

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของหมุดถาวรบนตะม่อและกระบวนการรังวัดรวมทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น แนวทางการทำงานที่เสนอแนะเพื่อรังวัดให้ได้ความถูกต้องทางตำแหน่งดีขึ้น โดยในลำดับแรกทำการตั้งสมมุติฐานเพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในการรังวัด นอกเหนือจากที่สามารถประมาณค่าได้และกล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ทั้งนี้เพื่อนำไปทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยังเหลืออยู่และนำมาปรับแก้โดยตรงและไม่นำมาคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน ในลำดับต่อไป

สมมุติฐานที่จะนำมาทำการทดลองเพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการรังวัดมีดังนี้

- 1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความสามารรถในการส่องกล้อง
- 2) การหักเหของแสงในช่วงตลอดวัน
- 3) การตั้งกล้องกับขากล้องแบบ Forced Centering

ในที่นี้ข้างต้นจะกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลที่ทำการรังวัดเก่าเพื่อให้ทราบถึงความแม่นยำของการรังวัดสะพานพระราม 6 และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมาพอสังเขป

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

1. Total station TDM 5000 (Leica)	1	unit
2. Total station TC 1700 (Leica)	1	unit
3. ขากล้องแบบ Forced Centering		
4. Prism	1	unit
5. Thermometer	1	unit

6. Barometer	1	unit
7. Software MatLab 6.5	1	unit
8. Software Microsoft Office	1	unit
9. Software Columbus DEMO 3.2	1	unit
10. ข้อมูลการรังวัดเก่า		

สำหรับกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000 มีค่าความละเอียดถูกต้องสำหรับวัดมุมเท่ากับ 0.6" และการวัดระยะมีค่าเท่ากับ 1 mm + 2 ppm. และ สำหรับกล้อง Leica TC 1700 มีค่าความถูกต้องสำหรับการวัดมุมเท่ากับ 1.5" ความละเอียดสำหรับการวัดระยะทางเท่ากับ 2 mm + 2 ppm. กำลังขยายเท่ากับ 30x. ดังนั้นในการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนจะนำค่าความละเอียดถูกต้องของกล้องแบบประมวลผลทั้งสองแบบมาคำนวณ เพื่อจะนำมาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องที่ได้ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความถูกต้องของผลการรังวัดที่ต่างกันระหว่างการทดลองและผลการรังวัดเดิม นอกจากนี้การใช้ติดตั้งกล้องแบบ Forced Centering วัดจุดประสงค์เพื่อจะสามารถวัดความสูงของกล้องที่รังวัดได้

3.2 ความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขณะการรังวัด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วตอนต้นของบทที่ 3 ว่าการรังวัดสะพานพระรามหก มีความต่างจากการทำงานสำรวจทั่วๆ ไปหลายประการ ทำให้เกิดข้อสังเกตว่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ในระหว่างการทำการรังวัด โดยศึกษาถึงค่าความคลาดเคลื่อนในส่วนต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้อีก โดยจะพิจารณาเพิ่มในอีก 3 ส่วนด้วยกันโดยแยกออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

3.2.1 ความสามารถในการส่องกล้อง

3.2.2 การหักเหของแสงในช่วงตลอดวัน

3.2.3 ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งกล้องด้วยขากล้องแบบ Forced Centering

3.2.1 ความสามารถในการส่องกล้อง

ในระหว่างการทำภารกิจวัดได้มีการศึกษาถึงพิกัดความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่ทำการส่องกล้อง โดยในการทดสอบผู้ทำการทดลองใช้กล้องแบบประมวลผล Leica TC1700 เพียงแบบเดียว สาเหตุเพราะกำลังขยายของกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000 และ Leica TC 1700 มีค่าเท่ากันประมาณ 30x. ทดสอบโดยส่องกล้องไปยังเป้าที่ระยะห่างระหว่างกล้องถึงเป้า 250 เมตร ทำการอ่านค่ามุมที่ส่องได้ โดยทำการทดลองส่องทั้งหมด 3 คน คนละ 2 ชุด ชุดละ 30 ค่า (การรังวัดมุม) การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการส่องกล้อง ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

- คำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการส่องกล้องแต่ละครั้งจากสมการ 3.1 ทั้งหมด 6 ครั้ง (3 คน คนละ 2 ชุด)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (3.1)$$

โดย

x = ค่ามุมที่รังวัดอ่านค่าได้

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยของมุมที่รังวัด

n = จำนวนค่าสังเกต

- นำค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากหัวข้อผลกระทบจากขีดความสามารถจากการส่อง (Sighting Error)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการส่องกล้องของ 3 คน คนละ 2 ชุด

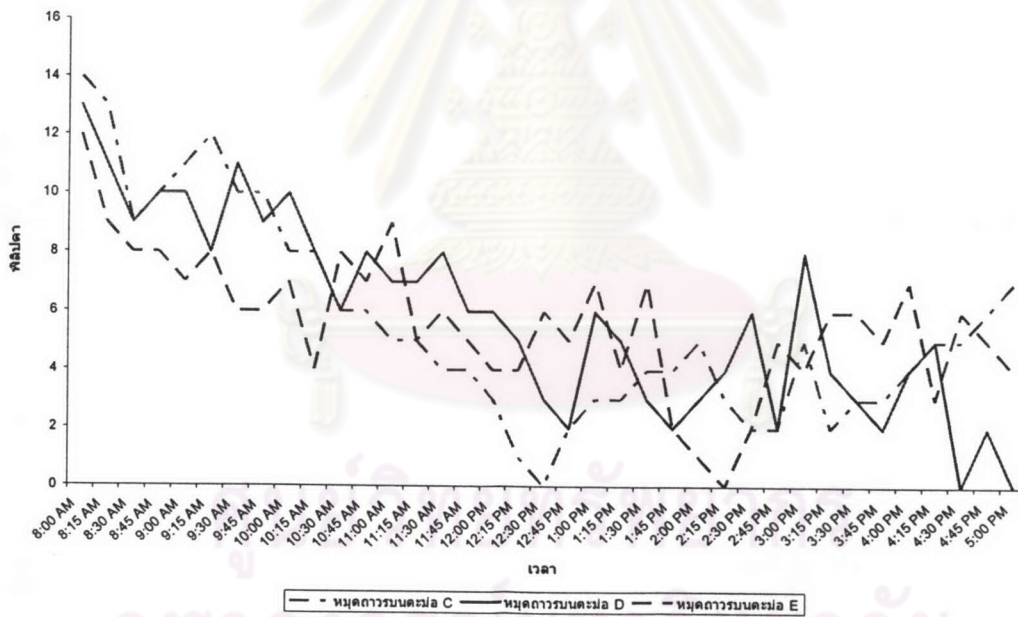
ข้อมูล		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการส่องกล้อง
คนที่ 1	ชุดที่ 1	2.46"
	ชุดที่ 2	2.03"
คนที่ 2	ชุดที่ 1	1.99"
	ชุดที่ 2	2.47"
คนที่ 3	ชุดที่ 1	2.90"
	ชุดที่ 2	2.02"

จากตารางที่ 3.1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการส่องกล้องของทั้งสามคนทั้งหมด 6 ชุด ประมาณ 2.3 ฟลิปดา เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากสมการ (2.4) ในหัวข้อ ผลกระทบจากขีดความสามารถจากการส่อง (Sighting Error) ซึ่งเท่ากับ 1 ฟลิปดา ต่างกันเท่ากับ 1.3 ฟลิปดา ทำให้สรุปได้ว่า การส่องกล้องเพื่อวัดสอบสะพานพระรามหก มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ทำการศึกษาไว้แล้วในหัวข้อ Sighting Error ดังนั้นจึงนำค่าความสามารถของการส่องกล้องจากตารางที่ 3.1 มาพิจารณาเพิ่มเข้าไปอีก โดยจะใช้ค่า 2.3 ฟลิปดานำไปแทนค่าในส่วน of ความสามารถของการส่องกล้องในการคำนวณการแพร่ของค่าคลาดเคลื่อนต่อไป

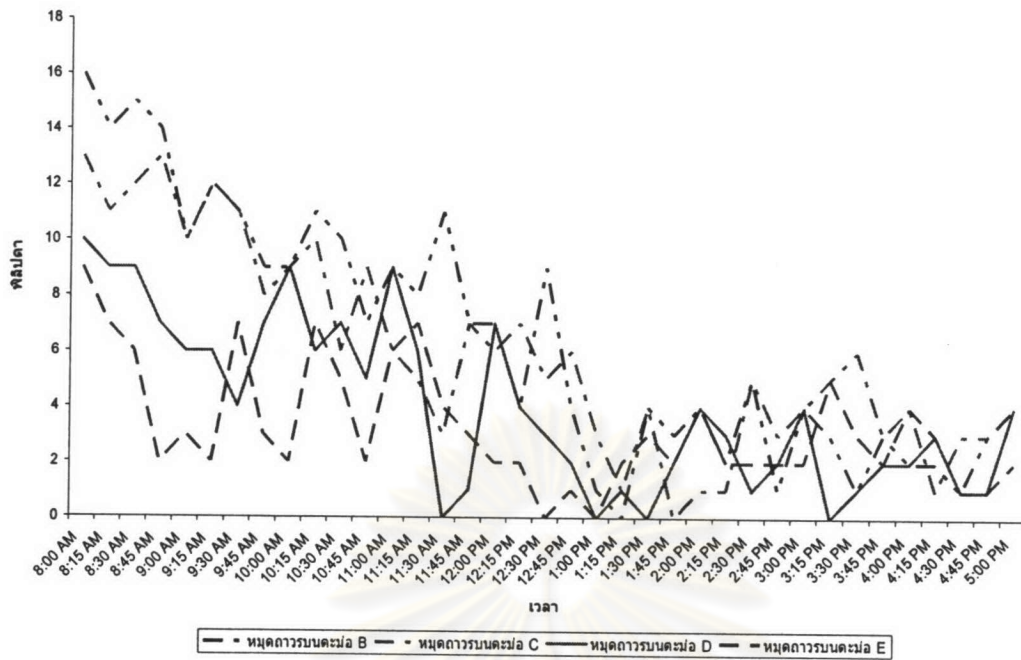
3.2.2 การหักเหของแสงที่มีผลต่อการทำการรังวัดมุมสูง

เนื่องจากการรังวัดโดยการส่องไปยังสะพานพระรามหก ในแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นต้นเหตุของการหักเหของแสง ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยทำการรังวัดที่สะพานพระรามหก เพื่อศึกษาหาขนาดการหักเหของแสงที่มีผลต่อการทำการรังวัดมุมสูง ดังนั้นผู้ทำการทดลองได้ทำการรังวัด 2 ครั้ง (พฤศจิกายน 2546) โดยผู้ทำการทดลองเลือกวันที่อากาศปกติ ไม่มีฝนตก ทำการรังวัดโดยตั้งกล้องที่ จุดBM1(ปลายสะพานพระราม 7 ฟังชนบุรี) ส่องไปยังหมุดถาวรบนตะม่อ B,C,D และ E สาเหตุก็เพื่อจะเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมสูงเมื่อระยะที่รังวัดต่างกัน โดยการรังวัดมุมสูงแต่ละครั้งจะรังวัดทั้งหน้าซ้ายและหน้าขวาจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่ามุมสูงของการรังวัดในแต่ละครั้ง ทำการรังวัดมุมสูงของตะม่อทั้ง 4 ตะม่อ โดย รังวัด 1 ครั้งต่อ 1 วัน ทำการรังวัดทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 08.00 - 17.00 น. ดังนั้นจากการรังวัดแต่ละครั้งจะมีข้อมูลทั้งหมด 37 ค่าต่อ 1 ตะม่อ ในขณะที่รังวัดสภาพอากาศ ร้อนปกติ และนำค่ามุมสูงแต่ละครั้งมาทอนด้วยค่าอ้างอิง(ค่ามุมสูงที่น้อยที่สุดในแต่ละวันแต่ละตะม่อที่รังวัด)

นำค่าดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับเวลา ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 (ก) และ รูปที่ 3.1 (ข) แกนตั้ง คือค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง แกนนอนคือเวลาที่ทำการวัดสอบ เริ่มต้นจาก 08.00 – 17.00 น.ของทั้ง 2 วันที่ทำการทดลอง จากรูปที่ 3.1 (ก) และ รูปที่ 3.1 (ข) จะเห็นว่ามิลักษณะที่เหมือนกันกล่าวคือ มุมสูงลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป จุดต่ำสุดอยู่ที่ช่วงเวลา ประมาณ 14.00 น. และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ช่วงของข้อมูลอยู่ในช่วง 4 พิลิปดา ถึง 11 พิลิปดา นอกจากนี้จากกราฟสังเกตรูปที่ 3.1 (ก) และรูปที่ 3.1 (ข) เมื่อนำค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดของแต่ละระลอกมาทำการเปรียบเทียบ พบว่าผลการรังวัดมีความแตกต่างกันในแต่ละระลอก ดังนี้ ค่ามุมสูงของการส่องไปยังหอคถาวรบนระลอก B มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในทิศทางที่น้อยลง สำหรับค่ามุมสูงที่ส่องไปยังหอคถาวรบนระลอก C,D และ E นั้นมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่น้อยลงเช่นกันแต่น้อยกว่า และเมื่อสังเกตถึงขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสูงที่รังวัดที่ได้จากรูปที่ 3.1 (ก) และ รูปที่ 3.1 (ข) ทำให้ทราบได้ว่าค่ามุมสูงที่เปลี่ยนแปลงมีค่าแปรผันตามเวลาและระยะทางที่รังวัดจากจุดตั้งกล้องถึงหอคถาวรบนระลอก

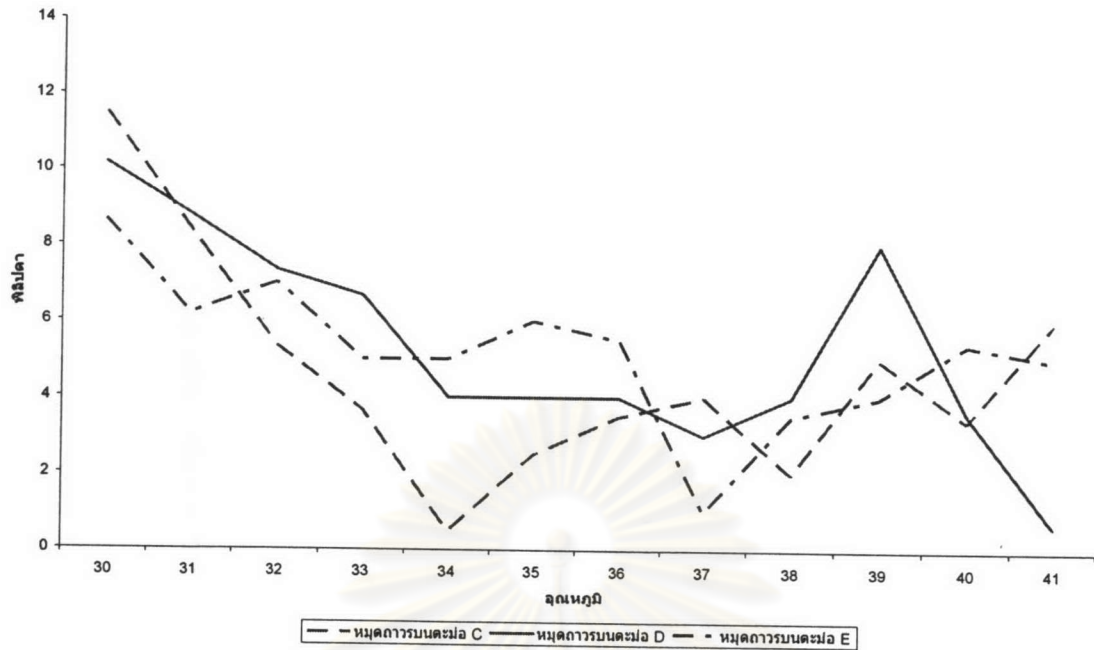


รูปที่ 3.1 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง กับ เวลาที่ทำการรังวัดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546

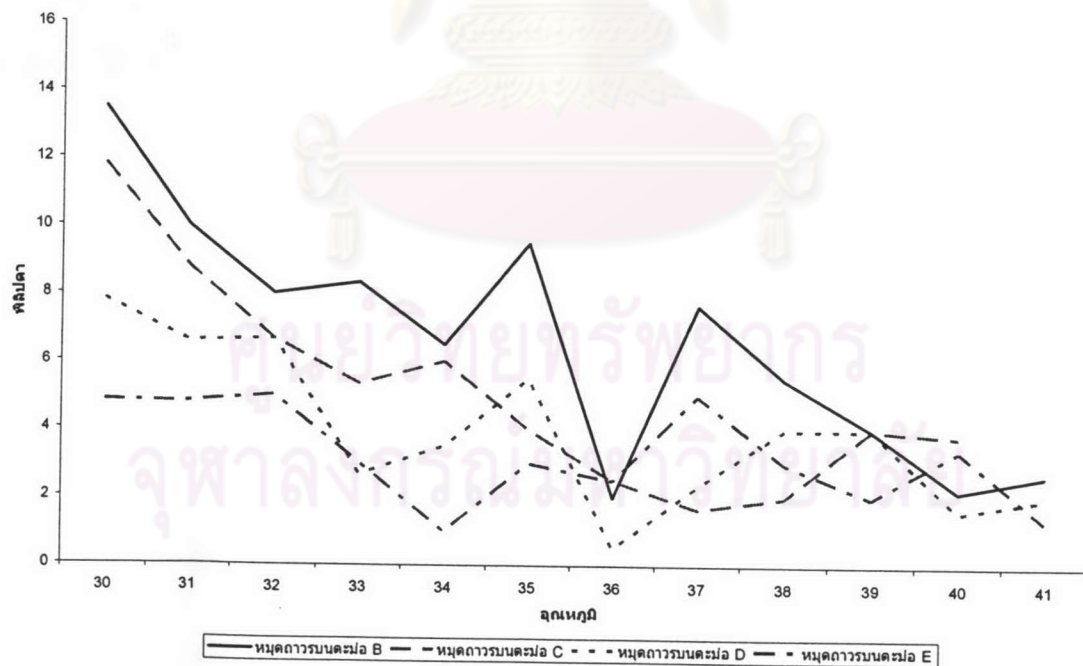


รูปที่ 3.1 (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง กับ เวลาที่ทำการรังวัดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2546

ต่อจากนั้นผู้ทำการทดลองนำค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง (ค่ามุมสูงที่น้อยที่สุดที่รังวัดในแต่ละวัน) จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ร่วมกับอุณหภูมิขณะรังวัด ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก) และ รูปที่ 3.2 (ข) เพื่อจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่มีระหว่างค่ามุมสูงและอุณหภูมิในขณะรังวัด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก) และ รูปที่ 3.2 (ข) แกนตั้งแสดงค่ามุมสูงที่ทอนด้วยค่าอ้างอิง แกนนอนแสดงอุณหภูมิขณะรังวัด จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่มากขึ้น ค่ามุมสูงที่รังวัดจะมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 3.2 (ก) และ 3.2 (ข) สำหรับรูปที่ 3.2 (ก) กราฟค่าสูงสุดและต่ำสุดของกราฟได้แก่ค่ามุมสูงที่รังวัดจากหมวด BM1 ไปยังหมวดการบนตะม่อ C สำหรับรูปที่ 3.2 (ข) กราฟค่าสูงสุดและต่ำสุดของกราฟได้แก่ค่ามุมสูงที่รังวัดจากหมวด BM1 ไปยังหมวดการบนตะม่อ B เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเท่ากัน ระยะทางที่ไกลกว่าจะส่งผลทำให้มุมสูงเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าระยะทางที่ใกล้กว่าดังแสดงตารางที่ 3.2 แสดงค่าผลต่างของค่าสูงสุดต่ำสุดของมุมสูงที่รังวัด บริเวณสะพานพระรามหก เห็นได้ว่าค่ามุมสูงที่ได้จากการวัดสอบไปยังหมวดการบนตะม่อ B มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาเป็นค่าที่ได้จากการรังวัดไปยังหมวดการบนตะม่อ C ,D และ E ตามลำดับ ทำให้เห็นได้ชัดว่าค่าการหักเหของแสงแปรผันตามระยะทางที่รังวัด



รูปที่ 3.2 (ก) แสดงความสัมพันธ์ค่ามุมสูงของแต่ละตะม่อทอนด้วยค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละวันที่
รังวัด และอุณหภูมिरังวัดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546

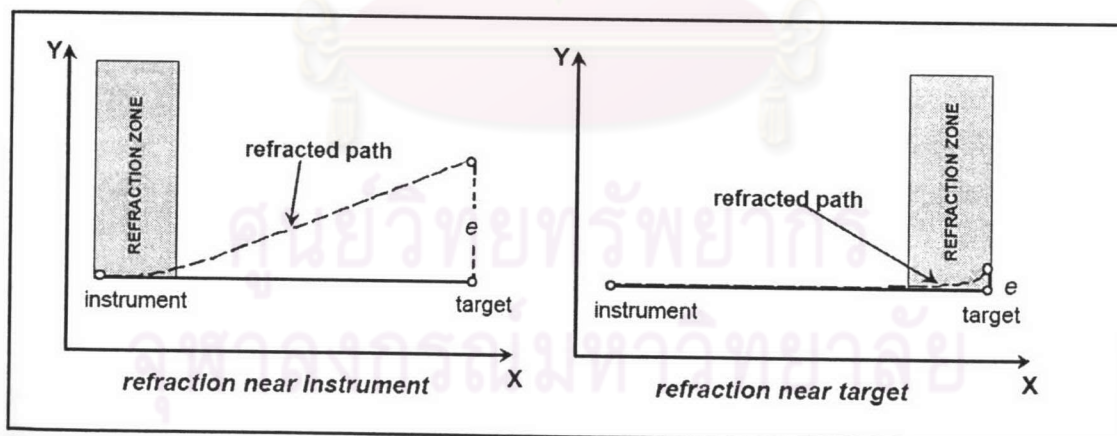


รูปที่ 3.2 (ข) แสดงความสัมพันธ์ค่ามุมสูงของแต่ละตะม่อทอนด้วยค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละวันที่
รังวัด และอุณหภูมिरังวัดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2546

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าผลต่างของค่าสูงสุดต่ำสุดของมุมสูงที่รังวัด บริเวณสะพานพระรามหก

ตะม่อ	ระยะห่างจาก BM1 (เมตร)	ค่าผลต่างมุมสูงระหว่างค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด(ฟิลิปดา)	
		วันที่ 24 พฤศจิกายน 2546	วันที่ 25 พฤศจิกายน 2546
B	348.989		12
C	271.025	11	10
D	169.217	9	7
E	120.218	8	4

ในการทำการวัดสอบโครงสร้างสะพานพระรามหกการหักเหของแสงทำให้ค่ามุมสูงที่รังวัดมีค่าน้อยลงดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1 (ก) และ 3.1 (ข) โดยจากการศึกษาลักษณะพฤติกรรมของการหักเหของคลื่นเป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 3.3 ดังต่อไปนี้ เมื่อ แกนราบ (X) คือระยะทางจากจุดตั้งกล้องไปถึงเป้า และแกนตั้ง (Y) คือ ค่าความสูง ค่า e คือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหักเหของแสง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะพฤติกรรมของการหักเหของคลื่นจากตำแหน่งที่ตั้งกล้องส่องถึงเป้าที่มาจาก US Army Corps of Engineers (2002)

US Army Corp of Engineers (2002) กล่าวไว้ว่าจากรูปที่ 3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ e โดยใช้สมการที่ 3.2 ในการคำนวณหาค่าระยะ e ดังนี้

เมื่อ

$$e = \frac{(k \cdot s^2)}{2 \cdot R} \quad (3.2)$$

โดย

e คือ ระยะความคลาดเคลื่อนทางดิ่งที่ตำแหน่งเป้าที่รังวัด เมตร

k คือ Coefficient of Refraction

s คือ ระยะทางถึงเป้า เมตร

R คือ รัศมีโลก (~6371000 m) เมตร

จากสมการที่ 3.2 เป็นสมการรูปต่างๆ ไปในสมการยังติดค่า Coefficient of Refraction (k) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่า Temperature Gradient (dT/dy) ในการหาค่า Coefficient of Refraction (k) ใช้สมการที่ 3.3 ในการหาค่าได้ดังนี้

$$k = 508 \cdot 8 \cdot \left(\frac{P}{T^2} \right) \cdot \left(\frac{dT}{dy} \right) \quad (3.3)$$

โดย

k คือ Coefficient of Refraction

P คือ ความดันบรรยากาศ (mb)

T คือ อุณหภูมิ (Kelvin)

(dT/dy) คือ Temperature Gradient (dec C/m.)

จากสมการที่ 3.3 เมื่อแทนค่า โดยประมาณจากสนามคือ Temperature Gradient (dT/dy) เท่ากับ 0.5 dec C/m. ความดันบรรยากาศ 1015 mb. อุณหภูมิ 308 Kelvin จะทำให้ได้ค่า

Coefficient of Refraction (k) ประมาณ 2.5 ดังนั้นจากสมการที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าค่าระยะความคลาดเคลื่อนทางดิ่งที่ตำแหน่งเป้าที่รังวัด (e) นั้นจะแปรผันตามระยะทางที่รังวัด และจากค่าระยะความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง (e) ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าการหักเหของแสงส่งผลกระทบต่อ การรังวัด และส่งผลถึงการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ ดังนั้นในการทำการรังวัดและนำผลการรังวัดมาคำนวณจึงได้ผลที่ไม่น่าพอใจ โดยค่าที่ได้นี้จะนำไปตรวจแก้โดยตรง จากค่าที่ทำการรังวัดมาในแต่ละครั้ง โดยในการรังวัดทุกครั้งจะต้องมีการบันทึก อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ มาด้วยเพื่อนำไปตรวจแก้ในขั้นตอนการคำนวณ โดยตารางที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณค่าแก้ไขของการวัดสอบจากแต่ละจุดตั้งกล้อง โดยการคำนวณใช้ค่า Coefficient of Refraction (k) เท่ากับ 2.5 แทนค่าในสมการ 3.2

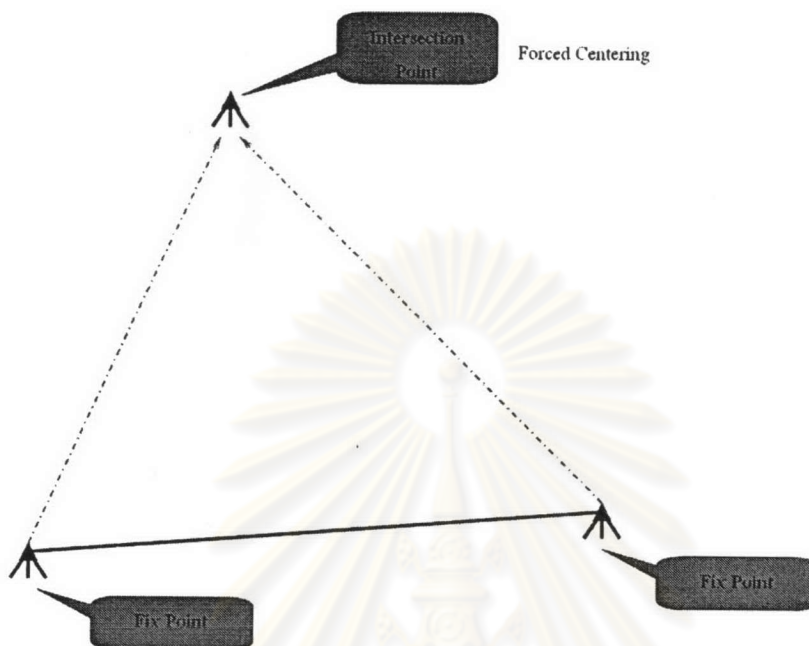
ตารางที่ 3.3 แสดงผลการคำนวณค่าแก้ไขเพื่อนำไปตรวจแก้ค่าความสูง

STA	TARGET	CORRECTION(e) m.	Remark
BM1	A	0.035	$k = 2.5$
	B	0.024	
	C	0.014	
	D	0.006	
	E	0.003	
BM2	C	0.005	
	D	0.010	
	E	0.016	
	F	0.025	
BM3	B	-	
	C	0.003	
	D	0.011	
	E	0.020	

3.2.3 ความคลาดเคลื่อนจากการตั้งกล้องในการทำงานใช้ขาตั้งแบบ Forced Centering

จากกระบวนการวัดสอบสะพานพระรามหก ข้อเสนออีกประเด็นว่าอาจจะเป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อน การทำการทดลองในครั้งนี้จึงมีการนำขาตั้งแบบ Forced Centering มาทำการตรวจสอบค่าในการตั้งกล้อง โดยใช้วิธี Intersection จากจุดที่รู้ค่าพิกัด 2 จุด

หาค่าพิกัด จุดไม่ทราบค่าซึ่งใช้ตั้งขากล้องแบบ Forced Centering ดังรูปที่ 3.4 แสดงรูปประกอบการทำงาน



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงาน แบบ Intersection เพื่อหาค่าพิกัดจุดไม่ทราบค่า

มีรายละเอียดการรังวัดดังแสดงไว้ในตาราง 3.4 โดยประกอบด้วย การวัดมุมราบ มุมตั้ง และระยะทางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการรังวัดการตั้งกล้องโดยใช้วิธี Intersection ที่ตั้งขากล้องแบบ Forced Centering

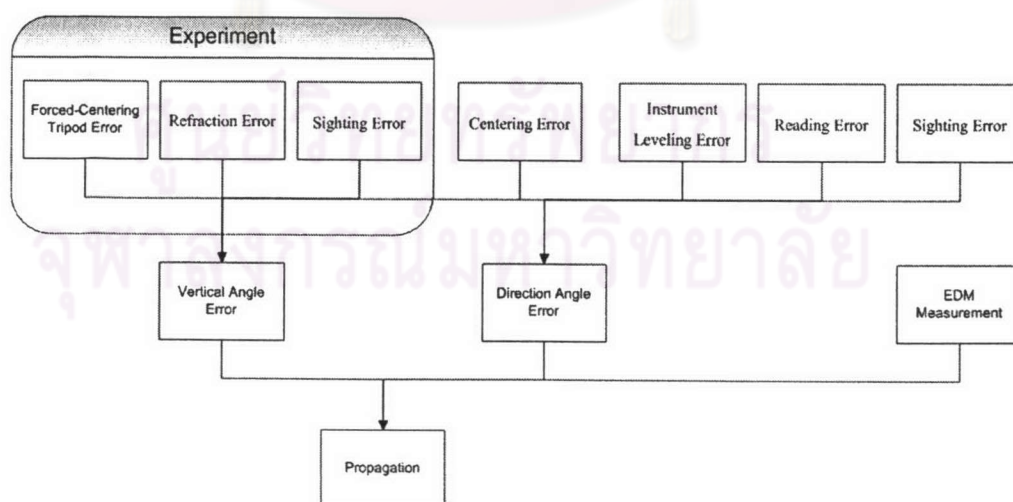
Sta	target	Hz(Angel)	Vertical	Hz(m)
B	A	00°00'00"	90°01'18"	108.326
	C	38°59'56"	89°48'22"	186.791
C	B	00°00'00"	89°59'49"	186.791
	A	33°35'58"	89°48'46"	123.187

นำค่าในตารางมาคำนวณค่าพิกัด (E,N) ของจุด A โดยใช้ขาตั้งกล้องแบบ Forced Centering จากจุดตั้งกล้อง B และ C (B,C ตั้งด้วยขาตั้งกล้องแบบปกติ) โดยสมมุติค่าพิกัดจุด B (500,500) ค่าพิกัดจุด C (686.791,500) ผลที่ได้ปรากฏว่ามีความแตกต่างของค่าพิกัดทางราบอยู่ 1 มิลลิเมตร กล่าวคือ ค่าพิกัดจุด A ที่ได้จากการตั้งกล้องที่จุด B เท่ากับ (568.170,584.186) และค่าพิกัดจุด A ที่ได้จากการตั้งกล้องที่จุด C เท่ากับ (568.169,584.185) ซึ่งถือได้ว่ามีค่าผลต่างน้อยมาก ทำให้สรุปได้ว่าการใช้ขาตั้งกล้องแบบ Forced Centering ไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มเข้ามาในขั้นตอนการตั้งกล้องจากที่ได้ศึกษามาแล้วในบทที่ 2 ในส่วนของ Centering Error จึงไม่นำมาตรวจแก้ในภายหลังอีก

จากนั้นนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากทฤษฎีในบทที่ 2 และจากการทดลองในหัวข้อ 3.2 มาคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่จะส่งผลต่อการหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อต่อไปในหัวข้อที่ 3.3

3.3 การคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการนำค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่ศึกษาไว้แล้วในบทที่ 2 ความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดโดยใช้กล้องแบบประมวลผลและค่าที่ได้จากการทดสอบสมมุติฐานในหัวข้อ 3.2 ความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขณะการรังวัด มาคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นกับค่าพิกัดทางราบ และค่าความสูง ที่มาของค่าดังกล่าวมีที่มาของการคำนวณดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนที่มาของค่าที่นำมาคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน

การศึกษาความคลาดเคลื่อนขณะทำการรังวัดจากการวัดมุมราบ มุมสูง และ ระยะทาง ถึงขนาดที่จะส่งผลต่อการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนระนาบ ถึงค่าพิกัดเปลี่ยนไปมาก น้อยเพียงใด จึงต้องทำการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.4, 3.5, 3.6 เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าพิกัดเหนือ ค่าพิกัดตะวันออก และค่าความสูงตามลำดับ

$$N = S \cdot \sin \phi \cdot \cos Az \quad (3.4)$$

$$E = S \cdot \sin \phi \cdot \sin Az \quad (3.5)$$

$$H = h_i + S \cdot \cos \phi \quad (3.6)$$

โดย

N คือ ค่าพิกัดเหนือ เมตร

E คือ ค่าพิกัดตะวันออก เมตร

H คือ ค่าความสูง เมตร

h_i คือ ค่าความสูงของการตั้งกล้อง เมตร

S คือ ระยะที่รังวัดได้ เมตร

ϕ คือ ค่ามุมสูง องศา

Az คือ ค่า Azimuth องศา

หาการแพร่ของความคลาดเคลื่อนของตัวแปรแต่ละตัวแยกเป็นค่าพิกัดเหนือ ค่า พิกัดตะวันออก และค่าความสูงจากสมการรูปทั่วไปดังแสดงในสมการที่ 3.7 (ซึ่งสำหรับ 1 จุด จะ แยกเป็น ระยะเหนือใช้ค่า J จากสมการที่ 3.8, ระยะตะวันออก ใช้ค่า J จากสมการที่ 3.9 และค่า ความสูง ใช้ค่า J จากสมการที่ 3.10)

$$\sigma^2 = J \cdot \Sigma \cdot J^T \quad (3.7)$$

โดย

σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของตัวแปรที่ต้องการทราบ

Σ คือ Covariance Matrix

$$J_N = \begin{bmatrix} \frac{\partial N}{\partial s} & \frac{\partial N}{\partial Az} & \frac{\partial N}{\partial \phi} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$J_E = \begin{bmatrix} \frac{\partial E}{\partial s} & \frac{\partial E}{\partial Az} & \frac{\partial E}{\partial \phi} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$J_H = \begin{bmatrix} \frac{\partial H}{\partial s} & \frac{\partial H}{\partial Az} & \frac{\partial H}{\partial \phi} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

ขณะที่ค่า Covariance Matrix ได้มาจากการประมาณของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดระยะ วัดมุมราบ การวัดมุมสูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 และมีสมมุติฐานว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดระยะและการวัดมุมราบ มุมสูง ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันแต่อย่างใด ซึ่งจากสมมุติฐานข้อนี้ ทำให้ Covariance Matrix (Σ) เป็น Diagonal Matrix ดังนั้นจะมีเมตริกซ์ J_N , J_E และ J_H (ขนาด 1x3) ตามการรังวัดทั้งหมดมี อย่างละ 13 เมตริกซ์

จากนั้นนำไปแทนค่าในสมการการแพร่ของความคลาดเคลื่อน (3.7) ของตัวแปรแต่ละตัวด้วยค่าพิสัยของจุดบนตะม่อ โดยค่าแต่ละค่าจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในการหาค่าพิสัยของจุดบนตะม่อโดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่นำมาแทนค่าในสมการ ในลำดับนี้เนื่องจากผู้ทำการทดลองได้ใช้กล้องแบบประมวลผลในการทำการทดลองสองชนิด (Leica TDM 5000 และ TC 1700) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2 ดังนั้นจึงแยกพิจารณาตามแต่ละชนิด

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสำหรับการรังวัดโดยกล้องแบบประมวลผล Leica TC 1700 ดังต่อไปนี้ การวัดระยะเท่ากับ 2 มิลลิเมตร การวัดมุมราบมีค่าเท่ากับ 4 พิลิปดา และการวัดมุมสูงเท่ากับ 5 พิลิปดา และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสำหรับการรังวัดโดยกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000 ดังต่อไปนี้ การวัดระยะเท่ากับ 1 มิลลิเมตร การวัดมุมราบมีค่าเท่ากับ 2.5 พิลิปดา และการวัดมุมสูงเท่ากับ 3 พิลิปดา แทนลงในสมการการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่สมการ 3.11

$$\sigma^2 = J \cdot \Sigma \cdot J^T \quad (3.11)$$

สำหรับกล้องแบบประมวลผล Leica TC 1700 แทนค่า

σ_s คือ 2 มิลลิเมตร

σ_ϕ คือ 5"

σ_{Az} คือ 4"

สำหรับกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000 แทนค่า

σ_s คือ 1 มิลลิเมตร

σ_ϕ คือ 3"

σ_{Az} คือ 2.5"

ขั้นตอนต่อไปคือนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาการแพร่ของความคลาดเคลื่อน โดยสมการการแพร่ของความคลาดเคลื่อน มีขั้นตอนการคำนวณคือ เริ่มต้นจากสมการการหาค่าพิกัดตะวันออกคัง สมการที่ 3.12, สมการการหาค่าพิกัดเหนือคังสมการที่ 3.13, สมการการหาค่าพิกัดความสูงคังสมการที่ 3.14

$$E = s_{Hz} \cdot \sin Az \quad (3.12)$$

$$N = s_{Hx} \cdot \cos Az \quad (3.13)$$

$$H = s_{Hz} \cdot \tan(90^\circ - \phi) \quad (3.14)$$

หลังจากได้ความสัมพันธ์ข้างต้น นำมาแทนค่าในสมการในสมการที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 จะได้ตั้งสมการใหม่มา 3 สมการคังนี้

$$\sigma_E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial s}\right)^2 \cdot \sigma_s^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial Az}\right)^2 \cdot \sigma_{Az}^2} \quad (3.15)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\left(\frac{\partial N}{\partial s}\right)^2 \cdot \sigma_s^2 + \left(\frac{\partial N}{\partial Az}\right)^2 \cdot \sigma_{Az}^2} \quad (3.16)$$

$$\sigma_u = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial s}\right)^2 \cdot \sigma_s^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \phi}\right)^2 \cdot \sigma_\phi^2} \quad (3.17)$$

เมื่อ

$$\left(\frac{\partial E}{\partial s}\right) = \sin Az \quad (3.18)$$

$$\left(\frac{\partial E}{\partial Az}\right) = s \cdot \cos Az \quad (3.19)$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial s}\right) = \cos Az \quad (3.20)$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial Az}\right) = -s \cdot \sin Az \quad (3.21)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial s}\right) = \tan(90^\circ - \phi) \quad (3.22)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial \phi}\right) = -s \cdot (\tan^2 \phi + 1) \quad (3.23)$$

ยกตัวอย่างสำหรับกล้องแบบประมวลผล TC 1700 ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 2 (σ_s เท่ากับ 2 mm, σ_ϕ เท่ากับ 5", σ_{Az} เท่ากับ 4") จากการตั้งกล้องที่จุด BM2 และส่องไปยังจุด D นำค่าต่างๆ มาคำนวณค่า $\sigma_E, \sigma_N, \sigma_H$ ดังสมการที่ 3.24, สมการที่ 3.25, สมการที่ 3.26 ตามลำดับ สำหรับการแปลงค่ามุมเป็น Radian โดย ρ (ρ เท่ากับ $\frac{1}{180}$) โดยแทนค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เมื่อ

มุมราบวัดได้ 179°

วัดระยะราบได้ 223 เมตร

มุมตั้งเท่ากับ $90^\circ 52' 29''$

$$\sigma_E = J_E \cdot \Sigma \cdot J_E \quad (3.24)$$

$$\sigma_E = \sqrt{((0.01745) \cdot 0.002)^2 + ((-222.966036) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 4''))^2}$$

ดังนั้น

σ_E เท่ากับ 0.0043 เมตร

$$\sigma_N = J_N \cdot \Sigma \cdot J_N \quad (3.25)$$

$$\sigma_N = \sqrt{((-0.99984) \cdot 0.002)^2 + ((-3.8918866) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 4''))^2}$$

ดังนั้น

σ_N เท่ากับ 0.0024 เมตร

$$\sigma_H = J_H \cdot \Sigma \cdot J_H \quad (3.26)$$

$$\sigma_H = \sqrt{((0.0152679) \cdot 0.002)^2 + ((223.739073) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 5''))^2}$$

ดังนั้น

σ_H เท่ากับ 0.0054 เมตร

จากนั้นนำค่าต่าง ๆ มาหาค่าการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.5 เป็นขนาดความคลาดเคลื่อนที่มีผลต่อการวัดสอบเมื่อใช้กล้องแบบประมวลผล TC1700 ในการวัดสอบซึ่งใช้ในการทดลองนี้ เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับการวัดสอบโดยกล้องแบบประมวลผล TDM 5000 ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อนรังวัด โดยใช้กล้องแบบประมวลผล Leica TC 1700 (σ_s เท่ากับ 2 มิลลิเมตร, σ_ϕ เท่ากับ 5 พิลิปดา, σ_{Az} เท่ากับ 4 พิลิปดา)

STA	TARGET	σ_E (m)	σ_N (m)	σ_H (m)
BM1	A	0.004	0.007	0.010
	B	0.004	0.006	0.008
	C	0.003	0.005	0.007
	D	0.002	0.003	0.004
	E	0.002	0.002	0.003
	F	-	-	-
BM2	A	-	-	-
	B	-	-	-
	C	0.003	0.003	0.004
	D	0.004	0.002	0.005
	E	0.005	0.003	0.007
	F	0.007	0.003	0.008
BM3	A	-	-	-
	B	0.001	0.002	0.001
	C	0.002	0.002	0.003
	D	0.004	0.004	0.006
	E	0.005	0.005	0.008
	F	-	-	-

สำหรับกล้องแบบประมวลผล TDM 5000 ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 2 (σ_s เท่ากับ 1 mm, σ_ϕ เท่ากับ 3", σ_{Az} เท่ากับ 2.5") ยกตัวอย่างจากการตั้งกล้องที่จุด BM2 และส่องไปยังจุด D (มุมราบวัดได้ 179°, รัศระยะราบได้ 223 เมตร และ มุมตั้งเท่ากับ 90°52'29") นำค่าต่างๆ มาคำนวณค่า $\sigma_E, \sigma_N, \sigma_H$ ดังสมการที่ 3.24, สมการที่ 3.25, สมการที่ 3.26 ตามลำดับ สำหรับการแปลงค่ามุมเป็น Radian โดย ρ (ρ เท่ากับ $\pi/180$)

$$\sigma_E = J_E \cdot \Sigma \cdot J_E$$

$$\sigma_E = \sqrt{((0.017452) \cdot 0.001)^2 + ((-222.96603) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 2.5"))^2}$$

ดังนั้น

σ_E เท่ากับ 0.003 เมตร

$$\sigma_N = J_N \cdot \Sigma \cdot J_N$$

$$\sigma_N = \sqrt{((-0.999877) \cdot 0.001)^2 + ((-3.891886) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 2.5''))^2}$$

ดังนั้น

σ_N เท่ากับ 0.001 เมตร

$$\sigma_H = J_H \cdot \Sigma \cdot J_H$$

$$\sigma_E = \sqrt{((0.015268) \cdot 0.001)^2 + ((223.05198) \cdot (\rho \cdot 0^\circ 0' 3''))^2}$$

ดังนั้น

σ_H เท่ากับ 0.003 เมตร

จากนั้นแทนค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละค่าสังเกต (σ_r เท่ากับ 1 มิลลิเมตร, σ_ϕ เท่ากับ 3 พิลิปดา และ σ_{Az} เท่ากับ 2.5 พิลิปดา) นำค่าต่างๆ มาหาค่าการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับค่าพิกัดของหมุดถาวรบนตะม่อ ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วยขนาดของความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดกับค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการคำนวณการแพร่ของความคลาดเคลื่อน โดยใช้ความละเอียดถูกต้องของกล้องแบบประมวลผล Leica TDM 5000 (ความละเอียดถูกต้องสำหรับการวัดทิศทางราบมีค่าเท่ากับ $0^{\circ}0'2.5''$, การวัดมุมสูงมีค่าเท่ากับ $0^{\circ}0'3''$, และการวัดระยะมีค่าเท่ากับ 0.001 เมตร)

STA	TARGET	σ_e (m)	σ_n (m)	σ_H (m)
BM1	A	0.002	0.004	0.006
	B	0.002	0.004	0.005
	C	0.002	0.003	0.004
	D	0.001	0.002	0.002
	E	0.001	0.001	0.002
	F	-	-	-
BM2	A	-	-	-
	B	-	-	-
	C	0.002	0.002	0.002
	D	0.003	0.001	0.003
	E	0.003	0.002	0.004
	F	0.004	0.002	0.005
BM3	A	-	-	-
	B	0.001	0.001	0.001
	C	0.001	0.001	0.002
	D	0.002	0.002	0.003
	E	0.003	0.003	0.005

3.4 การคำนวณค่าพิสัยของหมุดถาวรบนตะม่อ

กระบวนการทำงานที่ทำการรังวัดและข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นข้อมูลที่ได้จากการรังวัดระยะทางและมุมไปยังหมุดถาวรบนตะม่อที่สร้างขึ้นบนตะม่อ โดยตั้งกล้องที่หมุดควบคุมซึ่งมีค่าพิสัยบนพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 และรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งมีสมมุติฐานว่าหมุดควบคุมที่ใช้ไม่มีการเคลื่อนที่เพื่อที่เมื่อโครงสร้างมีการเคลื่อนตัวจะสามารถตรวจทราบได้

ตารางที่ 3.7 ค่าพิสัยบนพื้นหลักฐานอินเดียช พ.ศ. 2518 ของหมุดควบคุม

หมุดเลขที่	ระยะวันออก	ระยะเหนือ	ค่าระดับ
BM1	663901.318	1527249.083	9.015
BM2	664068.348	1527477.266	10.169
BM3	664226.224	1527430.228	1.887
BM4	664315.972	1527361.964	1.404
BM5	664308.56	1527576.001	7.298
BM6	663813.861	1527087.902	0.958

ในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลมาคำนวณต่างวิธี เพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องจากวิธีต่างๆ ลำดับการคำนวณเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.6 จะประกอบด้วย ทั้งหมด 3 วิธี โดยสาเหตุที่ทำการทดลอง 3 วิธี เพื่อจะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณวิธีการคำนวณงานรังวัดแบบเก่า(วิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม) และวิธีลีสท์สแควร์ โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

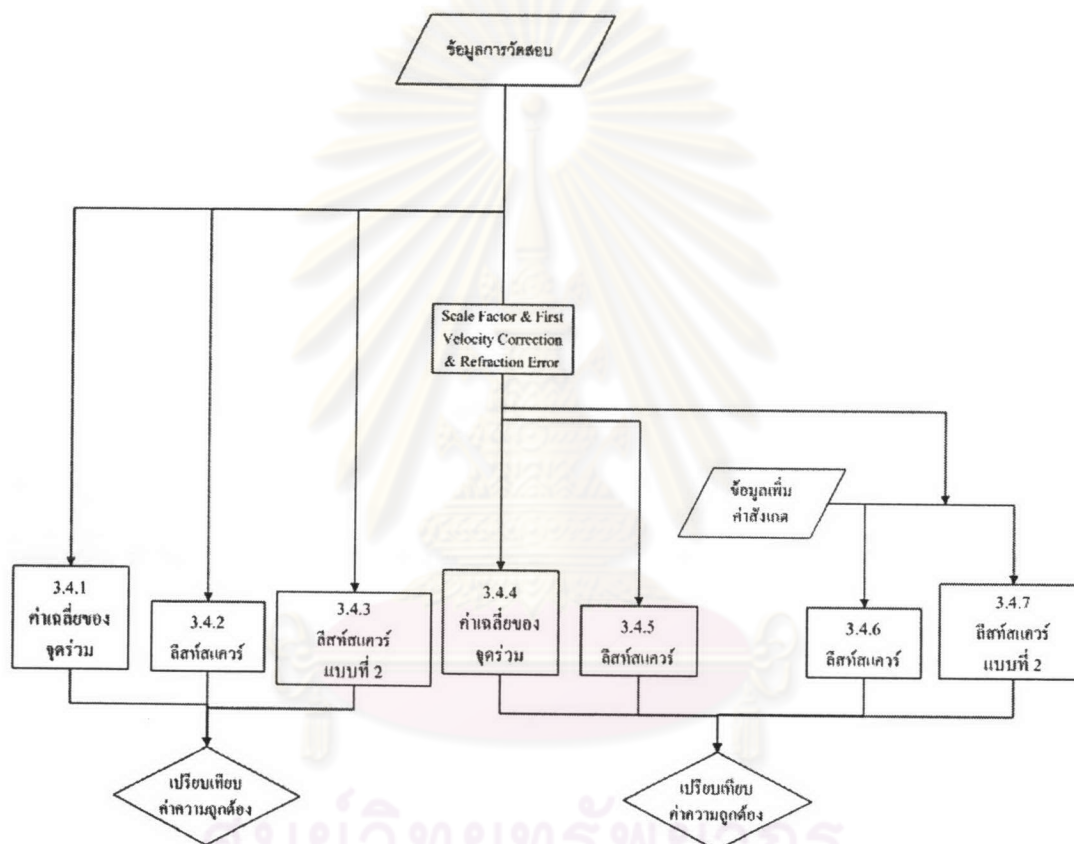
1. ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม: สำหรับวิธีการค่าเฉลี่ยของจุดร่วมเป็นการคำนวณโดยใช้หลักการตรีโกณมิติ คำนวณค่าพิสัยหมุดถาวร บนตะม่อ(A,B,C,D,E และ F) จากจุดตั้งกล้องแต่ละสถานี(BM1,BM2 และ BM3) และนำผลการคำนวณค่าพิสัยหมุดถาวรบนตะม่อต่างๆ จากจุดตั้งกล้องที่ต่างกันดังกล่าวมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเป็นผลลัพธ์ค่าพิสัยหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละตะม่อ

2. ลีสท์สแควร์: สำหรับวิธีการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ เป็นวิธีการคำนวณงานสำรวจที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ผู้ทำการทดลองใช้วิธีสมการค่าสังเกตในการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ โดยทำการคำนวณรวมทั้งหมดทุกจุดตั้งกล้อง BM1,BM2 และ BM3 สำหรับการคำนวณตามวิธี ลีสท์สแควร์ นั้นผู้ทดลองใช้โปรแกรม Columbus 3.5ใช้ในการคำนวณงานรังวัด ตัวอย่างการคำนวณในโปรแกรม Columbus 3.5 และค่าตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดการทำงานของโปรแกรม ดังภาคผนวก ง-2 (การรังวัดครั้งที่ 2)

3. ลีสท์สแควร์ (Outlier Rejection) : สำหรับวิธีการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ (Outlier Rejection) ผู้ทำการทดลองใช้วิธีสมการค่าสังเกตในการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ แต่มีการกำจัดค่ารังวัดบางค่าที่มีค่าแตกต่างมากออกไป สำหรับการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์(Outlier Rejection) นั้นการทดลองใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Columbus 3.5 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการ

คำนวณ Network Survey ซึ่งหลังจากนี้ไปเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจผู้ทำการศึกษาจะเรียกวิธีนี้ว่า ลิสต์สแควร์ แบบที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณในโปรแกรม Columbus 3.5 และค่าตัวแปรที่ใช้ในการ กำหนดการทำงานของโปรแกรมดังภาคผนวก ง-1(การรังวัดครั้งที่ 2)

นอกจากนั้นแต่ละวิธีมีการเปรียบเทียบระหว่าง หนึ่งข้อมูลที่มีการตรวจแก้ค่า Scale Factor, First Velocity Correction และ Refraction Error และ สองการนำค่าจากสนามมาใช้ คำนวณ โดยไม่ตรวจแก้ค่า Scale Factor, First Velocity Correction และ Refraction Error

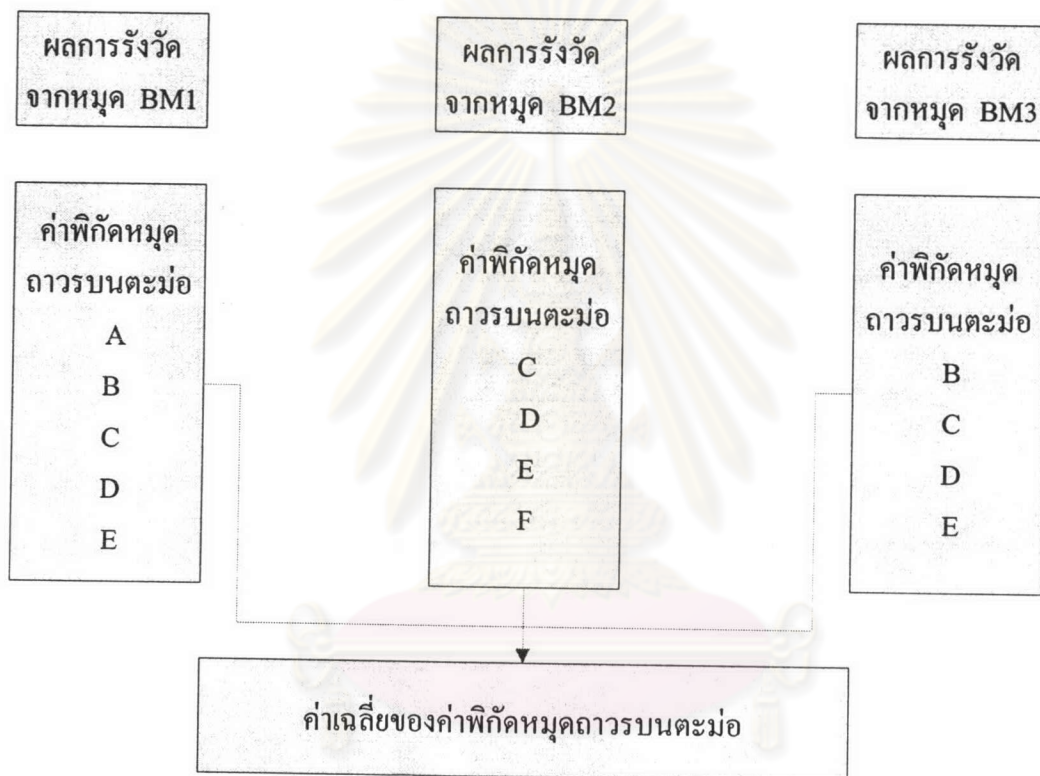


รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบแต่ละวิธีการวัดสอบ ก่อนและหลังการตรวจแก้

จากรูปที่ 3.6 ขั้นต้นจะนำผลลัพธ์ของการนำค่าวัดสอบจากสนามโดยไม่มีการ ตรวจแก้ค่าใดๆ (นำข้อมูลที่ได้จากสนามมาคำนวณค่าพิกัด โดยไม่มีการตรวจแก้ค่าใดๆ ทั้งสิ้น) จาก 3 วิธี (ค่าเฉลี่ยของจุดรวม, ลิสต์สแควร์, ลิสต์สแควร์แบบที่ 2) และจะนำไปเปรียบเทียบกับผล การคำนวณของการคำนวณจาก 3 วิธีเดิม แต่มีการตรวจแก้ค่า Scale Factor, First Velocity Correction และ Refraction Error จุดประสงค์เพื่อจะได้ทราบค่าเศษเหลือเพื่อดูแนวโน้มของ ความคลาดเคลื่อนที่ยังเหลืออยู่ สำหรับการปรับแก้ ลิสต์สแควร์ ใช้วิธีสมการค่าสังเกตโดยจะ กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อนี้

3.4.1 ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม

สำหรับวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วมนั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การทำการรังวัดจากจุดตั้งกล้องทั้งหมด 3 จุด จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของการรังวัดเป็นค่าพิกัดหมุดถาวรบนระนาบของการรังวัดครั้งนั้นๆ วิธีการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม

$$E = s_{Hz} \cdot \sin Az \quad (3.27)$$

$$N = s_{Hz} \cdot \cos Az \quad (3.28)$$

$$H = s_{Hz} \cdot \tan(90^\circ - \phi) \quad (3.29)$$

การคำนวณจะกล่าวถึงเฉพาะผลลัพธ์ วิธีการคำนวณนำค่าที่รังวัดมาแทนค่าในสมการที่ 3.27(ค่าพิกัดตะวันออก) , สมการที่ 3.28(ค่าพิกัดเหนือ) และ สมการที่ 3.29(ค่าความสูง) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสามจุดตั้งกล้องมาคำนวณค่าเฉลี่ยเป็นค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อนั้นๆ ยกตัวอย่างในการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อสำหรับการวัดสอบครั้งแรกผลการรังวัดและการคำนวณดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการวัดสอบครั้งที่ 1 และค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ

STA	Target	Az			V Ang			Hz Dist	N (m)	E (m)
								(m)		
BM1	A	62	19	40	90	21	31	422.382	1527445.243	664275.3875
	B	65	34	28	90	23	22	348.978	1527393.389	664219.0622
	C	71	18	18	90	24	51	271.015	1527335.952	664158.0338
	D	88	29	2	90	45	30	169.206	1527253.56	664070.4648
	E	116	10	34	91	6	37	120.213	1527196.053	664009.2022
BM2	C	147	36	11	91	4	26	167.35	1527335.963	664158.0111
	D	179	27	33	90	52	13	223.708	1527253.568	664070.4596
	E	191	52	47	90	41	59	287.367	1527196.054	664009.1912
	F	199	5	12	90	37	29	353.966	1527142.759	663952.6018
BM3	B	191	2	53	82	42	14	37.501	1527393.422	664219.0376
	C	215	53	13	87	26	0	116.349	1527335.965	664158.0216
	D	221	24	1	88	47	54	235.52	1527253.563	664070.471
	E	222	49	21	89	7	57	319.278	1527196.049	664009.2014

จากนั้นนำผลการคำนวณที่ได้จากการวัดสอบครั้งแรกมาคำนวณค่าพิกัดเฉลี่ยของหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละตะม่อต่อไป เมื่อนำค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อที่ได้จากตารางที่ 3.8 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้ค่าพิกัดหมุดถาวรแต่ละตะม่อของการรังวัดครั้งที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าเฉลี่ยจากการวัดสอบสะพานพระรามหก ครั้งแรก

ครั้งที่ 1		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก
		E (m)	N (m)
	A	664275.387	1527445.243
	B	664219.050	1527393.406
	C	664158.022	1527335.960
	D	664070.465	1527253.563
	E	664009.198	1527196.052
	F	663952.602	1527142.759

สำหรับการคำนวณค่าพิกัดโดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดรวม ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อเดิม จากวิธีการคำนวณข้างต้นนำมาคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อทุกครั้งที่รังวัด ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 3.10

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

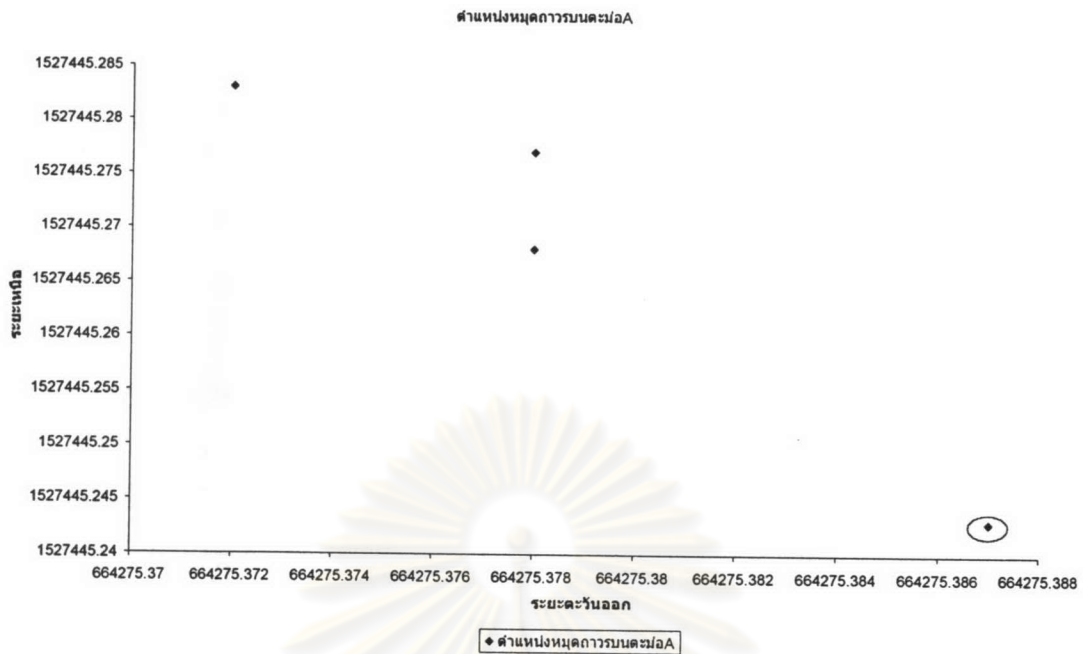
ตารางที่ 3.10 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดดาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดร่วม

ครั้งที่		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่1		ผลต่างกับครั้งที่2		ผลต่างกับครั้งที่3	
		E (m)	N (m)	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
ครั้งที่ 1	A	664275.387	1527445.243						
	B	664219.050	1527393.406						
	C	664158.022	1527335.960						
	D	664070.465	1527253.563						
	E	664009.198	1527196.052						
	F	663952.602	1527142.759						
ครั้งที่ 2	A	664275.378	1527445.268	0.010	-0.025				
	B	664219.044	1527393.418	0.006	-0.012				
	C	664158.024	1527335.969	-0.002	-0.009				
	D	664070.465	1527253.562	0.000	0.002				
	E	664009.202	1527196.055	-0.003	-0.003				
	F	663952.605	1527142.759	-0.004	0.000				
ครั้งที่ 3	A	664275.372	1527445.283	0.016	-0.040	0.006	-0.015		
	B	664219.040	1527393.428	0.010	-0.022	0.003	-0.010		
	C	664158.021	1527335.965	0.001	-0.006	0.003	0.004		
	D	664070.462	1527253.569	0.003	-0.006	0.003	-0.008		
	E	664009.204	1527196.050	-0.005	0.002	-0.002	0.005		
	F	663952.603	1527142.752	-0.001	0.008	0.003	0.008		
ครั้งที่ 4	A	664275.378	1527445.277	0.009	-0.035	-0.001	-0.010	-0.006	0.006
	B	664219.046	1527393.423	0.004	-0.018	-0.002	-0.005	-0.006	0.005
	C	664158.024	1527335.968	-0.002	-0.008	0.000	0.001	-0.003	-0.003
	D	664070.467	1527253.565	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	-0.005	0.004
	E	664009.202	1527196.046	-0.003	0.006	0.000	0.009	0.002	0.004
	F	663952.604	1527142.746	-0.003	0.014	0.001	0.013	-0.002	0.006

ตารางที่ 3.10 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ค่าเฉลี่ยของจุดรวม

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH (m)	ΔH (m)
ครั้งที่ 1	A	7.997		
	B	8.269		
	C	8.682		
	D	8.502		
	E	8.307		
	F	7.958		
ครั้งที่ 2	A	7.980	0.017	
	B	8.257	0.013	
	C	8.678	0.005	
	D	8.493	0.008	
	E	8.312	-0.005	
	F	7.946	0.012	
ครั้งที่ 3	A	8.005	-0.008	-0.025
	B	8.266	0.004	-0.009
	C	8.681	0.002	-0.003
	D	8.396	0.105	0.097
	E	8.318	-0.011	-0.006
	F	7.970	-0.011	-0.023

จากตารางที่ 3.10 เมื่อนำค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ A ที่ได้จากการรังวัดมาหาความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.8 แสดงค่าพิกัดที่ได้จากการวัดสอบทั้ง 4 ครั้ง จะเห็นได้ว่าค่าพิกัดของหมุดถาวรบนตะม่อ A ที่ได้จากการวัดสอบครั้งแรก(วงกลมใหญ่) มีค่าต่างจากครั้งต่อมาอย่างมากซึ่งทำให้ตั้งข้อสังเกตได้ว่าการผิดพลาดเกิดขึ้นในการรังวัด ยกตัวอย่างการวัดสอบครั้งที่ 1 ต่างกับครั้งที่ 3 ดังนี้ ค่าพิกัดตะวันออก ต่างกันเท่ากับ 0.016 เมตร ค่าพิกัดเหนือต่างกันเท่ากับ 0.040 เมตร ค่าความสูงต่างกันเท่ากับ 0.008 เมตร ดังนั้นในการคำนวณต่อจากนี้จะไม่นำค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดครั้งแรกของหมุดถาวรบนตะม่อ A มาพิจารณาสาเหตุเพราะเกิดการผิดพลาดขึ้นในการวัดสอบ



รูปที่ 3.8 แสดงค่าพิกัดที่ได้จากการวัดสอบทั้ง 4 ครั้งของหมุดถาวรบนตะม่อ A

3.4.2 ลีสท์สแควร์

ในการปรับแก้จะใช้วิธีสมการค่าสังเกต เพื่อหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ ในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลเดียวกับที่นำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของจุดรวม (ไม่มีการแก้) จะใช้สมการค่าสังเกตจากการวัดมุมราบ มุมสูง และระยะทาง ดังนั้นในการรังวัด 1 ครั้ง จะได้ 3 สมการ ต่อการรังวัดไปยังเป้า 1 เป้า สำหรับรายละเอียดอื่นๆ ของคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ จะอธิบายในข้อ 3.4.5 ผลลัพธ์ของการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 3.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.11 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์

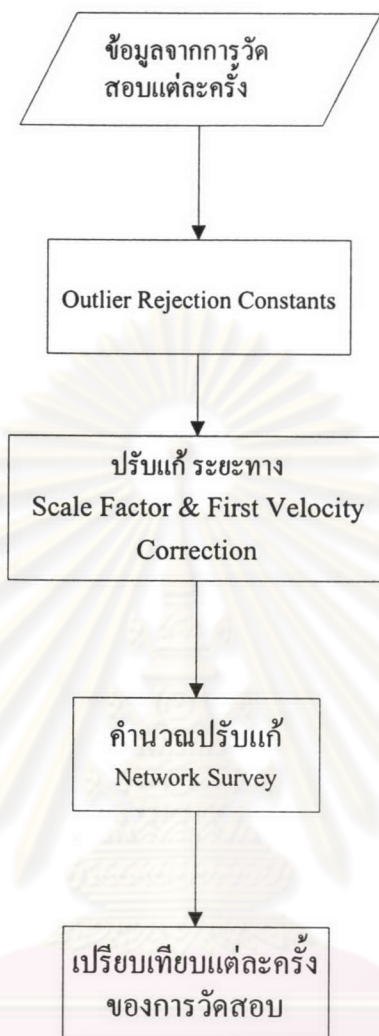
ครั้งที่		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
				ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
ครั้งที่ 1	A								
	B	664219.031	1527393.399						
	C	664158.013	1527335.958						
	D	664070.462	1527253.568						
	E	664009.197	1527196.058						
	F	663952.601	1527142.767						
ครั้งที่ 2	A	664275.348	1527445.251						
	B	664219.034	1527393.416	-0.003	-0.017				
	C	664158.018	1527335.964	-0.005	-0.006				
	D	664070.458	1527253.562	0.005	0.006				
	E	664009.200	1527196.060	-0.003	-0.002				
	F	663952.604	1527142.756	-0.003	0.011				
ครั้งที่ 3	A	664275.344	1527445.258			0.004	-0.007		
	B	664219.033	1527393.423	-0.002	-0.024	0.001	-0.007		
	C	664158.015	1527335.965	-0.001	-0.007	0.003	-0.001		
	D	664070.453	1527253.555	0.009	0.013	0.005	0.007		
	E	664009.204	1527196.060	-0.007	-0.002	-0.004	0.000		
	F	663952.603	1527142.754	-0.002	0.013	0.001	0.002		
ครั้งที่ 4	A	664275.351	1527445.257			-0.003	-0.006	-0.007	0.001
	B	664219.045	1527393.424	-0.014	-0.025	-0.011	-0.008	-0.012	-0.001
	C	664158.012	1527335.968	0.001	-0.010	0.006	-0.004	0.003	-0.003
	D	664070.470	1527253.577	-0.008	-0.009	-0.012	-0.015	-0.017	-0.022
	E	664009.206	1527196.059	-0.009	-0.001	-0.006	0.001	-0.002	0.001
	F	663952.608	1527142.757	-0.007	0.010	-0.004	-0.001	-0.005	-0.003

ตารางที่ 3.11 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A			
	B	8.262		
	C	8.679		
	D	8.404		
	E	8.310		
	F	7.965		
ครั้งที่ 2	A	7.997		
	B	8.256	0.006	
	C	8.676	0.003	
	D	8.400	0.004	
	E	8.310	0.000	
	F	7.960	0.005	
ครั้งที่ 3	A	8.008		-0.011
	B	8.261	0.001	-0.005
	C	8.679	0.000	-0.003
	D	8.403	0.001	-0.003
	E	8.315	-0.005	-0.005
	F	7.969	-0.004	-0.009

3.4.3 ลีสท์สแควร์แบบที่ 2

จากรูปที่ 3.9 แสดงลำดับขั้นตอนการคำนวณค่าพิกัดวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 ตามลำดับเริ่มจากการรังวัดในสนาม จากนั้นทำการตัดค่าสังเกตบางค่าที่ไม่ดีออกไป จากการทดสอบทางสถิติ ค่าสังเกตใดๆ ไม่ผ่านการทดสอบทางสถิตินี้จะไม่นำมาคำนวณปรับแก้ ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2

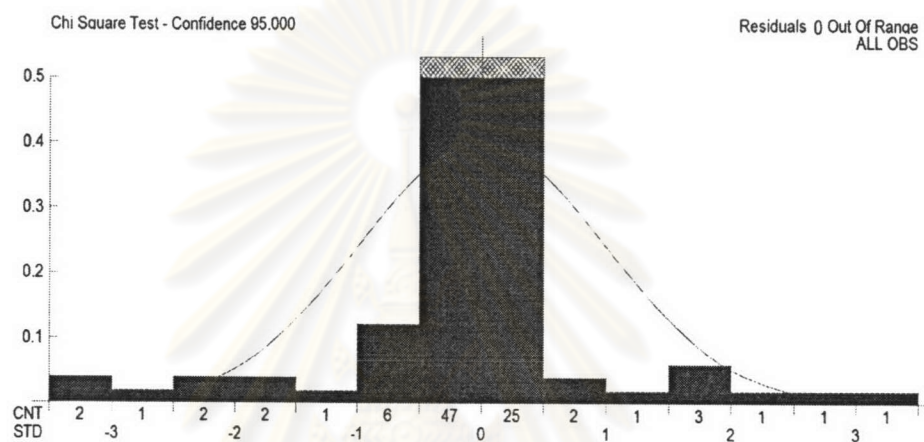
1. ข้อมูลจากการรังวัดแต่ละครั้ง : ซึ่งใช้ข้อมูลชุดเดียวกับการคำนวณแบบ ลีสท์สแควร์ ก่อนหน้านี้

2. Outlier Rejection Constants : สำหรับขั้นตอนนี้เป็นการกำจัด Outlier Observations โดยเปรียบเทียบระหว่างเศษเหลือของแต่ละค่าสังเกต ในการทดสอบทางสถิติ TAU Statistic รูปที่ 3.10 ถึง รูปที่ 3.13 แสดงถึง Residual Distribution ของแต่ละค่าสังเกตในแต่ละโครงข่ายทั้งยังช่วยให้ทราบการกระจายของ Residuals เป็นแบบ Normal Distribution หรือไม่ โดย

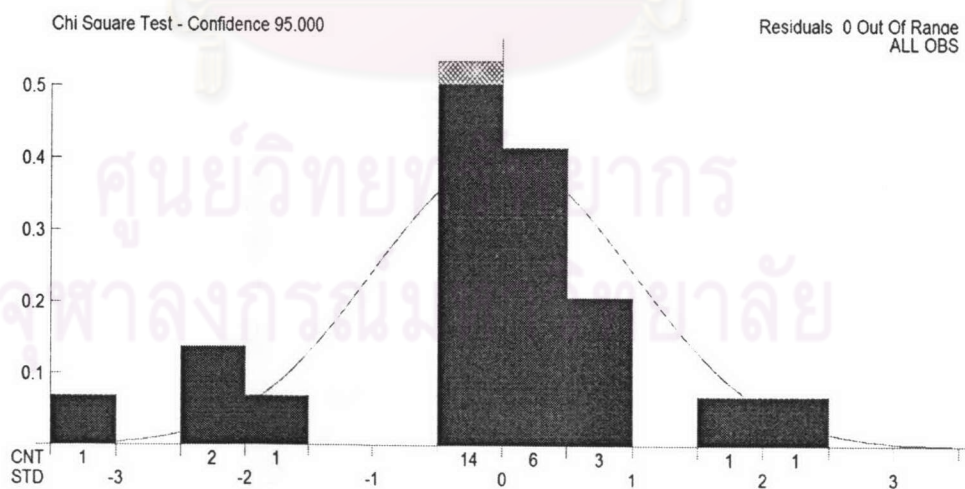
ปกติใช้ Standardized Residual Test ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่า Standardized Residual ของแต่ละค่าสังเกตโดยใช้ TAU Statistic(Best-Fit Computing Inc,2001) ค่าเศษเหลือที่จะไม่นำค่าสังเกตนั้นมาคำนวณดังต่อไปนี้

- มุมราบ เท่ากับ 10 พิลิปดา (ค่าตั้งต้นของ Software)

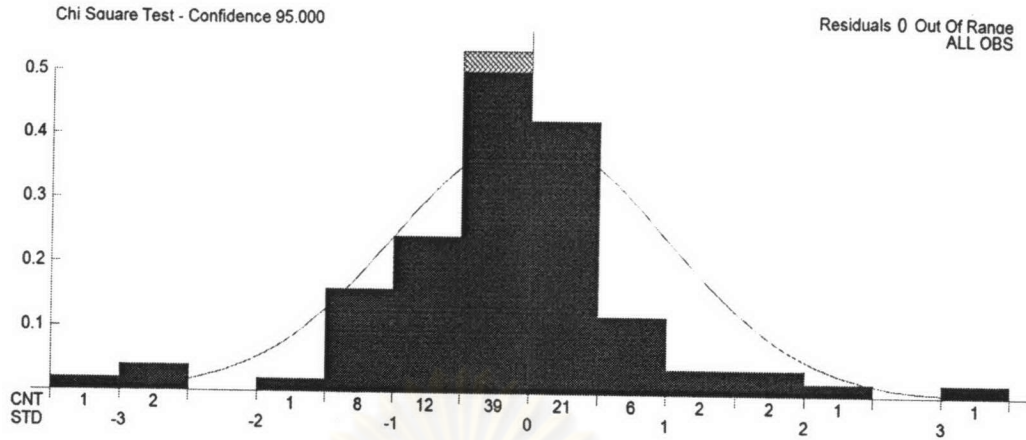
- มุมตั้ง เท่ากับ 10 พิลิปดา (ค่าตั้งต้นของ Software)



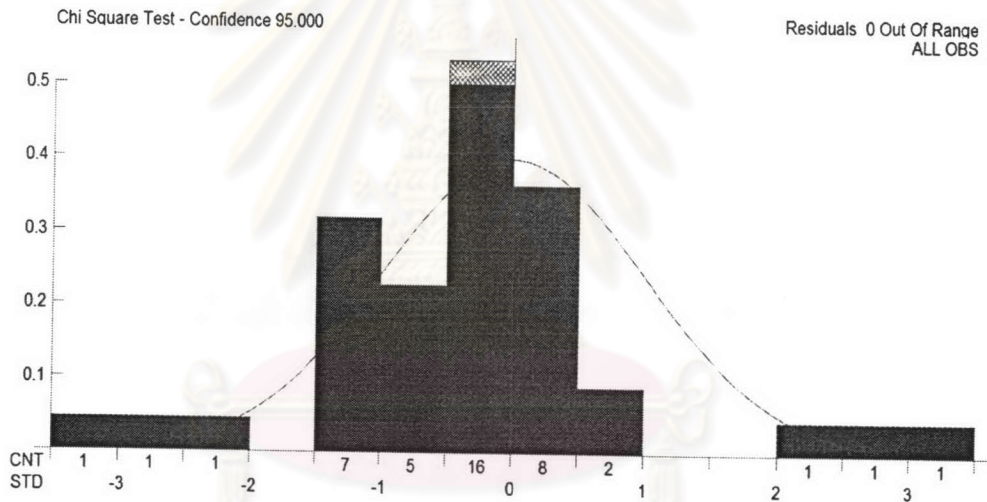
รูปที่ 3.10 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1



รูปที่ 3.11 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 3



รูปที่ 3.13 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 4

จากการทดสอบทางสถิติ (TAU Statistic) ผลปรากฏให้เห็นว่า ไม่มีค่าสังเกตใดที่ถูกตัดออกไม่นำมาคิดภายใต้เงื่อนไข (เศษเหลือของการวัดมุมราบ 10 ฟลิปดา , มุมตั้ง 10 ฟลิปดา) ในแต่ละโครงข่ายที่ทดสอบทางสถิติ (TAU Statistic)

-รูปที่ 3.10 Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.541

-รูปที่ 3.11 Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.108

-รูปที่ 3.12 Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 3 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.541

-รูปที่ 3.13 Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 4 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.157

สำหรับโครงข่ายสำรวจที่ทำการรังวัดนั้นประกอบไปด้วย การวัดมุมราบ มุมสูง และ ระยะทาง รายละเอียดของการคำนวณโครงข่ายสำรวจในการวัดสอบแต่ละครั้ง ประกอบไปด้วยจำนวนสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom 4 โครงข่าย ดังแสดงตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของการคำนวณโครงข่ายสำรวจในการวัดสอบแต่ละครั้ง

ครั้งที่/ โครงข่าย	วันที่	จำนวนสมการค่าสังเกต	Degrees of Freedom	Standardized Residual Rejection TAU statistic
1	ตุลาคม 2546	42	24	-
2	พฤศจิกายน 2546	42	24	-
3	ธันวาคม 2546	42	24	-
4	มกราคม 2547	42	24	-

ผลจากการคำนวณงานรังวัดวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 ได้ผลการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อของแต่ละโครงข่าย ดังแสดงในตารางที่ 3.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.13 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2

ครั้งที่		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
		E (m)	N (m)	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
ครั้งที่ 1	A								
	B	664219.031	1527393.399						
	C	664158.013	1527335.958						
	D	664070.462	1527253.568						
	E	664009.197	1527196.058						
	F	663952.601	1527142.767						
ครั้งที่ 2	A	664275.348	1527445.251						
	B	664219.034	1527393.416	-0.003	-0.017				
	C	664158.018	1527335.964	-0.005	-0.006				
	D	664070.458	1527253.562	0.005	0.006				
	E	664009.200	1527196.060	-0.003	-0.002				
	F	663952.604	1527142.756	-0.003	0.011				
ครั้งที่ 3	A	664275.344	1527445.258			0.004	-0.007		
	B	664219.033	1527393.423	-0.002	-0.024	0.001	-0.007		
	C	664158.015	1527335.965	-0.001	-0.007	0.003	-0.001		
	D	664070.453	1527253.555	0.009	0.013	0.005	0.007		
	E	664009.204	1527196.060	-0.007	-0.002	-0.004	0.000		
	F	663952.603	1527142.754	-0.002	0.013	0.001	0.002		
ครั้งที่ 4	A	664275.351	1527445.257			-0.003	-0.006	-0.007	0.001
	B	664219.045	1527393.424	-0.014	-0.025	-0.011	-0.008	-0.012	-0.001
	C	664158.012	1527335.968	0.001	-0.010	0.006	-0.004	0.003	-0.003
	D	664070.470	1527253.577	-0.008	-0.009	-0.012	-0.015	-0.017	-0.022
	E	664009.206	1527196.059	-0.009	-0.001	-0.006	0.001	-0.002	0.001
	F	663952.608	1527142.757	-0.007	0.010	-0.004	-0.001	-0.005	-0.003

ตารางที่ 3.13 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A			
	B	8.262		
	C	8.679		
	D	8.404		
	E	8.310		
	F	7.965		
ครั้งที่ 2	A	7.997		
	B	8.256	0.006	
	C	8.676	0.003	
	D	8.400	0.004	
	E	8.310	0.000	
	F	7.960	0.005	
ครั้งที่ 3	A	8.008		-0.011
	B	8.261	0.001	-0.005
	C	8.679	0.000	-0.003
	D	8.403	0.001	-0.003
	E	8.315	-0.005	-0.005
	F	7.969	-0.004	-0.009

ในขั้นตอนต่อไปจะนำข้อมูลที่ได้จากวัดสอบมาทำการคำนวณตรวจแก้ (Scale Factor, First Velocity, Refraction Error) เพื่อหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความถูกต้องของการใช้ข้อมูลก่อนและหลังการตรวจแก้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าก่อนจะทำการคำนวณค่าพิกัดจะต้องทำการตรวจแก้ค่าระยะทางที่รังวัดโดยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ ก่อนนำไปคำนวณหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ

การนำข้อมูลจากสนามมาคำนวณซึ่งมีการวัดระยะ จำเป็นอย่างยิ่งต้องนำมาคูณด้วย SCALE FACTOR และนำมาคำนวณตรวจแก้ค่าการหักเหของแสงที่ส่งผลกระทบต่อรังวัดระยะทาง ก่อนที่จะนำไปคำนวณในขั้นตอนต่อไป โดยค่า SCALE FACTOR นั้นที่ใช้ในบริเวณที่ทำการรังวัดใช้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.999930 และจากนั้นนำไปตรวจแก้ค่าการหักเหของแสงตามดัชนี

การหักเห ที่ไม่เท่ากับการออกแบบมาจากโรงงานโดยใช้สมการที่ 3.30 เป็นสมการในการตรวจแก้ ระยะทางที่รังวัดได้มาจากสนาม Rueger (1984)

$$k' = \left(C - \frac{D \cdot p}{T_s} + \frac{11.20 \cdot e}{T_s} \right) \cdot 10^{-6} \cdot d \quad (3.30)$$

โดย

T_s คือ อุณหภูมิ (Kelvin)

P คือ ความดันบรรยากาศ (mb)

e คือ ความดันไอน้ำ (mb)

C, D คือ สัมประสิทธิ์ ตามชนิดของเครื่องวัดระยะ อิเล็กทรอนิกส์

d คือ ระยะที่อ่านได้จากเครื่องวัด เมตร

สำหรับค่าความดันไอน้ำ (e) ในสมการ ที่ 3.30 จะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าสัมประสิทธิ์ (E) ดังสมการ ที่ 3.31

$$e = \frac{h \cdot E}{100} \quad (3.31)$$

โดย

e คือ ความดันไอน้ำ (mb)

h คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

E คือ ความดันไอน้ำในสภาพอิ่มน้ำ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

สำหรับการวัดสอบสะพานพระรามหก ทำการวัดอุณหภูมิเพื่อจะนำมาหาค่าความดันไอน้ำในสภาพอิ่มน้ำ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (E) เท่ากับ 50 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (h) อ่านจากกราฟที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งได้ค่าเท่ากับ 47% Rueger (1984) ดังภาคผนวก ข แทนค่าในสมการหาค่าความดันไอน้ำ (e) เท่ากับ $(47 \cdot 50) / 100$ เท่ากับ 23.5

สำหรับค่า C และ D จากนั้นนำค่าความดันไอที่ได้ไปแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 3.30 และค่าตัวแปรต่าง ๆ สำหรับกล้องที่ในการรังวัด เพื่อหาค่าตรวจแก้ระยะทางที่รังวัด (k')

$$k' = \left(2822 - \frac{7943 \cdot 1015}{308} + \frac{1120 \cdot 235}{308} \right) \cdot 10^{-6} \cdot d$$

ดังนั้น

$$k' = 2.12 \cdot 10^{-5} \cdot d$$

จากนั้นนำข้อมูลจากสนามชุดเดิม และนำระยะที่รังวัดมาตรวจแก้ค่า Scale Factor และ First Velocity จากตารางที่ 3.14 ถึงตารางที่ 3.17 แสดงค่าแก้ไขของการรังวัดแต่ละครั้งทั้ง 4 ครั้งตามลำดับ และจะนำมาคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนระนาบตามวิธีต่าง ๆ (ค่าเฉลี่ยของจุดรวม, ลีสท์สแควร์, ลีสท์สแควร์แบบที่ 2) ต่อไป

ตารางที่ 3.14 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 1 มาตรวจแก้ (Scale Factor, First Velocity)

	TAREGT	DIST _{Hz} (m)	*Scale factor(0.999930)	First Velocity Correction	Remark
BM1					
	A	422.382	422.352	422.361	
	B	348.978	348.954	348.961	
	C	271.015	270.996	271.001	
	D	169.206	169.194	169.198	
	E	120.213	120.205	120.207	
	F				
BM2					
	A				
	B				
	C	167.35	167.338	167.342	
	D	223.708	223.692	223.697	
	E	287.367	287.347	287.353	
	F	353.966	353.941	353.948	
BM3					
	A				
	B	37.501	37.498	37.499	
	C	116.349	116.341	116.343	
	D	235.52	235.504	235.508	
	E	319.278	319.256	319.262	
	F				

ตารางที่ 3.15 แสดงค่าระยะทางที่รั้งวัดครั้งที่ 2 มาตรวจแก้ (Scale Factor, First Velocity)

STA	TAREGT	DIST _{HZ} (m)	*Scale factor(0.999930)	First Velocity Correction	Remark
BM1					
	A	422.385	422.355	422.364	
	B	348.98	348.956	348.963	
	C	271.018	270.999	271.004	
	D	169.21	169.198	169.202	
	E	120.215	120.207	120.209	
	F				
BM2					
	A				
	B				
	C	167.355	167.343	167.347	
	D	223.705	223.689	223.694	
	E	287.364	287.344	287.350	
	F	353.965	353.940	353.947	
BM3					
	A				
	B	37.505	37.502	37.503	
	C	116.346	116.338	116.340	
	D	235.518	235.502	235.506	
	E	319.276	319.254	319.260	
	F				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.16 แสดงค่าระยะทางที่รังวัดครั้งที่ 3 มาตรฐานแก้ (Scale Factor, First Velocity)

STA	TAREGT	DIST _{hz} (m)	*Scale factor(0.999930)	First Velocity Correction	Remark
BM1					
	A	422.387	422.357	422.366	
	B	348.983	348.959	348.966	
	C	271.02	271.001	271.006	
	D	169.212	169.200	169.204	
	E	120.218	120.210	120.212	
	F				
BM2	A				
	B				
	C	167.357	167.345	167.349	
	D	223.713	223.697	223.702	
	E	287.373	287.353	287.359	
	F	353.973	353.948	353.955	
BM3	A				
	B	37.501	37.498	37.499	
	C	116.355	116.347	116.349	
	D	235.527	235.511	235.515	
	E	319.283	319.261	319.267	
	F				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.17 แสดงค่าระยะทางที่รั้งวัดครั้งที่ 4 มาตรฐานแก้ (Scale Factor, First Velocity)

STA	TAREGT	DIST _{HZ} (m)	*Scale factor(0.999930)	First Velocity Correction	Remark
BM1					
	A	422.39	422.360	422.369	
	B	348.989	348.965	348.972	
	C	271.025	271.006	271.011	
	D	169.217	169.205	169.209	
	E	120.218	120.210	120.212	
	F				
BM2					
	A				
	B				
	C	167.358	167.346	167.350	
	D	223.718	223.702	223.707	
	E	287.38	287.360	287.366	
	F	353.978	353.953	353.960	
BM3					
	A				
	B	37.505	37.502	37.503	
	C	116.355	116.347	116.349	
	D	235.532	235.516	235.520	
	E	319.29	319.268	319.274	
	F				

เมื่อทำการตรวจแก้ระยะทางแล้วมารวมกับการตรวจแก้ Refraction Error (หัวข้อ 3.2.2) จากนั้นนำมาคำนวณใหม่ 4 วิธี วัตถุประสงค์เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของแต่ละวิธีก่อนและหลังการตรวจแก้ข้อมูลรั้งวัด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบจากผลต่างของแต่ละครั้งที่วัดสอบ

3.4.4 ค่าเฉลี่ยของจุดรวม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ในลำดับนี้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ก่อนนำข้อมูลการวัดสอบมาคำนวณจะทำการตรวจแก้ก่อน การคำนวณวิธีค่าเฉลี่ยของจุดรวม จะกล่าวถึงเฉพาะผลลัพธ์ โดยจะไม่กล่าวถึงวิธีการคำนวณ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีเดียวกับที่ใช้ในการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อเดิม ผลลัพธ์ค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อดังแสดงในตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธีค่าเฉลี่ยของจุดรวม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ครั้งที่ 1	ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่1		ผลต่างกับครั้งที่2		ผลต่างกับครั้งที่3		
			ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	
ครั้งที่ 1	A								
	B	664219.042	1527393.403						
	C	664158.018	1527335.962						
	D	664070.465	1527253.570						
	E	664009.201	1527196.062						
	F	663952.608	1527142.776						
ครั้งที่ 2	A	664275.359	1527445.258						
	B	664219.032	1527393.396	0.010	0.007				
	C	664158.020	1527335.972	-0.002	-0.009				
	D	664070.465	1527253.568	0.000	0.002				
	E	664009.205	1527196.065	-0.003	-0.003				
	F	663952.611	1527142.776	-0.004	0.000				
ครั้งที่ 3	A	664275.353	1527445.273			0.006	-0.015		
	B	664219.032	1527393.425	0.010	-0.022	0.000	-0.030		
	C	664158.016	1527335.968	0.001	-0.006	0.003	0.004		
	D	664070.462	1527253.576	0.003	-0.006	0.003	-0.008		
	E	664009.206	1527196.059	-0.005	0.002	-0.002	0.005		
	F	663952.609	1527142.768	-0.001	0.008	0.003	0.008		
ครั้งที่ 4	A	664275.360	1527445.267			-0.001	-0.010	-0.006	0.006
	B	664219.038	1527393.420	0.004	-0.017	-0.006	-0.025	-0.006	0.005
	C	664158.019	1527335.971	-0.002	-0.008	0.000	0.001	-0.003	-0.003
	D	664070.467	1527253.572	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	-0.005	0.004
	E	664009.204	1527196.055	-0.003	0.006	0.000	0.009	0.002	0.004
	F	663952.610	1527142.762	-0.003	0.014	0.001	0.013	-0.002	0.006

ตารางที่ 3.18 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ค่าเฉลี่ยของจุดร่วม โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A			
	B	8.268		
	C	8.681		
	D	8.501		
	E	8.306		
	F	7.957		
ครั้งที่ 2	A	7.977		
	B	8.258	0.010	
	C	8.677	0.005	
	D	8.492	0.008	
	E	8.311	-0.005	
	F	7.944	0.012	
ครั้งที่ 3	A	8.002		-0.025
	B	8.264	0.004	-0.006
	C	8.680	0.002	-0.003
	D	8.486	0.015	0.006
	E	8.317	-0.011	-0.006
	F	7.968	-0.011	-0.023

3.4.5 การปรับแก้วิธี ลีสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ในการตรวจแก้ ลีสท์สแควร์ จะใช้วิธีสมการค่าสังเกต เพื่อหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ ในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลเดียวกับที่นำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของจุดร่วม จะใช้สมการค่าสังเกตจากการวัดมุมราบ มุมสูง และระยะทาง ดังนั้นในการรังวัด 1 ครั้ง จะได้ 3 สมการ ต่อการรังวัดไปยังเป้า 1 เป้า การคำนวณใช้ข้อมูลจาก BM1, BM3 จำนวน 5 ตะม่อ (ไม่สามารถรังวัดไปยังจุด F ได้) BM2 มีจำนวนตะม่อจำนวน 4 ตะม่อ จึงสามารถตั้งสมการค่าสังเกตได้ 42 สมการ มีตัวแปรคือค่าพิกัด (E,N,H) จำนวน 18 ค่าจาก 6 ตะม่อ ดังนั้นมีสมการค่าสังเกตส่วนเกิน (Redundant) จำนวน 24 สมการ สมการที่ 3.32 แสดงสมการค่าสังเกตของการรังวัดมุมราบ สมการที่ 3.33 แสดงสมการ

ค่าสังเกตของการรังวัดมุมสูง สมการที่ 3.34 แสดงสมการค่าสังเกตของการรังวัดระยะทางตามลำดับ

$$Hz = \tan^{-1} \left(\frac{E2 - E1}{N2 - N1} \right) \quad (3.32)$$

$$V = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(E2 - E1)^2 + (N2 - N1)^2}}{H2 - (H1 + h)} \right) \quad (3.33)$$

$$Dist = \sqrt{(E2 - E1)^2 + (N2 - N1)^2 + (H2 - (H1 + h))^2} \quad (3.34)$$

เมื่อ

E, N คือ ค่าพิกัด (Parameter)

Hz คือ สมการความสัมพันธ์ของมุมราบ

V คือ สมการความสัมพันธ์ของมุมตั้ง

D คือ สมการความสัมพันธ์ของระยะทาง

จากนั้นทำการคำนวณตามหลักการตรวจแก้ ลิสท์สแควร์ โดยค่าเมทริกซ์น้ำหนักของค่าสังเกต ซึ่งเป็นส่วนกลับของโคแฟกเตอร์หรือเมทริกซ์ความแปรปรวน จะใช้ค่า σ_r เท่ากับ 2 มิลลิเมตร, σ_ϕ เท่ากับ 5 พิลิปดา, σ_{Az} เท่ากับ 4 พิลิปดา(กล้องแบบประมวลผล Leica TC1700) ซึ่งได้จากการศึกษาที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.3 ผลลัพธ์ของการคำนวณ ทั้งหมด 4 ครั้ง นำผลต่างของค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อจากการวัดสอบแต่ละครั้งมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.009 เมตร และมีค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.006 เมตร ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 3.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.19 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ครั้งที่ 1		ระยะเหนือ E (m)	ระยะตะวันออก N (m)	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
				ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
	B	664219.036	1527393.412						
	C	664158.018	1527335.963						
	D	664070.465	1527253.569						
	E	664009.200	1527196.060						
	F	663952.602	1527142.775						
ครั้งที่ 2	A	664275.359	1527445.258						
	B	664219.034	1527393.410	0.002	0.002				
	C	664158.020	1527335.968	-0.002	-0.005				
	D	664070.456	1527253.547	0.009	0.022				
	E	664009.202	1527196.058	-0.002	0.002				
	F	663952.606	1527142.761	-0.004	0.014				
ครั้งที่ 3	A	664275.352	1527445.269			0.007	-0.011		
	B	664219.032	1527393.424	0.003	-0.012	0.002	-0.014		
	C	664158.017	1527335.969	0.000	-0.005	0.003	-0.001		
	D	664070.462	1527253.576	0.003	-0.007	-0.006	-0.029		
	E	664009.205	1527196.060	-0.006	0.000	-0.003	-0.002		
	F	663952.610	1527142.769	-0.008	0.006	-0.004	-0.008		
ครั้งที่ 4	A	664275.359	1527445.264			0.000	-0.006	-0.007	0.005
	B	664219.035	1527393.422	0.001	-0.010	-0.001	-0.012	-0.003	0.002
	C	664158.019	1527335.971	-0.001	-0.007	0.001	-0.003	-0.001	-0.002
	D	664070.467	1527253.572	-0.002	-0.003	-0.011	-0.025	-0.005	0.004
	E	664009.205	1527196.058	-0.005	0.002	-0.003	0.000	0.000	0.002
	F	663952.615	1527142.764	-0.013	0.011	-0.009	-0.003	-0.005	0.005

ตารางที่ 3.19 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีส์ทส์แควร์ โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A			
	B	8.262		
	C	8.677		
	D	8.398		
	E	8.312		
	F	7.967		
ครั้งที่ 2	A	7.977		
	B	8.258	0.004	
	C	8.677	0.000	
	D	8.399	-0.001	
	E	8.308	0.004	
	F	7.944	0.023	
ครั้งที่ 3	A	8.002		-0.025
	B	8.262	0.000	-0.004
	C	8.679	-0.002	-0.002
	D	8.397	0.001	0.002
	E	8.311	0.001	-0.003
	F	7.968	-0.001	-0.024

3.4.6 การปรับแก้วิธี ลีส์ทส์แควร์ เพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ในงานรังวัดต่างๆ ไป การเพิ่มค่าสังเกตให้มากขึ้นจะทำให้ได้ผลการรังวัดที่ดีขึ้น จากเดิมผลการศึกษาการรังวัดจากหมุดควบคุมไปยังหมุดถาวรบนตะม่อทั้ง 6 นั้นมีการวัดมุม และ ระยะไปยังตะม่อนั้น ให้ผลที่ไม่ดีเท่าที่ควรดังที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องจึง ทดลองการเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยวันที่ 10 มกราคม 2547 ผู้ทำการทดลองทำการวัดระยะจาก

ตะม่อถึงตะม่อเพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมเข้าไปจากเดิม โดยทำการรังวัดตามแผนการทำงานดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 แสดงระยะทางที่ทำการวัดระยะระหว่างตะม่อ

เครื่องวัดระยะอยู่ที่ตะม่อ	เป้าอยู่ที่ตะม่อ
A	B,C,D,E,F
B	C,D,E,F
C	D,E,F
D	E,F
E	F

สมการที่ 3.35 แสดงสมการค่าสังเกตที่ได้จากการรังวัดระยะทางระหว่างตะม่อถึงตะม่อที่จะเพิ่มเข้าไปในการปรับแก้ ลีสท์สแควร์ จากนั้นนำข้อมูลการรังวัดทั้งหมดที่มีนำมาปรับแก้ ลีสท์สแควร์ โดยวิธีสมการค่าสังเกตอีกครั้งหนึ่ง

$$Dist = \sqrt{(E_a - E_b)^2 + (N_a - N_b)^2 + (H_a - H_b)^2} \quad (3.35)$$

โดย

E_a, N_a, H_a คือ ค่าพิกัดจุดบนตะม่อ A

E_b, N_b, H_b คือ ค่าพิกัดจุดบนตะม่อ B

ผลจากการรังวัดระยะได้ทั้งหมด 8 เส้นฐาน ทั้งนี้ที่ไม่สามารถส่องได้ทุกค่าตามที่กล่าวมาแล้วในตารางที่ 3.20 เพราะมีสิ่งกีดขวางทำให้ไม่สามารถส่องได้ ทำให้ไม่เป็นไปตามที่วางแผนไว้ ผลการรังวัดระยะระหว่างตะม่อ ดังแสดงในตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 แสดงผลการรังวัดระยะระหว่างตะม่อถึงตะม่อ รังวัดเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2547

STA	TARGET	V(Angle)			Hz.DIST (m.)	*Scale factor (0.999930)	First Velocity Correction
B	A	90	11	21	76.553	76.548	76.549
	C	89	42	22	83.811	83.805	83.807
C	A	90	14	19	160.362	160.351	160.354
	D	90	7	42	120.235	120.227	120.229
	F	90	8	35	282.004	281.984	281.990
D	E	90	3	20	84.034	84.028	84.030
	F	90	9	13	161.772	161.761	161.764
E	F	90	15	22	77.739	77.734	77.735

Henriques M.,Casaca J. (2004) กล่าวว่า การรังวัดสอบโครงข่ายสำรวจเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการคำนวณ จำต้องรังวัดให้มากที่สุดเพื่อเป็นการเพิ่มสมการค่าสังเกต ดังนั้นการวัดสอบสะพานพระรามหก ผู้ทดลองจึงเพิ่มค่าสังเกต จากเดิมที่รังวัดหมุดควบคุมไปยังหมุดถาวรบนตะม่อ นอกจากนั้นนำกล้องไปทำการรังวัดระยะระหว่างตะม่อถึงตะม่อ ลำดับต่อมาทำการเพิ่มการวัดมุมและวัดระยะมากเท่าที่สามารถทำการรังวัดได้ เพื่อเพิ่มสมการค่าสังเกตในการคำนวณผลการรังวัดทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 แสดงผลการวัดสอบเพื่อเพิ่มสมการค่าสังเกตเท่าที่จะสามารถทำการรังวัดได้

STA	TARGET	Az			V.Angle			Hz_Dist(m)	Scale Factor (0.99993)	First Velocity Correction	REMARK
BM3	BM1	240	51	32	88	51	52	372.020	371.994	372.001	
	C	215	53	24	87	19	45	116.356	116.348	116.351	
	D	221	24	16	88	44	58	235.533	235.516	235.521	
	E	222	49	29	89	5	43	319.292	319.270	319.276	
BM1	BM3	60	51	32	91	8	24	372.020	371.994	372.002	
	B	65	34	4	90	23	29	348.994	348.969	348.976	
	C	71	18	3	90	24	56	271.030	271.011	271.016	
	D	88	28	39	90	45	30	169.218	169.206	169.210	
	E	116	10	24	91	6	46	120.219	120.211	120.213	
E	BM1				88	53	18	120.217	120.209	120.211	
	D				89	56	13	84.033	84.027	84.029	

STA	TARGET	Az			V.Angle			Hz_Dist	Scale Factor (0.99993)	First Velocity Correction	REMARK
	F				90	15	38	77.740	77.735	77.736	
D	E				90	4	10	84.034	84.028	84.030	
C	D				90	7	59	120.238	120.229	120.232	
	BM2				88	57	59	167.359	167.347	167.350	
	B				90	17	2	83.812	83.806	83.808	
B	C				89	42	51	83.812	83.806	83.808	
C	D				90	7	59	120.237	120.228	120.231	

เมื่อนำค่าในตารางที่ 3.21 และ 3.22 ที่ได้จากการวัดมุมและวัดระยะเพื่อเพิ่มเติมค่าสังเกต ในการปรับแก้ วัตถุประสงค์เพื่อจะทำให้ผลการคำนวณค่าพิกัดของหมุดถาวรบนตะม่อสะพานพระรามหก มีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นในขณะนี้การคำนวณปรับแก้ ลีสมัทสแควร์ มีสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom ในการคำนวณปรับแก้แต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 แสดงจำนวนสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom ของการรังวัดแต่ละครั้ง

ครั้งที่	วันที่	จำนวนสมการค่าสังเกต	Degrees of Freedom
1	ตุลาคม 2546	98	80
2	พฤศจิกายน 2546	99	81
3	ธันวาคม 2546	99	81
4	มกราคม 2547	86	68

ในการปรับแก้ ลีสมัทสแควร์ ใช้ค่าเมทริกซ์น้ำหนักของค่าสังเกต ซึ่งเป็นส่วนกลับของโคแฟกเตอร์หรือเมทริกซ์ความแปรปรวน จะใช้ค่า σ_r เท่ากับ 2 มิลลิเมตร, σ_ϕ เท่ากับ 5 ฟิลิปดา, σ_{Az} เท่ากับ 4 ฟิลิปดา(กล้องแบบประมวลผล Leica TC1700) ผลการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อดังตารางที่ 3.24 นำผลต่างของค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อจากการวัดสอบแต่ละครั้ง มาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.009 เมตร และมีค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.008 เมตร

ตารางที่ 3.24 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดดาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ครั้งที่ 1		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
		E (m)	N (m)	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
	B	664219.036	1527393.412						
	C	664158.018	1527335.963						
	D	664070.465	1527253.569						
	E	664009.200	1527196.060						
	F	663952.602	1527142.775						
ครั้งที่ 2	A	664275.359	1527445.258						
	B	664219.034	1527393.410	0.002	0.002				
	C	664158.020	1527335.968	-0.002	-0.005				
	D	664070.456	1527253.547	0.009	0.022				
	E	664009.202	1527196.058	-0.002	0.002				
	F	663952.606	1527142.761	-0.004	0.014				
ครั้งที่ 3	A	664275.352	1527445.269			0.007	-0.011		
	B	664219.032	1527393.424	0.003	-0.012	0.002	-0.014		
	C	664158.017	1527335.969	0.000	-0.005	0.003	-0.001		
	D	664070.462	1527253.576	0.003	-0.007	-0.006	-0.029		
	E	664009.205	1527196.060	-0.006	0.000	-0.003	-0.002		
	F	663952.610	1527142.769	-0.008	0.006	-0.004	-0.008		
ครั้งที่ 4	A	664275.359	1527445.264			0.000	-0.006	-0.007	0.005
	B	664219.035	1527393.422	0.001	-0.010	-0.001	-0.012	-0.003	0.002
	C	664158.019	1527335.971	-0.001	-0.007	0.001	-0.003	-0.001	-0.002
	D	664070.467	1527253.572	-0.002	-0.003	-0.011	-0.025	-0.005	0.004
	E	664009.205	1527196.058	-0.005	0.002	-0.003	0.000	0.000	0.002
	F	663952.615	1527142.764	-0.013	0.011	-0.009	-0.003	-0.005	0.005

ตารางที่ 3.24 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์ หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2
		H (m)	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A			
	B	8.262		
	C	8.677		
	D	8.398		
	E	8.312		
	F	7.967		
ครั้งที่ 2	A	7.977		
	B	8.258	0.004	
	C	8.677	0.000	
	D	8.399	-0.001	
	E	8.308	0.004	
	F	7.944	0.023	
ครั้งที่ 3	A	8.002		-0.025
	B	8.262	0.000	-0.004
	C	8.679	-0.002	-0.002
	D	8.397	0.001	0.002
	E	8.311	0.001	-0.003
	F	7.968	-0.001	-0.024

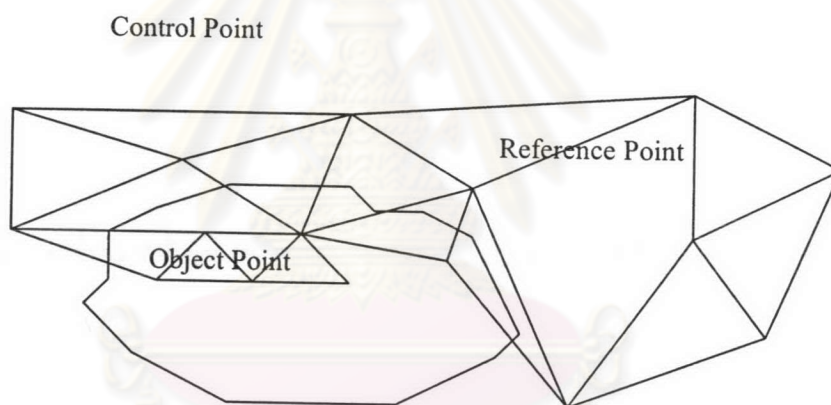
3.4.7 การคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อโดยใช้วิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

จากผลการรังวัด สังเกตเห็นว่าได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ไม่ว่าจะเป็เพราะความคลาดเคลื่อนที่ยังเหลืออยู่หรือสาเหตุมาจากกระบวนการรังวัด ด้วยสาเหตุนี้จึงนำผลการรังวัดมาทำการคำนวณปรับแก้แบบโครงข่าย(ลีสท์สแควร์แบบที่ 2) จากการศึกษาการวัดสอบเคลื่อนตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรมเช่น เชื้อนพบว่าการทำงานรังวัดโครงข่ายสำรวจที่ดี สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณสามในสี่ส่วน ของการสำรวจแบบเดิม (Sneddon, 1989)

ลักษณะของโครงข่ายสำรวจประกอบด้วย

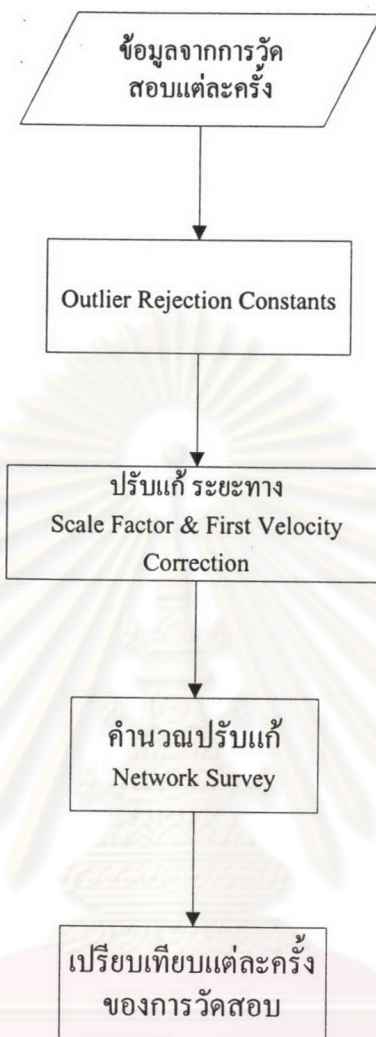
1. Reference Point
2. Control Point
3. Object Network

จากรูปที่ 3.14 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรังวัดสะพานพระรามหก จุด Object คือหมุดถาวรบนตะม่อ (A,B,C,D,E และ F) ในส่วนของ Control Point คือหมุดที่ใช้ในการตั้งกล้องส่องไปยังตะม่อสะพาน (BM1,BM2 และ BM3) และ Reference Point คือ จุดที่มีไว้เพื่ออ้างอิงว่าหมุดที่ใช้ในการตั้งกล้องวัดสอบไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อเมื่อ โครงสร้างมีการเคลื่อนที่จะสามารถทราบการเคลื่อนตัวได้ (BM6,BM5)



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของโครงข่ายสำรวจ ที่มา Caspary (1987:2)

ลำดับต่อไปจะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงาน ลิสต์สแควร์แบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.15 แสดงลำดับขั้นตอนการหาค่าพิกัดวิธี ลิสต์สแควร์แบบที่ 2 ตามลำดับเริ่มจากการรังวัดในสนาม จากนั้นทำการตัดค่าสังเกตบางค่าที่ไม่ดีออกไป ค่าสังเกตใดๆ ไม่ผ่านการทดสอบทางสถิตินี้จะไม่นำมาคำนวณปรับแก้ ลิสต์สแควร์แบบที่ 2 เพื่อหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อ



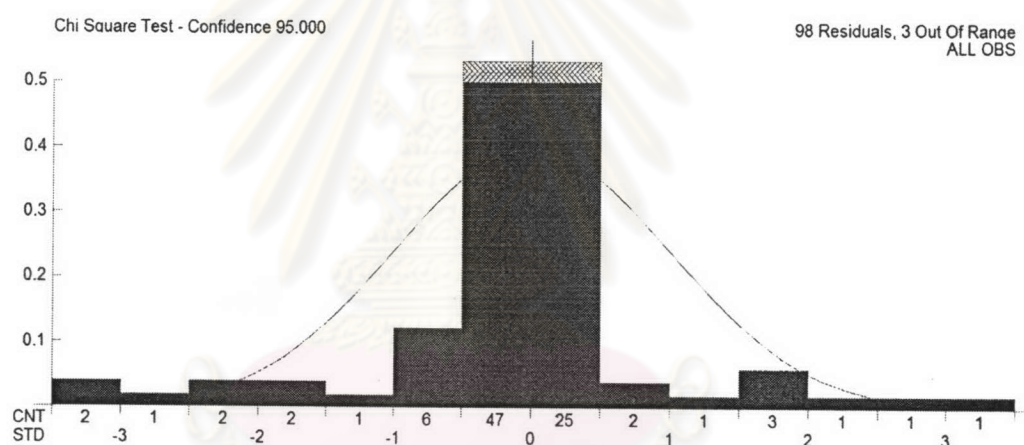
รูปที่ 3.15 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน ลิสต์สแควร์แบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูลหลังปรับแก้ Refraction

ลำดับการทำงาน ลิสต์สแควร์แบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูลหลังปรับแก้ Refraction

1. ข้อมูลจากการรังวัดแต่ละครั้ง : ซึ่งใช้ข้อมูลชุดเดียวกับการคำนวณแบบ ลิสต์สแควร์ ก่อนหน้านี้
2. Outlier Rejection Constants : เปรียบเทียบระหว่างเศษเหลือของแต่ละค่าสังเกตในการทดลองทางสถิติใช้ TAU Statistic รูปที่ 3.16 ถึง รูปที่ 3.19 แสดงถึง Residual Distribution ของแต่ละค่าสังเกตในโครงข่ายทั้งยังช่วยให้ทราบการกระจายของ Residuals เป็นแบบ Normal

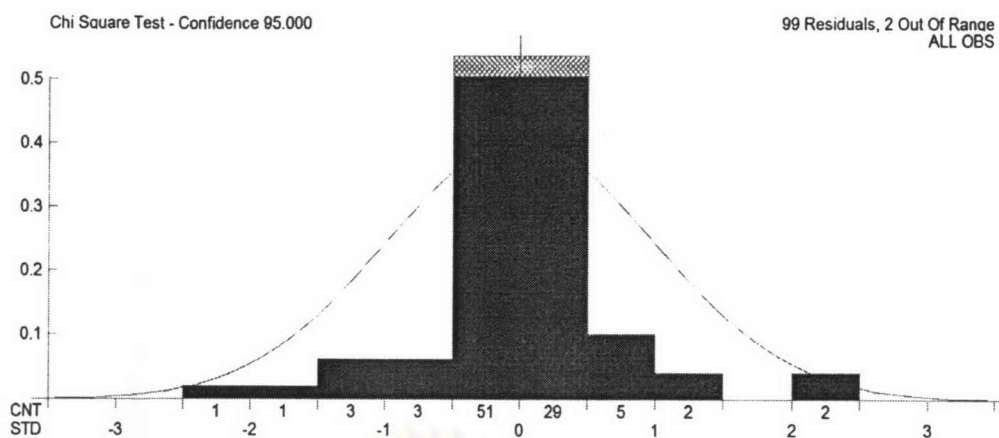
Distribution หรือไม่ โดยปกติใช้ Standardized Residual Test ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่า Standardized Residual ของแต่ละค่าสังเกตโดยใช้ TAU Statistic(Best-Fit Computing Inc,2001) กำหนดค่าเศษเหลือที่จะไม่นำค่าสังเกตนั้นมาคำนวณดังต่อไปนี้

- มุมราบ เท่ากับ 10 ฟลิปดา
- ทิศทางราบ เท่ากับ 10 ฟลิปดา
- ทิศทางตั้ง เท่ากับ 10 ฟลิปดา

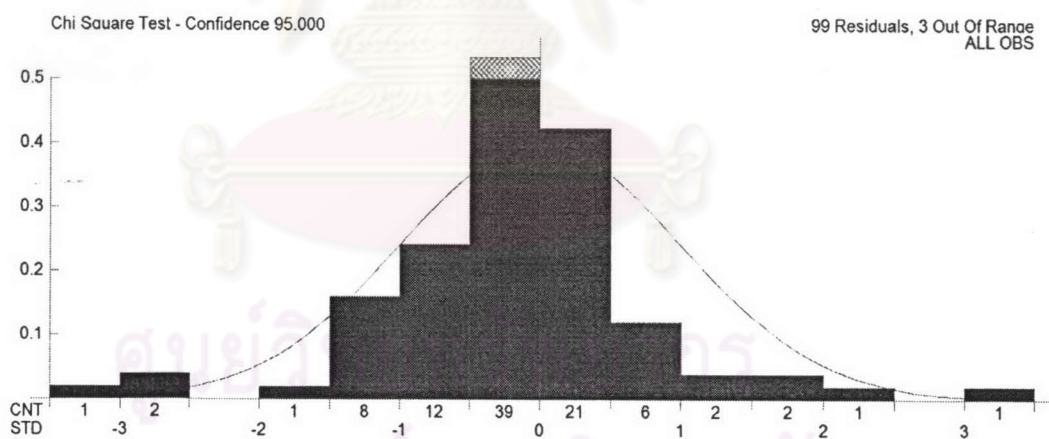


รูปที่ 3.16 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

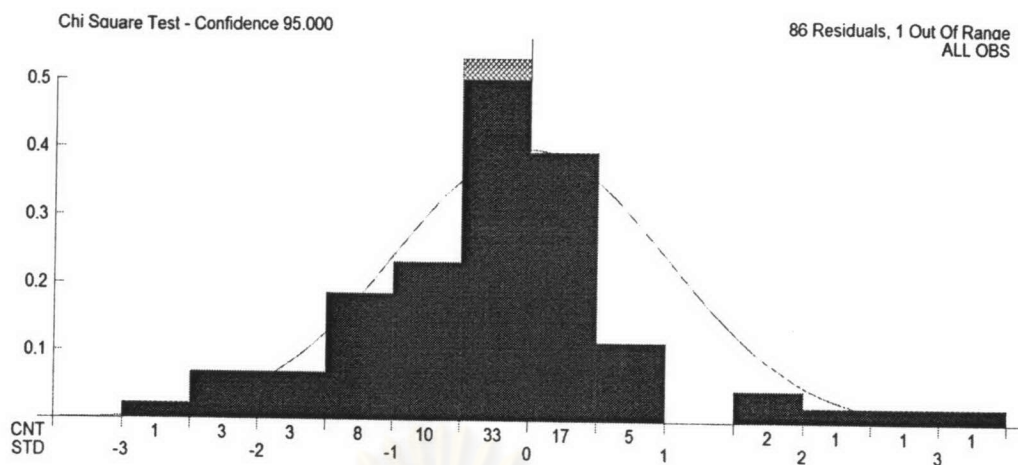
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.17 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction



รูปที่ 3.18 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 3 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction



รูปที่ 3.19 แสดงกราฟ Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 4 โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ค่าสังเกตที่ถูกตัดออกในแต่ละโครงข่าย จะไม่นำมาคำนวณในแต่ละโครงข่าย (Chi Square Test - Confidence 95%) มีค่าที่ไม่นำมาคำนวณดังต่อไปนี้

2.1 โครงข่ายที่ 1(รูปที่ 3.16 รังวัด ตุลาคม 2546) Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 1 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.429 มี 3 ค่าสังเกตที่ไม่นำมาคำนวณ ได้แก่

- Azimuth BM1-B : $65^{\circ}34'04''$

- Azimuth BM1-D : $88^{\circ}29'02''$

- Azimuth BM1-D : $88^{\circ}28'39''$

2.2 โครงข่ายที่ 2(รูปที่ 3.17 รังวัด พฤศจิกายน 2546) Residual Distribution สำหรับโครงข่ายที่ 2 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.448 มี 2 ค่าสังเกตที่ไม่นำมาคำนวณ ได้แก่

- Azimuth BM1-D : $88^{\circ}29'22''$

- Azimuth BM1-D : $88^{\circ}28'39''$

2.3 โคร่งข่ายที่ 3 (รูปที่ 3.18 รังวัด ธันวาคม 2546) Residual Distribution สำหรับ โคร่งข่ายที่ 3 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.443 มี 3 ค่าสังเกตที่ไม่นำมาคำนวณ ได้แก่

- Distance BM1-A : 422.263

- Azimuth BM3-B : 191°03'23"

- Azimuth BM3-B : 191°03'12"

2.4 โคร่งข่ายที่ 4 (รูปที่ 3.19 รังวัด มกราคม 2547) Residual Distribution สำหรับ โคร่งข่ายที่ 4 Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) เท่ากับ 3.448 มี 1 ค่าสังเกตที่ไม่นำมาคำนวณ ได้แก่

- Distance BM1-A : 422.263 m.

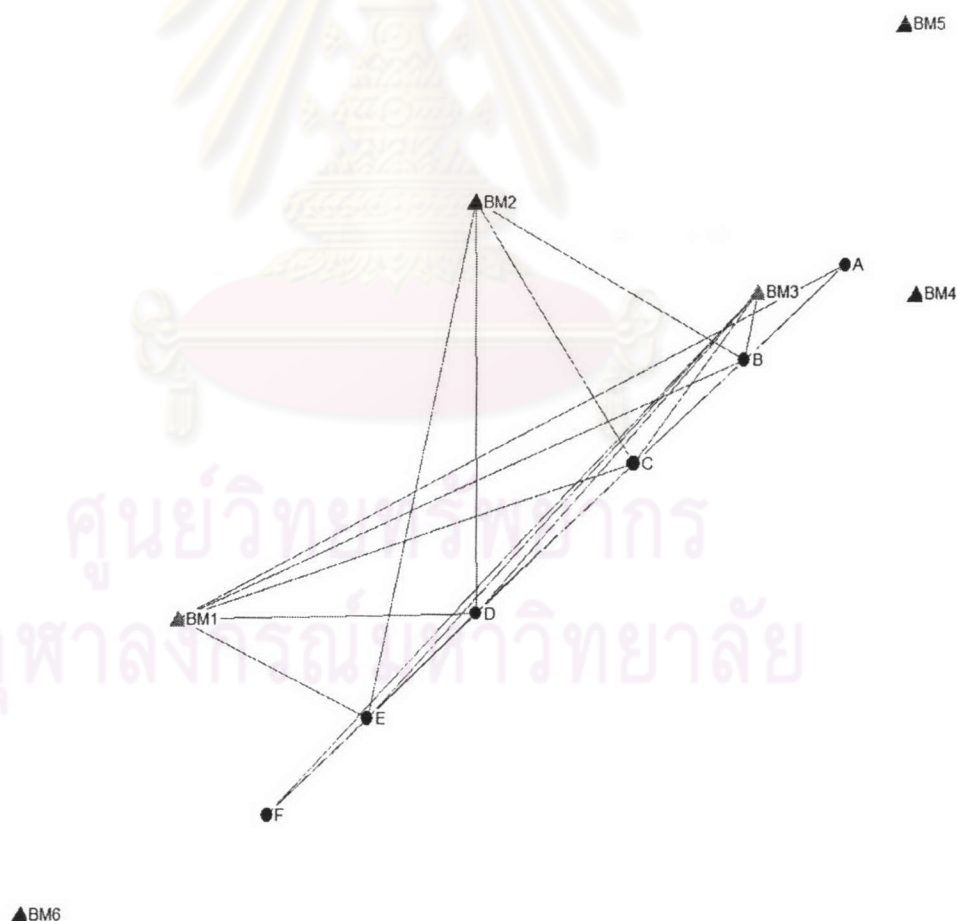
สำหรับ โคร่งข่ายสำรวจที่ทำกรังวัดนั้นประกอบไปด้วย การวัดมุมราบ มุมสูง และระยะทาง สมการค่าสังเกตในแต่ละครั้งที่วัดสอบมีจำนวนไม่เท่ากัน ทำให้ Degree of Freedom ไม่เท่ากันในแต่ละโคร่งข่าย สาเหตุเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางแนวเล็ง ทำให้ไม่สามารถส่องเห็นได้ และค่า Standardized Residual Rejection แต่ละโคร่งข่ายไม่เท่ากัน รายละเอียดของการคำนวณ โคร่งข่ายสำรวจในการวัดสอบแต่ละครั้ง ประกอบไปด้วย 4 โคร่งข่าย ดังแสดงตารางที่ 3.25

ตารางที่ 3.25 แสดงจำนวนสมการค่าสังเกต และ Degree of Freedom ของการรังวัดแต่ละครั้ง

ครั้งที่/โคร่งข่าย	วันที่	จำนวนสมการค่าสังเกต	Degrees of Freedom	Standardized Residual Rejection TAU statistic
1	ตุลาคม 2546	98	80	3
2	พฤศจิกายน 2546	99	81	2
3	ธันวาคม 2546	99	81	4
4	มกราคม 2547	86	68	1

3. ตรวจสอบแก้ไขระยะทางที่รังวัดโดยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย Scale Factor และ First Velocity Correction ก่อนจะนำไปคำนวณปรับแก้ โครงข่ายสำรวจ จากที่ได้กล่าวมาแล้วถึงการตรวจแก้ Scale Factor จะใช้ค่าเฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 0.99993 และในส่วนของค่า First Velocity Correction จะใช้ค่าตามสมการ 3.26 First Velocity Correction (k') = $2.12 \cdot 10^{-5} \cdot d$ เพื่อนำมาตรวจแก้ข้อมูลระยะทางที่รังวัดมาทั้งหมด และคำนวณหาค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อต่อไป

4. การปรับแก้ ลีสทึสแควร์แบบที่ 2 โดยในการคำนวณปรับแก้ผู้ทำการทดลองใช้โปรแกรม Columbus 3.5 Demo (Best-Fit Computing Inc, 2001) มาทำการคำนวณโครงข่ายสำรวจ ลักษณะของโครงข่ายสำรวจที่ใช้ในการคำนวณ ดังแสดง รูปที่ 3.20 ประกอบด้วย หมุดควบคุม (BM) ทั้งหมด 6 หมุด ซึ่งประกอบไปด้วยหมุดที่ใช้ในการวัดสอบจากรูปคือ BM 1, BM 2 และ BM3 ในส่วนของ BM 4 และ BM 5 เป็นหมุดที่ใช้อ้างอิง ว่าในการวัดสอบจะไม่มีเคลื่อนที่ของหมุดควบคุมที่ใช้วัดสอบ และหมุดถาวรบนตะม่อสะพานที่ใช้ในการวัดสอบ (A, B, C, D, E และ F)



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของโครงข่ายสำรวจที่ใช้ในการวัดสอบสะพานพระรามหก

5. เปรียบเทียบผลการรังวัด จากการคำนวณได้ผลการคำนวณของแต่ละโครงข่าย ดังแสดงในตารางที่ 3.26 นำผลต่างของค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อจากการวัดสอบแต่ละครั้งมาหาค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.008 เมตร และมีค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.006 เมตร

ตารางที่ 3.26 (ก) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ครั้งที่ 1		ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
		E (m)	N (m)	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
ครั้งที่ 1	A								
	B	664219.031	1527393.399						
	C	664158.013	1527335.958						
	D	664070.462	1527253.569						
	E	664009.197	1527196.059						
	F	663952.605	1527142.767						
ครั้งที่ 2	A	664275.336	1527445.245						
	B	664219.034	1527393.415	-0.003	-0.016				
	C	664158.019	1527335.968	-0.006	-0.010				
	D	664070.458	1527253.562	0.005	0.007				
	E	664009.200	1527196.060	-0.003	-0.001				
	F	663952.608	1527142.767	-0.003	0.000				
ครั้งที่ 3	A	664275.332	1527445.252			0.004	-0.007		
	B	664219.033	1527393.423	-0.002	-0.024	0.001	-0.008		
	C	664158.015	1527335.965	-0.001	-0.007	0.004	0.003		
	D	664070.461	1527253.577	0.001	-0.009	-0.003	-0.015		
	E	664009.204	1527196.060	-0.007	-0.001	-0.004	0.000		
	F	663952.609	1527142.769	-0.004	-0.002	-0.001	-0.002		
ครั้งที่ 4	A	664275.336	1527445.250			0.000	-0.005	-0.004	0.002
	B	664219.034	1527393.419	-0.003	-0.020	0.000	-0.004	-0.001	0.004
	C	664158.018	1527335.970	-0.005	-0.012	0.001	-0.002	-0.003	-0.005
	D	664070.468	1527253.577	-0.006	-0.009	-0.010	-0.015	-0.007	0.000

ตารางที่ 3.26 (ก) (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าพิกัดหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

ครั้งที่ 4	ระยะเหนือ	ระยะตะวันออก	ผลต่างกับครั้งที่ 1		ผลต่างกับครั้งที่ 2		ผลต่างกับครั้งที่ 3	
	E (m)	N (m)	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN	ΔE	ΔN
E	664009.204	1527196.060	-0.007	-0.001	-0.004	0.000	0.000	0.000
F	663952.612	1527142.767	-0.007	0.000	-0.004	0.000	-0.003	0.002

ตารางที่ 3.26 (ข) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสท์สแควร์แบบที่ 2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่ 1	ผลต่างกับครั้งที่ 2	ผลต่างกับครั้งที่ 3
		H (m)	ΔH	ΔH	ΔH
ครั้งที่ 1	A				
	B	8.260			
	C	8.678			
	D	8.401			
	E	8.312			
	F	7.966			
ครั้งที่ 2	A	7.995			
	B	8.255	0.005		
	C	8.674	0.004		
	D	8.398	0.002		
	E	8.308	0.004		
	F	7.959	0.008		
ครั้งที่ 3	A	8.006		0.011	
	B	8.259	-0.004	0.004	
	C	8.677	-0.003	0.003	
	D	8.400	-0.002	0.002	

ตารางที่ 3.26 (ข)(ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสูงหมุดถาวรบนตะม่อแต่ละครั้ง และผลต่างค่าพิกัดแต่ละครั้ง โดยวิธี ลีสม์สแควร์แบบที่ 2 หลังจากเพิ่มสมการค่าสังเกต โดยใช้ข้อมูลหลังการตรวจแก้ Refraction

		ความสูง	ผลต่างกับครั้งที่1	ผลต่างกับครั้งที่2	ผลต่างกับครั้งที่3
		H (m)	ΔH	ΔH	ΔH
	E	8.312	-0.004	0.004	
	F	7.966	-0.008	0.008	
ครั้งที่ 4	A	8.006		0.000	0.000
	B	8.257	0.002	-0.002	-0.002
	C	8.676	0.001	-0.001	-0.001
	D	8.400	0.000	0.000	0.000
	E	8.309	0.003	-0.003	-0.003
	F	7.964	0.002	-0.002	-0.002

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย