู่ด้วยคือ $\sigma_{X_A} = 0.0014$ เมตร และ $\sigma_{Y_A} = 0.0015$ เมตร ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย ดังนั้น

$\sigma_{X_C} = \sqrt{\sigma^2_{X_A} + \sigma^2_{X_C}}$ (จากกฎการแพร่และสมการเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น, $\sigma_{X_C Y_C}$ ไม่มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน)

$\sigma_{Y_C} = \sqrt{\sigma^2_{y_A} + \sigma^2_{y_C}}$

$\sigma_{X_C} = \sqrt{(.0014)^2 + (.005)^2} = 0.0052$ เมตร

$\sigma_{Y_C} = \sqrt{(.0015)^2 + (.002)^2} = 0.0025$ เมตร

ดังนั้นค่าพิกัดของจุด 308 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ

$X_{308} = 500.027$ เมตร $\sigma_X = 0.0052$ เมตร

$Y_{308} = 529.964$ เมตร $\sigma_{Y.} = 0.0025$ เมตร

ซึ่งมีผลน้อยมาก

ความต่างของค่าพิกัดระหว่างค่าปรับแก้และค่าจากการรังวัดคือ

Δ_X = 0.027 เมตร Δ_y = 0.004 เมตร

ผลที่ได้เหล่านี้ จะได้นำไปตรวจสอบและวิเคราะห์ผลในแง่สถิติ ซึ่งจะได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 6.4.1 เพราะหลักการตรวจสอบดังกล่าว สามารถใช้กับปัญหาการรังวัดโดยวิธีต่าง ๆ ได้ทุกกรณี

ปัญหาให้ทดลองกำหนดจุด (Setting-Out)

วัตถุประสงค์ ให้ผู้รังวัดหรือผู้ที่ต้องการทดสอบกำหนดจุด 308 จากข้อมูลที่กำหนดให้ด้วยวิธี Polar เพื่อทดลองตรวจสอบผล

สิ่งที่กำหนดให้ - มุมที่จุด D(3) จากจุด B(4) ไปยัง 308 หรือ $B\hat{D}C$ = 51^{o} 43.695 (ได้จากผลการปรับแก้) ดูรูปที่ 6.5

- ระยะจากจุด D(3) ไปยังจุด C(308) หรือ DC = 39.956 เมตร (ได้จากผลการปรับแก้)

สิ่งที่ทราบก่อนการกำหนดจุด ค่าพิกัดของจุด 308 (แต่ไม่บอกให้ผู้รังวัดทราบ)

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุม Wild To หมายเลข 48721

ผู้รังวัด นายสุรศักดิ์ เธียรวณิชพันธุ์

การปฏิบัติ 1) ตั้งกล้องที่จุด D(3) โดยมีที่หมายเล็งคือจุด B(4)

2) ส่องที่หมายเล็ง ณ จุด B(4) ตั้งมุม 0^{o} 00' 00"

3) หมุนกล้องตามเข็มนาฬิกา อ่านค่ามุมราบให้ได้ 51^{o} 44' (ความละเอียดขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ)

4) ปัก Pin หรือ Single pole ในแนวเล็ง

5) วัดระยะจากจุด D(3) ตามแนวเล็งไปยังจุด C(308) เมตร

6) กำหนดจุดลงบนแผ่นเพลทหัวหมุดกริดของจุด C(308)

ดังนั้นบนหัวหมุดกริดของจุด 308 จะมีเครื่องหมายอยู่ 2 ชนิด คือ

- เครื่องหมายกากะบาทตรงกึ่งกลางหัวหมุด ซึ่งได้ทำไว้แล้ว
- จุดหรือเครื่องหมายที่เกิดจากการรังวัดเพื่อ Setting-Out (ดูรูปที่ 6.15)

สำหรับการตรวจสอบผลการ Setting-Out ในแง่สถิติ ไม่ว่าจะเป็นการรังวัดด้วยวิธี Polar, Offset หรือ Intersection อาศัยการตรวจสอบลักษณะเดียวกับการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งทุกประการ แต่จะต้องประเมินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดมุมและระยะให้ได้ เพื่อนำมาใช้เป็นแมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสังเกตในการหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งอาจทำได้โดยการทดลองรังวัดมุมและระยะแล้วประเมินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดมุมและระยะตามชนิดของเครื่องมือที่ทำการรังวัดในขณะทดสอบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณแล้วทดสอบผล ลักษณะเดียวกับการรังวัดเพื่อหาตำแหน่ง ในทางปฏิบัติสามารถตรวจสอบผลการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งได้โดยอาศัยวิธีการตรวจสอบอย่างง่าย ๆ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อ 6.5 ต่อไป

6.3.1.2 ตัวอย่างปัญหา วิธี Offset

ปัญหาให้ทำการรังวัดเพื่อหาตำแหน่ง

วัตถุประสงค์ ต้องการหาค่าพิกัดทางราบของจุด E_1(703) และจุด E_2(803) พร้อมทั้งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดทั้งสอง

กำหนดให้ D(208), E(203) และ F(201) เป็นหมุดในแนวกริดที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน โดย E(203) เป็นจุดที่จะต้อง Offset ไปยังจุด E_1(703) และ E_2(803) ที่ระยะ 25 เมตร และ 30 เมตร ตามลำดับ

สิ่งที่ทราบจากการปรับแก้

- พิกัดทางราบของจุด E_1(703) และ E_2(803) และค่า S.D. เพื่อใช้ตรวจสอบผลการรังวัดคือ

X_{E_1} = 475.002 เมตร $\sigma_{X_{E_1}}$ = 0.0009 เมตร

Y_{E_1} = 509.959 เมตร $\sigma_{Y_{E_1}}$ = 0.0009 เมตร

และ X_{E_2} = 475.002 เมตร $\sigma_{X_{E_2}}$ = 0.0009 เมตร

Y_{E_2} = 504.959 เมตร $\sigma_{Y_{E_2}}$ = 0.0009 เมตร

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุม Wild To หมายเลข 48721 และไข่ลานเหล็กกล้า (Steel tape) 40 เมตร

ผู้รังวัด นายอิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์

การรังวัด ตั้งกล้องวัดมุมที่จุด E(203) วัดง่ามมุม $D\hat{E}E_1$ และ $D\hat{E}E_2$ แล้ววัดระยะ EE_1 และ EE_2 โดยวัดมุมและระยะอย่างละ 2 ชุด

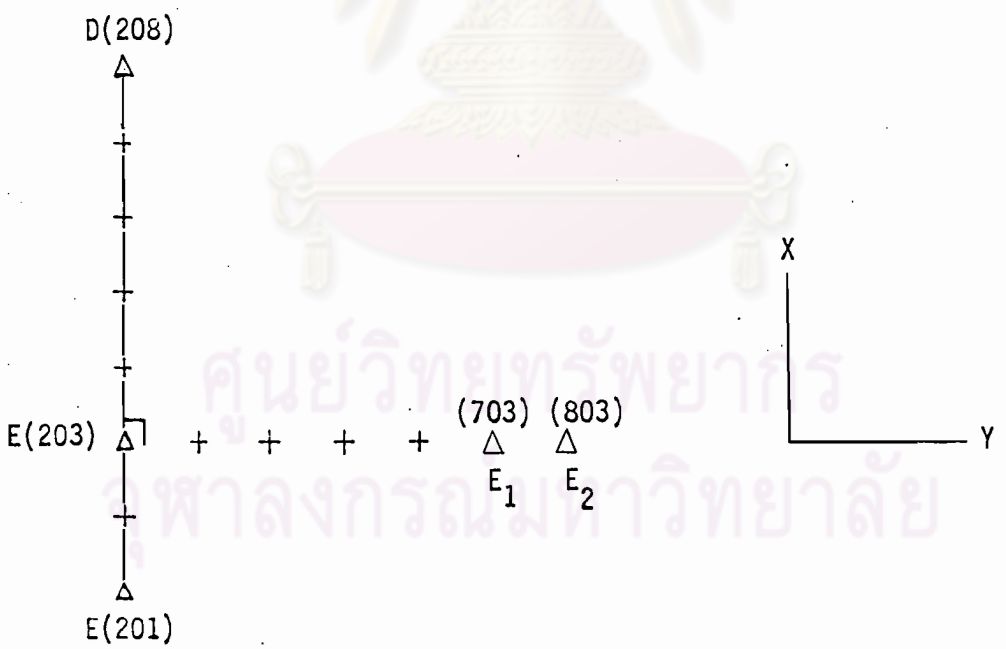
ผลการรังวัด

$D\hat{E}E_1 = 89^{\circ}\ 59' \pm 0.1414$

$D\hat{E}E_2 = 89^{\circ}\ 59' \pm 0.0707$

$EE_1 = 24.998$ เมตร

$EE_2 = 29.997$ เมตร



รูปที่ 6.8 การรังวัดด้วยวิธี Offset

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณ พิกัดของจุด E_1 คือ

$$X_{E_1} = X_E + EE_1 \sin 89^\circ 59' = 475.003 \text{ เมตร}$$

$$Y_{E_1} = Y_E + EE_1 \cos 89^\circ 59' = 509.961 \text{ เมตร}$$

และ

$$X_{E_2} = X_E + EE_2 \sin 89^\circ 59' = 475.003 \text{ เมตร}$$

$$Y_{E_2} = Y_E + EE_2 \sin 89^\circ 59' = 504.962 \text{ เมตร}$$

หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด E_1 จากทฤษฎีของกฎการแพร่ลักษณะเดียวกับการรังวัดด้วยวิธี Polar ซึ่งจะได้

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_{X_{E_1}} & \sigma_{X_{E_1}Y_{E_1}} \\ \sigma_{X_{E_1}Y_{E_1}} & \sigma^2_{Y_{E_1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} EE_1 \cos 89^\circ 59' & \sin 89^\circ 59' \\ -EE_1 \sin 89^\circ 59' & \cos 89^\circ 59' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{0.1414 \times 60}{206265}\right)^2 & 0 \\ 0 & (0.005)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} EE_1 \cos 89^\circ 59' & -EE_1 \sin 89^\circ 59' \\ \sin 89^\circ 59' & \cos 89^\circ 59' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_{X_{E_1}} & \sigma_{X_{E_1}Y_{E_1}} \\ \sigma_{X_{E_1}Y_{E_1}} & \sigma^2_{Y_{E_1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.49998 \times 10^{-5} & 6.96464 \times 10^{-9} \\ 6.96464 \times 10^{-9} & 1.05719 \times 10^{-6} \end{bmatrix}$$

ทำนองเดียวกันก็จะหา S.D. ของจุด E_2 ได้คือ

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_{X_{E_1}} & \sigma_{X_{E_2}Y_{E_2}} \\ \sigma_{X_{E_2}Y_{E_2}} & \sigma_{Y_{E_2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.49998 \times 10^{-5} & 7.16149 \times 10^{-9} \\ 7.16149 \times 10^{-9} & 3.80358 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$$

และเมื่อรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมที่ได้จากการปรับแก้จะได้

$$\sigma_{X_{E_1}} = \sqrt{(\sigma_{X_E})^2 + (\sigma^2_{X_{E_1}})} = \sqrt{(.0011)^2 + (.005)^2} = 0.0050 \text{ เมตร}$$

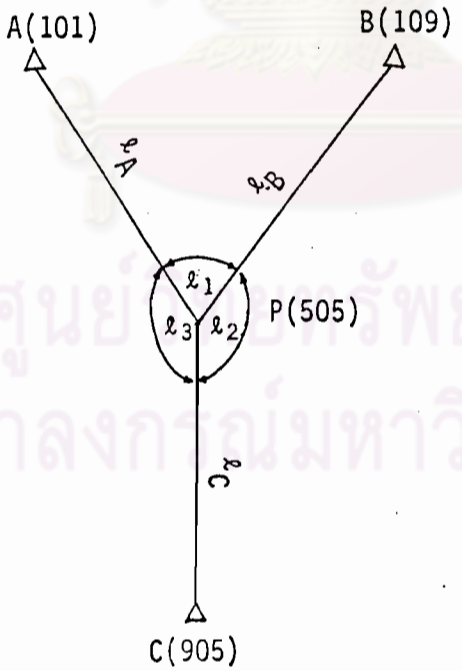
$$\sigma_{Y_{E_1}} = \sqrt{(.0013)^2 + (.001)^2} = .0016 \text{ เมตร}$$

$$\sigma_{X_{E_2}} = \sqrt{(.0011)^2 + (.005)^2} = .0050 \text{ เมตร}$$

$$\sigma_{Y_{E_2}} = \sqrt{(.0013)^2 + (.0006)^2} = .0014 \text{ เมตร}$$

6.3.1.3 ตัวอย่างปัญหาวิธี Resection

ปัญหาให้ทดลองรังวัด



รูปที่ 6.5 การรังวัดด้วยวิธี Resection

วัตถุประสงค์ ต้องการทราบค่าพิกัดทางราบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด P(505) ด้วยวิธี Resection จากข้อมูลที่กำหนดให้

สิ่งที่กำหนดให้ ค่าพิกัดทางราบของจุดที่ทราบค่าพิกัด 3 จุดคือ

จุด 101	X_{101}	= 465.003	เมตร	$\sigma_{X_{101}}$	= 0.0016	เมตร
	Y_{101}	= 539.960	เมตร	$\sigma_{Y_{101}}$	= 0.0016	เมตร
จุด 109	X_{109}	= 504.995	เมตร	$\sigma_{X_{109}}$	= 0.0010	เมตร
	Y_{109}	= 539.960	เมตร	$\sigma_{Y_{109}}$	= 0.0013	เมตร
จุด 905	X_{905}	= 484.998	เมตร	$\sigma_{X_{905}}$	= 0.0007	เมตร
	Y_{905}	= 499.998	เมตร	$\sigma_{Y_{905}}$	= 0.0007	เมตร

สิ่งที่ทราบก่อนการรังวัด พิกัดทางราบของจุด 505 คือ

จุด 505	X_{505}	= 485.002	เมตร	$\sigma_{X_{505}}$	= .0006	เมตร
	Y_{505}	= 519.960	เมตร	$\sigma_{Y_{505}}$	= .0008	เมตร
	(จากการปรับแก้)					

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ Wild T-16 หมายเลข 104258

ผู้รังวัด นายอิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์

การรังวัด ให้ตั้งกล้องที่จุด P(505) รังวัดมุมไปยังจุด A(101), B(109) และ C(905) ซึ่งได้แก่ ง่ามมุม $O\hat{P}A$, $A\hat{P}B$ และ $B\hat{P}C$

ผลการรังวัด
$$C\hat{P}A = 134^{o}\ 59.'6 \pm 0.231$$
$$A\hat{P}B = 89^{o}\ 59.'7 \pm 0.231$$
$$B\hat{P}C = 135^{o}\ 01.'0 \pm 0.231$$

การคำนวณ ใช้การปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ วิธีสมการค่าสังเกต ซึ่งในที่นี้

$U = 2$ (X_p และ Y_p)

$n = 3$, $r = n - U = 1$

ขาดหน้า 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณี Resection ยังไม่รวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม

U = 2

n = 3

r = 1

```
MATRIX A=
     -.9168   10333.9010
 18473.1250   -9167.9375
-18469.8080   -9165.9190
WEIGHTS P=
       .0092        0.0000        0.0000
      0.0000         .0092        0.0000
      0.0000        0.0000         .0092
L = LO-LB
   387.8360    -220.0600    -191.6250
NORMAL EQUATIONS=ATPA*X+(ATPL)=0
MATRIX ATPA=
 .24889E+07 -.20762E+03
-.20762E+03  .83296E+06
MATRIX ATPL=
-2289.00064
31894.16927
INVERTED MATRIX OF ATPA=
 .40178E-06  .10019E-09
 .10019E-09  .12005E-05
THE VALUE OF X=
 .91649E-03 -.38293E-01
```

$X_a = X_o + X$

X_{505} = 485.000 + .001 = 485.001 เมตร $\sigma_{X_{505}}$ = .0006 เมตร

Y_{505} = 520.000 - .038 = 519.962 เมตร $\sigma_{Y_{505}}$ = .0011 เมตร

กรณีรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม 101, 109, 905 ดูภาคผนวก ฉ.3

แต่เนื่องจากค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 505 ที่คำนวณได้นี้ ได้จากจุดควบคุม 101, 109 และ 905 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในตัวเองแฝงอยู่ด้วย (จากการปรับแก้) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ทดลองรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมดังกล่าวเข้าไปด้วย เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อจุด 505 โดยใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมทั้งสามเป็นค่าสังเกตและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดควบคุมเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสังเกต แล้วดำเนินขั้นตอนการปรับแก้ตามกรรมวิธีของลีสท์สแควร์อีกครั้ง ซึ่งผลจากการคำนวณปรับแก้ปรากฏว่าเมื่อได้รวมความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากจุดควบคุมทั้งสามเข้าไปแล้ว แทบจะไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อจุด 505 เลย กล่าวคือ คงได้พิกัดมีค่าเท่าเดิม (ดูผลการคำนวณกรณีรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมในภาคผนวก ฉ.) ทั้งนี้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมที่ได้จากการปรับแก้มีค่าน้อยมากนั่นเอง ดังนั้น เมื่อถึงขั้นนี้จะได้ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการรังวัดด้วยวิธี Resection เมื่อรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมแล้วคือ

X_{505} = 485.001 เมตร $\sigma_{X_{505}}$ = 0.0009 เมตร

Y_{505} = 519.962 เมตร $\sigma_{X_{505}}$ = 0.0017 เมตร

ต่างจากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกันคือ

$|\Delta X|$ = 0.001 เมตร

$|\Delta Y|$ = 0.002 เมตร

ซึ่งผลที่ได้นี้ จะได้นำไปทดสอบในแง่สถิติซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

6.3.1.4 ตัวอย่างปัญหา วิธี Intersection

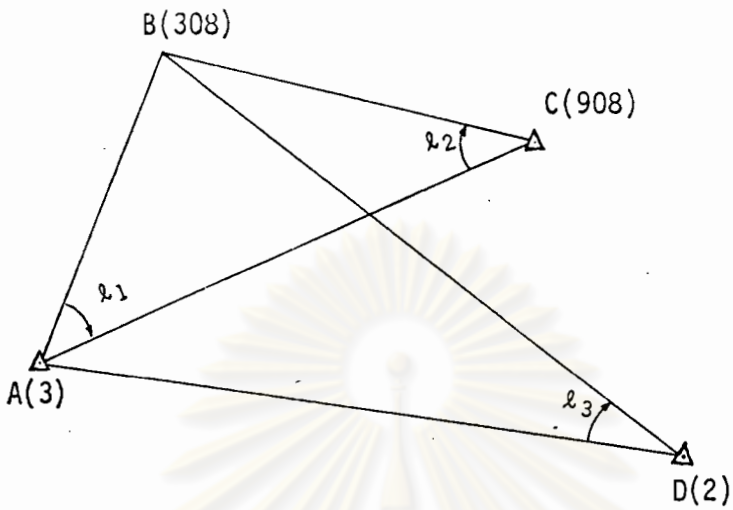
ปัญหาให้ทดลองรังวัด

วัตถุประสงค์ ต้องการทราบค่าพิกัดทางราบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308 ด้วยวิธี Intersection จากข้อมูลที่กำหนดให้ เพื่อนำผลที่ได้ไปทดสอบในแง่สถิติ

สิ่งที่กำหนดให้ ค่าพิกัดทางราบของจุดควบคุม (2, 3, 908) ที่ทราบจากผลการปรับแก้คือ

จุด A(3) X_3 = 462.647 เมตร σ_{X_3} = 0.0014 เมตร

Y_3 = 544.146 เมตร σ_{Y_3} = 0.0015 เมตร



รูปที่ 6.6 การรังวัดด้วยวิธี Intersection

จุด C(908) X_{908} = 500.000 เมตร $\sigma_{X_{908}}$ = 0.0001 เมตร

Y_{908} = 500.000 เมตร $\sigma_{Y_{908}}$ = 0.0001 เมตร

จุด D(2) X_2 = 477.244 เมตร σ_{X_2} = 0.0024 เมตร

Y_2 = 425.966 เมตร σ_{Y_2} = 0.0016 เมตร

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุม Wild T16 หมายเลข 104258

ผู้รังวัด นายสุรศักดิ์ เธียรวณิชพันธ์

จำนวนชุดในการรังวัด ทำการรังวัดมุมละ 2 ชุดย์

สิ่งที่ทราบจากค่าปรับแก้ พิกัดทางราบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308 คือ

X_{308} = 500.000 เมตร $\sigma_{X_{308}}$ = 0.0000 เมตร

Y_{308} = 529.960 เมตร $\sigma_{Y_{308}}$ = 0.0009 เมตร

การรังวัด ตั้งกล้องที่จุด 3, 2 และ 908 วัดมุมได้

$B\hat{A}C = 28^{\circ}\ 58.'8 \pm 0.'1414$

$A\hat{C}B = 40^{\circ}\ 14.'3 \pm 0.'1414$

และ $A\hat{D}B = 19^{o}\ 22.'9 \pm 0.'1414$

การคำนวณ ค่าพิกัดโดยประมาณของจุด B(308) คือ

$X = 500.000$ เมตร $\quad Y = 500.003$ เมตร

ในที่นี้

$U = 2,\ n = 3,\ r = n - U = 1$

วิธีสมการค่าสังเกตมีแบบจำลองเชิงคณิตเป็น

$$L_a = F(X_a)$$

การ Form สมการของมุมคงเป็นไปลักษณะเดียวกับสมการที่ (6-2), (6-3) และ (6-3) ของกรณี Resection

$$_3A_2 = \begin{bmatrix} 1828.9490 & 4829.4033 \\ 6875.5000 & 0.0000 \\ 1892.1389 & -\ 413.8790 \end{bmatrix}$$ พิลิบดา

$$_3P_3 = \begin{bmatrix} \frac{1}{(8.484)^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(8.484)^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{(8.484)^2} \end{bmatrix}$$ พิลิบดา

(ได้จากการประเมิน accuracy ในการวัดมุมของผู้รังวัด)

$$_3L_1 = L_o - L_b$$

$$= \begin{bmatrix} 153.0000 \\ -\ 10.7000 \\ -\ 7.6000 \end{bmatrix}$$ พิลิบดา

กรณี Intersection เมื่อไม่รวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุม

U = 2

n = 3

r = 1

```
MATRIX A=
  1828.9490    -829.4033
  6875.5000       0.0000
  1892.1389    -413.8790


WEIGHTS P=
      .0140       0.0000       0.0000
     0.0000        .0140       0.0000
     0.0000       0.0000        .0140


L = L0-LB
    153.0000     -10.7000      -7.6000


NORMAL EQUATIONS=ATPA*X+(ATPL)=0
MATRIX ATPA=
 .75877E+06   .11269E+06
 .11269E+06   .32892E+06


MATRIX ATPL=
 2686.33940
10388.61900


INVERTED MATRIX OF ATPA=
 .13886E-05  -.47575E-06
-.47575E-06   .32032E-05


THE VALUE OF X=
 .12121E-02  -.31999E-01
```

$X_a = X_a + X$

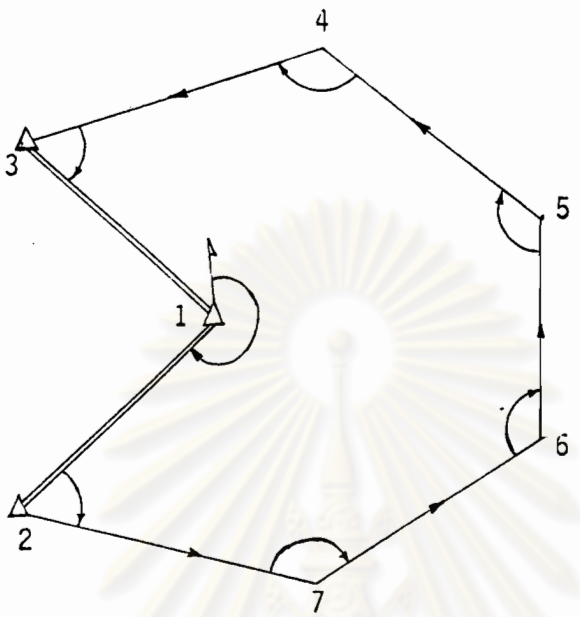
$X_{308} = 500.000 + .0012 = 500.001$ ม. $\sigma_{X_{308}} = 0.0011$ ม.

$Y_{308} = 530.000 - .032 = 529.968$ ม. $\sigma_{Y_{308}} = 0.0017$ ม.

กรณีรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม ดูภาคผนวก ฉ.4

6.3.1.5 ตัวอย่างปัญหา วิธี Traversing

ปัญหาให้ทดลองรังวัด



รูปที่ 6.7 การรังวัดด้วยวิธี Traversing

วัตถุประสงค์ ต้องการทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุด 7, 6, 5 และ 4 เพื่อทดลองตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุด 4

สิ่งที่กำหนดให้ ค่าพิกัดทางราบของจุด 1, 2 และ 3 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดดังกล่าวคือ

X_1 = 523.353 เมตร σ_{X_1} = 0.0010 เมตร

Y_1 = 486.237 เมตร σ_{Y_1} = 0.0009 เมตร

X_2 = 477.244 เมตร σ_{X_2} = 0.0024 เมตร

Y_2 = 425.966 เมตร σ_{Y_2} = 0.0016 เมตร

X_3 = 462.647 เมตร σ_{X_3} = 0.0014 เมตร

Y_3 = 544.146 เมตร σ_{Y_3} = 0.0015 เมตร

ระยะ 1 - 2 = 75.885 เมตร $\pm$ 0.004 เมตร

ระยะ 1 - 3 = 83.897 เมตร $\pm$ 0.004 เมตร

สิ่งที่ทราบ ค่าปรับแก้ของจุด 4 ที่ต้องการตรวจสอบผล

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธิโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 42579 และเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ Eldi-2 หมายเลข 121276

ผู้รังวัด ร.ท. พีรศักดิ์ อุ่นอก

จำนวนชุดในการรังวัด วัดมุม มุมละ 2 ศูนย์ วัดระยะอ่านค่า 4 ครั้ง

การรังวัด ตั้งกล้อง ณ จุด 2, 7, 6, 5, 4 และ 3 ทำการวัดมุมและระยะต่อเนื่องกันไปตามรูป 6.11

ผลการรังวัด มุม $1\hat{2}7 = 57^{o}\ 21.5' \pm 0.1414$ ลิบดา

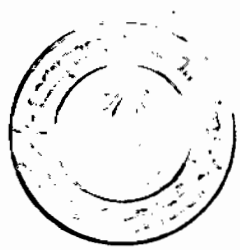
$2\hat{7}6 = 128^{o}\ 28.9' \pm 0.2121$ ลิบดา

$7\hat{6}5 = 120^{o}\ 54.6' \pm 0.0707$ ลิบดา

$6\hat{5}4 = 150^{o}\ 52.5' \pm 0.0707$ ลิบดา

$5\hat{4}3 = 104^{o}\ 01.9' \pm 0.1414$ ลิบดา

$4\hat{3}1 = 74^{o}\ 34.8' \pm 0.1414$ ลิบดา



ระยะ 2-7 = 87.606 เมตร $\pm$ 0.001 เมตร

7-6 = 58.575 เมตร $\pm$ 0.001 เมตร

6-5 = 58.753 เมตร $\pm$ 0.001 เมตร

5-4 = 89.992 เมตร $\pm$ 0.001 เมตร

4-3 = 72.751 เมตร $\pm$ 0.001 เมตร

การคำนวณ ใช้การปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ วิธีสมการค่าสังเกต

$U = 8$

$n = 11 = C$

$r = 11 - 8 = 3$

แบบจำลองเชิงคณิต

$$L_a = F(X_a)$$

สร้าง สมการของมุมและระยะเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตและพารามิเตอร์ แล้วทำให้เป็นสมการเชิงเส้นด้วยทฤษฎีของ Taylor ซึ่งจะทำให้หาแมทริกซ์แต่ละตัวได้

คำนวณอะซิมุทจากค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้วคือจุด 1 และจุด 2 ได้

A_z จาก $1 \rightarrow 2$ = $217^{o}\ 25'\ 01''.196$

A_z จาก $7 \rightarrow 2$ = $274^{o}\ 46'\ 30''.9$

คำนวณค่าพิกัดประมาณของจุดที่ต้องการทราบค่าจาก A_z และค่าสังเกตได้

X_7 = 564.546 เมตร

Y_7 = 418.673 เมตร

X_6 = 604.686 เมตร

Y_6 = 461.332 เมตร

X_5 = 588.656 เมตร

Y_5 = 517.856 เมตร

X_4 = 525.069 เมตร

Y_4 = 581.537 เมตร

MATRIX A=

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0000	0.0000	-196.0030	-2346.2870
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2564.5680	-2413.1310	-2368.5650	4759.4180
0.0000	0.0000	3377.5150	957.8510	-5942.0930	1455.2800	2564.5680	-2413.1310
1e21.9100	1e91.5160	-4999.4250	-2527.3470	3377.5150	957.8510	0.0000	0.0000
-164.8000	-1051.6580	1e21.4100	1e19.5100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-1457.1100	2472.1420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.9965	-.0832
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.6853	.7283	-.6853	-.7283
0.0000	0.0000	.2728	.9621	.2728	-.9621	0.0000	0.0000
-.70ee	.707e	.70ee	-.707e	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
.8578	.5139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

WEIGHTS P=

.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	.0062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	.055e	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	.055e	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0139	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0139	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

```
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
          0.0000        0.0000        0.0000
    1000000.0000        0.0000        0.0000
          0.0000  1000000.0000        0.0000
          0.0000        0.0000  1000000.0000

 L = L0-LB
     -.2000       1.8000      -2.0000       1.7000       -.1000       -.2000       0.0000       0.0000

     0.0000       0.0000       0.0000

 NORMAL EQUATIONS=ATPA+V-(ATPL)=0
 MATRIX ATPA=
  .14113E+07  .53792E+05 -.95384E+06  .26336E+06  .30453E+05  .26377E+05  .00000E+00  .00000E+00
  .53792E+05  .12743E+07 -.61540E+05 -.83470E+04  .31765E+06  .90084E+05  .00000E+00  .00000E+00
 -.95384E+06 -.61540E+05  .2e342E+07  .17036E+06 -.21291E+07  .26950E+06 -.48160E+06 -.45316E+06
  .26786E+06 -.83470E+06  .17036E+06  .18831E+07 -.57800E+06 -.98539E+06  .13658E+06 -.12891E+06
  .30458E+06  .31765E+06 -.21291E+07 -.57800E+06  .31822E+07 -.10265E+07 -.17546E+07  .37382E+06
  .26377E+05  .90084E+05  .2e950E+06 -.98539E+06 -.10265E+07  .18609E+07 -.19616E+07 -.79688E+06
  .00000E+00  .00000E+00 -.48160E+06  .13658E+06 -.17546E+07 -.19616E+07  .18671E+07  .86067E+04
  .00000E+00  .00000E+00 -.45316E+06 -.12891E+06  .37382E+06 -.79688E+06  .86067E+04  .10781E+07

 MATRIX ATPL=
    69.69500
   313.13415
  -852.63423
  -354.e2801
  1008.62293
   -98.22160
  -311.0682e
   307.97995

 INVERTED MATRIX OF ATPA=
  .10284E-05 -.15e63E-05  .11785E-05 -.12957E-05  .37843E-06 -.23823E-05 -.17057E-06 -.16859E-05
 -.15e63E-05  .30859E-05 -.7e994E-06  .3ee36E-05 -.17587E-05  .3e026E-05  .31119E-06  .28252E-05
  .11785E-05 -.7e994E-06  .16755E-05 -.85309E-06  .10968E-05 -.69171E-06  .70e22E-06 -.43936E-06
 -.12957E-05  .3e636E-05 -.85709E-06  .e1091E-05  .29-45E-06  .e1228E-05  .80621E-06  .47869E-05
  .37843E-06 -.17587E-06  .10966E-05  .29444E-06  .13671E-05  .29280E-06  .72767E-06  .23071E-06
 -.23823E-05  .3e028E-05 -.8e178E-06  .e1228E-05  .29280E-06  .71121E-05  .94671E-06  .55070E-05
 -.17057E-06  .31119E-06  .70e22E-06  .80621E-06  .72767E-06  .94671E-06  .11545E-05  .e6784E-06
 -.16859E-05  .28252E-05 -.43936E-06  .47869E-05  .23071E-06  .55070E-05  .e6784E-06  .52952E-05

 THE VALUE OF X=
  .77313E-03 -.55010E-03  .33116E-03 -.56519E-03 -.14393E-03 -.ee071E-03 -.69574E-04 -.e7031E-03
```

$X_a = X_o + X$

$X_4 = 529.069 - .0007 = 525.068$ ม.

$Y_4 = 581.537 - .0007 = 581.536$ ม.

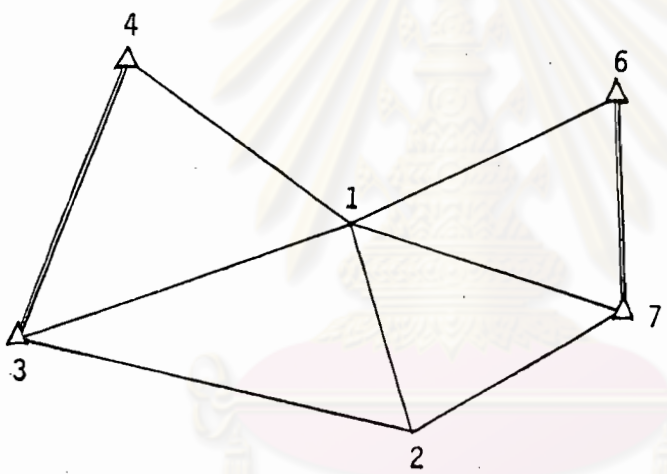
$\sigma_{X_4} = 0.0010$ ม.

$\sigma_{Y_4} = 0.0023$ ม.

กรณีรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม ดูในภาคผนวก ฉ.5

6.3.1.6 ตัวอย่างปัญหา วิธี Triangulation

ปัญหาให้ทดลองรังวัด



รูปที่ 6.8 การรังวัดด้วยวิธี Triangulation

วัตถุประสงค์ ต้องการทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุด 1 และจุด 2 แล้วทดลองตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุดทั้งสองนั้น

สิ่งที่กำหนดให้ ค่าพิกัดทางราบของจุด 3, 4 และจุด 6, 7 และค่า S.D. ณ จุดดังกล่าว

$X_3 = 462.647$ เมตร $\quad \sigma_{X_3} = 0.0014$ เมตร

$Y_3 = 544.146$ เมตร $\quad \sigma_{Y_3} = 0.0015$ เมตร

$X_4 = 525.052$ เมตร $\quad \sigma_{X_4} = 0.0021$ เมตร

Y_4 = 581.542 เมตร σ_{Y_4} = 0.0015 เมตร

X_6 = 604.682 เมตร σ_{X_6} = 0.0021 เมตร

Y_6 = 461.342 เมตร σ_{Y_6} = 0.0032 เมตร

X_7 = 564.546 เมตร σ_{X_7} = 0.0030 เมตร

Y_7 = 418.679 เมตร σ_{Y_7} = 0.0022 เมตร

สิ่งที่ทราบก่อนการรังวัด ค่าพิกัดของจุด 1 และจุด 2 พร้อมค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการปรับแก้

X_1 = 523.353 เมตร σ_{X_1} = 0.0010 เมตร

Y_1 = 486.237 เมตร σ_{Y_1} = 0.0009 เมตร

X_2 = 477.244 เมตร σ_{X_2} = 0.0024 เมตร

Y_2 = 425.966 เมตร σ_{Y_2} = 0.0016 เมตร

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 104258

ผู้รังวัด ร.ท. พีรศักดิ์ อุ่นอก

จำนวนชุดในการรังวัด วัดมุม มุมละ 4 ศูนย์

การรังวัด วัดมุมภายในรูปสามเหลี่ยมทั้งหมด ซึ่งมี 12 มุม

ผลการรังวัด

$\hat{413} = 47^{\circ}\ 22.'1 \pm 0.'0707$

$\hat{134} = 74^{\circ}\ 34.'8 \pm 0.'1414$

$\hat{341} = 58^{\circ}\ 02.'9 \pm 0.'1414$

$\hat{132} = 39^{\circ}\ 18.'6 \pm 0.'0707$

$\hat{321} = 44^{\circ}\ 27.'7 \pm 0.'0707$

$\hat{312} = 96^{\circ}\ 13.'8 \pm 0.'1414$

$1\hat{2}7 = 57^{o}\ 21.^{'}5 \pm 0.^{'}0707$

$2\hat{7}1 = 53^{o}\ 51.^{'}3 + 0.^{'}1414$

$2\hat{1}7 = 68^{o}\ 47.^{'}4 \pm 0.^{'}1414$

$6\hat{1}7 = 41^{o}\ 36.^{'}5 \pm 0.^{'}0707$

$7\hat{6}1 = 63^{o}\ 46.^{'}0 \pm 0.^{'}0707$

$1\hat{7}6 = 74^{o}\ 37.^{'}5 \pm 0.^{'}1414$

การคำนวณ

A_z จาก $3 \rightarrow 4 = 59^{o}\ 04^{'}\ 09.^{''}188$ (คำนวณจากพิกัดที่ปรับแก้แล้ว)

$4\hat{3}1 = 74^{o}\ 34^{'}\ 48^{''}$

A_z จาก $3 \rightarrow 1 = 133^{o}\ 38^{'}\ 57.^{''}188$

A_z จาก $1 \rightarrow 2 = A_z\ 1 \rightarrow 3 - 3\hat{1}2$

$= 313^{o}\ 38^{'}\ 57.^{''}188 - 96^{o}\ 13^{'}\ 48^{''}$

$= 217^{o}\ 25^{'}\ 09.^{''}188$

คำนวณพิกัดประมาณของจุด 1 และจุด 2 ได้

$X_1 = 523.356$ เมตร

$Y_1 = 486.233$ เมตร

และ $X_2 = 477.244$ เมตร

$Y_2 = 425.964$ เมตร

ใช้ในการปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ วิธีสมการค่าสังเกต

$U = 4,\ n = 12,\ r = 8$

แบบจำลองเชิงคณิต

$L_a = F(X_a)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATRIX A=

163.4862	-38.4987	0.0000	0.0000
-466.5719	1817.7388	0.0000	0.0000
-1696.9143	-1778.8401	0.0000	0.0000
1696.9142	1778.8401	-1719.0911	-212.3299
-3855.6397	-127.1925	2158.7255	-1651.6476
2158.7255	-1651.6476	-439.6344	1863.9755
-67.1007	-3008.8105	-2158.7255	1651.6476
-2158.7255	1651.6476	2354.5166	694.6750
2225.8262	1357.1629	-195.7912	-2346.3226
1516.0514	-961.8740	0.0000	0.0000
709.7748	2319.0369	0.0000	0.0000
-2225.8262	-1357.1629	0.0000	0.0000

WEIGHTS P=

.0556	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	.0139	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	.0556	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0556	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0139	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.0556
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000						
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
.0139						

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
.0139	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	.0139	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	.0556	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	.0556
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
L = LO-LB
      .7000       4.9000       6.4000      -3.1000        .1000      -3.1000       6.5000

          -28.8000      10.2000       7.4000      -3.9000      -3.6000
```

```
NORMAL EQUATIONS-ATPA*X+(ATPL)=0
MATRIX ATPA=
 .17133E+07  .22716E+06 -.70681E+06  .29037E+06
 .22716E+06  .12476E+07  .23630E+06 -.35673E+06
-.70681E+06  .23630E+06  .76279E+06 -.35845E+06
 .29037E+06 -.35673E+06 -.35845E+06  .43738E+06


MATRIX ATPL=
 1231.27561
-2658.95771
-1423.23386
  -66.75315

INVERTED MATRIX OF ATPA=
 .11407E-05 -.48984E-06  .10817E-05 -.27030E-06
-.48984E-06  .12630E-05 -.33868E-06  .10777E-05
 .10817E-05 -.33868E-06  .31729E-05  .16060E-05
-.27030E-06  .10777E-05  .16060E-05  .46610E-05


THE VALUE OF X=
-.11855E-02  .35513E-02  .23906E-02  .57953E-02
```

$X_a = X_o + X$

$X_1 = 523.356 - .001 = 523.355$ ม. $\sigma_{X_1} = .0010$ ม.

$Y_1 = 486.233 + .003 = 286.236$ ม. $\sigma_{Y_1} = .0011$ ม.

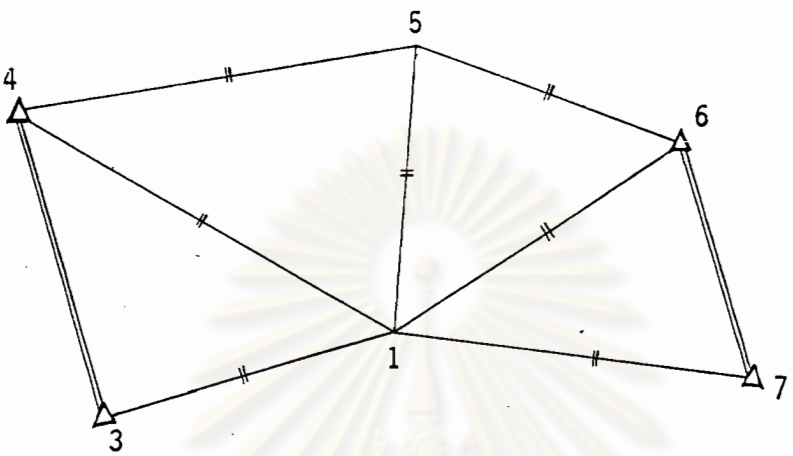
$X_2 = 477.244 + .002 = 477.246$ ม. $\sigma_{Y_2} = .002$ ม.

$Y_2 = 425.964 + .005 = 425.969$ ม. $\sigma_{Y_2} = .002$ ม.

การรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม ดูในภาคผนวก ฉ.

6.3.1.7 ตัวอย่างปัญหา วิธี Trilateration

ปัญหาให้ทดลองรังวัด



รูปที่ 6.9 การรังวัดด้วยวิธี Trilateration

วัตถุประสงค์ ต้องการหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุด 1 และจุด 5 และตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุด 5

กำหนดให้ ระยะ 3-4 = 72.751 เมตร ระยะ 6-7 = 58.574 เมตร

X_3 = 462.647 เมตร σ_{X_3} = 0.0014 เมตร

Y_3 = 544.146 เมตร σ_{Y_3} = 0.0015 เมตร

X_4 = 525.052 เมตร σ_{X_4} = 0.0021 เมตร

Y_4 = 581.542 เมตร σ_{Y_4} = 0.0015 เมตร

และ X_6 = 604.682 เมตร σ_{X_6} = 0.0021 เมตร

Y_6 = 461.342 เมตร σ_{Y_6} = 0.0032 เมตร

X_7 = 564.546 เมตร σ_{X_7} = 0.0030 เมตร

Y_7 = 418.679 เมตร σ_{Y_7} = 0.0022 เมตร

สิ่งที่ทราบจากการปรับแก้ พิกัดทางราบและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 1 และจุด 5 คือ

X_1 = 523.353 เมตร σ_{X_1} = 0.0010 เมตร

Y_1 = 486.237 เมตร σ_{Y_1} = 0.0009 เมตร

X_5 = 588.647 เมตร σ_{X_5} = 0.0014 เมตร

Y_5 = 517.864 เมตร σ_{Y_5} = 0.0026 เมตร

เครื่องมือรังวัด เครื่องมือวัดระยะ DI 3 S ใช้กับกล้องวัดมุม Wild T2 หมายเลข 45401

ผู้รังวัด ร.อ. นพดล ไชติศิริ

จำนวนชุดในการรังวัด อ่านค่าระยะ 4 ครั้ง ต่อ 1 ชุด

การรังวัด วัดด้านในรูปโครงข่ายที่ยังไม่ทราบความยาว รวม 7 ด้าน

ผลการรังวัด

ระยะ 1-3 = 83.896 เมตร

1-4 = 95.320 เมตร

1-5 = 72.548 เมตร

1-6 = 85.052 เมตร

1-7 = 79.127 เมตร

4-5 = 89.995 เมตร

5-6 = 58.754 เมตร

การคำนวณ ใช้การปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์ วิธีสมการค่าสังเกต ซึ่งในที่นี้

$U = 4$

$n = 7$

$r = 7-4 = 3$

แบบจำลองเชิงคณิต

$$L_a = F(X_a)$$

จากการคำนวณค่าพิกัดโดยประมาณของจุด 1 และจุด 5

X_1 = 523.350 เมตร

Y_1 = 486.235 เมตร

X_5 = 588.647 เมตร

Y_5 = 517.861 เมตร

เมื่อสร้างสมการระยะ 7 สมการ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตและพารา-มิเตอร์ แล้วทำให้เป็นสมการเชิงเส้นด้วยทฤษฎีของ Taylor จะได้แมทริกซ์แต่ละตัวดังนี้

```
MATRIX A=
      .7236      -.6903       0.0000       0.0000
     -.0179      -.9998       0.0000       0.0000
     -.8999      -.4359        .8999        .4359
     -.9662       .2577       0.0000       0.0000
     -.5206       .8538       0.0000       0.0000
     0.0000       0.0000        .7066       -.7076
     0.0000       0.0000       -.2729        .9620


WEIGHTS P=
 40000.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000
     0.0000   40000.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000
     0.0000       0.0000   40000.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000
     0.0000       0.0000       0.0000   40000.0000       0.0000       0.0000       0.0000
     0.0000       0.0000       0.0000       0.0000   40000.0000       0.0000       0.0000
     0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000   40000.0000       0.0000
     0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000       0.0000   40000.0000


L = L0-LB
     0.0000        .0020        .0050        .0040       -.0010        .0030       -.0040


NORMAL EQUATIONS=ATPA*X+(ATPL)=0
MATRIX ATPA=
 .10076E+06 -.32548E+05 -.32393E+05 -.15691E+05
-.32548E+05  .99231E+05 -.15691E+05 -.76004E+04
-.32393E+05 -.15691E+05  .55343E+05 -.14810E+05
-.15691E+05 -.76004E+04 -.14810E+05  .64646E+05


MATRIX ATPL=
 -313.58000
 -154.48400
  308.43600
 -151.69200


INVERTED MATRIX OF ATPA=
 .29647E-04  .10321E-04  .17694E-04  .10253E-04
 .10321E-04  .15998E-04  .12518E-04  .72639E-05
 .17694E-04  .12518E-04  .39702E-04  .13947E-04
 .10253E-04  .72639E-05  .13947E-04  .22009E-04


THE VALUE OF X=
 .41336E-02  .29471E-02 -.14159E-02  .33719E-02
```

$$X_a = X_o + X$$

X_1 = 523.350 + .0041 = 523.354 เมตร σ_{X_1} = .0045 เมตร

Y_1 = 486.235 + .0029 = 486.238 เมตร σ_{Y_1} = .0039 เมตร

X_5 = 588.647 - .0014 = 588.646 เมตร σ_{X_5} = .0059 เมตร

Y_5 = 517.861 + .0033 = 517.864 เมตร σ_{Y_5} = .0046 เมตร

กรณีรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม ผลการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ฉ.7

6.4 <u>การตรสจสอบผลการรังวัด</u>

จากผลลัพธ์ในงานขั้นปรับแก้จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของหมุดหลักฐานที่น่าเชื่อถือทั้งหมดในโครงข่าย ส่วนผลจากการทดสอบการรังวัดของผู้ทดสอบจะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง (พิกัด) หรือกำหนดตำแหน่ง ซึ่งเป็นจุดที่ต้องการตรวจสอบในสนามทดสอบ การตรวจสอบผลการรังวัดสามารถกระทำได้โดยตรวจสอบค่าความแตกต่างพิกัดระหว่างผลจากการรังวัดของผู้ทดสอบกับผลที่ได้จากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน โดยใช้การทดสอบสมมุติฐานในแง่สถิติเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจผลในการรังวัดของผู้ทดสอบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่

6.4.1 การตรวจสอบผลการรังวัดในแง่สถิติ

การตรวจสอบผลการรังวัดในแง่สถิติในที่นี้ เป็นการตรวจสอบผลการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งหรือกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยทำการทดสอบพารามิเตอร์ในลักษณะของ Location Statistics เพื่อทดสอบหาความถูกต้อง (Accuracy) ในการรังวัดของผู้ทดสอบ จากการใช้เครื่องมือรังวัดและวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ปฏิบัติกันในกิจการสำรวจและงานวิศวกรรมทั่วไป (ในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า) ว่าผลการรังวัดที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่ ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวสามารถกำหนดได้จาก เกณฑ์ที่ต้องการความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของงานประเภทนั้น ๆ โดยมีสมมุติฐานว่า ถ้ายอมรับผลการรังวัดของผู้ทดสอบความแตกต่างค่าพิกัด (ΔX และ ΔY) ระหว่างผลการรังวัดและค่าปรับแก้ควรอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดนั้น และสำหรับ ΔX และ ΔY ผลที่ได้อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ เมื่อใช้ค่าปรับแก้เป็นหลักกล่าวคือ ΔX จะเป็นบวกเมื่อค่าพิกัดที่ได้จากผลการรังวัดในแนวแกน X (X_T) มากกว่าค่าพิกัดที่ได้จากผลการปรับแก้ (X_A) ณ จุดเดียวกัน และในทางตรงกันข้าม ถ้า $X_T < X_A$ ค่า ΔX จะเป็นลบ ในทำนองเดียวกัน ถ้า $Y_T < Y_A$ ค่า ΔY จะเป็นบวก และในทางตรงกันข้าม ถ้า $Y_T > Y_A$ ค่า ΔY จะเป็นลบ ส่วนเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ

สมมุติฐาน (C_i) ก็สามารถมีค่าได้ทั้งในทางบวกและทางลบเช่นกัน ดังนั้นในการทดสอบสมมุติฐานในที่นี้ จึงได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงการทดสอบสมมุติฐานในแต่ละกรณี จะขออธิบายถึงสัญญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในส่วนที่สัมพันธ์กับการทดสอบสมมุติฐานในงานวิจัยนี้ก่อน ซึ่งในที่นี้

X_T, Y_T คือค่าพิกัดจากผลการรังวัดของผู้ทดสอบในแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

X_A, Y_A คือค่าพิกัดจากผลการปรับแก้ในแนวแกน X และแกน Y ณ จุดเดียวกัน

ΔX, ΔY คือความต่างพิกัดระหว่างผลการรังวัดของผู้ทดสอบกับค่าปรับแก้ในแนวแกน X และแกน Y

C_i คือเกณฑ์กำหนดที่ยอมให้ผลการรังวัดมีค่าต่างจากค่าปรับแก้ (เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของงาน)

σ_{X_T}, σ_{Y_T} คือค่า S.D. ของพิกัดในแนวแกน X และแกน Y จากผลการรังวัดของผู้ทดสอบ ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ

σ_{X_A}, σ_{Y_A} คือค่า S.D. ของค่าพิกัดในแนวแกน X และแกน Y จากผลการปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน

S_{P_X}, S_{P_Y} คือการ Pooled variance ของค่าทดสอบกับค่าปรับแก้ในแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

n_T คือจำนวนสมการที่ใช้ในการหาค่าพิกัดจากการรังวัดของผู้ทดสอบ ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ

n_A คือจำนวนสมการค่าสังเกตที่ใช้ในการปรับแก้

เมื่อทราบถึงสัญญลักษณ์และความหมายแล้ว ต่อมาจะเป็นการตั้งสมมุติฐานให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ในการทดสอบ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในที่นี้สามารถกระทำได้ 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u>

เมื่อ $\begin{cases} X_T \\ Y_T \end{cases} \geq \begin{matrix} X_A \\ Y_A \end{matrix}$ จะใช้สมมุติฐาน

$$H_o : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} \geq C_i$$

$$H_A : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} < C_i$$

<u>กรณีที่ 2</u>

เมื่อ $\begin{cases} X_T \\ Y_T \end{cases} \leq \begin{matrix} X_A \\ Y_A \end{matrix}$ จะใช้สมมุติฐาน

$$H_o : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} \leq - C_i$$

$$H_A : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} > - C_i$$

กรณีที่ 1

ในการทดสอบผลการรังวัดจะทำการทดสอบทีละแกนคือ ในแนวแกน X และในแนวแกน Y สถิติที่เหมาะสมและจะต้องนำมาใช้ในการทดสอบสมมุติฐานในที่นี้มี 2 สูตรด้วยกัน (คณาจารย์จุฬา ,2523) คือ

ทดสอบความแตกต่างในแนวแกน X

$$H_o : \Delta X \geq C_i$$

$$H_A : \Delta X < C_i$$

สถิติที่ใช้สูตรแรกคือ

$$T_X = \frac{(X_T - X_A) - C_i}{S_{p_X}\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} \qquad \text{เมื่อ} \quad \sigma_{X_T} = \sigma_{X_A}$$

หรือ

$$T_X = \frac{\Delta X - C_i}{S_{P_X}\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6\text{-}5)$$

ผลที่ได้ของ T_X จะมีค่าเป็นลบ เพราะ $\Delta X < C_i$

$$df = n_T + n_A - 2$$

$$S_{P_X} = \sqrt{\frac{(n_T - 1)\ \sigma^2_{X_T} + (n_A - 1)\ \sigma^2_{X_A}}{n_T + n_A - 2}}$$

บริเวณวิกฤตของ T_X คือ $T_X < - t_{\alpha,df}$

ทดสอบความแตกต่างในแนวแกน Y

$$T_Y = \frac{\Delta Y - C_i}{S_{P_Y}\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6\text{-}6)$$

$$df = n_T + n_A - 2$$

ผลของ T_Y จะเป็นลบเช่นกัน เพราะ $\Delta Y < C_i$

$$S_{P_Y} = \sqrt{\frac{(n_T - 1)\ \sigma^2_{Y_T} + (n_A - 1)\ \sigma^2_{Y_A}}{n_T + n_A - 2}}$$

บริเวณวิกฤตของ T_Y คือ

$$T_Y < - t_{\alpha,df}$$

หรือสถิติที่ใช้สูตรที่สองคือ

จากสมมุติฐาน

$$H_o : \Delta X \geq C_i$$

$$H_A : \Delta X < C_i$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$T_X = \frac{\Delta X - C_i}{\sqrt{\frac{\sigma^2_{X_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{X_A}}{n_A}}} \qquad \text{เมื่อ} \quad \sigma_{X_T} \neq \sigma_{X_A} \qquad \ldots\ldots\ldots (6\text{-}7)$$

ผลของ T_X จะเป็นลบ

$$df = \frac{\left[\sigma^2_{X_T} + \sigma^2_{X_A}\right]^2}{\frac{(\sigma^2_{X_T}/n_T)^2}{n_T - 1} + \frac{(\sigma^2_{X_A}/n_A)^2}{n_A - 1}}$$

และ $$T_Y = \frac{\Delta Y - C_i}{\sqrt{\frac{\sigma^2_{Y_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{Y_A}}{n_A}}} \qquad \ldots\ldots\ldots (6\text{-}8)$$

ผลของ T_Y จะเป็นลบ

$$df = \frac{\left[\sigma^2_{Y_T} + \sigma^2_{Y_A}\right]^2}{\frac{(\sigma^2_{Y_T}/n_T)^2}{n_{T-1}} + \frac{(\sigma^2_{Y_A}/n_A)^2}{n_{A-1}}}$$

บริเวณวิกฤตของ T_X และ T_Y คือ

$T_X < -t_\alpha, df$ และ $T_Y < -t_\alpha, df$ เช่นเดียวกัน

ในการเลือกใช้สูตรใดนั้น จะขึ้นอยู่กับผลการทดสอบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการรังวัดกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ ทั้งนี้มีเหตุผลที่ว่า เนื่องจากทั้งค่าผลการรังวัดของผู้ทดสอบและค่าปรับแก้ต่างก็เป็นตัวอย่างที่ได้จากการสุ่ม (Random Sample) ด้วยกันทั้งคู่ แม้ว่าค่าปรับแก้ด้วยลีสท์สแควร์จะได้จากการสุ่มตัวอย่าง (การรังวัด) จำนวนมากและให้ค่าที่น่าเชื่อถือก็ตาม เพื่อความมั่นใจจึงควรตรวจสอบ S.D. ระหว่างค่าทั้งสองดูอีกครั้ง เพื่อจะได้เลือกใช้สูตรทางสถิติให้เหมาะสมที่สุดในแต่ละกรณี ซึ่งการทดสอบดังกล่าวก็สามารถทำได้โดยการทดสอบค่า S.D. (ทดสอบ Dispersion

Statistics) ลักษณะเดียวกับตัวอย่าง 6.2.2.2 ซึ่งใช้ F-test แล้วสรุปว่า S.D. จากผลการรังวัดของผู้ทดสอบเท่ากับ S.D. ของค่าปรับแก้หรือไม่ ถ้ามีค่าเท่ากันก็ใช้การ Pooled Variance หรือใช้ความแปรปรวนร่วมกัน ตามสูตรหรือสมการ (6-5) และ (6-6) แต่ถ้าผลการทดสอบสรุปว่า มีค่าไม่เท่ากันก็จะหันมาใช้สูตรหรือสมการที่ (6-5) และ (6-6)

กรณีที่ 2

การทดสอบอาศัยหลักการเดียวกับการทดสอบสมมุติฐานในกรณีที่ 1 แต่สูตรที่ใช้เครื่องหมายจะเปลี่ยนไปคือ

การทดสอบความแตกต่างในแนวแกน X จะใช้

$H_o : \Delta X \leq - C_i$

$H_A : \Delta X > - C_i$

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ

สูตรที่ 1

$$T_X = \frac{(\bar{X}_T - \bar{X}_A) + C_i}{S_{P_X}\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} \qquad \text{เมื่อ} \quad \sigma^2_{X_T} = \sigma^2_{X_A}$$

หรือ

$$T_X = \frac{\Delta X + C_i}{S_{P_X}\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6\text{-}9)$$

$$df = n_T + n_A - 2$$

$$S_{P_X} = \sqrt{\frac{(n_T - 1)\,\sigma^2_{X_T} + (n_A - 1)\,\sigma^2_{X_A}}{n_T + n_A - 2}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริเวณวิกฤตของ T_X คือ

$$T_X \geq t_{\alpha,df}$$

ในทำนองเดียวกัน การทดสอบความแตกต่างในแนวแกน Y

$$H_0 : \Delta Y \leq - C_i$$

$$H_A : \Delta Y > - C_i$$

$$T_Y = \frac{\Delta Y + C_i}{S_{P_Y}\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{เมื่อ} \quad \sigma^2_{Y_T} = \sigma^2_{Y_A} \qquad \ldots\ldots\ldots (6\text{-}10)$$

$$df = n_T + n_A - 2$$

$$S_{P_Y} = \sqrt{\frac{(n_T - 1)\,\sigma^2_{Y_T} + (n_A - 1)\,\sigma^2_{Y_A}}{n_T + n_A - 2}}$$

บริเวณวิกฤตของ T_Y คือ

$$T_Y \geq t_{\alpha,df}$$

สูตรที่ 2 ที่ใช้คือ

$$H_0 : \Delta X \leq - C_i$$

$$H_A : \Delta X > - C_i$$

$$T_X = \frac{\Delta X + C_i}{\sqrt{\frac{\sigma^2_{X_T}}{n_T} - \frac{\sigma^2_{X_A}}{n_A}}} \quad \text{เมื่อ} \quad \sigma^2_{X_T} \neq \sigma^2_{X_A} \qquad \ldots\ldots\ldots (6\text{-}11)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$df = \frac{\left[\frac{\sigma^2_{X_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{X_A}}{n_A}\right]^2}{\frac{(\sigma^2_{X_T}/n_T)^2}{n_T - 1} + \frac{(\sigma^2_{X_A}/n_A)^2}{n_A - 1}}$$

และ $T_Y = \frac{\Delta Y + C_i}{\sqrt{\frac{\sigma^2_{Y_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{Y_A}}{n_A}}}$ เมื่อ $\sigma^2_{Y_T} \neq \sigma^2_{Y_A}$ ..... (6-12)

$$df = \frac{\left[\frac{\sigma^2_{Y_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{Y_A}}{n_A}\right]^2}{\frac{(\sigma^2_{Y_T}/n_T)^2}{n_T - 1} + \frac{(\sigma^2_{Y_A}/n_A)^2}{n_A - 1}}$$

บริเวณวิกฤตของ T_X และ T_Y คือ $T \geq t_{\alpha,df}$

การเลือกใช้สูตรที่เหมาะสมก็อาศัยหลักการเดียวกับการเลือกใช้สูตรในกรณีที่ 1 เช่นกัน ดังนั้นต่อไปจะเป็นตัวอย่างการทดสอบผลการรังวัดที่ได้จากการทำ Study Case แต่ละกรณีตั้งแต่ตัวอย่างที่ 6.3.1.1 ถึง 6.3.1.7 โดยอาศัยหลักเกณฑ์และสูตรดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งค่า C_i ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สมมุติว่าตั้งเกณฑ์ไว้ $\pm$ 0.030 เมตร (3 ซม.) หมายความว่า ถ้าผลการรังวัดของผู้ทดสอบวัดได้ต่างจากค่าปรับแก้เกิน 3 ซม. จะไม่ยอมรับผลการรังวัดของผู้ทดสอบ แต่ถ้าผลการรังวัดของผู้ทดสอบวัดได้น้อยกว่าเกณฑ์ดังกล่าวนี้ ก็ถือว่าผลการรังวัดนั้นใช้ได้ หรือยอมรับผลการรังวัดนั้น

การตรวจสอบผลการรังวัดกรณี Polar

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุด 308 (รูปที่ 6.7)

ผู้ทดสอบ นายสุรศักดิ์ เธียรวณิชพันธ์

เครื่องมือรังวัด - กล้องวัดมุม Wild To หมายเลข 48721 (ปรับแก้แล้ว)

- เครื่องมือวัดระยะ ใช้ Steel tape (40 เมตร) ซึ่งวัด

เทียบกับความยาวของเส้นฐานตรวจสอบแล้ว = 0.000 เมตร

สิ่งที่ทราบ จากผลการรังวัดด้วยวิธี Polar จากตัวอย่าง 6.3.1.1 ทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308 โดยได้รวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุม (จุด 3) แล้ว คือ

- ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการรังวัด ณ จุด 308

$X_T = X_{308} = 500.027$ เมตร $\sigma_{X_T} = \sigma_{X_{308}} = 0.0052$ เมตร

$Y_T = Y_{308} = 529.964$ เมตร $\sigma_{Y_T} = \sigma_{Y_{308}} = 0.0025$ เมตร

$n_T = 2$ สมการ

- ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าปรับแก้ ณ จุด 308

$X_A = X_{308} = 500.000$ เมตร $\sigma_{X_A} = \sigma_{X_{308}} = 0.0000$ เมตร

$Y_A = Y_{308} = 529.960$ เมตร $\sigma_{Y_A} = \sigma_{Y_{308}} = 0.0010$ เมตร

$n_A = 355$ สมการ

การทดสอบ ทำโดยทดสอบทีละแกนคือ ทดสอบ ΔX ในแนวแกน X และ ΔY ในแนวแกน Y

การทดสอบได้ทดสอบทางสถิติ โดยใช้ F-test แล้ว ปรากฏว่า

$\sigma_{X_T} \neq \sigma_{X_A}$ และ $\sigma_{Y_T} \neq \sigma_{Y_A}$ โดยใช้ $\alpha = 0.05$

และในกรณีนี้ X_T และ $Y_T > X_A$ และ Y_A จึงเข้ากรณีที่ 1

$H_o : \frac{\Delta X}{\Delta Y} \geq 0.030$ เมตร

$H_A : \frac{\Delta X}{\Delta Y} < 0.030$ เมตร

สูตรที่ใช้คือ สูตร (6-7) และ (6-8)

$$T_X = \frac{\Delta_X - C_i}{\sqrt{\frac{\sigma^2_{X_T}}{n_T} + \frac{\sigma^2_{X_A}}{n_A}}}$$

$$df = \frac{\frac{(.0052)^2}{2} - \frac{(.0000)^2}{355}}{\frac{\left[(.0052)^2/2\right]^2}{2-1} + 0}$$

$$= 1$$

แทนค่า $T_X = \frac{(500.027 - 500.000) - 0.030}{\sqrt{\frac{(.0052)^2}{2} + 0}}$

$$= - 0.815$$

ในกรณีนี้บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ

$T_{X_{.10,1}} \leq - 3.078$ นั่นคือ ค่า T_X ที่คำนวณได้ไม่ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงยอมรับ H_o และสรุปว่าค่าต่างพิกัดในแนวแกน X ยังใช้ไม่ได้หรือไม่ยอมรับผลการรังวัดของผู้ทดสอบ (- 0.030 เมตร) จึงไม่ผ่านการทดสอบ

ทำนองเดียวกัน

$$T_Y = \frac{0.004 - 0.030}{\sqrt{\frac{(.0052)^2}{2} + 0}} = - 7.071$$

บริเวณวิกฤตคือ

$T_{Y_{.10,1}} \leq - 3.078$ เช่นกัน ซึ่งค่า T_Y ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_o และหันมายอมรับ H_A หรือสรุปว่า ผลการรังวัดให้ค่าแตกต่างทางแนวแกน Y เปรียบเทียบกับค่าปรับแก้อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้

ในทางปฏิบัติผลการรังวัดของผู้ทดสอบควรจะได้ความต่างพิกัดทั้งในแนวแกน X และแกน Y (เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปรับแก้) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับทั้งสองค่าจึงจะถือว่า ผู้ทดสอบ

ได้ทำการรังวัดมาถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถ้า T_X ผ่านการทดสอบ แต่ T_Y ไม่ผ่าน หรือ T_X ไม่ผ่าน แต่ T_Y ผ่าน ก็ถือว่าการรังวัดยังใช้ไม่ได้เช่นกัน ดังนั้นทั้ง T_X และ T_Y จะต้องผ่านการทดสอบจึงจะยอมรับผลการรังวัดนั้น ดังนั้นในกรณีนี้ผู้รังวัด (ผู้ทดสอบ) ควรรังวัดใหม่ (ถ้าได้ตรวจสอบและปรับแก้เครื่องมือรังวัดให้อยู่ในสภาพเหมาะแก่การใช้งานแล้ว) ถ้าผลการทดสอบยังไม่ผ่านอีก อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงขึ้น หรือถ้าจำเป็นควรใช้วิธีการรังวัดที่ละเอียดขึ้น หรือทดลองเปลี่ยนผู้รังวัดดูแล้วทดสอบผลใหม่

สำหรับการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Offset, Resection, Intersection, Traversing, Triangulation และ Trilateration คงอาศัยหลักการทดสอบลักษณะเดียวกับวิธี Polar นี้ เพราะวิธีการรังวัดต่าง ๆ เหล่านั้น ผลลัพธ์จะได้ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ แล้วนำมาตรวจสอบกับค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน โดยใช้สถิติเป็นตัวสรุปผลในการตัดสินใจว่า จะยอมรับผลการรังวัดของผู้ทดสอบนั้นหรือไม่

การตรวจสอบผลการรังวัดกรณี Offset

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุด 703 และ 803 (ดูรูปที่ 6.8)

ผู้ทดสอบ นายอิทธิ ศรีสิริสัตยวงศ์

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุม Wild To หมายเลข 48721 และ Steel tape 40 เมตร 1 เส้น

สิ่งที่ทราบ - จากผลการรังวัดในตัวอย่างที่ 6.3.1.2 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 703 และ 803 โดยรวมความคลาดเคลื่อนจากจุดควบคุม (จุด 203) แล้ว

คือจุด 703(E_1)	X_{703}	=	475.003	เมตร	$\sigma_{X_{703}}$	=	0.0050 เมตร
	Y_{703}	=	509.961	เมตร	$\sigma_{X_{703}}$	=	0.0016 เมตร
จุด 803(E_2)	X_{803}	=	475.003	เมตร	$\sigma_{X_{803}}$	=	0.0050 เมตร
	Y_{803}	=	504.962	เมตร	$\sigma_{Y_{803}}$	=	0.0014 เมตร
	n_T	=	2 สมการ				

- จากค่าปรับแก้จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดเดียวกันคือ

จุด 703(E_1) X_{703} = 475.002 เมตร $\sigma_{X_{703}}$ = 0.0009 เมตร

Y_{703} = 509.959 เมตร $\sigma_{Y_{703}}$ = 0.0009 เมตร

จุด 803(E_2) X_{803} = 475.002 เมตร $\sigma_{X_{803}}$ = 0.0009 เมตร

Y_{803} = 504.959 เมตร $\sigma_{Y_{803}}$ = 0.0009 เมตร

n_A = 355 สมการ

การทดสอบ คงกระทำได้ในลักษณะเดียวกับวิธี Polar คือ ก่อนอื่นต้องทดสอบดูก่อนว่า $\sigma_{X_T} = \sigma_{X_A}$ และ $\sigma_{Y_T} = \sigma_{Y_A}$ หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ได้ตรวจสอบแล้วปรากฏว่า

$\sigma_{X_T}{}_{703} \neq \sigma_{X_A}{}_{703}$ แต่ $\sigma_{Y_T}{}_{703} = \sigma_{Y_A}{}_{703}$

และกรณีนี้ $X_T > X_A$ และ $Y_T > Y_A$ ดังนั้นเข้ากรณีที่ 1 คือ

$$H_o : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} \geq 0.030 \quad \text{เมตร}$$

$$H_A : \begin{cases} \Delta X \\ \Delta Y \end{cases} < 0.030 \quad \text{เมตร}$$

สูตรที่ใช้คือ สูตร (6-7)

$$T_X = \frac{\Delta X - C_j}{\sqrt{\sigma^2_{X_T}/n_T + \sigma^2_{X_A}/n_A}} \qquad (\text{เนื่องจาก } \sigma_{X_T}{}_{703} \neq \sigma_{X_A}{}_{703})$$

$$df = \frac{\frac{(.005)^2}{2} + \frac{(.0009)^2}{355}^2}{\frac{[(.005)^2/2]^2}{1} + \frac{[(.0009)^2/354]^2}{354}}$$

$$= 1$$

แทนค่า

$$T_X = \frac{0.001 - 0.030}{\sqrt{(.005)^2/2 + (.0009)^2/355}} = -8.202$$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{X_{.10,1}} \leq -3.078$

ค่า T_X ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A แทน หรือสรุปว่า ผลการรังวัดนี้วัดได้น้อยกว่า 0.030 เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

$$T_Y = \frac{\Delta Y - C_i}{S_P\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}}$$

$$df = 2 + 355 - 2 = 355$$

$$S_{P_X} = \frac{(2 - 1)(.0016)^2 + (355 - 1)(0.0009)^2}{355}$$

$$= 0.0009$$

$$T_Y = \frac{0.002 - 0.030}{.0009\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{355}}} = -43.874$$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{Y_{.10,1}} \leq -3.078$

ในที่นี้ T_Y ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A แทน หรือสรุปว่า ผลการรังวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่น้อยกว่า .030 เมตร ซึ่งยอมรับได้

ทำนองเดียวกันเมื่อต้องการตรวจสอบผล ณ จุด 803

ณ จุด 803 จากการทดสอบด้วย F-test

$$\sigma_{X_{T_{803}}} \neq \sigma_{X_{A_{803}}} \quad \text{และ} \quad \sigma_{Y_{T_{803}}} = \sigma_{Y_{T_{803}}}$$

สมมุติฐานที่ใช้เหมือนกัน ซึ่งผลการคำนวณได้

$$T_X = \frac{.001 - .030}{\sqrt{\frac{(.005)^2}{2} + \frac{(.0009)^2}{355}}} = - 0.202$$

$df = 1$

$$T_Y = \frac{.003 - .030}{S_P\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{355}}}$$

$$S_{P_Y} = \frac{(2 - 1)(.0014)^2 + (3.55 - 1)(.0009)^2}{355}$$

$$= 0.0009$$

$$T_Y = \frac{- .027}{.0009 \times\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{335}}} = - 42.307$$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10, 1$ คือ $T_{.10,1} \leq - 3.078$

ซึ่งจะเห็นว่า ทั้ง T_X และ T_Y ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A แทน และสรุปว่า ผลการรังวัดใช้ได้

ดังนั้นสรุปได้ว่า จากการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Offset ณ จุด 703 และ 803 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้เพราะผลการรังวัดผ่านการทดสอบทั้ง 2 จุด

การตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Resection

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดจากการรังวัดด้วยวิธี Resection ณ จุด 505 (ดูรูป 6.9)

ผู้ทดสอบ นายอิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 104258

สิ่งที่ทราบ - จากผลการรังวัดด้วยวิธี Resection ในตัวอย่าง 6.3.1.3 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 505 โดยรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุม

ที่เกิดจากจุด 101, 109 และ 905 แล้ว คือ

X_{505} = 485.001 เมตร $\sigma_{X_{505}}$ = 0.0007 เมตร

Y_{505} = 519.962 เมตร $\sigma_{Y_{505}}$ = 0.0013 เมตร

และ n_T = 9 สมการ

- จากค่าปรับแก้ค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดเดียวกัน คือ

X_{505} = 485.002 เมตร $\sigma_{X_{505}}$ = 0.0006 เมตร

Y_{505} = 519.960 เมตร $\sigma_{Y_{505}}$ = 0.0008 เมตร

n_A = 355 สมการ

การทดสอบ กรณีนี้ปรากฏว่า $X_T < X_A$ ดังนั้น ΔX เป็นลบ จึงเข้ากรณีที่ 2

$H_o : \Delta X \leq -0.030$ เมตร

$H_A : \Delta X > -0.030$ เมตร

$$T_X = \frac{-.001 + .030}{S_P\sqrt{\frac{1}{n_T} + \frac{1}{n_A}}} = 143.196$$

$df = 9 + 355 - 2 = 362$

$$S_{P_X} = \frac{(9 - 1)(.007)^2 + (355 - 1)(.0006)^2}{362} = 0.0006$$

บริเวณวิกฤตคือ $T_{X_{.10,}} \geq 1.282$ ซึ่งค่า T_X ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต

และ $H_o : \Delta Y \geq 0.030$

$H_A : \Delta Y < 0.030$

และ $T_Y = \dfrac{.002 - .030}{\sqrt{\dfrac{(.0013)^2}{9} + \dfrac{(.0008)^2}{355}}}$

กรณีนี้ $\sigma_{X_T} \neq \sigma_{Y_A}$ และ $Y_T > Y_A$ จึงเข้ากรณี 1)

$$df = \frac{\left[\dfrac{(.0013)^2}{9} + \dfrac{(.0008)^2}{355}\right]^2}{\dfrac{(.0013)^2/9}{8}^2 + \dfrac{(.0008)^2/355}{354}^2} = 8$$

แทนค่า $T_Y = -64.307$

บริเวณวิกฤตที่ = 0.10 คือ $T_{Y_{0.10,8}} \leq -1.397$ ซึ่งจะเห็นว่าทั้งค่า T_X และ T_Y ต่างก็ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงหันมายอมรับ H_A หรือสรุปว่า ยอมรับผลการรังวัดนี้

การตรวจสอบผลการรังวัดกรณี Intersection

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัด จากการรังวัดด้วยวิธี Intersection ณ จุด 308 (ดูรูป 6.10)

ผู้ทดสอบ นายสุรศักดิ์ เธียรวณิชพันธ์

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 104258

สิ่งที่ทราบ จากผลการรังวัดด้วยวิธี Intersection ในตัวอย่างที่ 4.1 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด 308 โดยรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุม (จุด 2, 3 และจุด 908) แล้ว คือ

$X_T = X_{308} = 500.001$ เมตร $\quad \sigma_{X_{308}} = 0.0014$ เมตร

$Y_T = Y_{308} = 529.968$ เมตร $\quad \sigma_{Y_{308}} = 0.0019$ เมตร

$n_T = 9$ สมการ

จากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน จะทราบ

$X_A = X_{308} = 500.000$ เมตร $\quad \sigma_{X_{308}} = 0.0000$ เมตร

$Y_A = Y_{308} = 529.960$ เมตร $\quad \sigma_{Y_{308}} = 0.0009$ เมตร

$n_A = 355$ สมการ

การทดสอบ

จากการทดสอบ โดยใช้ F-test ที่ α 0.5 ทราบว่า

$\sigma_{X_{T_{308}}} \neq \sigma_{X_{A_{308}}} \qquad \sigma_{Y_{T_{308}}} \neq \sigma_{Y_{A_{308}}}$

ณ จุด 308 เนื่องจาก $X_T > X_A$ และ $Y_T > Y_A$ จึงเข้ากรณีที่ 1

$H_o : \frac{\Delta X}{\Delta Y} \geq 0.030$ เมตร

$H_A : \frac{\Delta X}{\Delta Y} < 0.030$ เมตร

ใช้สูตรทดสอบที่ (6-7) จะได้

$$T_X = \frac{.001 - .030}{\sqrt{(.0014)^2/9 + 0}} = -62.143$$

$$df = \frac{\left[\frac{(.0014)^2}{9} + \frac{(.0000)^2}{355}\right]^2}{\frac{(.0014)^2/9\ ^2}{8} + 0} = 8$$

ทำนองเดียวกัน $T_Y = \dfrac{.002 - .030}{\sqrt{(.0019)^2/9 + (.0009)^2/355}}$

$= -44.085$

$df = 8$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{.10,8} \leq -1.397$ ซึ่งค่าทั้ง T_X และ T_Y ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_o และยอมรับ H_A แทน นั่นคือสรุปว่า ผลการ-

รังวัดอยู่ในเกณฑ์ที่น้อยกว่า 0.030 เมตร จึงยอมรับผลการรังวัดนั้น

การตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Traversing

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุด 4 ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายก่อนสายวงรอบเข้าบรรจบ (ดูรูปที่ 6.11)

ผู้ทดสอบ ร.ท. พีรศักดิ์ อุ่นอก

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุม Wild T16 หมายเลข 42579 และเครื่องวัดระยะ Eldi-2 หมายเลข 121276

สิ่งที่ทราบ จากผลการรังวัดด้วยวิธี Traversing ในตัวอย่างที่ 5.1 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมแล้วคือ

$X_T = X_4 = 525.069$ เมตร $\sigma_{X_4} = 0.0025$ เมตร

$Y_T = Y_4 = 581.536$ เมตร $\sigma_{Y_4} = 0.0029$ เมตร

$n_T = 17$ สมการ

ค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกันคือ

$X_A = X_4 = 525.052$ เมตร $\sigma_{X_4} = 0.0021$ เมตร

$Y_A = Y_4 = 581.542$ เมตร $\sigma_{Y_4} = 0.0051$ เมตร

$n_A = 355$ สมการ

การทดสอบ กรณีนี้เนื่องจาก $X_T > X_A$ แต่ $Y_T < Y_A$ และ $\sigma_{Y_T} = \sigma_{X_A}$

$H_o : \Delta X \geq 0.030$ (เข้ากรณีที่ 1)

$H_A : \Delta X < 0.030$

$$T_X = \frac{525.069 - 525.052 - 0.030}{S_{P_X}\sqrt{\frac{1}{17} + \frac{1}{355}}} = -25.491$$

$df = 17 + 355 - 2 = 370$

$$S_{P_X} = \frac{(17 - 1)(.0025)^2 + (355 - 1)(.0021)^2}{370} = 2.054 \times 10^{-3}$$

$$= 0.002$$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{X_{.10,\infty}} \leq - 1.282$

เนื่องจาก $Y_T < Y_A$ จึงเข้ากรณี 2

$H_0 : \Delta Y \leq - 0.03$

$H_A : \Delta Y > - 0.03$

และ $$T_Y = \frac{581.536 - 581.542 + 0.030}{\sqrt{\frac{(.0029)^2}{17} + \frac{(.0015)^2}{355}}} \qquad (\sigma_{X_T} \neq \sigma_{X_A})$$

$$= 33.905$$

$$df = \frac{\left[\frac{(.0029)^2}{9} + \frac{(.0015)^2}{355}\right]^2}{\frac{\left[(.0029)^2/9\right]^2}{8} + \frac{\left[(.0015)^2/355\right]^2}{354}} = 8$$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{Y_{.10,8}} \geq 1.397$ ซึ่งจะเห็นว่าทั้ง T_X และ T_Y ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A แทน หรือสรุปว่าผลการรังวัดนี้ยอมรับได้ ถ้าต้องการตรวจสอบ ณ จุดอื่น ๆ อีก ก็สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกัน

การตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Triangulation

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Triangulation ณ จุด 2 (ดูรูปที่ 6.12)

ผู้ทดสอบ ร.ท. พีรศักดิ์ อุ่นอก

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ Wild T16 หมายเลข 42579

สิ่งที่ทราบ จากผลการรังวัดด้วยวิธี Triangulation ในตัวอย่างที่ 6.1 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยรวมความคลาดเคลื่อน เนื่องจากจุดควบคุมคือจุด 3, 4, 6 และจุด 7 แล้วคือ

ณ จุด 2 X_2 = 477.246 เมตร σ_{X_2} = 0.0018 เมตร

Y_2 = 425.971 เมตร σ_{Y_2} = 0.0019 เมตร

n_T = 20 สมการ

จากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน

X_2 = 477.244 เมตร σ_{X_2} = 0.0024 เมตร

Y_2 = 425.966 เมตร σ_{Y_2} = 0.0016 เมตร

n_A = 355 สมการ

การทดสอบ อาศัยหลักการทดสอบเหมือนการทดสอบการรังวัดในกรณีอื่นคือ

H_o : $\frac{\Delta X}{\Delta Y} \geq 0.030$ เมตร (เนื่องจาก $X_T > X_A$ จึงเข้ากรณีที่ 1)

H_A : $\frac{\Delta X}{\Delta Y} < 0.030$ เมตร

$$T_X = \frac{477.246 - 477.244 - .030}{S_{P_X}\sqrt{\frac{1}{20} + \frac{1}{355}}} \qquad (\text{กรณีนี้ } \sigma_{X_T} = \sigma_{X_A})$$

$df = 20 + 355 - 2 = 373$

$$S_{P_X} = \frac{(20 - 1)(.0018)^2 + (355 - 1)(.0024)^2}{373} = 2.3731 \times 10^{-3}$$

แทนค่าจะได้ $T_X = -51.339$

ทำนองเดียวกัน

$$T_Y = \frac{425.971 - 425.966 - .030}{S_{P_Y}\sqrt{\frac{1}{20} + \frac{1}{355}}} \qquad (\text{กรณีนี้ } \sigma_{Y_T} = \sigma_{Y_A})$$

$df = 373$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$S_{P_Y} = \frac{(20 - 1(.0019)^2 + (355 - 1)(.0016)^2}{373} = 1.61662 \times 10^{-3}$$

แทนค่าจะได้ $T_Y = -67.289$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_{.10,df} \leq -1.282$ ซึ่งจะเห็นว่าทั้ง T_X และ T_Y ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_0 แล้วหันมายอมรับ H_A หรือสรุปว่าผลการรังวัดด้วยวิธีนี้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และถ้าต้องการตรวจสอบผลการรังวัด ณ จุดอื่น ๆ อีก ก็สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกัน

การตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Trilateration

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธี Trilateration ณ จุด 5 (ดูรูปที่ 6.13)

ผู้ทดสอบ ร.อ. นพดล ไชดิศิริ

เครื่องมือรังวัด กล้องวัดมุมธีโอไดไลท์ Wild T16 หมายเลข 42579

สิ่งที่ทราบ จากผลการรังวัดด้วยวิธี Trilateration ในตัวอย่างที่ 6.3.1.7 จะทำให้ทราบค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุด 5 ซึ่งเป็นจุดที่ต้องการตรวจสอบ โดยรวมความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุม (จุด 3, 4, 6 และ 7) แล้วคือ

$X_5 = 588.645$ เมตร $\quad \sigma_{X_5} = 0.0065$ เมตร

$Y_5 = 517.864$ เมตร $\quad \sigma_{Y_5} = 0.0049$ เมตร

$n_T = 15$ สมการ

จากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกันจะทราบว่า

$X_5 = 588.647$ เมตร $\quad \sigma_{X_5} = 0.0014$ เมตร

$Y_5 = 517.864$ เมตร $\quad \sigma_{Y_5} = 0.0026$ เมตร

$n_A = 355$ สมการ

การทดสอบ

เนื่องจากในที่นี้ได้ทดสอบ โดยใช้ F-test ที่ $\alpha = 0.05$ แล้วว่า

$\sigma_{X_{T_{505}}} \neq \sigma_{X_{A_{505}}}$ $\sigma_{Y_{T_{505}}} \neq \sigma_{Y_{A_{505}}}$

เนื่องจาก $X_T < X_A$ จึงเข้ากรณีที่ 2

$H_o : \Delta X \leq -0.030$ เมตร

$H_A : \Delta X > -0.030$ เมตร เข้ากรณีที่ 2

สถิติที่ใช้คือ

$$T_X = \frac{588.645 - 588.647 + 0.030}{\sqrt{\frac{(.0065)^2}{15} + \frac{(.0014)^2}{355}}} = 16.667$$

$$df = \frac{\frac{(.0065)^2}{15} + \frac{(.0014)^2}{355}}{\frac{(.0065)^2/15^{\,2}}{14} + \frac{(.0014)^2/355^{\,2}}{354}}$$

$$= 14$$

ซึ่ง $T_X = 16.667$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_X \geq T_{X_{.010,14}}$ 1.345

และเนื่องจาก $Y_T = Y_A$ จึงเข้ากรณีที่ทั้งกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

$H_o : \Delta Y > 0.030$ เมตร

$H_A : \Delta Y < 0.030$ เมตร (ในที่นี้ใช้กรณีที่ 1)

ทำนองเดียวกัน $T_Y = \frac{517.864 - 517.864 - 0.030}{\sqrt{\frac{(.0049)^2}{15} + \frac{(.0026)^2}{355}}} = -23.572$

$df = 14$

บริเวณวิกฤตที่ $\alpha = 0.10$ คือ $T_Y \leq T_{Y_{.01,14}}$ -1.345

ซึ่งจะเห็นทั้ง T_X และ T_Y ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤต จึงปฏิเสธ H_0 คือ $\Delta X < 0.030$ และหันมายอมรับ H_A คือ $\Delta X > 0.030$ แทน จึงสรุปได้ว่า ผลการรังวัดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถจะยอมรับได้ และเมื่อได้ทดลองใช้สูตรกรณีที่ 2 ก็จะให้ผลลัพธ์ลักษณะเดียวกัน คือ สรุปว่ายอมรับผลการรังวัดนี้เช่นกัน

ดังนั้นจากการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธีต่าง ๆ ทั้ง 7 กรณี ส่วนใหญ่ผลการรังวัดจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากก่อนทำการรังวัดได้ตรวจสอบและปรับแก้เครื่องมือให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ถูกต้องตามหลักการใช้งาน และเนื่องจากผู้รังวัดที่นำมาทดลองรังวัดในสนามทดสอบเพื่อทำ Study Case นี้ ส่วนใหญ่เป็นผู้รังวัดที่มีประสบการณ์และมีความชำนาญในการรังวัดมาแล้วทั้งสิ้น

6.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบในแง่สถิติ

ในการทดสอบผลการรังวัดในแง่สถิตินั้น ผลการทดสอบจะมีอยู่ 2 กรณีคือ กรณีที่ผลการรังวัด "ผ่านการทดสอบ" และกรณีที่ผลการรังวัด "ไม่ผ่านการทดสอบ"

กรณีที่ผลการรังวัด "ผ่านการทดสอบ" นั้น ไม่ได้หมายถึงว่า องค์ประกอบของการรังวัดและวิธีการรังวัดจะดีสมบูรณ์ครบถ้วนทั้ง 3 ประการ แต่อาจหมายถึงว่า

- เครื่องมือรังวัดดี ผู้รังวัดดี จึงทำให้ผลการรังวัดผ่านการทดสอบ
- เครื่องมือรังวัดดี ผู้รังวัดยังไม่ดีนัก แต่ผลจากเครื่องมือดี อาจดึงให้ผลการรังวัดผ่านการทดสอบก็เป็นได้

อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้ถือว่า ถ้าผลการรังวัดผ่านการทดสอบก็ถือว่า การรังวัดนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ส่วนกรณีที่ผลการรังวัด "ไม่ผ่านการทดสอบ" นั้นแสดงว่า น่าจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของการรังวัดไม่ประการใดก็ประการหนึ่งในสามประการ ซึ่งการที่ผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบอาจหมายถึงว่า

- เครื่องมือรังวัดไม่ดี ผู้รังวัดไม่ดี ทำให้ผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบ
- เครื่องมือรังวัดดี ผู้รังวัดไม่ดีพอ ทำให้ผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เครื่องมือรังวัดไม่ดี ผู้รังวัดดี ทำให้ผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบได้เช่นกัน

เมื่อผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบ จึงควรหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น แล้วขจัดปัญหานั้นเสีย ซึ่งในกรณีนี้สามารถทำได้โดย การตรวจสอบและปรับแก้เครื่องมือรังวัดให้ถูกต้องมีสภาพสมบูรณ์ตามหลักการใช้งาน เมื่อสงสัยว่า สาเหตุมาจากเครื่องมือรังวัด หรือตรวจสอบขีดความสามารถในการรังวัดของผู้รังวัด เช่น ตรวจสอบความละเอียดและความ-ถูกต้องในการวัดมุมและระยะของผู้รังวัด ถ้าสงสัยว่า สาเหตุของความผิดพลาดมาจากผู้รังวัด เมื่อแก้ไขหรือขจัดปัญหานั้นได้แล้ว ให้ทำการรังวัดใหม่ ซึ่งถ้าเครื่องมือดี และผู้รังวัดดีแล้ว ผลการรังวัดควรผ่านการทดสอบ

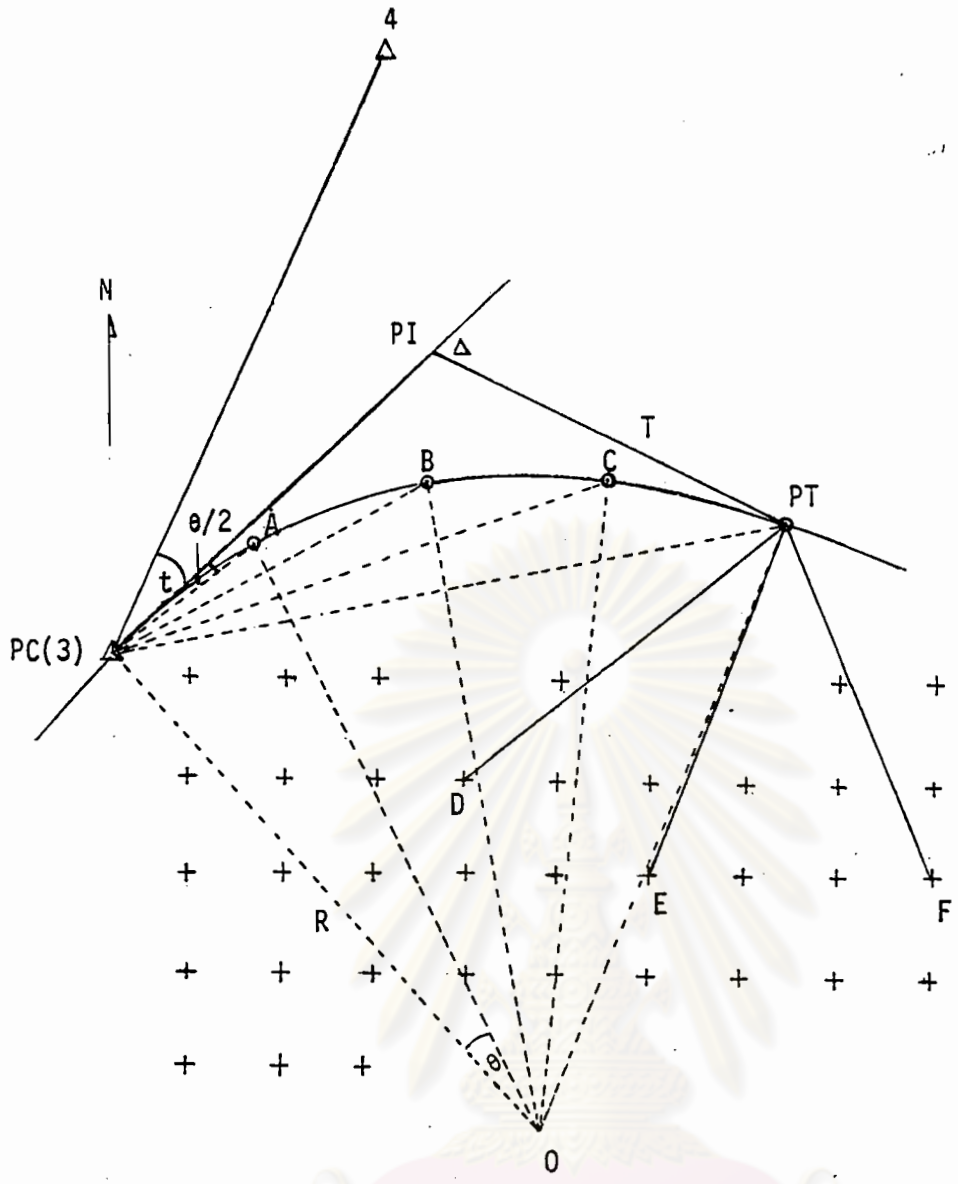
อนึ่งการทดสอบการรังวัดข้างต้นจะต้องกระทำภายใต้วิธีการรังวัดแบบเดียวกัน จึงจะสามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบได้

6.4.3 การตรวจสอบผลการรังวัดกรณีจุดที่ต้องการตรวจสอบอยู่นอกหมุดกริด

จากการตรวจสอบผลการรังวัด ดังที่กล่าวมาใน หัวข้อ 6.4 เป็นการตรวจสอบผลการรังวัด กรณีที่จุดต้องการตรวจสอบตกอยู่ภายในหมุดหลักฐานฯ ที่ออกแบบไว้ แต่ในงานรังวัดทางวิศวกรรมบางประเภท เช่น การวางโค้งในกิจการการทาง จะต้องทำการวางตำแหน่งของจุดต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เป็นระยะตามแนวส่วนโค้งของวงกลม ในกรณีนี้ถ้านำมาใช้กับสนามทดสอบจะทำให้จุดที่วางตำแหน่งต่อเนื่องเป็นระยะตามแนวส่วนโค้งของวงกลมเหล่านั้นตกอยู่ภายนอกหมุดกริด จึงไม่สามารถตรวจสอบผลการรังวัดได้โดยตรง ดังนั้นในที่นี้จะขออธิบายถึงวิธีการตรวจสอบผลการรังวัดกรณีดังกล่าวนี้ในเชิงบรรยายโดยสังเขป (เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนามจากการรังวัดในกรณีนี้จริง) เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบผลการรังวัดกรณีที่จุดซึ่งต้องการตรวจสอบตกอยู่ภายนอกหมุดกริด ซึ่งจะเป็นการประยุกต์ใช้สนามทดสอบให้ครอบคลุมการรังวัดทางวิศวกรรมด้วยวิธีต่าง ๆ ได้หลายแบบ

เพื่อความเข้าใจจะขออธิบายประกอบรูปที่ 6.14

จากรูป สมมุติว่า A, B, C เป็นจุดที่เกิดจากการวางโค้งในแนวนอนด้วยวิธีวางแนวโค้งจากเส้นสัมผัส (จุด A, B, C และ PT ตกอยู่ภายนอกหมุดกริด) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ปฏิบัติกันทั่วไป โดยกำหนดให้ทำการรังวัดออกจากจุดควบคุมที่ทราบค่าพิกัดแล้วในสนามทดสอบ



รูปที่ 6.10 การตรวจสอบผลการรังวัดผลการวางโค้ง

(ในที่นี้คือจุด PC(3) และจุด 4) ตามกรรมวิธีของการวางโค้งลักษณะดังกล่าว ซึ่งใช้สัญญลักษณ์ตาม ชูเกียรติ (2520) โดยมี

PI คือจุดที่แนวเส้นตรงซึ่งสัมผัสส่วนโค้งของวงกลม 2 เส้นมาพบกัน

PC หรือจุด 3 เป็นจุดเริ่มต้นของโค้งวงกลม และเป็นจุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วในสนามทดสอบ

จุด 4 คือหมุดควบคุมอีกหมุดหนึ่งที่ทราบค่าพิกัดแล้วในสนามทดสอบ

R คือรัศมีความโค้งของวงกลม

PT คือจุดปลายโค้งของวงกลม

θ คือมุมที่จุดศูนย์กลาง (Degree of Curve)

t คือมุมที่รังวัดในสนามทดสอบ

Δ คือมุมที่แนวทางใหม่เบนไปจากแนวทางเดิม

T คือระยะเส้นสัมผัสจาก PC หรือ PT ถึง PI

จุด D, E, F เป็นหมุดกริดในโครงข่ายสนามทดสอบที่จะเป็นหมุดควบคุม เพื่อ Intersect ไปตรวจสอบจุด PT

วัตถุประสงค์ ต้องการตรวจสอบผลการวางโค้ง ณ จุด PT

การตรวจสอบผล

การตรวจสอบผลการวางโค้งในกรณีนี้ เนื่องจากจุดที่ต้องการตรวจสอบผล (PT) ตกอยู่ภายนอกหมุดกริด จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบผลการรังวัดกับค่าปรับแก้ได้เหมือนกับกรณีที่จุดตรวจสอบตกอยู่ในหมุดกริดที่ออกแบบไว้ ด้วยเหตุนี้ การตรวจสอบผลจึงต้องอาศัยวิธี Intersect จากหมุดกริดที่มีอยู่หลายหมุดในสนามทดสอบไปยังจุดดังกล่าว (ถ้าต้องการให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือควรใช้หมุดกริดไม่ต่ำกว่า 3 จุด) แล้วคำนวณหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดนั้น ด้วยวิธีลีสท์สแควร์ลักษณะเดียวกับตัวอย่างที่ 6.14 (กรณี Intersection) ทั้งนี้เพื่อเป็นการหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น่าเชื่อถือไปตรวจสอบกับผลการรังวัดที่ได้จากการวางโค้ง ณ จุดเดียวกัน ดังนั้นการตรวจสอบผลการรังวัดในที่นี้จะต้องหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบผลให้ได้ก่อน โดยคำนวณอะซิมุทจากจุดควบคุมที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เมื่อทราบค่ามุม t จากการรังวัด ทราบค่ามุม $\theta/2$ และทราบค่าระยะจากจุด PC(3) ไปยังจุด A ก็จะทำให้หาค่าพิกัดของจุด A ได้ และโดยอาศัยหลักการในทำนองเดียวกัน ก็จะทำให้สามารถหาค่าพิกัดของจุด PT ซึ่งเป็นจุดที่ต้องการตรวจสอบได้ สำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุด PT สามารถหาได้จากกฎการแพร่ของความคลาดเคลื่อนสุ่ม (เนื่องจากเป็นการรังวัดที่ไม่มีค่า Redundancy) ที่ออกมาจากจุด PC ลักษณะเดียวกับตัวอย่าง 6.3.1.1 ส่วนการกำหนดเมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสังเกตของการวัดมุมและระยะที่ใช้ในการ Propagate สามารถประเมินได้จากการทดลองรังวัดจริงในสนามทดสอบ และเนื่องจากการวางโค้งเป็นวิธีการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอาจประเมินจากการทดลองรังวัด และเมื่อหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ก็นำไป

ตรวจสอบผลกับค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการ Intersect ที่ปรับแก้แล้ว แล้วนำไปทดสอบทางสถิติดังที่กล่าวมาแล้ว ก็จะทำให้สามารถตรวจสอบผลการวางโค้งหรือการรังวัดกรณีอื่นที่หมุดซึ่งต้องการตรวจสอบอยู่ภายนอกหมุดกริดได้เช่นเดียวกัน

อนึ่งการวางโค้งด้วยวิธีนี้ เป็นวิธีการรังวัดเพียงแบบหนึ่งที่มีทั้งการวัดมุมและระยะ และจุดที่วางโค้งแต่ละจุดเป็นอิสระแก่กัน กล่าวคือ ไม่ได้ใช้จุด A เป็นจุดอ้างอิงในการวางจุด B และไม่ได้ใช้จุด B เป็นจุดอ้างอิงในการวางจุด C ต่อ ๆ กันไป ถ้าเป็นการวางโค้งหรือการรังวัดลักษณะนี้ความคลาดเคลื่อนจะสะสมต่อเนื่องกันมาถึงจุดสุดท้าย ซึ่งก็สามารถทำการตรวจสอบผลได้โดยหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยการ Propagate อย่างต่อเนื่องกันมา แล้วตรวจสอบผล ณ จุดสุดท้ายได้ในลักษณะเดียวกัน (ถ้าไม่มีหมุดกริดในสนามทดสอบจะไม่สามารถตรวจสอบผลการรังวัดดังกล่าวได้)

จากตัวอย่างการทำ Study Case และการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธีการต่าง ๆ เมื่อจุดที่ต้องการตรวจสอบตกอยู่ในหมุดหลักฐานที่ออกแบบไว้และกรณีตรวจสอบผลการรังวัดเมื่อจุดที่ต้องการตรวจสอบตกอยู่นอกหมุดที่ออกแบบไว้ดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้สนามทดสอบสามารถตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ทางวิศวกรรมสำรวจหรือวิศวกรรมทั่วไปได้ตามวัตถุประสงค์

ดังนั้นการตรวจสอบผลการรังวัดในแง่สถิตินี้ จะสามารถตรวจสอบสิ่งต่อไปนี้ได้คือ

- ใช้ตรวจสอบผลการรังวัดของผู้รังวัด (ผู้ทดสอบ) ได้ว่า ผู้รังวัดนั้นทำการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งหรือกำหนดตำแหน่งได้ถูกต้องหรือไม่ โดยตรวจสอบผลการรังวัดกับผลที่ได้จากค่าปรับแก้ ณ จุดเดียวกัน แล้วทดสอบผลในแง่สถิติ เพื่อสรุปผลการรังวัดที่ได้

- ใช้ตรวจสอบผลการรังวัดในเชิงเปรียบเทียบระหว่างบุคคลได้ว่า ทำการรังวัดได้ถูกต้องหรือไม่ โดยเปรียบเทียบผลการรังวัดของแต่ละบุคคลกับผลที่ได้จากการปรับแก้แล้วทดสอบทางสถิติ ซึ่งอาจทำได้โดยให้ผู้ทดสอบใช้เครื่องมือรังวัดที่ผ่านการตรวจสอบและปรับแก้ดีแล้วมาทำการรังวัดโดยใช้เครื่องมือรังวัดชนิดเดียวกัน รังวัดไปยังจุดที่กำหนดไว้ ถ้าผลการรังวัดผ่านการทดสอบเหมือนกันก็แสดงว่า บุคคลเหล่านั้นวัดได้ถูกต้องทัดเทียมกัน แต่ถ้าบุคคลใดบุคคลหนึ่งวัดแล้วผลการรังวัดไม่ผ่านเกณฑ์ทดสอบก็ถือว่า ความถูกต้องในการรังวัดของบุคคลนั้นยังไม่สามารถยอมรับได้

- ใช้ตรวจสอบวิธีการรังวัดได้ว่า วิธีใดที่จะให้ความถูกต้องในการรังวัดสูงกว่ากัน ซึ่งอาจทำโดยใช้เครื่องมือรังวัดชนิดเดียวกัน ทำการรังวัดโดยคน ๆ เดียวกัน ที่มี Consistency ในการรังวัดดี ทำการรังวัดด้วยวิธีต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป และเมื่อทำการตรวจสอบผลการรังวัดแต่ละวิธีก็จะทำให้พอสรุปได้ว่า วิธีใดที่ให้ความถูกต้องในการรังวัดดีที่สุด หรือวิธีการใดที่ให้ความถูกต้องพอเพียง สะดวก และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงานประเภทนั้น ๆ

ข้อดี

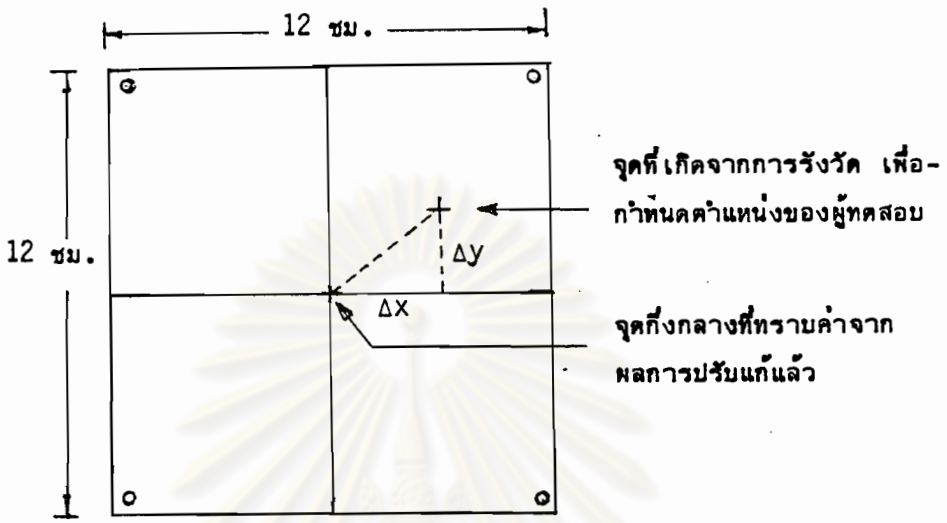
การตรวจสอบผลในแง่สถิตินี้มีความยืดหยุ่นคือ สามารถตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ทางวิศวกรรมสำรวจและวิศวกรรมทั่วไปได้ ทั้งวิธีการรังวัดที่จุดซึ่งต้องการตรวจสอบตกอยู่ในหมุดกริดและกรณีที่จุดซึ่งต้องการตรวจสอบตกอยู่นอกหมุดกริด เช่น กรณีการวางไค้ง ในหัวข้อ 6.4.2. ในทางปฏิบัติอาจใช้เครื่องคำนวณเล็ก ๆ (ที่สามารถโปรแกรมและนำไปใช้ในสนามได้) จัดทำโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีการรังวัดแต่ละวิธี ตลอดจนโปรแกรมการทดสอบผลการรังวัดทางสถิติไว้ล่วงหน้า เมื่อผู้ทดสอบรังวัดเสร็จก็จะสามารถตรวจสอบผลได้ทันที

ข้อเสีย

ต้องโปรแกรมใส่เครื่องคำนวณ และป้อนข้อมูลจากผลการรังวัดใส่ ซึ่งจะกินเวลาในการตรวจสอบผลพอสมควร โดยเฉพาะกรณีที่จุดซึ่งต้องการตรวจสอบผลอยู่นอกหมุดกริด เพราะต้องคำนวณหาค่าพิกัดและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบด้วยลีสท์สแควร์อีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำมาทดสอบผลในแง่สถิติ

6.4.4 การตรวจสอบผลการรังวัดในเชิงปฏิบัติ

การตรวจสอบผลการรังวัดในเชิงปฏิบัติ เป็นการตรวจสอบผลการกำหนดจุด (Setting-out) ของวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 6.4 ซึ่งงานประเภทนี้ มักเป็นงานด้านวิศวกรรมก่อสร้าง ซึ่งต้องกำหนดจุดหรือวางตำแหน่งที่ถูกต้องลงบนภูมิประเทศเพื่อเป็นพื้นฐานให้กับงานวิศวกรรมในขั้นต่อมา สำหรับงานวิจัยนี้ได้ให้ ผู้รังวัดกำหนดจุดหรือตำแหน่งที่ได้จากผลการรังวัด ณ จุดที่ต้องการตรวจสอบลงบนแผ่นเพลทของหมุดกริดในสนามทดสอบ ซึ่งออกแบบไว้เพื่อการตรวจสอบผลในการนี้โดยเฉพาะ



รูปที่ 6.1 การตรวจสอบผลการกำหนดตำแหน่งด้วยแผ่นตารางกราฟใส

การตรวจสอบผลจะพิจารณาความใกล้เคียงระหว่างจุดที่ได้จากการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งกับค่าที่ได้จากการปรับแก้ ซึ่งได้ทำเครื่องหมายกากะบาดไว้ ณ กึ่งกลางหัวหมุด (รูปที่ 6.15) ซึ่งสามารถตรวจสอบความใกล้เคียงด้วยสายตาหรือใช้ไม้บรรทัดมาตรฐานรังวัดค่าความต่างระหว่างจุดทั้งสอง (ΔX, ΔY) โดยถือว่าความคลาดเคลื่อนจากการอ่านขีดส่วนแบ่ง (Scale) และการแบ่ง Scale ของไม้บรรทัดรวมทั้งความคลาดเคลื่อนของจุดที่พล็อตโดยการ Setting-out มีค่าน้อยมาก ไม่มีผลทางปฏิบัติสำหรับการตรวจสอบงานในระดับชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบผลการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่ง งานวิจัยนี้จึงได้อาศัยแผ่นตาราง-กราฟใส (Cronaflex measuring sheet) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ 12 × 12 ซม. (ใกล้เคียงกับขนาดของแผ่นเพลท) มีขีดส่วนแบ่งย่อยละเอียดถึง 1 มม. (รูปที่ 6.16) สำหรับตรวจสอบผลการกำหนดตำแหน่งทำโดยใช้แผ่นกราฟใสดังกล่าวนี้ทาบลงบนจุดศูนย์กลางของแผ่นเพลท แล้วอ่านค่า ΔX, ΔY ที่เกิดจากการรังวัดออกมาโดยตรง ส่วนความละเอียดหรือเกณฑ์ยอมรับว่า ผลที่ได้ควรแตกต่างกันขนาดไหนนั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความต้องการตามความละเอียดของงาน Setting-out ประเภทนั้น ๆ ดังนั้นในที่นี้จะขอยกตัวอย่างผลการรังวัด

เพื่อกำหนดจุด 308 จากวิธี Polar (ตัวอย่างที่ 6.3.1.1) มาตรวจสอบผลเพียงตัวอย่างเดียวส่วนการตรวจสอบผลการรังวัดด้วยวิธีอื่นคงอาศัยหลักการอันเดียวกัน

การตรวจสอบผลการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งด้วยวิธี Polar

จากผลการตรวจสอบการกำหนดจุด 308 ในตัวอย่าง 6.3.1.1

วัดความต่างพิกัดของจุด 308 ที่ได้จากการกำหนดจุดต่างจากค่าปรับแก้ ณ กึ่งกลางแผ่นเพลท โดยใช้แผ่นตารางกราฟใสได้

ΔX = 0.031 เมตร

ΔY = -0.001 เมตร

ค่าพิกัดจากการปรับแก้ของจุด 308 คือ

X = 500.000 เมตร

Y = 529.960 เมตร

ค่าพิกัดของจุด 308 ที่คำนวณจากข้อมูลที่กำหนดให้ ($B\hat{A}C = 51^{o}\ 44^{'}$, BC = 39.956 เมตร)

X = 500.027 เมตร

Y = 529.964 เมตร

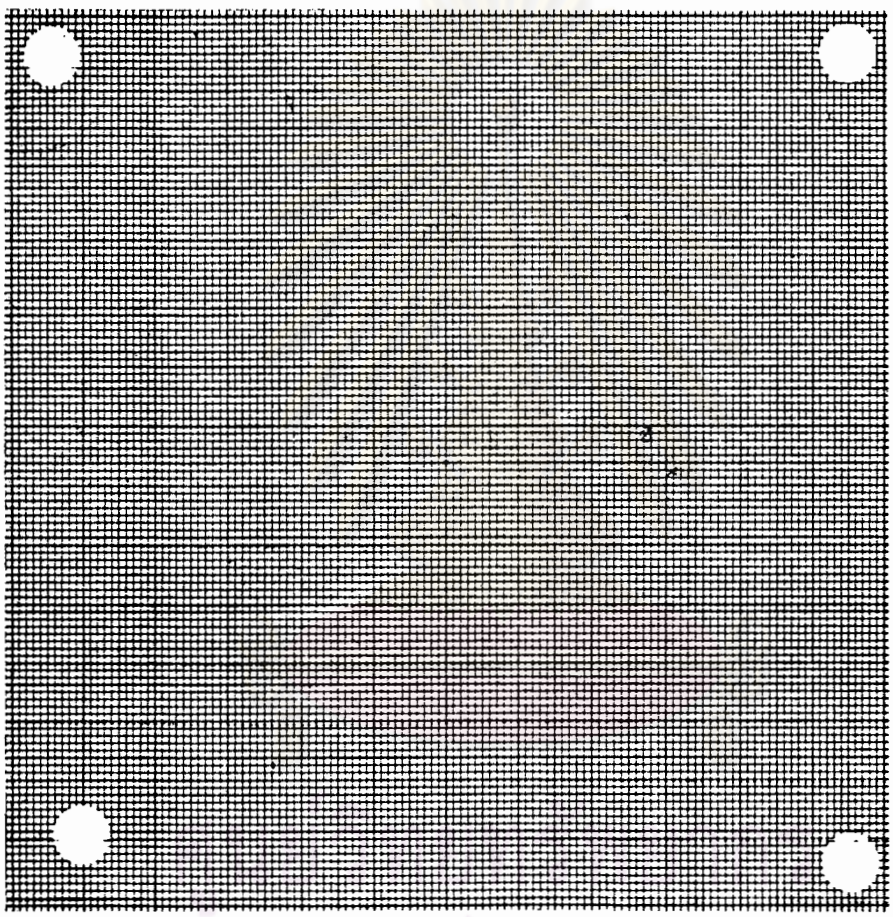
ค่าพิกัดของจุด 308 ที่รังวัดได้จากแผ่นตารางกราฟใส (อาศัยค่าปรับแก้เป็นหลัก)

X = 500.031 เมตร

Y = 529.959 เมตร

ทางทฤษฎีค่าพิกัดของจุด 308 ที่ได้จากการกำหนดจุดควรตรงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลรังวัดที่กำหนดให้ แต่ในทางปฏิบัติจะได้ค่าแตกต่างกัน และต่างจากค่าปรับแก้คือ

ΔX = 0.031 เมตร
ΔY = -0.001 เมตร
} เกณฑ์ยอมรับขึ้นกับความต้องการความถูกต้องหรือวัตถุประสงค์ของงาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.12 แผ่นตารางกราฟใส (Cronaflex measuring sheet)

ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนในการรังวัดเพื่อกำหนดจุด เช่น ขาดความประณีตในการรังวัดหรือเกิดความคลาดเคลื่อนในการ Centering (ในกรณีนี้เครื่องมือได้ผ่านการตรวจสอบและปรับแก้แล้ว)

ถ้า ΔX และ ΔY ไดเกินเกณฑ์แสดงว่า มีข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการรังวัดเกิดขึ้น ซึ่งการหาสาเหตุของปัญหาหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ตลอดจนแนวทางการแก้ไขจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ดังนั้นการตรวจสอบการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งในที่นี้ จะสามารถตรวจสอบในสิ่งต่อไปนี้ได้คือ

1. ความซื่อตรงในการรังวัดเพื่อกำหนดจุดของผู้ที่ทำการทดสอบ เพราะถ้าผู้รังวัดหรือผู้ทดสอบพยายามขยับจุดที่ Setting-out เข้าจุดศูนย์กลางของแผ่นเพลทมากกว่าความคลาดเคลื่อนในการรังวัดเท่าที่ควรจะเป็น (ค่าปรับแก้ไม่ต้องบอกให้ผู้ทดสอบทราบ) แสดงว่าผู้รังวัดนั้นมีความไม่ซื่อตรงต่อการรังวัด เนื่องจากพิกัดที่ได้จากการ Setting-out ของผู้รังวัดสามารถคำนวณจากข้อมูลรังวัดที่กำหนดให้ได้โดยตรง และตรวจสอบได้โดยอาศัยค่าพิกัดที่ปรับแก้และทราบค่าแล้ว

2. สามารถเปรียบเทียบการ Setting-out งานรังวัดของผู้รังวัดแต่ละคนได้ว่าใครมีความถูกต้องในการรังวัดเพื่อกำหนดจุดดีกว่ากัน โดยให้ผู้ทดสอบสองคนหรือมากกว่า ทำการรังวัดด้วยเครื่องมือและวิธีการรังวัดชนิดเดียวกัน เพื่อกำหนดตำแหน่งหรือค่าพิกัดทางราบ ณ จุดที่กำหนดให้ แล้วตรวจสอบผลด้วยสายตาหรือใช้แผ่นตารางกราฟใสตรวจสอบความใกล้เคียงในการกำหนดจุดว่า ใครสามารถกำหนดจุดได้ใกล้เคียงจุดศูนย์กลางแผ่นเพลทมากกว่าก็แสดงว่า ผู้นั้น Setting-out ได้ดีกว่า แต่ต้องทำการตรวจสอบผลตามข้อ 1 ด้วย

3. สามารถตรวจสอบวิธีการรังวัดที่ใช้ในกิจการสำรวจโดยทั่วไปได้ว่า วิธีใดจะให้ความถูกต้องดีกว่ากัน ด้วยการทดลอง Setting-out โดยใช้เครื่องมือที่ตรวจสอบและปรับแก้ดีแล้ว และใช้ผู้รังวัดที่มี Consistency ในการรังวัดดี ทำการรังวัดเพื่อกำหนดจุดด้วยวิธีต่าง ๆ แล้วดูความใกล้เคียงจากจุดศูนย์กลางหมุดกริด ซึ่งในที่สุดก็จะทำให้สามารถหาวิธีการรังวัดที่มีความถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว และเหมาะสมแก่ความต้องการของงานรังวัดในแต่ละประเภทได้

สรุปการตรวจสอบการรังวัด เพื่อกำหนดตำแหน่งสามารถตรวจสอบ

- ผู้ทำการรังวัดว่ามีความชื่อตรงต่องานรังวัดหรือไม่
- เปรียบเทียบการ Setting-out ระหว่างบุคคลได้
- เปรียบเทียบการ Setting-out ของวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ

(การทดสอบนี้เครื่องมือต้องผ่านการตรวจสอบและปรับแก้ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ตามหลักการใช้งานแล้ว)

ข้อดี

การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ สามารถตรวจผลการกำหนดจุดได้สะดวก รวดเร็ว ในบางกรณีอาจตรวจสอบด้วยสายตา เพื่อดูความใกล้เคียงของจุดที่ได้กับค่าปรับแก้โดยไม่ต้องอาศัยการคำนวณ เพราะเป็นการตรวจสอบผลในทางปฏิบัติ

ข้อเสีย

- การตรวจสอบด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดก็คือ ในการรังวัดเพื่อกำหนดจุดจะต้องกำหนดจุดโดยทำเครื่องหมายลงบนแผ่นเพลทของหัวหมุดกริดเท่านั้น เพราะมีค่าพิกัดที่ปรับแก้อยู่แล้ว ไม่สามารถตรวจสอบการรังวัดเพื่อกำหนดจุดของจุดที่อยู่นอกหมุดกริดดังกล่าวได้ เช่น กรณีการวางโค้งแล้วกำหนดจุดออกไปนอกหมุดกริด จะไม่สามารถตรวจสอบผลได้
- เป็นการตรวจสอบผลการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งหรือวางตำแหน่งเท่านั้น

6.5 <u>สรุปแนวทางการตรวจสอบถึงสาเหตุของปัญหาและการแก้ไข</u>

ปัญหา ข้อผิดพลาด และความคลาดเคลื่อนจากการรังวัด ที่ตรวจพบจากการทดลองใช้ประโยชน์ของสนามทดสอบ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกิจการรังวัดโดยทั่วไป ซึ่งสาเหตุของปัญหาดังกล่าวมาจากองค์ประกอบสำคัญในการรังวัด 3 ประการ คือ

1. สาเหตุจากเครื่องมือรังวัด
2. สาเหตุจากบุคคลผู้ทำการรังวัด
3. สาเหตุจากวิธีการรังวัดแบบต่าง ๆ ที่ใช้

ในการรังวัด องค์ประกอบสำคัญที่จะขาดเสียมิได้และมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดก็คือ เครื่องมือรังวัด ตัวผู้ทำการรังวัด และวิธีการที่ใช้รังวัด ดังนั้นถ้าต้องการทราบถึงสาเหตุของ

ปัญหาว่าเกิดจาก เครื่องมือรังวัด หรือผู้ทำการรังวัด หรือวิธีการรังวัด สามารถทำการแก้ไขได้ดังนี้

กรณีที่สาเหตุเกิดจากผู้ทำการรังวัด สามารถทำการตรวจสอบได้โดย

- ทดลองใช้ผู้ทดสอบ (อย่างน้อย 1 คน) มาทำการรังวัดในสนามทดสอบ โดยให้ทำการรังวัดด้วยเครื่องมือรังวัดและวิธีการรังวัดชนิดเดียวกัน เพื่อหาค่าพิกัดของจุดที่ต้องการทราบ ณ จุดที่กำหนดให้รังวัด ถ้าผลการรังวัดไม่ผ่านการทดสอบในแง่สถิติแสดงว่า สาเหตุของความคลาดเคลื่อนจะต้องมาจากเครื่องมือรังวัดหรือไม่ก็มาจากตัวผู้ทำการรังวัด แต่ถ้าเครื่องมือรังวัดได้ผ่านการตรวจสอบและปรับแก้ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์แล้ว ก็สามารถมุ่งประเด็นไปได้ว่าสาเหตุของความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นควรจะเกิดจากผู้ทำการรังวัด (ถ้าผู้รังวัดหรือผู้ทดสอบมากกว่า 1 คน ก็สามารถเปรียบเทียบผลการรังวัดได้ว่าใครรังวัดได้ถูกต้องกว่ากันและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่)

สรุปว่า ถ้าเครื่องมือรังวัดดีใช้วิธีการรังวัดแบบเดียวกัน สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการรังวัดควรเกิดจากบุคคลผู้ทำการรังวัด (ผู้ทดสอบ)

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเครื่องมือรังวัดดี และใช้ผู้ทำการรังวัดคนเดิมที่มี Consistency ในการรังวัดดีมาทำการตรวจสอบวิธีการรังวัดด้วยวิธีการหลาย ๆ แบบ ก็จะทำให้ทราบว่าวิธีการรังวัดแบบใดให้ความถูกต้องในการรังวัดมากกว่า หรือสรุปว่า ถ้าเครื่องมือรังวัดดี ผู้รังวัดดี เปลี่ยนแต่วิธีการรังวัด สาเหตุของความคลาดเคลื่อนควรมาจากวิธีการรังวัด

ในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนเครื่องมือและวิธีการรังวัดที่มีความละเอียดสูงขึ้น เพื่อดูผลที่ได้ ซึ่งในที่สุดก็จะทำให้สามารถหาสาเหตุของปัญหาฯ ที่เกิดจากองค์ประกอบเหล่านั้นได้ว่ามีสาเหตุมาจากสิ่งใดแน่ และสามารถขจัด ทำให้ลดลง หาหนทางหลีกเลี่ยงหรือแก้ไขได้

แนวทางแก้ไข

เมื่อทราบถึงสาเหตุของปัญหา การแก้ไขก็สามารถกระทำโดยขจัดที่ต้นเหตุของปัญหาโดยตรงกล่าวคือ

- ถ้าตรวจสอบพบว่า ข้อบกพร่องมีสาเหตุมาจากเครื่องมือรังวัด ต้องทำการตรวจสอบและปรับแก้เครื่องมือฯ ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ก่อน ไม่ควรนำเครื่องมือที่ไม่อยู่ในสภาพสมบูรณ์มาทำการรังวัด

- ถ้าตรวจพบว่า ตัวผู้ทำการรังวัดยังมีขีดความสามารถในการรังวัดไม่ถึงขั้นหรือไม่มีความชื่อสัตย์ต่องานรังวัด ยังขาดประสบการณ์หรือขาดความชำนาญในการรังวัด ให้แก้ไขโดยการสอนเพิ่มพูนความรู้ แล้วให้ทดลองฝึกรังวัดซ้ำหลาย ๆ หน ในสนามทดสอบ เพื่อหาสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง แล้วดำเนินการแก้ไขและตรวจสอบผลการรังวัดใหม่ จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

- สำหรับวิธีการรังวัด ถ้าวิธีการรังวัดวิธีหนึ่งให้ความละเอียดในการรังวัดน้อยกว่าอีกวิธีหนึ่ง เช่น วิธี Polar ให้ความละเอียดในการรังวัดน้อยกว่าวิธี Intersection ในการปฏิบัติงานตามโครงการจริง ถ้าตรวจพบว่า วิธีการรังวัดใดที่ให้ความละเอียดในการรังวัดสูงควรเลือกใช้วิธีการรังวัดที่ให้ความละเอียดสูงกว่า แม้ว่าจะใช้เวลาในการรังวัดมากกว่าก็ตาม ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดและการกำหนดจุดที่อาจเกิดขึ้นได้และจะมีผลกระทบต่องานวิศวกรรมในภายหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย