บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

หลักการและทฤษฎี จากหนังสือการสำรวจและการระดับของ เพ็ง โพธิ์ศรี และหนังสือวิศวกรรมสำรวจ ของ ผ.ศ.รังสรรค์ วงษ์บุญ.

2.1 งานระดับ

2.1.1 คำจำกัดความที่เกี่ยวกับงานระดับ

- **ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level = M.S.L. หรือ ร.ท.ก.)** เป็นการบันทึกหาค่ารายเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลปานกลาง ณ ที่แห่งหนึ่งเป็นระยะเวลานานประมาณ 18-19 ปีผลเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลปานกลางที่ได้สมมติให้มีค่าเท่ากับ 0.00 เรียกว่า พื้นหลักฐานการระดับใช้เปรียบเทียบหาค่าความสูงต่ำของพื้นโลกต่อไป

- **ผิวระดับ (Level Surface)** คือพื้นผิวราบที่ขนานไปกับระดับน้ำทะเลปานกลางหรือพื้นผิวโลกทุก ๆ จุดที่อยู่บนพื้นผิวระดับจะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่ากันและตั้งฉากกับเส้นดิ่งถ้าเป็นระยะสั้น ๆ ก็จะเป็นเส้นตรงและถ้าระยะยาว ๆ ผิวระดับก็จะโค้งไปตามแนวระดับน้ำทะเลปานกลางหรือพื้นผิวโลกเมื่อมองในภาพรวม

- **เส้นระดับ (Level Line)** คือแนวเส้นที่อยู่ตามพื้นผิวระดับ

- **ค่าระดับ (Elevation)** คือค่ากำหนดความสูง เป็นค่าของระดับที่วัดในแนวดิ่ง สืบเนื่องมาจากระดับน้ำทะเลปานกลางหรือพื้นผิวโลกดังนั้นค่าระดับจึงอาจจะอยู่เหนือหรือต่ำกว่าพื้นหลักฐานการระดับก็ได้

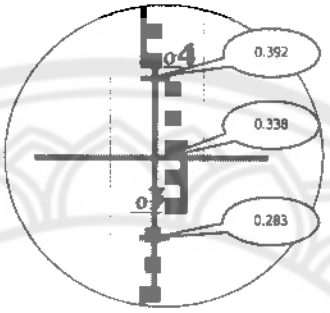
- **สายใย (Cross Hair หรือ Stadia)** คือเส้นใยที่ใช้เล็งที่หมาย โดยมีสายใยทางดิ่งตัดกับสายใยทางราบ สายใยกลางใช้หาค่าระดับ ส่วนสายใยบนกับสายใยล่างให้ตรวจสอบค่าระดับของสายใยกลางและหาค่าระยะทางตั้งกล้องถึงจุดที่ตั้งไม้วัดระดับ

2.1.2 การทำระดับสามสายใย (Three Wire Leveling)

การทำระดับในงานที่ต้องการความละเอียดสูง การใช้วิธีทำระดับสายใยสามสายเพราะการอ่านค่าของสายใยกลางเส้นเดียวเป็นการประมาณด้วยสายตาเท่านั้น การทำระดับสามสายใยคือต้องอ่านค่าสายใยทั้งสามเส้นหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้ถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แต่การอ่านค่าสายใยทั้งสามเส้นจะต้องระมัดระวังปรับระดับฟองน้ำและตรวจสอบทุกครั้งก่อนอ่านค่าระดับทั้งสามเส้น

การอ่านค่าระดับแต่ละครั้งตรวจสอบได้จากการเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของสายใยสายใยบนกับสายใยกลาง และสายใยกลางกับสายใยล่าง ผลต่างทั้งสองค่าจะต้องมีค่าเท่ากับหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนต่างกันได้ประมาณ 0.20 ซม. ถ้าต่างกันมากกว่านี้ต้องอ่านใหม่

การจดบันทึกค่าที่อ่านได้จากเส้นสายใยทั้ง 3 สามเส้นจะช่วยตรวจสอบความถูกต้องของการอ่านค่าบนไม้ระดับได้เป็นอย่างดี ข้อดีก็คือช่างสำรวจสามารถทำงานได้ละเอียดขึ้น โดยใช้กล้องระดับชนิดธรรมดาทั่ว ๆ ไป การอ่านค่าจากไม้ระดับต้องประมาณให้ได้ถึงระดับ 1/1000 หรือทศนิยมตำแหน่งที่ 3 กรณีนี้ควรใช้ไม้ระดับอินวาร์ (Invar Staff) ซึ่งเป็นไม้ระดับชนิดพิเศษ แต่อย่างไรก็ตามก่อนนำไปใช้งานจะต้องตรวจสอบความถูกต้องเสียก่อน



(สายใยบน- สายใยกลาง) - (สายใยกลาง - สายใยล่าง)] $\leq$ 2 มม.

รูปที่ 2.1 การอ่านสามสายใย

2.1.3 การคำนวณปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน

การทำงานระดับ การสำรวจจะต้องเข้าบรรจบกับหมุดที่ทราบค่าระดับ แต่ถ้าหากไม่ทราบค่าก็ต้องสำรวจกลับไปเปรียบเทียบกับหมุดเดิม และหากตรวจสอบแล้วจะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีเกณฑ์กำหนดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกินกว่าค่าที่กำหนดจะต้องทำใหม่

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Error tolerance) ค่าจะขึ้นอยู่กับระยะทางที่ทำการสำรวจ การปรับแก้ค่าที่เข้าบรรจบเป็นวงรอบจะขึ้นอยู่กับระยะทางและสัมพันธ์กับจำนวนครั้งของการตั้งกล้อง

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทาง ถ้าระยะทางมากความคลาดเคลื่อนยิ่งมาก ค่าปรับแก้ยิ่งมากไปด้วย

$$\text{ค่าปรับแก้} = \frac{\text{ระยะทางสะสมที่ผ่านมาระหว่างหมุด}}{\text{ระยะทางทั้งหมด}} \times \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น}$$

หรือ

$$\text{ค่าปรับแก้} = \frac{\text{ระยะระหว่างหมุด} \times \text{ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น}}{\text{ระยะทางทั้งหมด}}$$

2.1.4 ข้อกำหนดในการทำระดับของอเมริกา

- การปรับแก้(Calibration Procedure)

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการทำระดับของอเมริกา

ข้อกำหนดที่ยอมให้(Specification)	งานชั้นที่ 1		งานชั้นที่ 2		งานชั้นที่ 3
	Class I	Class II	Class I	Class II	
a) กล้องทำระดับ					
1. ความผิดของสายใย มม./ม.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5
2. ความผิดของสายใยที่มากที่สุดของกล้อง Ni 002 ที่ใช้ Reversible Compensator มม./ม.	0.02	0.0.2	0.02	0.02	0.02
3. ระยะเวลาตรวจสอบปรับแก้สายใย(วัน)					
- Reversible Compensator	7	7	7	7	7
- กล้องชนิดอื่นๆ	1	1	1	1	1
4. ความแตกต่างของสายใยจากการใช้ Reversible Compensator สองหน้า	40"	40"	40"	40"	40"
b) ไม้วัดระดับ(leveling rod)					
1. การปรับแก้ขีด Staff(มม.)	N (±0.5)	N (±0.5)	N (±0.5)	N (±0.5)	N (±0.5)
2. ระยะเวลาที่ตรวจสอบ(ปี)	1	1			
3. ความเอียงของไม้วัดระดับต้องไม่เกิน	10'	10'	10'	10'	10'
N = National , M = ผู้ผลิต					

- ข้อกำหนดในการปฏิบัติในสนาม(Field Procedures)

ข้อกำหนดที่ยอมให้ (Specification)	งานชั้นที่ 1		งานชั้นที่ 2		งานชั้นที่ 3
	Class I	Class II	Class I	Class II	
a) ข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องมือ					
1. วิธีการส่องอ่าน	Micro	Micro	Microหรือ 3wire	3 wire	Center
2. การถ่ายระดับในตอนการระดับ	SRDS หรือDR หรือSP	SRDS หรือDR หรือSP	SRDS หรือDR หรือSP	SRDS หรือDR	SRDS หรือDR
3. ผลต่างของระยะBS,FS					
- ต่อการตั้งกล้อง 1 ครั้ง (ม.)	2	5	5	10	10
- ต่อตอนการระดับ(ม.)	4	10	10	10	10

4. ระยะจากกล้องไปยัง staff (ม.)	50	60	60	70	90
5. ความสูงของสายใยจากพื้นดิน(ม.)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6. ความผิดของการถ่ายในตอนการระดับ	$3\sqrt{D}$	$4\sqrt{D}$	$6\sqrt{D}$	$8\sqrt{D}$	$12\sqrt{D}$
7. ความผิดของการถ่ายในสายการระดับ	$4\sqrt{E}$	$5\sqrt{E}$	$6\sqrt{E}$	$8\sqrt{E}$	$12\sqrt{E}$
b) การระดับส่องสายใยเดี่ยว จะต้องถ่ายไปกลับให้เสร็จในครึ่งวัน	ใช่	ใช่	ใช่	-	-
c) การถ่าย 3 สายใย ผลต่าง Upper intercept(U-M) และ Lower intercept (M-L)(มม.)			2	2	3
d) Double scale rod การอ่าน Low และ High scale ต่อการตั้งกล้อง 1 ครั้งจะต้องไม่เกิน					
- Reversible Compensator					
Zeiss Ni 002(มม.)	0.40	1.0	1.0	2.0	2.0
- กล้องอื่นๆ	0.25				
HCM Rod	0.25	0.30	0.6	0.7	1.3
CM Rod	0.30	0.30	0.6	0.7	1.3

SRDS=ถ่ายไปทิศทางเดียวแต่ขยับกล้อง 2 ครั้ง

DR= Double run ถ่ายไปกลับ

D= ระยะของตอนการระดับ(Section)

E= เส้นรอบวงของวงรอบปิดหรือระยะของวงรอบเปิด

2.2 งานวงรอบ

จะแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1. **วงรอบปิด** (Closed Traverse) เป็นวงรอบที่ทำเป็นวงจร หมุดเริ่มต้นและหมุดจบเป็นหมุดเดียวกัน และจุดออกจะต้องเป็นหมุดหลักฐานคู่หรือหมุดที่มีค่าพิกัดและมีหมุดอ้างอิง วงรอบปิดจะสามารถตรวจสอบมุมที่ทำการรังวัดได้ และคำนวณพิกัดฉากตรวจสอบความผิดของการรังวัดมุมและระยะได้ การส่องกล้องจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวัดมุมภายนอก และการวัดมุมภายใน หรือการรังวัดมุมด้วยมือ

2. **วงรอบเปิด** (Open Traverse) เป็นการทำวงรอบออกจากหมุดหลักฐานคู่ซึ่งเป็นวงรอบเดิมที่รู้ค่าพิกัดทั้งสองหมุด แล้วไปเข้าบรรจบกับหมุดหลักฐานอีกคู่หนึ่งที่ทราบค่าพิกัดเช่นเดียวกัน จากการตรวจสอบมุมและคำนวณพิกัดจะสามารถตรวจสอบความผิดที่เกิดขึ้นได้

3. **วงรอบลอย** (Swinging Traverse) เป็นวงรอบเปิดหรือวงรอบปิดที่ไม่ได้บรรจบหมุดที่ทราบค่าพิกัด เป็นการทำวงลอยๆ ออกไปเฉยๆ ไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งได้ ในทางสำรวจถือว่าจะเอาเป็นหลักฐานที่แน่นอนไม่ได้

2.2.1 การแบ่งชั้นงานวงรอบของกรมที่ดิน

ความละเอียดถูกต้องของงานวงรอบขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ บุคคล ผู้ทำการรังวัด วิธีการวัด และสภาพดินฟ้าอากาศ งานแต่ละโครงการย่อมต้องการความละเอียดถูกต้องต่างกันตามแต่วัตถุประสงค์ของงานนั้น จึงจำเป็นต้องแบ่งชั้นงานวงรอบ เพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องตามจุดประสงค์

1. **งานวงรอบชั้นที่ 1** (First order traverse) หมุดหลักฐานแผนที่หลัก ซึ่งกรมที่ดินจะนำไปใช้เป็นหมุดออกและเข้าบรรจบในการวางเส้นโครงงานหลักฐานแผนที่ชั้น 1 นั้น จะต้องเป็นหมุดหลักฐานแผนที่ที่ได้มาจากการรังวัดอาซิมุท (Azimuth) ให้ทำการรังวัดอาซิมุททุกๆ 20 หมุด และต้องไม่เกิน 10 กิโลเมตร

2. **งานวงรอบชั้นที่ 2** (Second order traverse) ให้วางออกและเข้าบรรจบกับหมุดหลักฐานแผนที่ชั้นที่ 1 จุดประสงค์ในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้น 2 ก็เพื่อใช้เป็นหลักในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานในแผนที่ชั้น 3 ระยะระหว่างหมุดหลักฐานของเส้นโครงงานแผนที่ชั้น 2 ไม่ควรเกิน 12.5 เส้น และความยาวทั้งหมดของเส้นโครงงานไม่ควรเกิน 5 กิโลเมตร แต่ถ้ามีความจำเป็นในกรณีไม่อาจหาหมุดบรรจบได้ ให้ยาวเกินได้แต่ไม่เกิน 10 กิโลเมตร

3. **งานวงรอบชั้นที่ 3** (Third order traverse) ให้วางระหว่างหมุดหลักฐานแผนที่ของเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า จุดประสงค์ในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้น 3 ก็เพื่อสร้างหมุดหลักฐานแผนที่สำหรับเก็บรายละเอียดในบริเวณพื้นที่ดินระหว่างหมุดหลักฐานแผนที่ไม่ควรเกิน 5 เส้น และความยาวทั้งหมดของเส้นโครงงานไม่ควรเกิน 2 กิโลเมตร ถ้ามีความจำเป็นไม่อาจหาหมุดบรรจบได้ ให้ยาวเกินได้ไม่เกิน 4 กิโลเมตร

การวัดมุมราบให้ใช้กล้องวัดมุมชนิดที่อ่านได้โดยตรงไม่ต่ำกว่า 1 ลิปดา ให้ทำการวัดอย่างน้อย 2 ชุด การวัด 1 ชุด หมายถึง การวัดด้วยกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวาอย่างละ 1 ครั้ง ความแตกต่างของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา ต้องไม่เกิน 1 ลิปดา ความแตกต่างของมุมแต่ละชุดที่จะนำมาเฉลี่ยต้องไม่เกิน 1 ลิปดา

2.2.2 วิธีการทำวงรอบ

การทำวงรอบมีหลายวิธีแล้วแต่จุดประสงค์และความละเอียดถูกต้อง การทำวงรอบนี้จะใช้เครื่องมือและวิธีการที่แตดต่างกันไป แต่หลักการแล้วมีวิธีเหมือนกันดังนี้

1. การทำวงรอบด้วยกล้อง Theodolite วิธีนี้จะใช้กล้อง Theodolite วัดง่ามมุมต่อเนื่องกันไปจะเป็นมุมภายนอกหรือภายในก็แล้วแต่ทิศทางการทำวงรอบ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ้าผู้สำรวจเดินไปข้างหน้า มุมที่จะวัดคือมุมซ้ายมือนั่นเอง ส่วนระยะวัดด้วยเทป หรือEDMก้อได้

2. การทำวงรอบด้วยวิธี Tacheometry วิธีนี้ใช้กล้อง Theodolite ธรรมดาก็จะใช้วิธี Stadia หรือใช้กล้อง Tacheometer เช่นกล้อง Wild RDS ผลก็จะได้เหมือนกัน นอกจากนี้ยังมี Invar bar การใช้วิธีนี้ก็เพื่อจะได้ผลสำรวจเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การทำ Site survey งานเกษตรกรรม แผนที่ภูมิประเทศ

3. การทำวงรอบด้วยเข็มทิศ เครื่องมือที่ใช้จะเป็นเข็มทิศ หรือกล้อง Compass Theodolite การรังวัดมุมจะอาศัยทิศเหนือแม่เหล็ก ค่าที่ได้ออกมาจะเป็น อาซิมุท แม่เหล็ก

4. การทำวงรอบโดยใช้ Electronic tacheometer วิธีนี้จะให้ความละเอียดมากเพราะเครื่องมือที่ใช้นั้นสร้างให้ระบบการวัดระยะรวมกับ Digital theodolite สามารถอ่านระยะดิ่ง ระยะราบ และค่ามุมออกมาเป็นตัวเลขเลย

5. การทำวงรอบโดยระบบ Inertial posittion systems เครื่องมือจะติดตั้งบนรถยนต์ หรือเฮลิคอปเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะทราบทั้งพิกัดในแนวราบ และค่าระดับ เช่น การสำรวจการวางแนวท่อ

6. การทำวงรอบโดยวิธี Deflection angle วิธีนี้ใช้สำรวจแนวทางต่างๆ การรังวัดมุมแบบมุมหักเห

2.2.3 หลักการของการทำวงรอบ

1. ต้องออกจากจุดหนึ่งจุดใดที่ทราบค่าพิกัดฉาก หรือภูมิศาสตร์ และค่าระดับ

2. ต้องทราบภาคของทิศ (Azimuth) ณ จุดที่ตั้งกล้อง ไปยังอีกจุดหนึ่งและจะทำการรังวัดออกจากจุดเดียวไม่ได้

3. ถ้า อาซิมุทเดิมไม่มี ต้องทำการรังวัดอาซิมุทขึ้นมา

4. ต้องรังวัดมุมตรงหมุดแรกออกและเป็นมุมที่เราทราบพิกัดแล้วเสมอ

5. จุดต่อระหว่างเส้นตรงนั้น ต้องทำการวัดมุม และชุดของเส้นตรงเหล่านั้นต้องวัดระยะมาด้วย