หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบและการสร้างสนามทดสอบ

4.1 ความหมายของสนามทดสอบ

สนามทดสอบ เป็นสนามที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบงานรังวัดควบคุมทางราบด้านวิศวกรรมสำรวจในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า โดยจัดสร้างให้มี ระบบหมุดหลักฐาน ระบบเส้นฐาน ระบบเส้นกริด ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบและประเมินขีดความสามารถของช่างรังวัด เครื่องมือรังวัด และวิธีการรังวัด ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลกระทบโดยตรงต่องานวิศวกรรมสำรวจและงานวิศวกรรมในขั้นต่อมา

4.2 สมมติฐานและแนวทางในการออกแบบและสร้างสนามทดสอบ

ในการออกแบบและสร้างสนามทดสอบให้ได้คุณลักษณะตามความประสงค์ จำเป็นต้องอาศัยสมมุติฐานและแนวทางต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

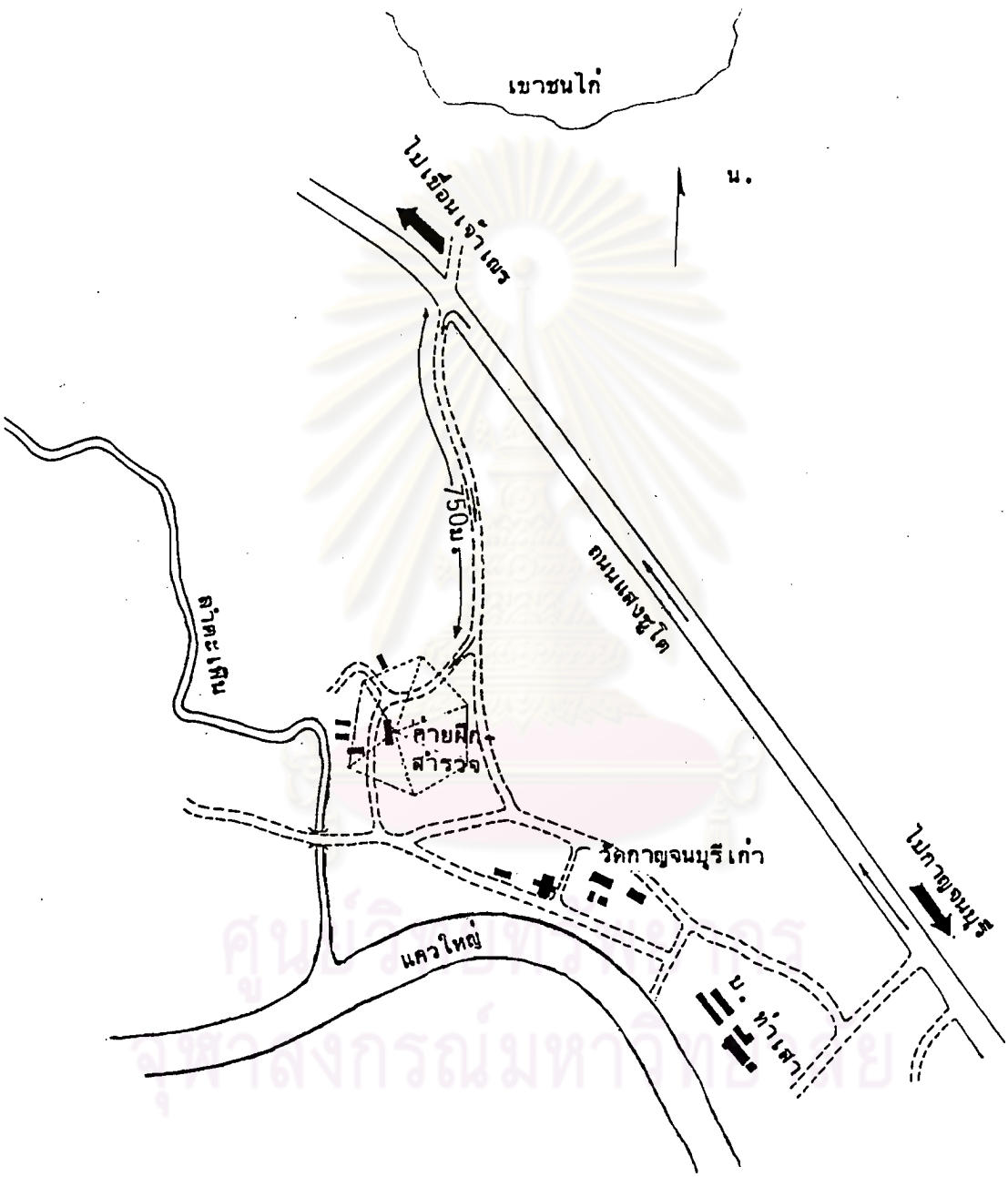
1. พื้นที่ ที่ใช้สร้างสนามทดสอบ ใช้พื้นที่บริเวณค่ายฝึกสำรวจของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บ้านท่าเสา จังหวัดกาญจนบุรี ปรากฏบนแผนที่ มาตราส่วน 1:50,000 ระวางบ้านลาดหญ้า บริเวณพิกัด (UTM) 434605 (รูปที่ 4.1 แสดงที่ตั้งของสนามทดสอบ)

2. แผนที่ ที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบวางผังโครงข่ายขั้นต้น ใช้แผนที่บริเวณค่ายฝึกสำรวจฯบ้านท่าเสา จังหวัดกาญจนบุรี มาตราส่วน 1:10,000 ซึ่งเขียนจากรูปถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1:15,000 ด้วยเครื่องเขียนร่างแผนที่จากคู่ภาพสามมิติ Wild A-9

3. แผนผัง ที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบวางผังโครงข่ายขั้นต่อมา ได้จากการสำรวจด้วยโต๊ะแผนที่ในพื้นที่จริง และได้ใช้เนื้อที่

- ในการวางโครงข่ายหลัก (Primary Net) ประมาณ 150 × 150 ตารางเมตร
- ในการวางโครงข่ายกริด (Grid line) ประมาณ 40 × 40 ตารางเมตร

ส่วนในการสร้างเส้นฐานตรวจสอบระยะ ใช้ระยะยาว 140 เมตร



รูปที่ 4.1 ที่ตั้งสนามทดสอบ

(รูปที่ 4.2 แสดงถึงรูปร่างและลักษณะโครงข่ายของสนามทดสอบ)

4. แนวเหตุผล ที่เลือกพื้นที่ดังกล่าวเป็นสนามทดสอบ เนื่องจาก

- เป็นพื้นที่ซึ่งอยู่ไม่ห่างไกลจากกรุงเทพฯ นัก เส้นทางคมนาคมสะดวก สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้โดยง่าย

- เป็นสถานที่ของทางราชการ เมื่อต้องการถากถางพื้นที่หรือสร้างหมุดหลักฐานตลอดจนหน่วยงานต่าง ๆ ต้องการเข้าไปใช้ประโยชน์ก็สามารถกระทำได้สะดวก ทั้งยังมีผู้คอยดูแลรักษาสถานที่ ทำให้หมุดหลักฐานต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นไม่ชำรุดสูญหาย หรือถูกทำลายได้โดยง่าย

- ลักษณะของพื้นดินบ่งชี้ว่า มีความมั่นคงพอสมควร ไม่มีการทรุดตัวได้ง่าย จึงเหมาแก่การปฏิบัติงานสำรวจ และสร้างหมุดหลักฐานซึ่งจะทำให้คงสภาพในการใช้งานต่อไปได้นาน

มาตรฐานในการรังวัดเพื่อสร้างสนามทดสอบนี้ ได้ใช้มาตรฐานงานรังวัดควบคุมจากเอกสารเรื่อง "Classification Standard of Accuracy and General Specifications of Geodetic Control Survey" ของ Federal Geodetic Control Committee (F.G.C.C.) สหรัฐอเมริกา ฉบับปี ค.ศ. 1974 โดยใช้มาตรฐานงานรังวัดควบคุมทางราบในระดับงานชั้นที่ 2 เพื่อสามารถใช้ในการตรวจสอบงานรังวัดในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่าได้ ดังแสดงในตารางที่ จ.1, จ.2 และ จ.3

ก. เครื่องมือรังวัดมุมและระยะ

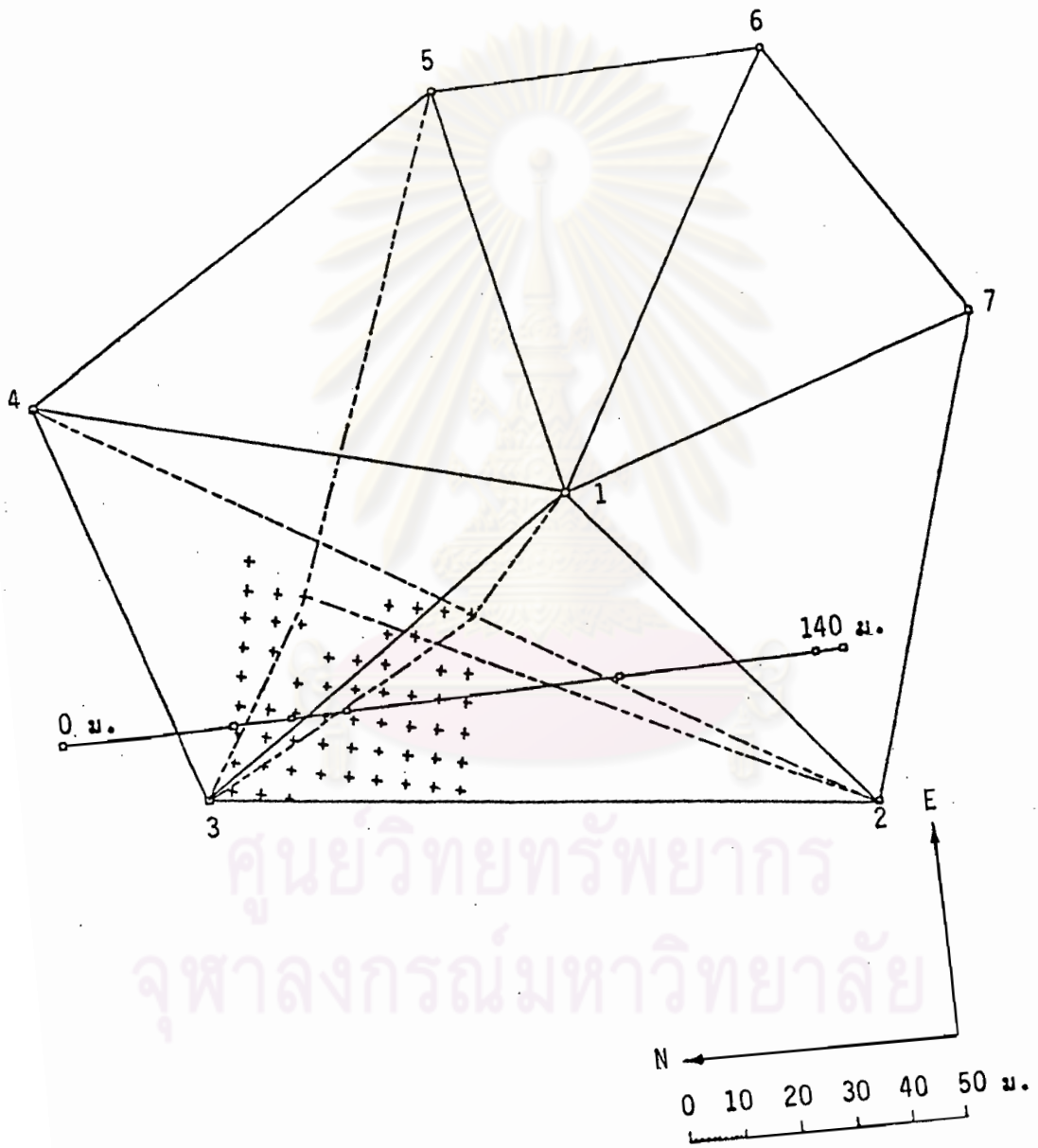
เครื่องมือวัดมุมและระยะ ที่ใช้ในการปฏิบัติงานโครงข่ายเพื่อสร้างสนามทดสอบได้ใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูงกว่าเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานชั้นที่ 3 (หรือต่ำกว่า) โดยทั่วไป ซึ่งในที่นี้ได้ใช้

กล้องวัดมุม

- Wild T-3
- Wild T-2

เครื่องมือวัดระยะ

- Zeiss Eldi-2



รูปที่ 4.2 สนามทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Invar wire & Invar tape
- Steel Tape

ข. เกณฑ์กำหนดในการรังวัด

การวางโครงข่ายหลัก (Primary Net)

ทำการรังวัดโดยวิธีข่ายสามเหลี่ยมวัดมุม-วัดด้าน (Combined triangulation-trilateration network) โดยใช้กล้องวัดมุม Wild T-3 และเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ (Eldi-2)

- จำนวนศูนย์ในการวัดมุมราบ = 10 ศูนย์ต่อ 1 ชุด
- จำนวนครั้งในการวัดระยะใช้เครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ วัดระยะโดยอ่านค่าระยะแต่ละช่วงไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง
- ความคลาดเคลื่อนในการวัดมุม ให้ผลต่างจากค่ามุมเฉลี่ยของการวัดมุมแต่ละศูนย์ไม่เกิน $\pm$ 6" (พิลิบดา)
- เกณฑ์ในการวัดระยะ วัดให้มีค่าแย้ง (Discrepancy) จากค่าเฉลี่ยในการวัดระยะไม่เกิน 1:10,000

การวางโครงข่ายกริด (Grid Net)

ทำการวัดมุมเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายหลักเข้ากับโครงข่ายกริด โดยใช้กล้องวัดมุม Wild T-2 โดยวัดมุมราบ = 4 ศูนย์ ต่อ 1 ชุด และวัดระยะด้วยเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ (Eldi-2) โดยอ่านค่าระยะแต่ละช่วงไม่น้อยกว่า 6 ครั้ง

- จำนวนศูนย์ในการรังวัดมุมราบภายในโครงข่ายกริด = 2 ศูนย์ ต่อ 1 ชุด
- จำนวนครั้งในการวัดระยะของโครงข่ายกริด วัดระยะโดยใช้ไข่ลานเหล็กกล้า (Steel tape) รังวัดและอ่านค่าระยะไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง
- ความคลาดเคลื่อนในการวัดมุม ให้ผลต่างจากค่ามุมเฉลี่ยของการวัดมุมแต่ละศูนย์ไม่เกิน 10" (พิลิบดา)

การวางเส้นฐานตรวจสอบระยะ (Length Test Base)

ทำการวัดระยะให้ถูกต้องเพียงพอแก่การใช้ตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะใกล้ (Short

Range) โดยทั่วไป โดยให้มีค่าแย้งจากค่าเฉลี่ยในการวัดระยะได้ไม่เกิน 1:50,000

หลักเกณฑ์และรายละเอียดในการกำหนดจำนวนศูนย์ และจำนวนครั้งในการวัดมุมและวัดระยะได้อาศัยแนวทางในหัวข้อที่ 5 และในขั้นการออกแบบในบทที่ 4 ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

6. ลักษณะของหมุดหลักฐาน

หมุดหลักฐานที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นหมุดสำหรับโครงข่ายหลัก ได้ใช้หมุดหลักฐานแบบ ข ตามระเบียบกรมแผนที่ทหารว่าด้วย "ลักษณะหมุดหลักฐาน" (ดังรูปที่ 4.3) กล่าวโดยสังเขป คือ ใช้หัวหมุดทองเหลืองฝังบนแท่นคอนกรีตรูปจัตุรัส ขนาดประมาณ 35 × 35 ซม. ฝังลงไปในดิน ลึกประมาณ 45 ซม. อยู่เหนือผิวพื้นดินขึ้นมาประมาณ 10 ซม.

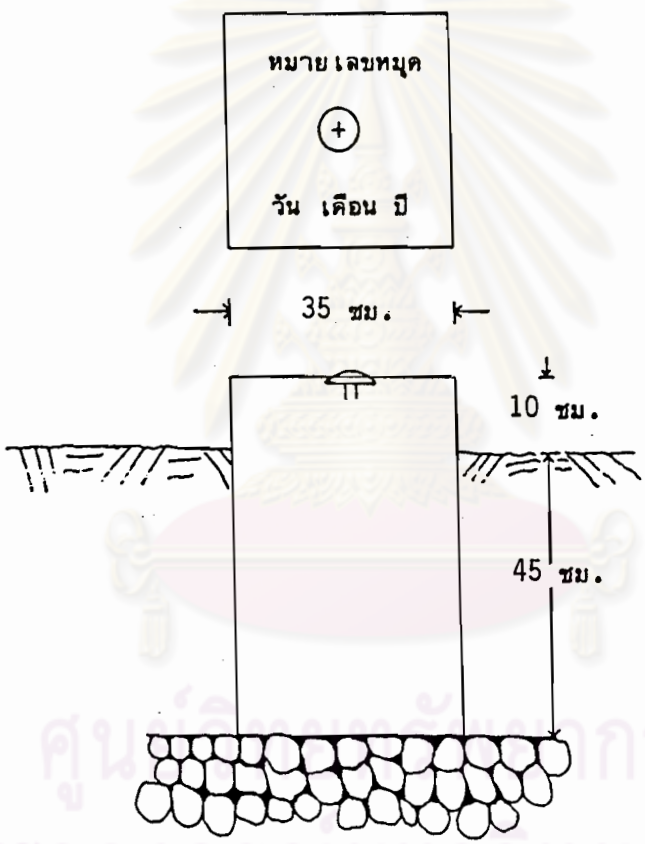
หมุดหลักฐานสำหรับโครงข่ายกริด ใช้หมุดหลักฐานมีลักษณะเป็นแท่งคอนกรีตรูปจัตุรัส ขนาดประมาณ 18 × 18 ซม. ฝังลงไปในดิน ลึกประมาณ 35 ซม. อยู่เหนือผิวพื้นดินขึ้นมาประมาณ 5 ซม. หัวหมุดทำด้วยแผ่นเพลท (Plate) อลูมิเนียมรูปจัตุรัส หนาประมาณ 6 มม. ตัวแผ่นเพลทขนาดประมาณ 11 × 11 ซม. ที่มุมทั้งสี่เจาะรูเพื่อไว้ขันตะปูเกลียวให้ยึดตรึงแผ่นเพลทให้ติดแน่นกับหัวหมุดคอนกรีต (ดังรูปที่ 4.4) หมุดกริดนี้จะวางเป็นแนวเส้นกริดห่างกันช่วงละ 5 เมตร ขนานกับแกนพิกัดที่กำหนดขึ้น

หมุดเส้นฐานตรวจสอบระยะ หมุดแต่ละหมุดทำด้วยเสาคอนกรีต ด้านบนเป็นรูปจัตุรัส ขนาดประมาณ 15 × 15 ซม. (ตั้งอยู่บนฐานรองรับคอนกรีต ด้านบนเป็นรูปจัตุรัส ขนาดประมาณ 70 × 70 ซม.) อยู่เหนือพื้นดินประมาณ 120 ซม. ฝังลึกลงไปในดินประมาณ 60 ซม. ลักษณะของหัวหมุดทำด้วยทองเหลืองกลมมีรอยบากกากะบาทตรงกลาง ซึ่งได้ใช้เป็นหัวหมุดสำหรับโครงข่ายหลักด้วย (ดังรูปที่ 4.5) หมุดเส้นฐานตรวจสอบระยะได้วางไว้ที่ระยะ 0-30-40-50-100-135 และ 140 เมตร ตามลำดับ ลักษณะของหมุดเส้นฐานตรวจสอบ แสดงในรูปที่ 4.6

7. สมมุติฐานในการคำนวณปรับแก้

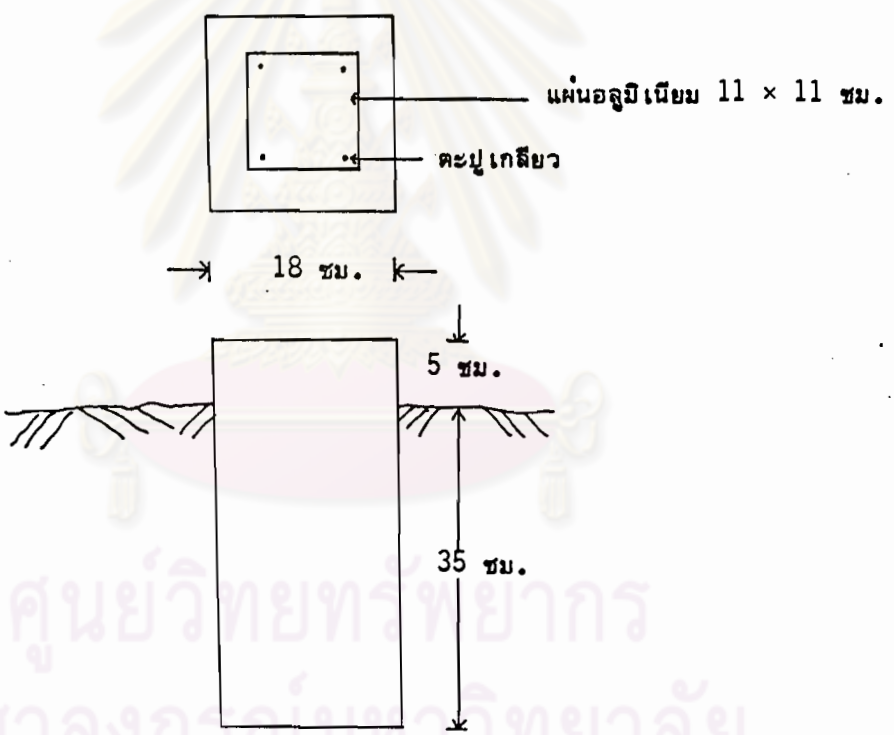
ในการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสนามทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้อาศัยสมมุติฐานบางประการดังนี้

1. การรังวัดทั้งหมดถือว่า เป็นการรังวัดบนพื้นผิวระนาบ (ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1) ระบบพิกัดใช้ระบบพิกัดฉากระนาบราบ และการคำนวณอาศัยเรขาคณิตบนพื้นราบ



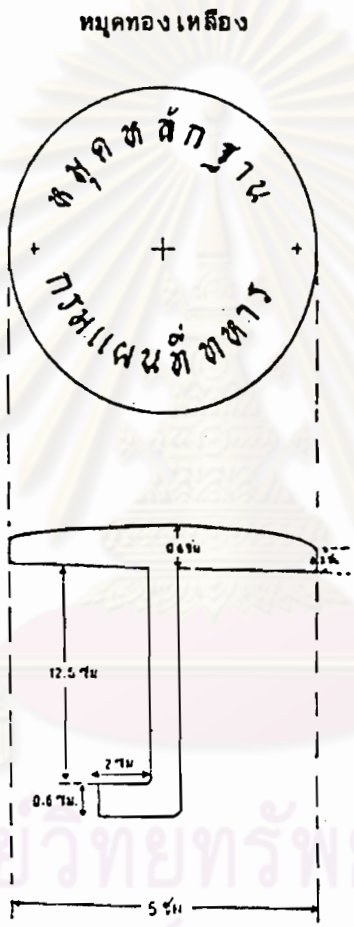
รูปที่ 4.3 หมุดหลักฐานโครงข่ายหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



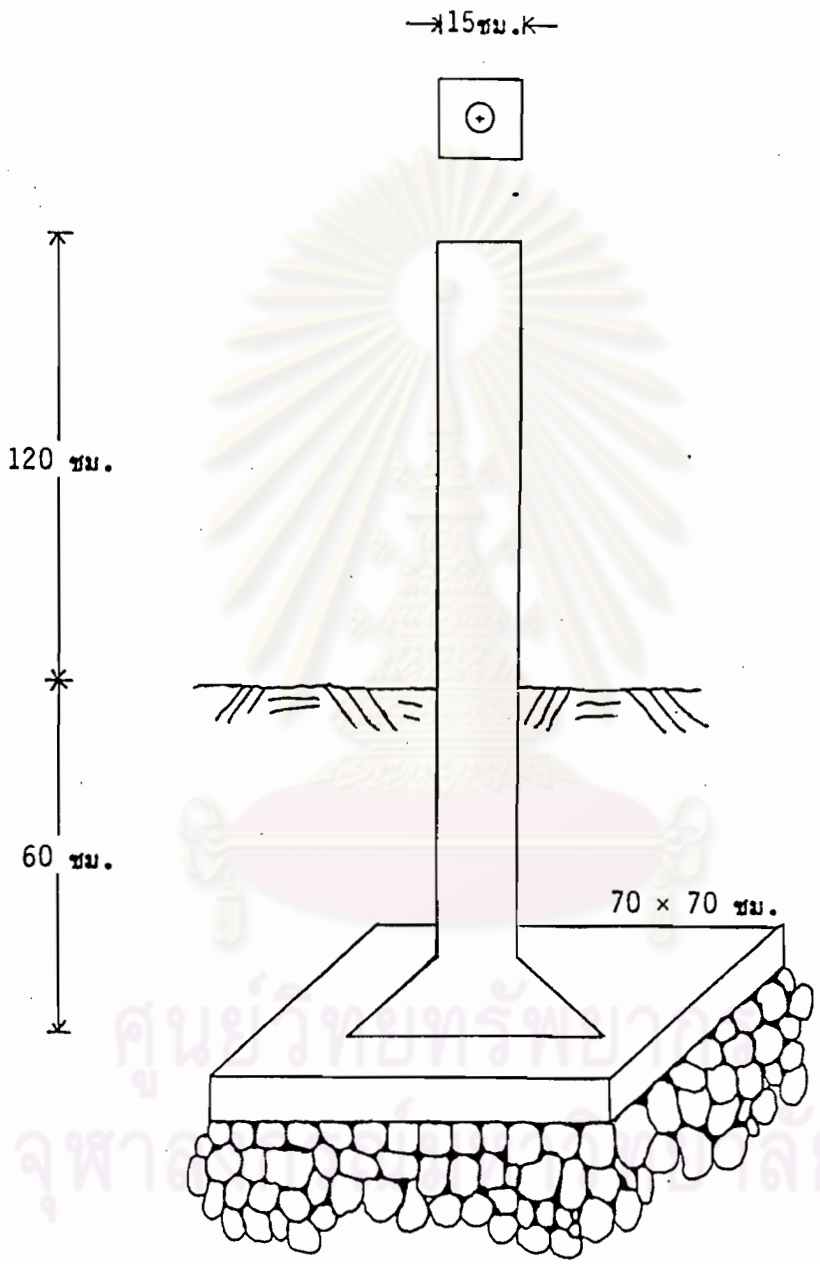
รูปที่ 4.4 หมุดหลักฐานโครงข่ายกริด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 หัวหมุดของหมุดหลักฐานสำหรับโครงข่ายหลัก
และหมุดเส้นฐานตรวจสอบระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 หมุดเส้นฐานตรวจสอบระยะ

I15864844

2. ระบบโครงข่ายของสนามทดสอบ เป็นระบบโครงข่ายอิสระยังไม่มีการโยงค่าพิกัดจากจุดควบคุมอ้างอิงหรือหมุดหลักฐานที่ได้จากงานรังวัดทางยีออเดติก

3. พิกัดของจุดศูนย์กำเนิด (Origin) กำหนดให้เป็นค่าคงตัว (Fixed) และมีค่าพิกัดคือ X = 500.000 ม. และ Y = 500.000 ม. ในที่นี้คือจุด 908 (รูปที่ 4.10)

4. ทิศทางหรืออะซิมุทเริ่มต้นที่ใช้ประกอบการคำนวณ ได้กำหนดให้ค่าสมมุติของอะซิมุทจากจุด 908 ไปยังจุด 308 (หรือ H_3 ไป H_9) มีค่าเป็น 0^{o} 0' 00".000

4.3 <u>การคำนวณออกแบบ</u>

4.3.1 ลักษณะพึงประสงค์ของโครงข่าย

การกำหนดรูปลักษณ์ของโครงข่ายนับว่ามีความสำคัญอยู่มาก เนื่องจากรูปร่างหรือรูปทรงเรขาคณิต (Geometry) ที่ดีของโครงข่าย มีส่วนช่วยให้ความละเอียดของจุดที่จะใช้เป็นค่าพิกัดในโครงข่ายที่สร้างขึ้น มีความละเอียดสูงขึ้นด้วย ดังนั้นในการออกแบบโครงข่ายในงานสามเหลี่ยมหรืองานที่ประกอบด้วยข่ายสามเหลี่ยมอย่างสนามทดสอบ จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปลักษณ์ของโครงข่ายที่เหมาะสมด้วย ซึ่งลักษณะพึงประสงค์ของโครงข่ายควรประกอบด้วย

ก. โครงข่ายควรเป็นรูปสามเหลี่ยมที่ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนได้หลายทิศทาง

ข. รูปสามเหลี่ยมภายในโครงข่าย ควรเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า มุมทั้งสามมีขนาดใกล้เคียงกัน

ค. มุมภายในรูปสามเหลี่ยมดังกล่าวไม่ควรเล็กกว่า 30^{o} หรือโตกว่า 120^{o}

ทั้งนี้รูปลักษณ์ของโครงข่ายยังขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศบริเวณเขตงานนั้น ๆ ด้วย เพราะบางพื้นที่ถูกจำกัดด้วยลักษณะภูมิประเทศ ทำให้ไม่สามารถเลือกรูปลักษณ์โครงข่ายตามความต้องการได้เสมอไป สำหรับโครงข่ายหลักที่ใช้เป็นสนามทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านไม่เท่า (รูปที่ 4.2) ด้านยาวที่สุดประมาณ 119 เมตร ด้านสั้นที่สุดประมาณ 59 เมตร มุมภายในเล็กที่สุดประมาณ 37^{o} และใหญ่ที่สุดประมาณ 96^{o}

4.3.2 การคำนวณออกแบบ

หลังจากที่ได้ออกแบบรูปลักษณ์ของโครงข่ายสนามทดสอบและกำหนดปริมาณต่าง ๆ ที่จะรังวัดเรียบร้อยแล้ว ปัญหาหนึ่งที่จะต้องหาคำตอบคือ จะต้องทำการรังวัดปริมาณต่าง ๆ

เหล่านั้น ด้วยความละเอียดถูกต้องเพียงใด จึงจะทำให้ความละเอียดถูกต้องของพารามิเตอร์ (ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานต่าง ๆ) หลังปรับแก้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ ปัญหานี้แก้โดยอาศัยเทคนิคของลีสท์สแควร์ (วิธีสมการค่าสังเกต) ทำการคำนวณย้อนจากค่าแมทริกซ์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ (Σ_{UV}) ที่กำหนดขึ้นก่อนให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ เพื่อคำนวณว่า Σ_{lb} ที่สอดคล้องกันจะมีค่าเท่าใด Σ_{lb} ที่ได้จะเป็นตัวบอกว่า ความแปรปรวนหรือความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตต่าง ๆ ในการรังวัดว่าควรมีค่าเป็นเท่าใด จึงจะส่งผลไปถึงคุณภาพงานที่ต้องการ

เพื่อความเข้าใจจะขออธิบายประกอบขั้นตอน การคำนวณออกแบบ (รูปที่ 4.7) ดังนี้

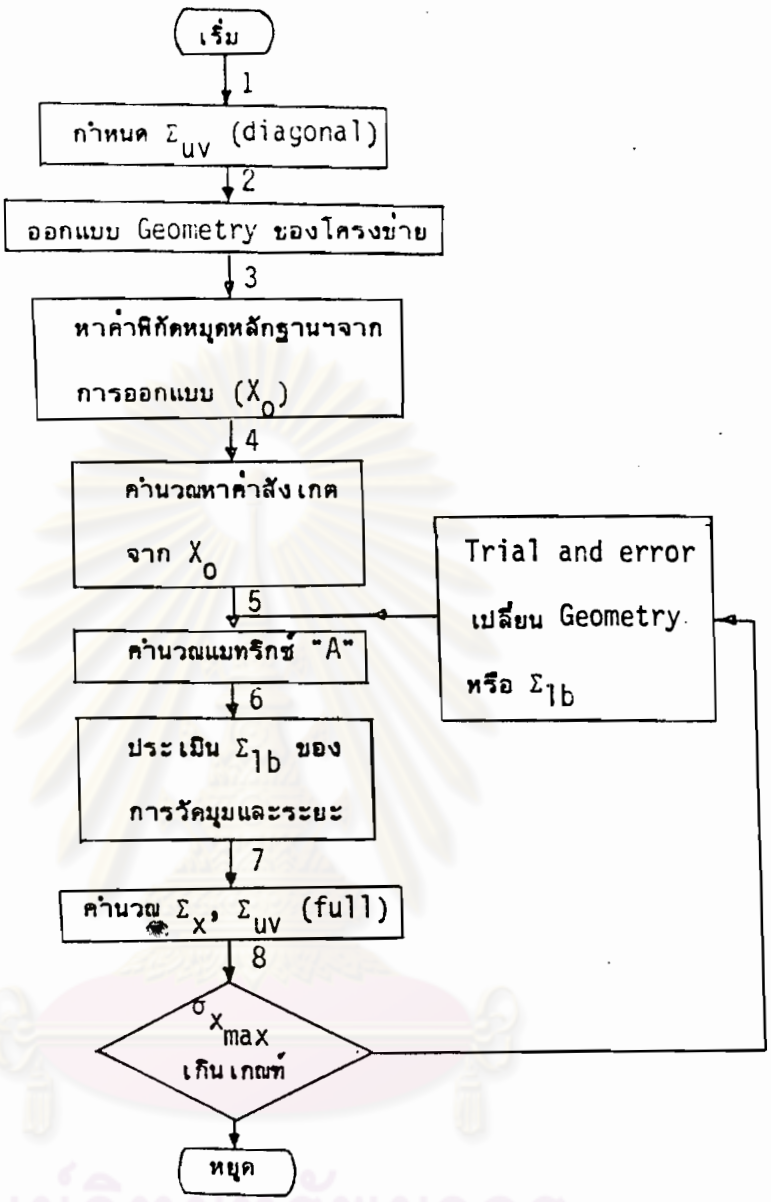
4.3.2.1 ขั้นตอนการคำนวณออกแบบ

กำหนด Σ_{UV} (diagonal) หรือความต้องการความถูกต้องของพิกัดหมุดหลักฐานในโครงข่ายหลังการปรับแก้ไว้ก่อน โดยยอมให้จุดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดในโครงข่ายมีค่าไม่เกิน 4 มม. (ซึ่งตัวเลขนี้เป็นเกณฑ์ที่ได้กำหนดขึ้นเองและถือว่าพอเพียงแล้ว ที่จะใช้ทดสอบการรังวัด โดยเฉพาะกับงานในระดับชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการรังวัดให้สนามทดสอบไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย (error free) หรือความคลาดเคลื่อนน้อยกว่านี้นั้นกระทำได้ยาก เพราะต้องเพิ่มความประณีต และเพิ่มจำนวนชุดในการรังวัดให้มากขึ้น ตลอดจนต้องเพิ่มปริมาณค่าสังเกต ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณโดยไม่จำเป็น) ซึ่งหมายถึงว่าต้องคำนวณออกแบบให้ $\sigma_{U_{max.}}$ หลังการปรับแก้มีค่าไม่เกิน 4 มม. จึงจะได้สนามทดสอบที่มีคุณลักษณะตามความประสงค์

2. ออกแบบ Geometry ของโครงข่าย โดยเลือกตำแหน่งของจุดที่จะวางโครงข่ายหลักและโครงข่ายกริดให้เหมาะสมกับภูมิประเทศ ซึ่งอาศัยหลักการพิจารณาตามหัวข้อ 4.3.1 แล้วกำหนดจุดต่าง ๆ เหล่านั้น ลงในแผ่นออกแบบ (รูปที่ 4.2)

3. หาค่าพิกัดของหมุดหลักฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในข้อ 2 โดยอาศัยจุดคงตัว ในที่นี้คือจุด 908 (รูปที่ 4.10) เป็นจุดศูนย์กำเนิดมีค่าพิกัด X = 500.000 เมตร Y = 500.000 เมตร แล้วอ่านค่าพิกัดของจุดอื่น ๆ ทุกจุดที่กำหนดไว้ในโครงข่ายตามมาตราส่วนให้ละเอียดเป็นมิลลิเมตร เมื่อถึงขั้นนี้จะทำให้ทราบค่าพิกัดในขั้นต้น (X_o) ของหมุดหลักฐานทุกหมุดในโครงข่ายสนามทดสอบ

4. คำนวณหาค่าสังเกต ซึ่งได้แก่ค่ามุมและระยะจาก X_o เพราะเมื่อทราบค่าพิกัดของทุกจุดในโครงข่ายก็จะทำให้สามารถคำนวณหาค่าสังเกตทั้งหมดตามที่ออกแบบไว้ได้ด้วยวิธี Inverse Problem (รายละเอียดในภาคผนวก ก การคำนวณหาค่าสังเกตในขั้นออกแบบ ดังนั้นในขั้นนี้ จะทำให้มีค่าสังเกตโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติการรังวัดในสนาม



ในที่นี้ Σ_{uv} คือ

$$\begin{bmatrix} \sigma_{U_1}^2 & & & \\ & \sigma_{V_1}^2 & & \text{Symmetry} \\ & & \sigma_{U_n}^2 & \\ \text{Symmetry} & & & \sigma_{V_n}^2 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 4.7 แผนผังขั้นตอนการคำนวณออกแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. คำนวณสัมประสิทธิ์แมทริกซ์ของพารามิเตอร์ (A) โดยใช้ค่าสังเกตที่คำนวณได้ในข้อ 4 แมทริกซ์ "A" นี้ จะเป็นตัวบอก Geometry ของโครงข่ายและจะแปรเปลี่ยนไปอย่างสัมพันธ์กับจำนวนค่าสังเกตและแมทริกซ์น้ำหนักของค่าสังเกต (P) กล่าวคือ ถ้าจำนวนหรือขนาดของค่าสังเกตเพิ่มขึ้น ขนาดของแมทริกซ์ "A" และ "P" ก็จะเพิ่มขึ้นหรือแปรเปลี่ยนตามไปด้วย

6. ประเมินแมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสังเกต (Σ_{lb})

ในการหาค่า Σ_{lb} ที่ทำให้ความถูกต้องหรือคุณภาพของงานเป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการนั้น ได้กำหนด Σ_{lb} ที่ควรจะเป็นขึ้นก่อน โดยอาศัยการทดลองรังวัดและพิจารณาประกอบกับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ (เนื่องจากขั้นนี้ยังไม่มีข้อมูลค่าสังเกตที่รังวัดจริงในสนาม) แล้วใช้วิธี Trial and error หาค่า Σ_{lb} ที่เหมาะสมและสอดคล้องจนได้ความถูกต้องตามเกณฑ์งานที่ต้องการ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในขั้นต่อไป ส่วนรายละเอียดในการประเมิน Σ_{lb} ของมุมและระยะสำหรับโครงข่ายหลัก โครงข่ายเชื่อมโยงโครงข่ายกริดเข้ากับโครงข่ายหลัก และโครงข่ายกริดนั้นแสดงในภาคผนวก ข

ปกติขนาดและค่าของ Σ_{lb} นี้ จะแปรเปลี่ยนไปตามจำนวนและความถูกต้องในการรังวัดของค่าสังเกตและสัมพันธ์กับแมทริกซ์ P ด้วย ($\Sigma_{lb} = \sigma_o^2 P^{-1}$) เมื่อคำนวณ Σ_{lb} ที่เหมาะสมในขั้นสุดท้ายได้ก็จะเป็นค่าที่เป็นเกณฑ์ควบคุมการรังวัดในการสร้างสนามทดสอบเมื่อปฏิบัติงานจริงให้มีความละเอียดถูกต้องเป็นไปตามความประสงค์

7. คำนวณ Σ_x และ Σ_{uv} (full)

จากการคำนวณหาค่าความละเอียดของปริมาณต่าง ๆ จากการปรับแก้ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ จะอยู่ในรูปของโคแฟกเตอร์แมทริกซ์หรือบางครั้งอยู่ในรูปของแมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของพารามิเตอร์คือ

$$Q_x = N^{-1}$$

$$\Sigma_x = \sigma_o^2 N^{-1}$$

หรือ $$\Sigma_x = \sigma_o^2 (A'PA)^{-1}$$

เมื่อทำการคำนวณถึงขั้นนี้ จะทราบ σ_x, σ_y และ σ_{xy} ของทุกจุดในโครงข่ายซึ่งสามารถนำ σ_x, σ_y และ σ_{xy} ของแต่ละจุดไปคำนวณหาขนาดและรูปร่าง แล้วพล็อตวงรีความ

คลาดเคลื่อนได้ (ดังหัวข้อ 3.5) นั่นก็คือ จะทราบค่า σ_u, σ_v และมุม t ซึ่งเป็นมุมที่แนวแกนของเวคเตอร์ทั้งสองถูกหมุนไปจากแนวเดิม ค่าของ σ_u หรือความยาวกึ่งแกนหลักของวงรีความคลาดเคลื่อนนี้เอง ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความคลาดเคลื่อนสูงสุด ($\sigma_{u_{max}}$) หรือความละเอียดถูกต้องที่ต้องการของโครงข่าย

8. ตรวจสอบค่า σ_u ที่ได้จากการคำนวณต่อเนื่องกันมาตั้งแต่ขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 7 ว่า $\sigma_{u_{max}}$ ที่ได้ เกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (4 มม.) หรือไม่ ถ้าอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ นั่นหมายถึงว่า จำนวนค่าสังเกตและความถูกต้องในการรังวัดของค่าสังเกต (Σ_{lb}) ที่กำหนดให้นั้นเหมาะสมแล้ว แต่ถ้าปรากฏว่าค่า $\sigma_{u_{max}}$ ที่ได้ยังโตเกินเกณฑ์อยู่ สามารถจะทำให้มีค่าลดลงได้โดย

1) เปลี่ยน Geometry ของโครงข่ายโดยทดลองเพิ่มจำนวนค่าสังเกตเช่น มุมหรือระยะทางต่าง ๆ เข้าไปอีก แล้วดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 8 แล้วดูผลการเปลี่ยนแปลงของ σ_u ว่ามีขนาดลดลงหรือมีความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือไม่ ถ้ามีความละเอียดเพิ่มขึ้นแสดงว่าจำนวนค่าสังเกตที่เพิ่มเข้าไปนั้นก่อให้เกิดความเหมาะสมกว่าครั้งแรก ซึ่งการกระทำลักษณะดังกล่าวนี้เองที่เรียกว่าวิธี "Trial and error" และทดลองเพิ่มค่าสังเกตจนถึงจุดหนึ่งที่ค่า $\sigma_{u_{max}}$ อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ ก็จะถือว่าจำนวนค่าสังเกตที่เพิ่มเข้าไปครั้งหลังสุดเหมาะสมและเพียงพอที่จะทำให้ได้ค่า σ_u ของทุกจุดเป็นไปตามความประสงค์ ดังที่ได้ออกแบบไว้

2) ทางเลือกที่สองคือ ทดลองเปลี่ยนค่า Σ_{lb} ที่ประเมินไว้ขั้นแรก ซึ่งจะเปลี่ยนค่าได้ไม่มากนัก เพราะขึ้นกับขีดจำกัดเรื่องความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้รังวัด จำนวนชุดในการวัดระยะห่างระหว่างสถานีที่ทำการรังวัด ตลอดจนขีดความสามารถของตัวบุคคลผู้ทำการรังวัด ซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องของผลงานที่ได้ เมื่อทดลองเปลี่ยนค่า Σ_{lb} อย่างสมเหตุสมผลแล้ว ก็ดำเนินการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 8 อีก (ลักษณะเดียวกับข้อ 1) จนได้ σ_u ของทุกจุดอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ

3) ถ้าได้ทดลองตามข้อ 1) และ ข้อ 2) แล้วยังไม่ได้ผล อาจจำเป็นต้องขยายเกณฑ์ของ Σ_{uv} ที่กำหนดไว้ในขั้นต้นให้มีขนาดโตขึ้น หรือความถูกต้องของโครงข่ายมีค่าลดลงอีกเล็กน้อย (แต่ยังเพียงพอที่จะใช้ทดสอบการรังวัดของงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่า) แล้วทดลองดำเนินการซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 8 อีกครั้ง จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

เมื่อได้ผลตามความต้องการแล้วก็กำหนดค่าสังเกต ณ จุดที่ต้องทำการรังวัดลงบนแผ่นออกแบบ เพื่อนำไปปฏิบัติงานรังวัดในสนามโดยใช้จำนวนและความแปรปรวนของค่าสังเกตให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่คำนวณได้ต่อไป

สรุปได้ว่า เมื่อดำเนินการออกแบบสนามทดสอบตามขั้นตอนที่กล่าวมา จะทำให้สนามทดสอบที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติเป็นไปตามวัตถุประสงค์ (ผลการคำนวณหาค่า Σ_{uv} (full) และได้ $\sigma_{u_{max.}}$ ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงไว้ในภาคผนวก ง ซึ่งได้ $\sigma_{u_{max.}}$ = 3.5 มม.)

4.4 <u>การวางแนว (Lay-out) โครงข่ายสนามทดสอบ</u>

หลังจากที่ได้คำนวณออกแบบตามขั้นตอนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว งานที่จะต้องปฏิบัติในขั้นต่อมาคือ งานสนามที่จะต้องสร้างและกำหนดจุดของหมุดหลักฐานต่าง ๆ ในภูมิประเทศจริง แล้วทำการรังวัดควบคุมให้เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวได้กระทำดังนี้

4.4.1 การวางแนวในโครงข่ายหลัก

1) กำหนดจุดที่จะสร้างหมุดหลักฐานฯลงในภูมิประเทศให้ตรงตามจุดที่ได้ออกแบบไว้ และทำการกรุยแนวถากถางแนวเล็งที่เป็นอุปสรรคต่อการรังวัด จนทุกจุดสามารถมองเห็นกันได้ และสามารถปฏิบัติการรังวัดมุมและระยะได้อย่างสะดวก

2) สร้างหมุดหลักฐานตามขนาดและมาตรฐานที่ได้ออกแบบไว้จนครบทุกหมุด

3) ดำเนินการรังวัด โดยใช้จำนวนค่าสังเกต ตามปริมาณที่ได้ในขั้นคำนวณออกแบบและรังวัดโดยควบคุมความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตให้อยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ (ในที่นี้ต้องรังวัดมุมแต่ละมุมในโครงข่ายหลักให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยเฉลี่ยไม่เกิน 5 พิลิบดา ส่วนการวัดระยะโดยเฉลี่ยไม่เกิน 5 มม.)

เครื่องมือที่ใช้

- กล้องวัดมุม Wild T-3 หมายเลข 91541 ของกรมแผนที่ทหาร
- เครื่องมือวัดระยะอิเลคทรอนิคส์ Zeiss Eldi-2 หมายเลข 121276

ซึ่งเป็นเครื่องมือของกรมแผนที่ทหารเช่นเดียวกัน

เครื่องมือทั้งสองชนิด ได้ทำการตรวจสอบก่อนนำมาใช้กับสนามทดสอบแล้วว่า สามารถใช้ปฏิบัติงานได้ดี โดยเฉพาะเครื่องวัดระยะ Eldi-2 ได้ทดลองเทียบระยะมาตรฐานที่กรมแผนที่-

ทหารที่ระยะ 96.890 เมตร (ระยะสั้น) ทั้งก่อนและหลังปฏิบัติงาน ซึ่งได้ค่าถูกต้องเท่าเดิม

สำหรับจำนวนชุดในการรังวัด คงเป็นไปตามที่กำหนดไว้ตั้งแต่แรก อันจะทำให้ได้ c_u ตามเกณฑ์ กล่าวคือ วัดมุม 10 ศูนย์ วัดระยะอ่านค่า 8 ครั้ง

4.4.2 การวางแนวโครงข่ายกริด

ภายในโครงข่ายหลัก เมื่อได้ดำเนินการสร้างหมุดหลักฐานและรังวัดเพื่อวางแนวโครงข่ายหลักเรียบร้อยแล้ว งานสนามขั้นต่อมาเป็นการสร้างและรังวัดเพื่อวางแนวโครงข่ายกริด ซึ่งได้วางแนวขอบเขตไว้แล้วในขั้นออกแบบ การปฏิบัติโดยทั่วไปคงเหมือนกับการวางแนวในโครงข่ายหลัก แต่จะต้องมีการ Lay-out เพื่อให้ได้ระยะห่างของแนวกริดบนหัวหมุดห่างกันช่วงละ 5 เมตร ซึ่งได้ปฏิบัติดังนี้ (ดูรูป 4.9)

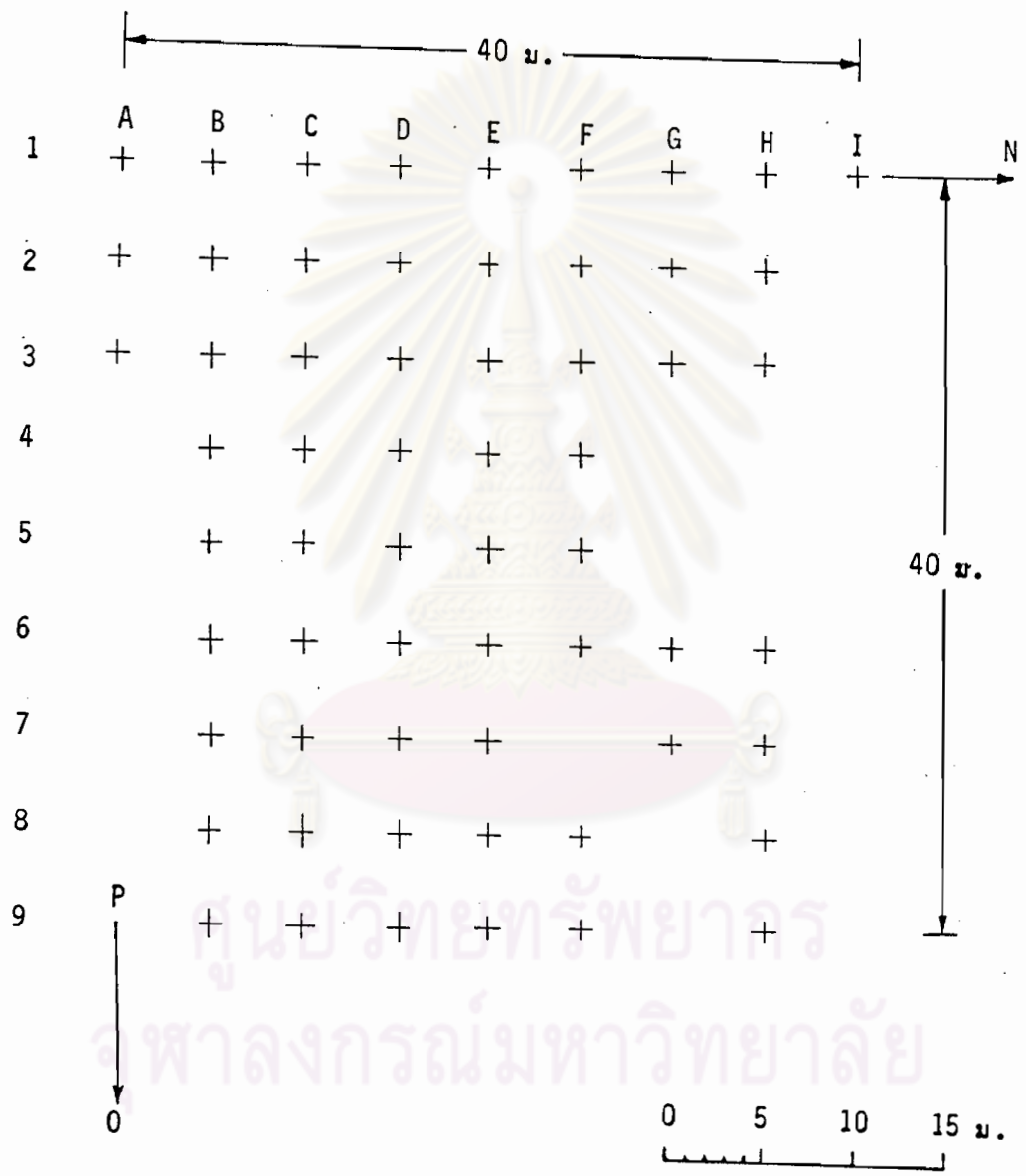
1. เลือกจุดที่เหมาะสมที่จะให้เป็นจุด Key Point ในการวางแนวขั้นต่อไป ในที่นี้ได้ใช้จุด A_1 แล้วใช้กล้องเล็งในแนวเส้นตรง AI แล้ววัดระยะด้วยเทปออกไปตามแนว AI โดยแบ่งเป็นช่วงละ 5 เมตร ระยะ AI จะ = 40 เมตร ขุดหลุมเตรียมวางหมุดกริดช่วงละ 5 เมตร

วางหมุดกริดตามลักษณะที่ออกแบบไว้โดยกะระยะให้หัวหมุดอยู่ประมาณกึ่งกลางแผ่นเพลทและห่างกันช่วงละ 5 เมตร

ใช้ไซ่ลานเหล็กกล้า (Steel tape) ซึ่งเทียบระยะมาตรฐานแล้ว วัดระยะระหว่างหมุดกริดอีกครั้ง ให้ห่างกันช่วงละ 5 เมตร (ถ้าหัวหมุดอยู่ไม่ตรงกึ่งกลางแผ่นเพลทให้ขยับให้ตรง) จากนั้นหล่อหมุดให้ติดแน่นอยู่กับพื้นดิน และต้องระวังมิให้หมุดขยับเขยื้อน

2. ตั้งกล้อง (Wild T-2) ที่จุด A_1 ให้ตรงกึ่งกลางหัวหมุดกริด แล้วเล็งไปยังแนว AN ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ห่างออกไปนอกโครงข่ายกริดและทำเป็นที่หมายเล็ก ๆ แต่คมชัดไว้ เพื่อให้การวางหมุดกริดในแนว AN มีความถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนในการส่องที่หมายบนหัวหมุดในแนวเล็งน้อยที่สุด

กระดกกล้องโดยคลายควงสัมผัสทางดิ่ง และให้สายใยดิ่งของกล้องทาบบนกึ่งกลางหัวหมุดกริดหรือบนแผ่นเพลทอลูมิเนียม จากนั้นให้ผู้ช่วยคอยทำเครื่องหมาย (mark) โดยจุดลงบนหัวท้ายของแผ่นเพลทฯ รวม 2 จุด ให้ตรงกับแนวสายใยดิ่งที่พาดบนแผ่นเพลทนั้น โดยให้ผู้ส่องกล้องเป็นผู้ควบคุมการขยับจุดให้ตรงแนว จากนั้นจึงตีเส้นเป็นแนวเชื่อมโยงจุดทั้งสองบนแผ่น



รูปที่ 4.8 การวางแนวในโครงข่ายกริด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพลทนั้น (เส้นที่ดีจะต้องเล็กและคมเป็นรอยบากที่ชัดเจน)

ทำเช่นนี้จนครบทุกหมุดในแนว AN ตั้งแต่จุด A_1 ถึง I_1 ซึ่งจะทำให้ทุกหมุดที่อยู่ในแนว AI บนแผ่นเพลทที่มีเส้นกริดอยู่ 1 เส้น ในแนวเส้นตรงเดียวกัน จากนั้นทำการวัดระยะด้วย Steel tape แล้วทำเครื่องหมายกำหนดจุดที่แน่นอนให้ห่างกันช่วงละ 5 ม. อีกครั้ง

3. ตั้งกล้องหน้าซ้ายที่ A_1 Set ค่ามุมที่ส่องไปยังแนว AN ให้อ่านได้เป็นศูนย์หรือเกือบเป็นศูนย์ แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ลงในสมุดสนาม

คลายควงยึดจานองศาราบ หมุนกล้องตามเข็มนาฬิกา ทำให้ค่าที่อ่านได้ 90^0 พอดี เมื่อหักออกจากค่าที่บันทึกไว้ครั้งแรก (กล้องต้องไม่มีคอลลิเมชัน) ซึ่งจะทำให้มุม $N\hat{A}O = 90^0$ หรือเป็นมุมฉากพอดี แล้วทำที่หมายเล็งไว้ที่จุด O เช่นเดียวกับแนว AN

วัดระยะให้ได้ช่วงละ 5 ม. ตามแนว AO แล้วดำเนินการลักษณะเดียวกับการวางหมุดกริดในแนว AI (ในที่นี้หมุดในแนว AO มีเพียง 3 หมุดคือ A_1, A_2 และ A_3 เนื่องจากถ้าวางหมุดมากกว่านี้จะอยู่นอกโครงข่ายหลัก) โดยวัดระยะต่อมาถึงจุด P ให้ AP = 40 ม. (โครงข่ายกริดขนาด 40 × 40 ตารางเมตร)

ที่จุด P คงปฏิบัติเช่นเดียวกับที่จุด A_1 ซึ่งจะทำให้ได้แนว PH_9 (ไม่สามารถทำให้ถึงจุด PI_9 ได้ เนื่องจากขีดจำกัดของภูมิประเทศ) ส่วนหมุดอื่น ๆ ในแนวเดียวกันนี้ คงกระทำได้ในลักษณะเดียวกับแนว AN ซึ่งจะทำให้ได้หมุดคู่อยู่ในแนวหัวท้ายคือ B_1B_9, C_1C_9, D_1D_9,.... H_1H_9 ตามลำดับ

จากนั้นดำเนินการลักษณะเดียวกับข้อ 2.2 เมื่อถึงขั้นนี้จะมีเส้นกริด 1 เส้น และจุดที่ทำเครื่องหมายไว้ทุก 5 ม. บนหัวหมุดในแนวนี้ทุกหมุด

4. ที่จุด B_1, C_1 D_1..... H_1 ก็ตั้งกล้องที่จุดเหล่านี้แล้ว ดำเนินการลักษณะเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.3 แล้วใช้กล้องตั้งที่จุด A_1, A_2, A_3 และ B_4 ถึง B_9 เล็งแนวเพื่อดีเส้นกริดลักษณะเดียวกับข้อ 2.2 ก็จะทำให้ได้หัวหมุดกริดที่มีเส้นตั้งฉากซึ่งกันและกันตัดกันเป็นรูปกากะบาทจนครบทุกหมุด ซึ่งจุดตัดบนหัวหมุดดังกล่าวนี้ จะใช้เป็นที่หมายเมื่อทำการวัดมุมในโครงข่ายกริด (ดูรูปที่ 4.4) สำหรับบางหมุดในรูปที่ขาดหายไป เนื่องจากสิ่งกีดขวางตามธรรมชาติและขีดจำกัดของภูมิประเทศ (ในที่นี้มี 59 หมุด)

สำหรับการวางแนวของหมุดหลักฐานลงในภูมิประเทศ อาจมีการเลื่อนหรือขยับหมุดออกไปจากตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ได้เล็กน้อย แต่ต้องไม่กระทบกระเทือนต่อรูปลักษณ์ของโครงข่ายมากนัก

เมื่อได้สร้างและวางแนวหมุดกริดเรียบร้อยแล้ว งานขั้นต่อมาเป็นการรังวัดมุมและระยะเพื่อโยงยึดหมุดหลักฐานทั้งหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมีการรังวัดเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายหลักเข้ากับโครงข่ายกริด และการรังวัดเพื่อโยงยึดภายในโครงข่ายกริดเอง

การรังวัดเพื่อโยงยึดโครงข่ายหลักเข้ากับโครงข่ายกริด

เครื่องมือที่ใช้

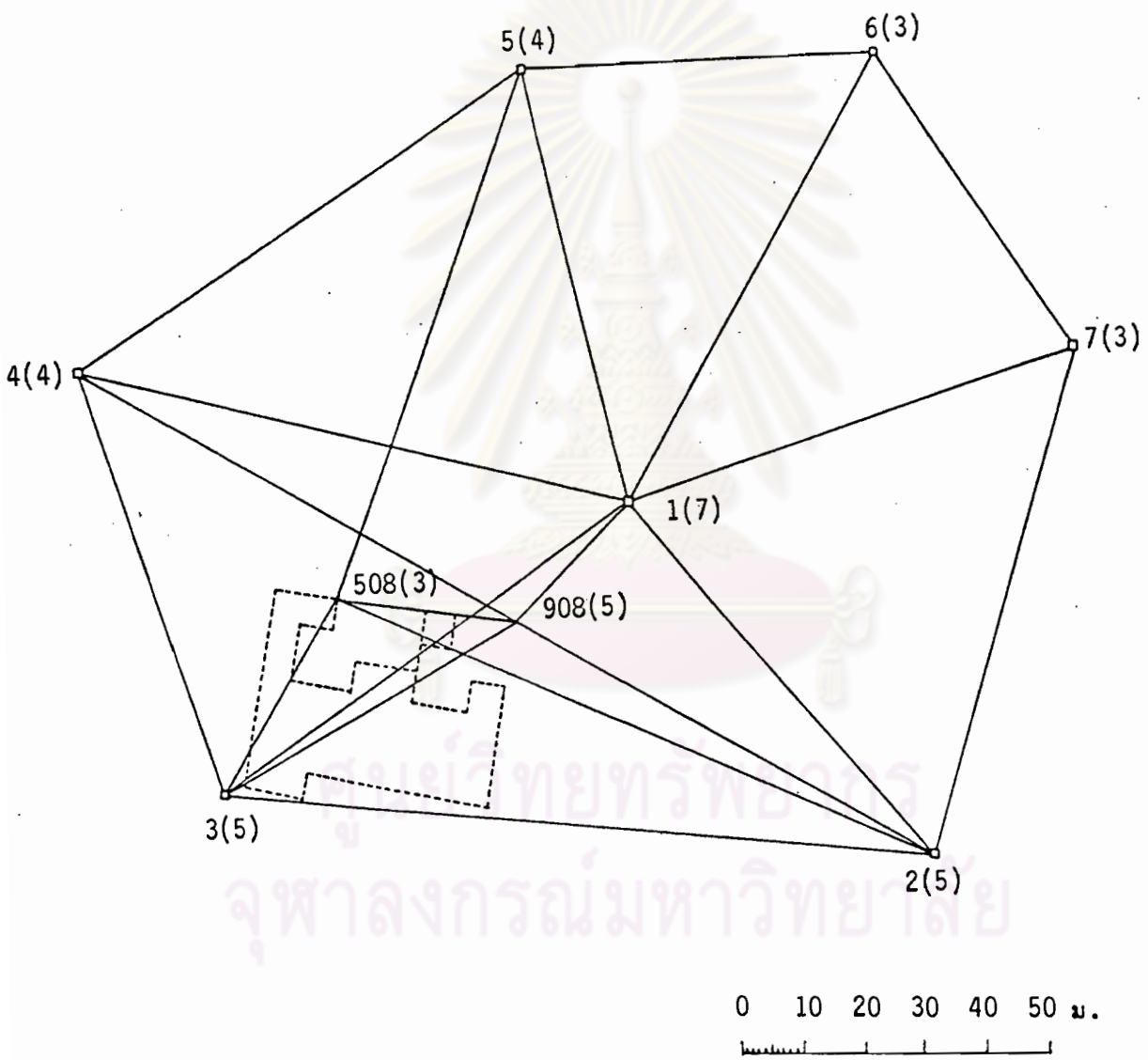
- กล้องวัดมุม Wild T-2 หมายเลข 179837 ของกรมแผนที่ทหาร
- เครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ Zeiss Eldi-2 หมายเลข 121276 ของกรมแผนที่ทหาร เครื่องมือทั้งสองชนิดนี้ได้ทำการตรวจสอบแล้วว่า สามารถใช้ปฏิบัติงานได้ดี
- จำนวนศูนย์ในการวัดมุม = 4 ศูนย์ต่อ 1 ชุด และวัดระยะ โดยอ่าน 6 ครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐาน เพราะผลของ σ_u ที่ได้ ในขั้นออกแบบได้ σ_u อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ (จำนวนชุดในการรังวัดจะสัมพันธ์กับน้ำหนักของค่าสังเกต จำนวนชุดมากขึ้น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ทำให้น้ำหนักดีขึ้น)
- จำนวนและความแปรปรวนของค่าสังเกตควบคุมตามเกณฑ์ที่ได้ในขั้นออกแบบ

การรังวัดเพื่อโยงยึดโครงข่ายหลักเข้ากับโครงข่ายกริดก็เพื่อให้โครงข่ายกริดมีการยึดตรึงที่ดี และทำให้คำนวณหาค่าพิกัดของระบบหมุดหลักฐานทั้งหมดในโครงข่ายเป็นระบบเดียวกันได้ ซึ่งในที่นี้ได้ใช้จุด H_3(308) และ H_9(908) ของโครงข่ายกริดเป็นจุดรังวัดเพื่อเชื่อมโยงเข้าหาจุด 1, 2, 3 และ 4 ของโครงข่ายหลักซึ่งมีลักษณะเป็นรูป Quadrilateral (ดูรูป 4.10) และวัดโยงยึดด้านทแยงมุมทั้ง 4 ด้าน

การรังวัดในโครงข่ายกริด

เครื่องมือที่ใช้

- กล้องวัดมุม Wild T-2 หมายเลข 179837 ของกรมแผนที่ทหาร
- ไซ่ลานเหล็กกล้า (Steel tape) สำหรับวัดระยะ ซึ่งไซ่ลานเหล็กกล้านี้ ได้มีการเทียบระยะมาตรฐานกับฉวดอินวาร์ที่ระยะ 5 เมตร (เนื่องจากต้องนำไปวัดระยะเพื่อวางหมุดกริดให้ห่างกันช่วงละ 5 เมตร) ซึ่งปรากฏว่าค่าต่างกันระหว่าง Steel tape กับฉวดอินวาร์ = 0.000 ม.



รูปที่ 4.9 การรังวัดมุมในโครงข่ายหลักและเชื่อมโยงโครงข่ายหลัก
เข้ากับโครงข่ายกริดและระยะที่วัดด้วย Eldi-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- จำนวนศูนย์ในการวัดมุม = 2 ศูนย์ต่อ 1 ชุด และทำการวัดระยะโดยอ่านค่าไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง

- จำนวนและความแปรปรวนของค่าสังเกตควบคุมไม่เกินเกณฑ์ที่ได้ในขั้นออกแบบ

- การรังวัดมุมในโครงข่ายกริด ได้ทำการรังวัดตามปริมาณที่ได้ออกแบบไว้ โดยวัดออกไปจากจุดที่ตั้งกล้องรอบตัวคราวละ 5 เมตร แล้วขยับออกไปเป็น 10 เมตร, 15 เมตร และ 20 เมตร โดยตั้งกล้องที่จุด B_3(302), C_7(703), E_1(105), E_5(505), E_9(905), G_3(308) และ H_7(708) ตามลำดับ (รูปที่ 4.11) ส่วนระยะก็วัดออกไปในแนวตั้งได้ฉากซึ่งกันและกันระหว่างหัวหมุด ซึ่งเป็นการรังวัดโดยตรงบนพื้นผิวระนาบราบ

- การวัดระยะ จะวัดออกไปในแนวตั้งฉากช่วงละ 5 เมตร เว้นจุดที่ไม่สามารถวางหมุดได้ (รูปที่ 4.12)

4.5 การสร้างและการวัดระยะหมุดเส้นฐานตรวจสอบ

4.5.1 ทั่วไป

ก่อนการวางแนวเส้นฐานจะต้องคำนึงถึงลักษณะของพื้นที่หรือภูมิประเทศบริเวณนั้น ซึ่งจะต้องไม่มีความสูงต่างกันมากนัก พื้นดินแข็ง ไม่เป็นหล่มโคลนที่จะเป็นอุปสรรคในการตั้งเครื่องมือและการวัดระยะ

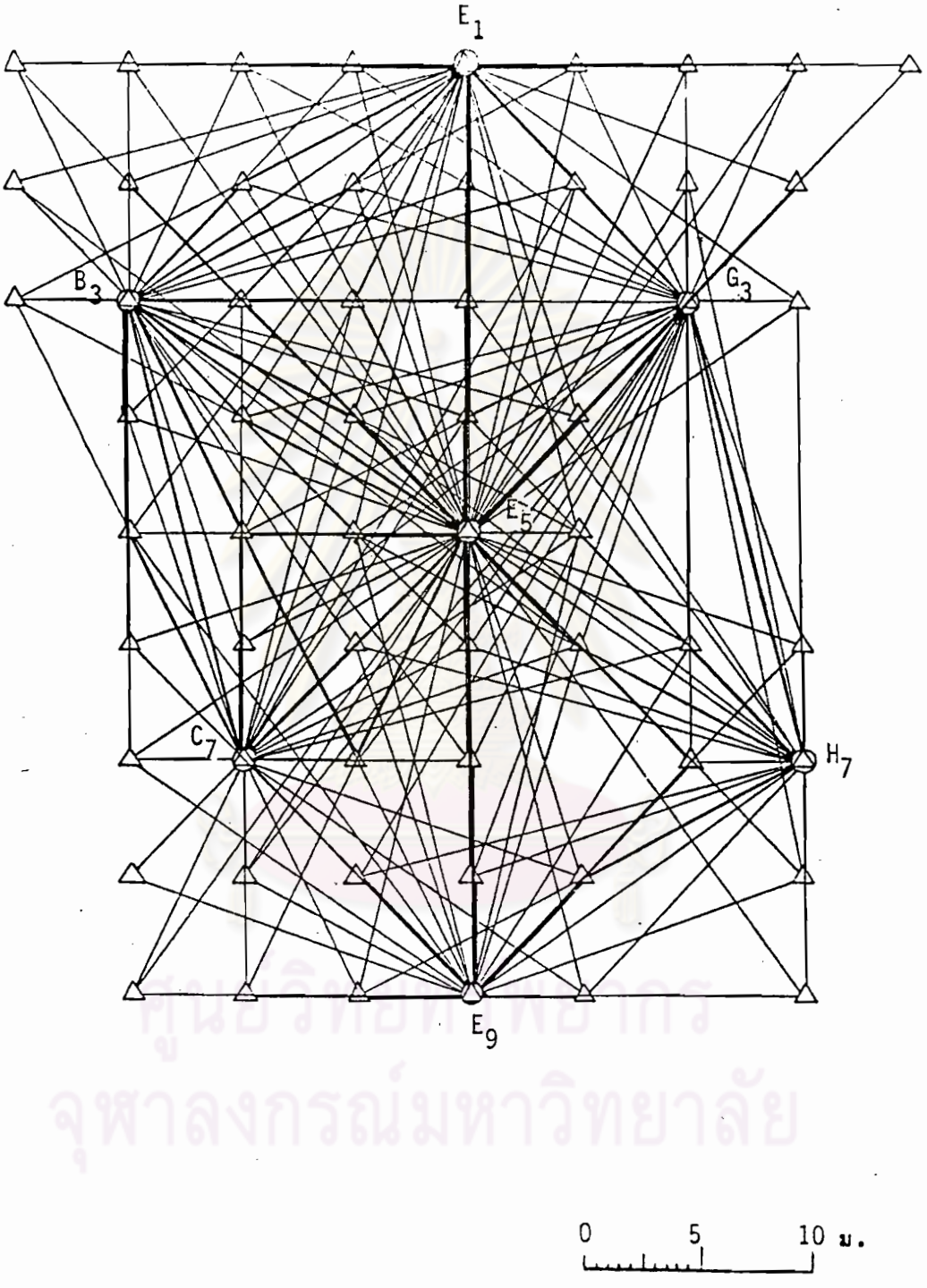
4.5.2 ขั้นตอนการวางแนวและการสร้างหมุดเส้นฐานตรวจสอบ

1. เมื่อได้เลือกพื้นที่ที่เหมาะสมแล้ว ขั้นต่อมาเป็นการกำหนดแนวและระยะของหมุดเริ่มต้นและหมุดปลายตลอดจนหมุดเส้นฐานระยะต่าง ๆ ณ จุดที่ได้ออกแบบไว้

2. กรุยแนวถากถางแนวเล็งจน หมุดเริ่มต้นและหมุดปลายเส้นฐานตรวจสอบทั้งสองแลเห็นกันได้ แล้วปรับพื้นที่ให้สะดวกแก่การวัดระยะด้วยลวดอินวาร์และเครื่องมือวัดระยะอิเลคทรอนิคส์

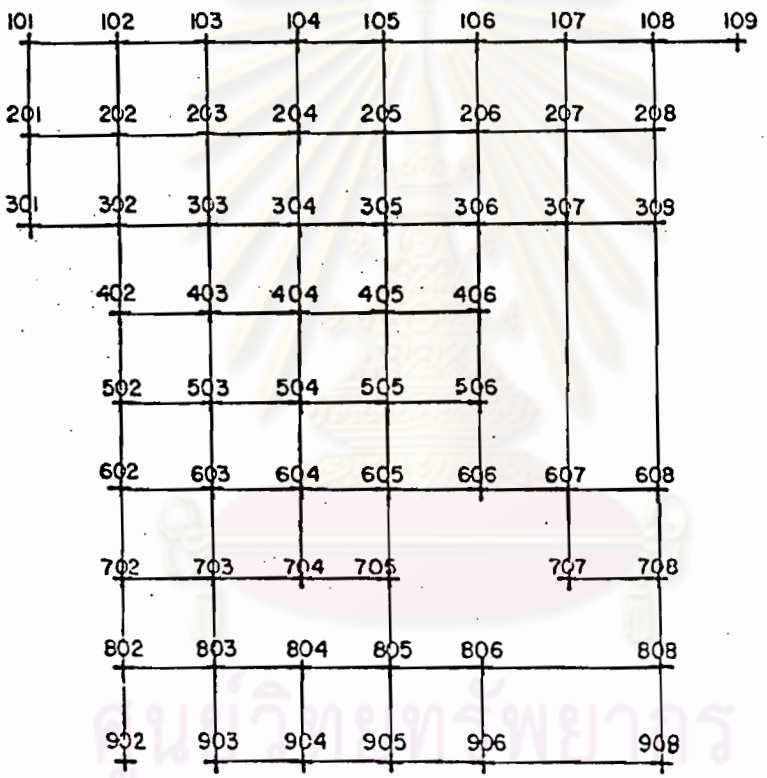
3. แบ่งแนวเส้นฐานออกเป็นตอน ๆ (Section) แล้วตอกหลักไม้ฝังไว้ตามระยะช่วงต่าง ๆ ตามแบบ (จะขอเรียกหลักไม้เหล่านี้ว่า "หมุดตอน") จนตลอดแนวเส้นฐาน

4. ตรวจสอบแนวเล็งและระยะ เครื่องมือที่ช่วยในการเล็งแนว ในที่นี้ใช้กล้อง Wild T-3 ระยะใช้เทปวัดระยะและเครื่องวัดระยะ Eldi-2 ช่วยในการกำหนดตำแหน่งของระยะต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 ขั้นออกแบบการรังวัดมุมในโครงข่ายกริดแบบ "Free station point"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ระยะที่รังวัดในโครงข่ายกริด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. สร้างหมุดเส้นฐานหัว-ท้าย (หมุดเริ่มต้นและหมุดปลาย) ระยะ 140 เมตร และหมุดคอนกายในเส้นฐานขึ้นเป็นหมุดซีเมนต์ถาวรที่ระยะ 0 เมตร, 30 เมตร, 40 เมตร, 50 เมตร, 100 เมตร, 135 เมตร และ 140 เมตร รวม 7 หมุด (ดังรูปที่ 4.13) จะทำให้ได้หมุดเส้นฐาน ซึ่งจะได้ทำการรังวัดเพื่อหาค่ามาตรฐานสำหรับใช้ในการตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะสั้น (short range) ที่ใช้ในงานวิศวกรรมทั่วไปต่อไป

4.5.3 การวัดระยะเส้นฐานด้วยอินวาร์

เมื่อได้สร้างหมุดเส้นฐานฯ ตามตำแหน่งที่ระยะต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว งานขั้นต่อมาคือ การวัดระยะระหว่างหมุดเหล่านี้ เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวัดระยะด้วยลวดอินวาร์

"อินวาร์" เป็นโลหะผสมทำด้วยเหล็กกล้าผสมนิเกิล 36% มีสัมประสิทธิ์ในการยืดและหดตัวน้อยมาก (ประมาณ 1/10 ของไซ่ลานเหล็กกล้าหรือ Steel tape) สามารถทำการวัดระยะได้ทุกสภาพบรรยากาศและให้ความละเอียดสูง ปกติใช้วัดเส้นฐานในงานรังวัดควบคุมทางยีออเดติก ในระดับงานชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2

สำหรับการวัดเส้นฐานด้วยลวดอินวาร์ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ระบบเส้นฐานซึ่งมีค่ามาตรฐานที่น่าเชื่อถือพอเพียงที่จะใช้ประโยชน์ในการศึกษา และตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะใกล้ซึ่งใช้ในงานวิศวกรรมทั่วไป

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดประกอบด้วย

1) ลวดอินวาร์และเทปอินวาร์ (Invar wire & Invar tape)
2) สามขาช่วยในการวัดระยะ (Measuring tripods)
3) ขาหยั่งรั้งปลายลวดอินวาร์ (Straining tripods)
4) น้ำหนักถ่วงมาตรฐาน (Weight of constant tension)
5) เครื่องมือเล็งแนว
6) เครื่องมือทำระดับ

การดำเนินการรังวัด

เมื่อได้ตรวจสอบแนวและระยะเส้นฐานตลอดจนสร้างหมุดเส้นฐานตามตำแหน่งต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อมาเป็นการแบ่งระยะภายในหมุดคอนออกเป็นช่วงย่อย ๆ อีก เพื่อใช้ในการ

รังวัดด้วยลวดอินวาร์ ความยาวของแต่ละช่วงจะเท่ากับความยาวของลวดอินวาร์ที่ใช้วัดระยะ การแบ่งระยะในขั้นนี้สำคัญมาก จะต้องตอกฝังหมุดไม้ แล้วตอกตาปูเล็ก ๆ ไว้บนหัวหมุดที่แต่ละช่วงความยาว หมุดเหล่านี้จะต้องอยู่ในแนวหมุดตอนหัว-ท้ายของตอนนั้น ๆ และเป็นแนวเส้นตรงเดียวกันทุกหมุดที่อยู่ในแนวเส้นฐาน จากนั้นจึงดำเนินการรังวัดตามช่วงต่าง ๆ เหล่านี้จนตลอดแนว

การวัดระยะ

การวัดระยะด้วยอินวาร์นับว่ามีความยุ่งยากพอสมควร เพราะต้องใช้เจ้าหน้าที่และอุปกรณ์จำนวนมากขณะทำการรังวัด สำหรับการรังวัดในงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีของ Jaderin กล่าวคือ ทำการรังวัดโดยให้ลวดอินวาร์แขวนตัวเป็นอิสระด้วยน้ำหนักถ่วงมาตรฐานที่ปลายทั้งสองข้าง ข้างละ 10 กิโลกรัม โดยมีขาหยั่งรั้งปลายลวด (Straining tripods) เป็นเครื่องค้ำจุน ซึ่งการวัดระยะในลักษณะนี้เรียกว่า "Invar wire in catenary" และทำการวัดระยะของทุกช่วงในลักษณะนี้ต่อเนื่องกันไปจนครบทุกระยะตลอดแนวเส้นฐาน โดยอ่านค่าระยะของแต่ละช่วงจำนวน 8 ครั้ง โดยวัดทั้งไปและกลับ บางช่วงได้ทดลองวัดระยะเปรียบเทียบด้วยลวดอินวาร์ต่างเส้นกันด้วย (ในที่นี้ได้ใช้ลวดอินวาร์ 24 เมตร 2 เส้น หมายเลข 68 และ 69 โดยใช้หมายเลข 69 เป็นหลัก ลวดอินวาร์ 8 เมตร 1 เส้น หมายเลข 67 และเทปอินวาร์ 4 เมตร 1 เส้น) สำหรับรายละเอียดการรังวัดด้วยอินวาร์โดยพิสดารจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ เนื่องจากโอกาสที่จะปฏิบัติในปัจจุบันมีน้อย ผู้สนใจศึกษาได้จาก ชุมพร (2524) และ Moffitt (1975) P. 403

ต่อมาเป็นการทำระดับเพื่อหาความสูงต่างของหัวหมุดสามขาช่วยในการวัดระยะ (Measuring tripods) เพื่อคำนวณหา Grade Corrections สำหรับทอนเป็นระยะราบ ในการทอนระยะที่วัดด้วยอินวาร์เป็นระยะราบจะต้องนำค่ารังวัดที่ได้มาเฉลี่ยหาผลปานกลางและแก้จำนวนแก้ต่าง ๆ เหล่านี้คือ

1. จำนวนแก้เนื่องจากอาการลาด (Inclination Correction)
2. แก้เข้าหาความยาวมาตรฐาน ณ อุณหภูมิขณะเทียบ (Absolute length Correction or Correction for Standardization)
3. จำนวนแก้อันเกิดจากแรงดึง (Correction for Pull)
4. จำนวนแก้อันเกิดจากการตกท้องช้าง (Correction for Sag)

5. จำนวนแก้สำหรับอุณหภูมิ (Temperature Correction)

สำหรับจำนวนแก้อันเกิดจากแรงดึงและการตกท้องช้าง จะถูกชดเชยให้กล้องเป็นศูนย์ไป โดยใช้น้ำหนักถ่วงมาตรฐาน (10 กก.) ส่วนจำนวนแก้อื่น ๆ คำนวณได้จากสูตรคำนวณของจำนวนแก้แต่ละชนิด

ผลการวัดระยะด้วยอินวาร์ที่ทอนมาเป็นระยะราบแล้ว ดูได้จากตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบระยะที่วัดด้วยอินวาร์และเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิคส์จะได้กล่าวต่อไป

4.5.4 การวัดระยะเส้นฐานฯ ด้วยเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ (EDM.)

เครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาและออกแบบสร้างขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสะดวกแก่การใช้งาน ประหยัดเวลา และได้ accuracy เป็นที่น่าพึงพอใจ

สำหรับการวัดระยะเส้นฐานในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิคส์ของ Zeiss Eldi-2 หมายเลข 121276 ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งมี accuracy $\pm$(5 mm. + 2 ppm.) สามารถวัดระยะได้ไกลประมาณ 3 กม. ซึ่งก่อนและหลังที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้วัดสอบระยะมาตรฐาน (ระยะสั้น) ที่กรมแผนที่ทหารแล้ว เพื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic error) ที่อาจแฝงอยู่เมื่อได้ทำการรังวัด

การวัดระยะด้วย EDM. ในงานวิจัยนี้ เป็นการรังวัดระยะเส้นฐานฯ เพื่อตรวจสอบกับค่าระยะที่รังวัดโดยใช้อินวาร์ ซึ่งได้ทำการรังวัดระยะเป็นช่วง ๆ คือ

0- 30 เมตร
0- 40 เมตร
0- 50 เมตร
0-100 เมตร
0-135 เมตร
และ 0-140 เมตร

โดยอ่านค่าระยะแต่ละช่วงไม่น้อยกว่า 8 ครั้ง และทำการรังวัดทั้งไปและกลับ โดยสับเปลี่ยนที่ตั้งของเครื่องมือ และ Reflector ซึ่งใช้เป็นที่หมายของทุกระยะจนครบตลอดแนวเส้นฐาน แล้วนำค่าระยะที่วัดได้มาเฉลี่ยและหาผลปานกลาง แก้สภาพบรรยากาศ (Meteoro-

logical Conditions) reflector constant และระยะลาด (Slope) (Moffitt,1975, PP. 64 - 65)

ผลการรังวัดที่ได้แก้จำนวนแก้ต่าง ๆ โดยทอนมาเป็นระยะราบแล้ว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

4.5.5 การตรวจสอบเครื่องวัดระยะอีเลคทรอนิกส์กับเส้นฐานตรวจสอบที่รังวัดด้วยอินวาร์

จากผลการวัดระยะเส้นฐานด้วย EDM (Eldi-2) เปรียบเทียบกับค่าระยะเส้นฐานที่วัดด้วยอินวาร์ ในตารางที่ 4.4 นั้น จะเห็นว่า ค่าความแตกต่างของระยะเส้นฐานที่ได้ (เมื่อทอนจำนวนแก้ต่าง ๆ มาเป็นระยะราบแล้ว) ต่างกันน้อยมาก (ความต่างสูงสุดไม่เกิน 4 มม.) ซึ่งแสดงว่าทั้งค่าระยะที่วัดด้วยอินวาร์และค่าระยะที่วัดด้วย Eldi-2 ให้ค่าที่สอดคล้องกันหรือมีความละเอียดใกล้เคียงกัน แต่ค่าระยะที่จะใช้ยึดถือเป็นหลักเพื่อเป็นค่ามาตรฐานสำหรับตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะใกล้โดยทั่วไปนั้น จะใช้ค่าระยะที่ได้จากผลการรังวัดด้วยอินวาร์เป็นหลัก ทั้งนี้เพราะ

ก. การวัดระยะด้วยอินวาร์ในงานวิจัยนี้เป็นการวัดระยะสั้น (140 ม.) และเป็นการรังวัดโดยตรง (direct measurement) ไม่เหมือนกับการวัดระยะด้วยเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ ซึ่งจะต้องกระทำโดยผ่านระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในของเครื่องมือแล้วจึงแสดงผลออกมาเป็นค่าตัวเลขระยะ

ข. อินวาร์ทั้งก่อนและหลังใช้งาน จะคงรูปอยู่ในสภาพเดิมไม่เหมือนเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ ที่อาจมีผลกระทบต่อการเคลื่อนย้ายหรือการใช้งานทำให้ค่าระยะที่อ่านได้ผิดไปจากเดิม

จึงพอสรุปได้ว่า ค่าระยะที่วัดด้วยอินวาร์ทุกระยะเป็นค่าที่มีความละเอียดน่าเชื่อถือกว่า EDM ในทางปฏิบัติจะต้องทำการวัดสอบ (Calibrate) EDM กับอินวาร์ เพื่อหาจำนวนแก้แล้ว ปรับค่าระยะที่วัดได้เข้าหาค่าระยะที่ได้จากการวัดด้วยอินวาร์ ซึ่งถือเป็นมาตรฐาน เพราะความคลาดเคลื่อนของ EDM จะให้ค่าระยะที่ผิดไปอย่างมี precision ในตัวเอง

รูปที่ 4.13 เส้นฐานตรวจสอบระยะ

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบระยะที่วัดด้วยอินวาร์และ EDM ของเส้นฐานตรวจสอบ

ระยะเป็นเมตร	ค่าระยะที่รังวัดด้วย อินวาร์ ± S.D.	ค่าระยะที่รังวัดด้วย EDM. ± S.D.	ความต่างเป็นเมตร (ใช้อินวาร์เป็นหลัก)
0-30	29.941 ±.0002	29.940 ±.0008	+ 0.001
0-40	39.988 ±.0003	39.988 ±.0010	0.000
0-50	50.008 ±.0005	50.006 ±.0010	+ 0.002
0-100	99.968 ±.0006	99.964 ±.0008	0.004
0-135	134.990 ±.0006	134.988 ±.0005	+ 0.002
0-140	139.953 ±.0007	139.955 ±.0018	- 0.002

จากเหตุผลดังที่กล่าวมาจึงมีสมมุติฐานว่า ค่าระยะที่ได้จากการรังวัดด้วยอินวาร์เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะใกล้ที่ใช้ในการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมสำรวจหรืองานวิศวกรรมทั่วไป (ในระดับงานชั้นที่ 3 หรือต่ำกว่าได้) เพราะข้อมูลรังวัดที่ได้เป็นข้อมูลที่ให้ความน่าเชื่อถือที่สุดเท่าที่มีอยู่ ค่าระยะมาตรฐานที่ได้นี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีการรังวัดที่ดีและมีมาตรฐานมากกว่านี้ หรือเมื่อมีข้อมูลที่ได้จากการรังวัด โดยใช้เครื่องมือวัดระยใกล้ที่มีความละเอียดในระดับเดียวกันหลาย ๆ แบบ มาทำการวัดระยะดังกล่าวนี้ จนได้ข้อมูลเพียงพอและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า

อนึ่ง เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีนะยะเส้นฐานตรวจสอบที่มีมาตรฐานเพียงพอที่จะใช้วัดสอบ (Calibrate) เครื่องมือวัดระยะเพื่อหาค่าระยะที่ถูกต้องตามหลักการจริง ๆ ได้ การตรวจสอบเครื่องมือวัดระยะจึงจำเป็นต้องยึดถือค่าใดค่าหนึ่งที่น่าเชื่อถือที่สุด เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับการใช้งานก่อน

4.6 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนจากการรังวัด

ในการรังวัดโดยทั่วไปและการรังวัดเพื่อสร้างสนามทดสอบในงานวิจัยนี้ พอสรุปสาเหตุของความคลาดเคลื่อนมีระบบที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ก) ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ (Instrumental Errors) ในการรังวัดเพื่อสร้างสนามทดสอบ มีเครื่องมือหลักที่ใช้อยู่ 2 ชนิดคือ กล้องวัดมุมธีโอโดไลท์ (Wild T-2 และ Wild T-3) เครื่องมือวัดระยะ (ไข่วัดระยะ เทปวัดระยะ ลวดและเทปอินวาร์ และเครื่องมือวัดระยะอีเลคทรอนิกส์ (Eldi-2) ลักษณะของความคลาดเคลื่อนจะเกิดจาก

- ความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือ เนื่องจากการผลิต เช่น ขีดส่วนแบ่งบนจานองศาของกล้องวัดมุมไม่เท่ากันโดยตลอด ศูนย์กลางของจานองศาเยื้องไปจากศูนย์จริง หรือลักษณะของเครื่องมือที่วัดระยะสั้นหรือยาวกว่ามาตรฐาน เป็นต้น

- ไม่ได้ทำการวัดสอบ (Calibrate) เครื่องมือให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการใช้งาน เช่น แกนกล้องไม่ขนานกับแกนหลอดระดับ หรือกล้องวัดมุมมีคอลลิเมชันเกินเกณฑ์ที่ยอมให้

- ความไม่ถูกต้องและความไม่มั่นคงของอุปกรณ์ประกอบเครื่องมือ เช่น ขากล้อง (Tripod) ที่หมายเล็ง (Target) เป็นต้น

เพื่อเป็นการลดหรือขจัดสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ก่อนการสร้างสนามทดสอบ จึงได้ทำการตรวจแก้และทดสอบเครื่องมือก่อนนำมาปฏิบัติงานในขณะปฏิบัติงาน และหลังปฏิบัติงานแล้วเสร็จ

ข) ความคลาดเคลื่อนจากผู้รังวัด (Personal Errors) ผู้รังวัดมีส่วนสำคัญที่ทำให้ค่ารังวัดหรือค่าสังเกตมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความเข้าใจในงานเป็นอย่างดี ผู้ปฏิบัติงานให้เป็นไปตามกรรมวิธีที่กำหนดด้วยความระมัดระวังและรอบคอบ ความคลาดเคลื่อนจากผู้รังวัดได้แก่

- การตั้งเครื่องมือและที่หมายเล็งไม่ตรงกับตำแหน่งของหัวหมุด (Centering)
- การตั้งเครื่องมือไม่ได้ระดับ
- ขาดความปราณีตในการปรับและอ่านค่าบนจานองศาและการจับที่หมายเล็ง
- ไม่ได้เหยียบหรือตั้งขากล้องให้แน่นขณะรังวัด

ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ ไม่สามารถคำนวณค่าออกมาได้ จึงเป็นพวกความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญ หรืออาจจัดเป็นความผิดพลาดเลยก็ได้

ค) ความคลาดเคลื่อนจากธรรมชาติ (Natural Errors) สภาพภูมิประเทศและฉมฟ้าอากาศ ก็มีส่วนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในขณะทำการรังวัด เช่น พื้นดินอ่อนทำให้ตั้งขากล้องได้ไม่มั่นคง หรือไอแดดขณะแดดจัดทำให้จับที่หมายได้ไม่แน่นอน (ที่หมายเต้น) จึงต้องมีการบันทึกสภาพอากาศ และผู้ปฏิบัติงานต้องศึกษาในรายละเอียดให้เข้าใจว่า เครื่องมือที่ใช้มีจุดอ่อนต่อสภาวะอากาศแบบใด เวลาใดที่เหมาะสมในการรังวัด

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในข้อ ก) และ ข) สามารถควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้ แต่สำหรับข้อ ค) ไม่สามารถควบคุมได้ อนึ่ง เนื่องจากระยะระหว่างหมุดกึ่งหมุดในการสร้างสนามทดสอบครั้งนี้ใกล้กันมาก (ในโครงข่ายหลักเฉลี่ย 80 เมตร ในโครงข่ายกริด 5 เมตร) จึงต้องมีการตรวจสอบและปรับแก้เครื่องมือให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ และเพิ่มความประณีตในการ Centering และการรังวัดให้ดีเป็นพิเศษ