หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

โครงข่ายระดับชั้นหนึ่ง

(First-Order Vertical Control Network)

2.1 คำนำ

งานระดับหมายถึงการรังวัดค่าต่างระดับระหว่างจุดสองจุดบนผิวพิภพ หรือเป็นการหาค่าระดับสูงของจุดใด ๆ บนผิวพิภพที่อ้างถึงพื้นผิวระดับธรรมชาติ (natural level surface) ซึ่งเรียกว่า "ยีออยด์ (geoid)" เมื่อขยายงานระดับโดยให้เส้นระดับตัดกันเป็นวงจรปิดของวงรอบระดับต่อเนื่องกันทั่วประเทศ จึงเรียกว่า "โครงข่ายระดับ (Vertical control network)"

การบอกตำแหน่ง (location) ของจุดใด ๆ บนผิวพิภพจะประกอบไปด้วยพิกัดทางราบ (ϕ, λ) และพิกัดทางดิ่ง (H) เมื่อ ϕ, λ คือละติจูดและลองติจูดตามลำดับ โดยใช้หน่วยวัดเชิงมุม (angular measurement) และ H คือระดับสูงออร์ธอเมตริคใช้หน่วยวัดเชิงเส้น (linear measurement)

งานรังวัดควบคุมทางราบเช่น ข่ายสามเหลี่ยมหรือวงรอบชั้นหนึ่ง หมุดหลักฐานส่วนใหญ่จะถูกสร้างในภูมิประเทศที่เป็นภูเขาหรือตำบลห่างไกลจากถนนสายหลัก แต่งานรังวัดควบคุมทางดิ่ง (ระดับชั้นหนึ่ง) เส้นระดับส่วนใหญ่จะไปตามถนนสายหลัก จากหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันนี้มักเป็นไปไม่ได้ที่จะให้หมุดหลักฐานส่วนใหญ่รู้ค่าพิกัดทั้งทางราบและค่าระดับชั้นหนึ่งพร้อมกัน

ในการเริ่มต้นของงานรังวัดควบคุม ควรที่จะให้หมุดระดับอยู่ใกล้หรือเป็นหมุดเดียวกันกับหมุดหลักฐานของโครงข่ายสามเหลี่ยมหรือวงรอบ เพื่อจะได้ขยายค่าระดับประมาณโดยวิธีการระดับตรีโกณมิติไปยังหมุดอื่น ๆ ภายในโครงข่ายสามเหลี่ยม และจำเป็นต้องตรวจสอบหรือเข้าบรรจบ กับหมุดระดับในช่วงระยะทางที่เหมาะสม จากหลักฐานประวัติงานระดับชั้นหนึ่ง บรรดาเส้นฐานของโครงข่ายสามเหลี่ยมจะมีค่าระดับชั้นหนึ่งอยู่ทุกจุด และบางจุดจะมีเส้นระดับ ผ่านด้วยอาทิ ที่เขาน้ำหยด จ. ฉะเชิงเทรา เป็นต้น

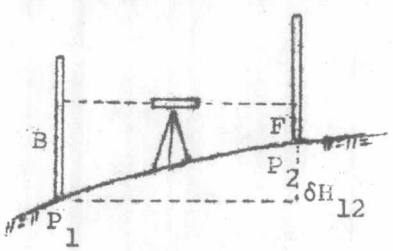
2.2 พื้นฐานระดับ (Vertical control datum)

ยีออยด์ (geoid) เป็นพื้นผิวอ้างอิงของค่าระดับสูงในงานยีออเดซีซึ่งมีลักษณะเป็นรูปปิด และมีความต่อเนื่องของพื้นผิวระดับ (closed and continuous level surface) โดยต่อจากระดับน้ำทะเลปานกลางเลยเข้าไปในส่วนแผ่นดินของเปลือกโลก ลักษณะของพื้นยีออยด์จะเปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่นของมวลสารภายใต้โลก ทำให้ไม่สามารถแทนรูปยีออยด์ได้ด้วยรูปทรงทางเรขาคณิต ในความหมายทางฟิสิคส์ค่าระดับสูงที่นับจากยีออยด์ตามแนวเส้นดิ่งไปยังจุดที่พิจารณาบนพื้นผิวดินเรียกว่า "Orthometric Height" ซึ่งค่าระดับนี้ได้จากงานระดับ (spirit leveling) และทราบค่าแรงอุดพิภพจากการวัดโดยตรงตลอดเส้นทางระดับ

การกำหนดพื้นฐานระดับของแต่ละประเทศที่มีอาณาเขตติดกับทะเล จะมีการวัดหาระดับน้ำทะเลปานกลาง (M.S.L.) ขึ้นมาเอง ซึ่งเรียกว่า "Local Geoid" สำหรับประเทศไทยปัจจุบันใช้ค่า M.S.L. ที่ ต. เกาะหลัก เป็นค่าอ้างอิงให้กับระดับสูงภายในโครงข่ายระดับ

2.3 การวัดค่าต่างระดับ

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าหลักการของ spirit leveling หรือ differential leveling คือการวัดค่าต่างระดับระหว่างจุดสองจุดในขณะที่กล้องระดับอยู่ในแนวระดับจากตัวเลขบนไม้ระดับที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง ณ จุดทั้งสองนั้น จะได้ค่าต่างระดับ ($\delta H_{.}$)



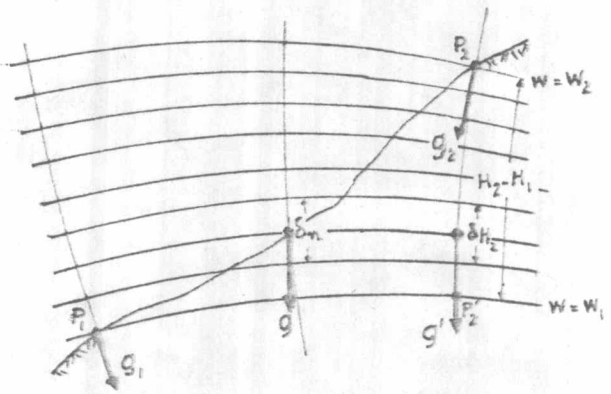
รูปที่ 2.1 ก.
Spirit leveling

$$\delta H_{12} = B - F$$

เมื่อ B คือค่าระดับที่อ่านได้จากไม้หลัง (back sight)

F คือค่าระดับที่อ่านได้จากไม้หน้า (fore sight)

จาก Heiskanen (1967), PP. 160-162 ได้กำหนดให้ H คือความสูงออร์ธอร์เมตริค (Orthometric Height) เมื่อระยะทาง P_1P_2 ใกลมาก ๆ ค่าต่างระดับระหว่างจุด P_1 กับ P_2 คือ Δn_{12}



รูปที่ 2.1 ข.
ค่าต่างระดับออร์ธอเมตริค (H_2-H_1)

เมื่อ W คือพื้นผิวระดับ (level surface)

δn คือค่าต่างระดับของการตั้งกล้องครั้งหนึ่ง ๆ

δH_2 คือการเพิ่มขึ้นของค่าระดับตามแนวเส้นดิ่ง $P_2'P_2$ ที่ตรงกัน

$$\Delta n_{12} = \sum_{1}^{2} \delta n$$

เนื่องจากการไม่ขนานกันของพื้นผิวระดับ (nonparallelism of the level surface) ทำให้ค่า Δn_{12} นี้อาจจะไม่เท่ากับค่าต่างระดับออร์ธอเมตริค $(H_2 - H_1)$ ดังเช่นในรูป 2.1 ข. เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของแรงดูดพิภพ (g) กับค่าต่างระดับ (δn) ในรูปของความต่างศักย์สมดุลย์ (δW) จะได้ว่า

$$-\delta W = g\delta n = g'\delta H_2 \qquad (2-1)$$

เมื่อ g คือแรงดูดพิภพ ณ จุดตั้งกล้อง

g' คือแรงดูดพิภพในแนวเส้นดิ่ง $P_2'P_2$

ผลก็คือ

$$\delta H_2 = \frac{g}{g'} \delta n \neq \delta n \qquad (2 - 2)$$

ถ้า δn ได้จาก spirit leveling และ g ได้จากการวัดโดยตรง

$$\delta W = - g\delta n$$

หรือ $\Delta W_{12} = W_2 - W_1 = - \int_1^2 g dn = - \int_2^1 g' dn \simeq - \sum_1^2 g dn \qquad (2 - 3)$

ตามสมการ (2 - 3) นี้ เป็นการแสดงความหมายทางฟิสิคส์ของค่าต่างระดับในรูปของค่าต่างศักย์สมดุลย์ (ΔW_{12}) โดยที่ในแต่ละเส้นทางการระดับจะอิสระซึ่งกันและกัน ส่วนรายละเอียดในการประยุกต์ หาค่าต่างระดับออร์ธอเมตริค โดยการทำ spirit leveling พร้อมกับวัดค่าแรงดูดพิภพ (g) ตามเส้นทางการระดับ ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ข.

พอสรุปได้ว่าทฤษฎีความสูงพื้นฐานนั้น ถ้าการระดับทำเป็นวงรอบระดับบรรจบตัวเองในทิศทางที่ต่างกัน (closed circuit) จะได้ว่า

$$\oint g dn = 0 \qquad (2 - 4)$$

แต่

$$\oint dn \neq 0 \qquad (2 - 5)$$

เมื่อ $\oint$ คือ integral ตลอดวงจรระดับ

2.4 เกณฑ์งานระดับ (Specification for Leveling)

ในปี พ.ศ. 2455 จากการประชุมที่เมืองอัมบรุก ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐ-เยอรมัน สมาคมยีออเดติคสากล (The International Geodetic Association) ได้กำหนดเกณฑ์งานระดับพิเศษ (precise leveling) ไว้ดังนี้ (Rappleye, 1948, Spec. Publ. No. 240, pp. 150-154)

± 1.0 ม.ม. ต่อ ก.ม. สำหรับ The probable accidental error

± 1.5 ม.ม. ต่อ ก.ม. สำหรับ The mean accidental error

± 0.2 ม.ม. ต่อ ก.ม. สำหรับ The probable systematic error

± 0.3 ม.ม. ต่อ ก.ม. สำหรับ The mean systematic error

ต่อมาในปี พ.ศ. 2479 สมาคมยีออเดติคสากล ได้สรุปใหม่ว่าสำหรับการระดับพิเศษเยี่ยม (high precise leveling) ค่า Total probable error

ต้องน้อยกว่า 2 ม.ม. ต่อ ก.ม.

และการระดับพิเศษ (precise leveling) ค่า Total probable error

ต้องน้อยกว่า 6 ม.ม. ต่อ ก.ม.

และในช่วงเวลาใกล้ ๆ กันคือ เมื่อปี พ.ศ. 2476 คณะกรรมการสำรวจและทำแผนที่แห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (The Board of Surveys and Maps of The Federal Government) ได้กำหนดเกณฑ์งานระดับขึ้น และกรมแผนที่ทหารก็ได้ยึดถือของสหรัฐเป็นหลักปฏิบัติในงานระดับดังต่อไปนี้ (Rappleye, 1948, Spec. Publ. No. 239, pp. 2-3)

งานระดับชั้นหนึ่ง (First-order leveling)

เป็นโครงข่ายหลักของงานระดับแห่งชาติ ภายในเส้นทางระดับจะต้องมีหมุดหลักฐานห่างกันไม่เกิน 80 ก.ม. และทุก ๆ ระยะ 1-2 ก.ม. ของตอนการระดับจะต้องมีการทำไปและทำกลับ โดยยอมให้มีค่าแย้งของค่าต่างระดับ (discrepancy) ไม่เกิน 4 ม.ม. $\sqrt{K}$ (K คือระยะทางเป็น ก.ม.)

งานระดับชั้นสอง (Second-order leveling)

เป็นเส้นทางระดับที่ขยายย่อยออกจากโครงข่ายระดับชั้นหนึ่งในพื้นที่ที่ห่างจากหมุดระดับชั้นหนึ่ง เกินกว่า 20 ก.ม. วิธีการระดับเหมือนกับงานชั้นหนึ่งค่าแย้งของค่าต่างระดับในการทำไปทำกลับต้องไม่เกิน 8 ม.ม. $\sqrt{K}$

งานระดับชั้นสาม (Third-order leveling)

เป็นสายซอยการระดับจากโครงข่ายระดับชั้นหนึ่งและชั้นสอง ในเมื่อต้องการหมุดหลักฐานระดับเพิ่มเติมให้เต็มพื้นที่ การทำงานในสนามอาจทำระดับไปทางเดียวได้ แต่ต้องเข้าบรรจบกับเส้นทางระดับที่มีชั้นสูงกว่าหรือทำไปทำกลับเข้าบรรจบตัวเอง โดยที่ค่าคลาดบรรจบ (misclosure) ต้องน้อยกว่า 12 ม.ม. $\sqrt{K}$

การระดับชั้นรองลงไปจากที่กล่าวมาแล้วยอมให้ค่าคลาดบรรจบโตกว่างานชั้นที่สาม ได้เช่น ระดับตรีโกณมิติ เป็นต้น

ปัจจุบันหลายประเทศได้มีการปรับปรุงการจำแนกประเภทมาตรฐานความถูกต้องและเกณฑ์กำหนดทั่วไปของงานระดับ ตามมติของ "Federal Geodetic Control Commitee" ปี ค.ศ. 1974 ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.1 ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้ใช้ตามนี้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์งานระดับของ F.G.C.C. (1974)

—Classification, Standards of Accuracy, and General Specifications for Vertical Control

	First-Order	*Second-Order*		*Third-Order*
Classification	*Class I, Class II*	*Class I*	*Class II*	
Principal uses Minimum standards; higher accuracies may be used for special purposes	Basic framework of the National Network and of metropolitan area control Extensive engineering projects Regional crustal movement investigations Determining geopotential values	Secondary control of the National Network and of metropolitan area control Large engineering projects Local crustal movement and subsidence investigations Support for lower-order control	Control densification, usually adjusted to the National Net. Local engineering projects Topographic mapping Studies of rapid subsidence Support for local surveys	Miscellaneous local control; may not be adjusted to the National Network. Small engineering projects Small-scale topo. mapping Drainage studies and gradient establishment in mountainous areas
Recommended spacing of lines National Network	Net A: 100 to 300 km *Class I* Net B: 50 to 100 km *Class II*	Secondary Net: 20 to 50 km	Area Control: 10 to 25 km	As needed
Metropolitan control;	2 to 8 km	0.5 to 1 km	As needed	As needed
other purposes	As needed	As needed	As needed	As needed
Spacing of marks along lines	1 to 3 km	1 to 3 km	Not more than 3 km	Not more than 3 km
*Gravity requirement**	0.20×10^{-3} gpu	———	———	———
Instrument standards	Automatic or tilting levels with parallel plate micrometers; invar scale rods	Automatic or tilting levels with optical micrometers or three-wire levels; invar scale rods	Geodetic levels and invar scale rods	Geodetic levels and rods
Field procedures	Double-run; forward and backward, each section	Double-run; forward and backward, each section	Double- or single-run	Double- or single-run
Section length	1 to 2 km	1 to 2 km	1 to 3 km for double-run	1 to 3 km for double-run
Maximum length of sight	50 m Class *I*; 60 m *Class II*	60 m	70 m	90 m
Field procedures† Max. difference in lengths Forward & backward sights				
per setup	2 m Class *I*; 5 m *Class II*	5 m	10 m	10 m
per section (cumulative)	4 m Class *I*; 10 m *Class II*	10 m	10 m	10 m
Max. length of line	Net A: 300 km		50 km double-run	25 km double-run
between connections	Net B: 100 km	50 km	25 km single-run	10 km single-run
Maximum closures‡ Section; fwd. and bkwd.	3 mm $\sqrt{K}$ Class *I*; 4 mm $\sqrt{K}$ Class *II*	6 mm $\sqrt{K}$	8 mm $\sqrt{K}$	12 mm $\sqrt{K}$
Loop or line	4 mm $\sqrt{K}$ Class *I*; 5 mm $\sqrt{K}$ Class *II*	6 mm $\sqrt{K}$	8 mm $\sqrt{K}$	12 mm $\sqrt{K}$

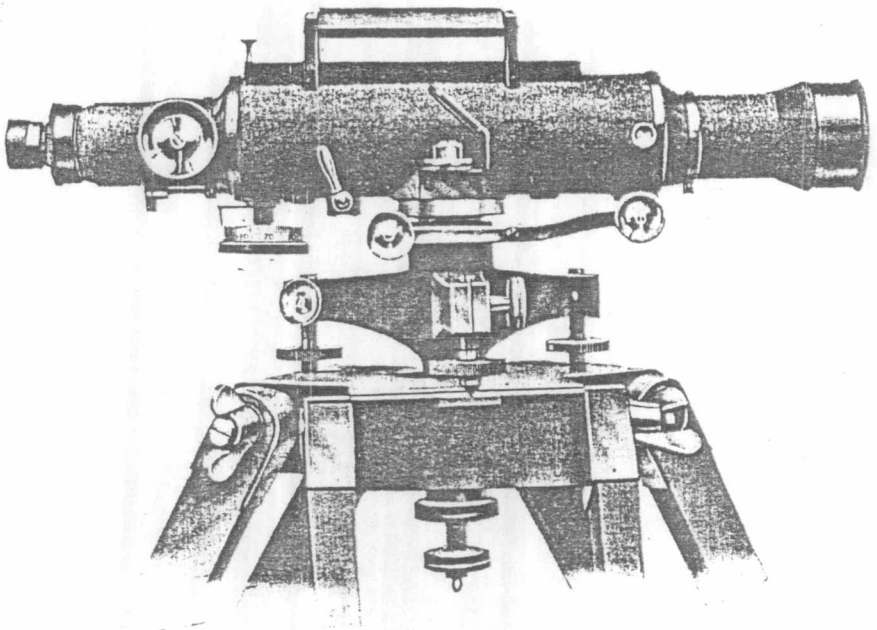
* See text for discussion of instruments.

† The maximum length of line between connections may be increased to 100 km for double run for Second-Order, Class II, and to 50 km for double run for Third-Order in those areas where the First-Order control has not been fully established.

‡ Check between forward and backward runnings where K is the distance in kilometers.

2.5 <u>เครื่องมือระดับ</u> (Leveling instruments)

กล้องระดับพิเศษรุ่นแรก ๆ ที่กรมแผนที่ทหารใช้เป็นกล้องแบบ "Dumpy" ออกแบบโดย U.S. Coast and Geodetic Survey มีคุณสมบัติดังนี้ (ยอด, 2508)



รูปที่ 2.2 U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY PATTERN PRECISION LEVEL.

ก. มีระยะโฟกัส 16-18 นิ้ว

ข. กำลังขยาย 40-50 เท่า

ค. ความไวระดับ 1.2 - 2 พิลิบดา ต่อ 2 ม.ม.

ง. ตัวกล้องทำด้วยโลหะผสมระหว่างเหล็กกับนิเกิลปนอยู่ร้อยละ 30 มีสัมประสิทธิ์การขยายตัว 0.000 004 และรุ่นต่อมาทำด้วยอินวาร์

จ. หลอดระดับติดแน่นกับตัวกล้อง (Telescope) มีควงไมโครมิเตอร์สำหรับปรับฟองระดับให้อยู่กึ่งกลางหลอดระดับ

ฉ. สามารถอ่านขีดส่วนแบ่งบนไม้ระดับได้ไกลถึง 100 ม.

ต่อมาเมื่อ พ.ศ. 2510 กรมแผนที่ฯ เริ่มใช้กล้องระดับ Wild N-3 ในการทำระดับชั้นหนึ่ง กล้องดังกล่าวมีน้ำหนักเบาทำให้สะดวกในการใช้ขึ้นมาก สามารถอ่านไม้ระดับได้โดยตรงละเอียดถึง 0.1 ม.ม.

ปัจจุบันมีหลายบริษัทผลิตกล้องระดับสำหรับใช้ตามชั้นของงานระดับ อาทิ

งานระดับชั้นหนึ่ง มี Wild N-3, Zeiss Ni-1 ฯลฯ

งานระดับชั้นสอง มี Wild NA-2, Zeiss Ni-2, Kern NK-3 ฯลฯ

<u>ไม้ระดับ</u> (Leveling Rods)

ไม้ระดับที่ใช้กับงานระดับชั้นหนึ่งหรือชั้นสองแบ่งขีดส่วนแบ่งออกเป็นเมตรหรือฟุตบนแผ่นโลหะอินวาร์ ซึ่งแขวนตัวเป็นอิสระในระหว่างขอบทั้งสองของไม้ระดับ ยาวเป็นท่อนเดียวกันประมาณ 3.25 ม. และมีระดับฟองกลมติดอยู่ด้านหลังสำหรับตั้งไม้ระดับให้อยู่ในแนวดิ่ง

<u>ขากล้องระดับ</u> (Tripod)

เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ตัวกล้องระดับทรงตัวอยู่อย่างมั่นคง ขากล้องระดับจะต้องแข็งแรงและมีน้ำหนักพอในการทรงตัวตลอดจนตีนขากล้อง (The shoes of the tripod) ควรจะให้มีความแหลมคมและใหญ่พอในการทรงตัวบนพื้นทรายหรือพื้นดิน

2.6 <u>การปฏิบัติงานระดับ</u> (Leveling procedures)

เมื่อเริ่มออกปฏิบัติงานในภูมิประเทศสิ่งแรกที่ควรจะทำคือ การตรวจสอบการทรุดตัวของหมุดระดับเดิมที่คาดว่าจะเป็นจุดออกหรือเข้าบรรจบงานระดับ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 2.9 ต่อไป หลังจากนั้นจึงวางแผนและทำการสร้างหมุดหลักฐานตามเส้นทางระดับ

ในช่วงระยะทางและสถานที่ที่เหมาะสม จาก Rappleye (1948), F.G.C.C. (1975) พอจะสรุปการปฏิบัติในสนามที่สำคัญได้ดังนี้

1. ก่อนที่จะนำกล้องระดับออกไปปฏิบัติงานในสนามหรือทุก ๆ 2 สัปดาห์ ต้องมีการตรวจสอบเส้นเล็ง (level error) "C" ทุกครั้ง ถ้าค่า C มากกว่า 0.01 จะต้องมีการปรับแก้กล้องระดับเสียใหม่

2. ในการตั้งกล้องระดับครั้งแรก ให้คนถือไม้ระดับไม้หลัง (จุดเริ่มออกงาน) เป็นหมายเลข 1 และไม้หน้าเป็นหมายเลข 2 ในช่วงต่อไปให้หมายเลข 1 เป็นไม้หน้า และหมายเลข 2 เป็นไม้หลังสลับกันไป ในการอ่านระดับต้องเล็งกล้องระดับไปยังหมายเลข 1 ก่อนเสมอ ข้อควรระวังคือ ผู้จดต้องจดให้ถูกตำแหน่งไม้หน้า-ไม้หลังด้วย และอีกประการหนึ่งเพื่อขจัดการไม่เท่ากันของความยาว-ตีนไม้ระดับควรให้หมายเลข 1 เป็นตัวเข้าบรรจบหมุดระดับ (ตั้งกล้องระดับให้เป็นจำนวนคู่) ภายในตอนระดับหนึ่ง ๆ

3. ในแต่ละตอนระดับต้องมีการวัดในทิศทางตรงข้าม (ทำไป-ทำกลับ) โดยทำต่างเวลาหรือต่างวันกันและควรจะต่างคนกันด้วย

4. ระยะทางของการเล็งระดับจากกล้องระดับไปยังไม้ระดับ ต้องไม่เกิน 50 ม. (1 st. order class I) หรือ 60 ม. สำหรับ 1 st. order class II หรือ 2 nd. order class I

5. ในการตั้งกล้องครั้งหนึ่ง ๆ (set up) ต้องไม่มีการปรับระยะชัดบนกล้องระดับระหว่างการวัดไม้หน้า-ไม้หลังและระยะระหว่างไม้หน้ากับไม้หลังควรเท่ากัน ยอมให้ต่างกันได้ไม่เกิน 2 ม. (1 st. order class I) หรือ 5 ม. สำหรับ 1 st. order class II ในกรณีที่ไม่เท่ากันในครั้งต่อไปต้องแก้ระยะที่ไม่เท่ากันนั้น ในทิศทางตรงข้ามโดยมีขนาดเท่ากับค่าที่ต่างกันในครั้งก่อน ผลรวมทางพีชคณิตของความต่างในแต่ละตอนระดับต้องไม่เกิน 4 ม. หรือ 10 ม. แล้วแต่ชั้นของงานระดับ

6. ระยะสูงจากพื้นดินไปยังแนวเล็งระดับบนไม้ระดับต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เมตร และระยะห่างระหว่างกล้องระดับกับไม้ระดับไม่ควรน้อยกว่า 0.7 เมตร

007382

7. ในย่านเวลา 10.30-14.30 ของวันอากาศแจ่มใสการหักเหของแสง (refraction) มีค่าสูงสุด ถ้าทำระดับในย่านเวลานี้ ต้องคำนึงถึงค่าตรวจแก้การหักเหของแสง (refraction correction) ด้วย

2.7 สาเหตุของความคลาดเคลื่อน (Source of errors)

ความถูกต้องของงานระดับขึ้นอยู่กับ บุคคล เครื่องมือ ภูมิประเทศและอิทธิพลของสภาพบรรยากาศ ค่าต่างระดับ (Δn) ระหว่างหมุดระดับ 2 จุด (section) จะประกอบด้วยผลรวมของค่าต่างระดับ (δn) ในการตั้งกล้องระดับครั้งหนึ่ง ๆ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเป็นระบบและความคลาดเคลื่อนคงที่ที่สำคัญแฝงอยู่ในค่าสังเกตนั้น ๆ จาก F.G.C.C. (1975), Torge (1980), Bomford (1971), Rappleys (1948) พอจะสรุปสาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

1. ขีดจำกัดของเครื่องมือ อาทิเช่น ค่าละเอียดที่สุดในการอ่าน ฟองระดับไม่อยู่กึ่งกลางจริง ขณะอ่านระดับหรือการไม่สมดุลย์ในการเล็งระดับระหว่างไม้หน้า-ไม้หลัง
2. เครื่องมือไม่ได้มาตรฐาน อาทิเช่น ไม้ระดับไม่เข้าชุดกัน ขีดส่วนแบ่งไม่ถูกจริงหรือลบเลือน
3. สภาพแวดล้อม อาทิเช่น อุณหภูมิ การหักเหของแสงสว่างและการเปลี่ยนแปลงระดับบนพื้นดิน
4. การเคลื่อนตัวในทางดิ่งของเครื่องมือ เนื่องจากสภาพไม่มั่นคงของพื้นดิน การตั้งเครื่องมือไม่มั่นคงพอและการเคลื่อนตัวนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาในการทำระดับจะขจัดให้หายไปได้จากการวัดแบบ $B_1\ F_1\ F_2\ B_2$ *

---

* $B_1\ F_1$ อ่านไม้หลัง-ไม้หน้าของการตั้งกล้องครั้งที่ 1

$F_2\ B_2$ อ่านไม้หน้า-ไม้หลังของการตั้งกล้องครั้งที่ 2

5. ขีดจำกัดของผู้รังวัด เช่น ความสามารถในการใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง การอ่านขีดส่วนแบ่งบนไม้ระดับไม่ดีพอ

6. การขาดความระมัดระวังในการบันทึกค่าระดับ

7. จากอิทธิพลของแรงดึงดูดจากดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ (Astronomic effects) ทำให้แนวเส้นดิ่งเปลี่ยนไป

ความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมานี้ สามารถกำจัดให้หายไปได้จากการสร้างกฎเกณฑ์ในทางปฏิบัติที่เหมาะสม ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.6 แต่ยังคงเหลือความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random errors) แฝงอยู่ในค่าสังเกต สำหรับความผิด (blunders) ซึ่งเกิดจากการขาดความระมัดระวังหรือจากการตัดสินใจที่ไม่ดีนั้นสามารถตรวจสอบได้ง่าย แต่ถ้าเป็นความผิดขนาดเล็กจะตรวจสอบได้จากการวัดซ้ำกันเป็นวงบรรจบ

ความคลาดเคลื่อนของงานระดับเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดอีกมากที่ควรจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ดังปรากฏในเอกสารอ้างอิงที่กล่าวแล้วข้างต้น และจาก Torge (1980), P. 114 กล่าวไว้ว่า สำหรับการทำระดับไป-ทำระดับกลับในระยะทาง 1 ก.ม. ควรมีความคลาดเคลื่อนระหว่าง $\pm$ 0.3 ถึง 1.0 ม.ม.

2.8 <u>หมุดหลักฐานระดับ</u> (Bench Mark)

หมุดระดับตามที่กรมแผนที่ทหารสร้างขึ้นมี 3 ลักษณะ ซึ่งพอสรุปได้จาก ยอด (2508), หน้า 27-29 ดังนี้

<u>หมุดระดับ B.M.P.</u> ย่อมาจาก "Principal Bench Mark"

เป็นหมุดหลักภายในเส้นทางระดับชั้นหนึ่งและชั้นสอง สร้างไว้ทุก ๆ ระยะ 5-10 ก.ม. การกำหนดหมายเลขหมุดจะเรียงกันไปตามปีที่ทำการวัด (สมัยก่อนใช้เลขโรมัน) ตำบลที่ตั้งตลอดจนขนาดรูปร่างของหมุดเป็นไปตามกฎเกณฑ์ของหมุดหลักฐานแบบ ก. ในภาคผนวก จ.

หมุดระดับ B.M.S. ย่อมาจาก "Secondary Bench Mark"

เป็นหมุดย่อยภายในเส้นทางระดับชั้นหนึ่งและชั้นสองสร้างไว้ทุก ๆ ระยะ 1.6-2 ก.ม. ลำดับตัวเลขของหมุดจะเรียงกันไปตามปีทำการ ขนาดและรูปร่างจะเป็นหมุดหลักฐานแบบ ข. ในภาคผนวก จ. หรือลักษณะการสร้างส่วนใหญ่มักจะสกัดให้เป็นรูลงไปในพื้นคอนกรีต เช่น คอสะพานคอนกรีต ท่อระบายน้ำ ฐานคอนกรีตของอนุเสาวรีย์ หรืออาคารถาวรอื่น ๆ แล้วใช้ตะปูเหล็กหรือแท่งทองเหลืองยาวประมาณ 15 ซ.ม. ฝังลงไปเสมอกับพื้น

หมุดระดับ B.M.T. ย่อมาจาก "Temporary Bench Mark"

บางครั้งในการปฏิบัติอาจเลิกงานโดยฉับพลัน โดยยังไม่ถึงหมุด B.M.P. หรือ B.M.S. ที่สร้างไว้ กรณีเช่นนี้ต้องสร้างหมุด B.M.T. ขึ้นเพื่อพักงานไว้ทำในโอกาสต่อไป โดยปกติจะสร้างไว้ตาม หลัก ก.ม. คอสะพานคอนกรีตหรือที่เห็นว่าจะไม่มีการรบกวนใด ๆ จากคนและสัตว์

ปกติแล้วควรสร้างหมุดระดับให้เสร็จก่อนที่จะทำงานระดับหลาย ๆ สัปดาห์ ทั้งนี้เพื่อให้หมุดระดับมีความแข็งแรง

2.9 การบรรจบงานระดับ

หลักการบรรจบเส้นระดับใหม่เข้ากับเส้นระดับเก่า พอสรุปได้จาก F.G.C.C. (1975), p. 25 และ Rappleys (1948), Spec. Publ. No. 240, pp. 52-64 ได้ดังนี้

ก่อนออกงานระดับจากหมุดระดับเก่าต้องมีการตรวจสอบการทรุดตัวของหมุดระดับทุกครั้ง โดยวัดค่าต่างระดับระหว่างหมุดระดับเดิมอย่างน้อย 2 จุด หรือมากกว่าถ้าจำเป็น และต้องทำระดับในทิศทางตรงข้าม (ทำไป-ทำกลับ) ตามเกณฑ์งานระดับชั้นหนึ่ง ถ้าตรวจสอบได้ว่า ความต่าง ของค่าต่างระดับที่รังวัดใหม่เทียบกับค่าต่างระดับที่มีอยู่เดิม มีค่าน้อย

กว่าเกณฑ์ 4 ม.ม. $\sqrt{K}$ (K คือระยะทางเป็น ก.ม.) ก็แสดงว่าหมุดระดับที่ใช้เป็นจุดบรรจบงานไม่มีการทรุดตัว

2.10 ลักษณะข้อมูลในการปรับแก้โครงข่ายระดับ

งานระดับชั้นหนึ่งในประเทศไทย เริ่มขยายเป็นโครงข่ายระดับ จาก ต. เกาะหลัก (B.M.A.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2455 ในระยะแรก ๆ ชาวต่างประเทศเป็นผู้ทำระดับและต่อมาเจ้าหน้าที่ฝ่ายไทยเป็นผู้ปฏิบัติเองมาตลอด ซึ่งรายละเอียดของเส้นทางระดับชั้นหนึ่งตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ฉ.

ลักษณะของเส้นทางระดับครั้งแรก ๆ จะเดินไปตามทางรถไฟหรือถนนสายหลักโดยไม่มีการทำเป็นวงจรปิดแต่อย่างใด จนถึงปี พ.ศ. 2494 (ห่างกัน 39 ปี) ได้มีวงจรปิดของวงรอบระดับเป็นวงแรกคือ จากนครราชสีมา ผ่าน อ. บ้านไผ่ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด อุบลฯ สุรินทร์ และเข้าบรรจบที่นครราชสีมา ต่อมาในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการปรับแก้โครงข่ายระดับเป็นครั้งแรก โดยวิธีของ "The Gauss-Doolitle method" มีวงจรปิด 7 วง ตามรูปที่ ช.1 จะเห็นได้ว่าบางวงจรมีระยะทางยาวมากและค่าคลาดบรรจบ (misclosure) เกินเกณฑ์ 4 ม.ม. $\sqrt{K}$ อาทิเช่น วงจรที่ 1, 2 เป็นต้น

ในการปรับแก้โครงข่ายระดับปี 2503 ได้ใช้ค่าระดับของหมุดระดับ "B.M.S. 122" ที่สถานีรถไฟบ้านภาชีเป็นจุดบังคับ ซึ่งที่มาของค่านี้ได้จากเส้นทางระดับที่ต่อเนื่องมาจากเกาะหลักในลักษณะเส้นทางเดียว* หลังจากปี 2508 งานระดับชั้นหนึ่งได้ขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะของการปรับแก้โครงข่ายระดับครั้งต่อมาจะทำเป็นส่วน ๆ โดย

---

* จากหลักฐานการคำนวณปรับแก้โครงข่ายระดับในสมุดคำนวณระดับชั้นหนึ่ง เล่มที่ 9 หน้า 173 ของกรมแผนที่ทหาร

ยึดถือค่าระดับจากการปรับแก้ครั้งก่อน ๆ เป็นจุดบังคับในการปรับแก้ของส่วนต่อไป

ลักษณะของข้อมูลที่จะศึกษาในการปรับแก้โครงข่ายระดับครั้งนี้ ใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในสมุดแบบคำนวณระดับชั้นหนึ่งคือ แบบ 1 และแบบ 2 ของกรมแผนที่ทหาร โดยที่ในตอนระดับหนึ่ง ๆ (section) จะให้ค่าความต่างของการทำไป-ทำกลับ (discrepancy) และค่าเฉลี่ยของค่าต่างระดับ (ใช้ทิศทางของการทำไปเป็นหลัก) ขจัดความคลาดเคลื่อนเป็นระบบออกแล้ว และจากหลาย ๆ ตอนระดับจะได้ผลรวมทางพีชคณิตของค่าต่างระดับระหว่างจุดชุมทางระดับ (junction points) ซึ่งเรียกว่า เส้นทางระดับ (line of leveling)

การคำนวณปรับแก้โครงข่ายระดับให้จุดชุมทางระดับเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าและค่าต่างระดับของแต่ละเส้นทางระดับเป็นค่าสังเกต