



LEVELING SURVEYING

การสำรวจด้วยวิธี

การระดับ



ร.อ.ภิญโญ วรเกษตร

SURVEY ENGINEERING PROGRAM





INTRODUCTION





การระดับ (Leveling)

การระดับ (Leveling) เป็นวิธีการหาความสูง หรือความสูงต่าง ของจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพ กำหนดสูงของจุดหาได้จากการทำระดับต่อเนื่องกันไปจากจุดที่ทราบกำหนดสูงแล้ว และกำหนดสูงที่ทราบแล้วนั้น ก็ได้มาจากการทำระดับหาค่าความสูงต่างต่อเนื่องจากผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level Datum) ซึ่งถือเป็นพื้นหลักฐานการระดับ (Datum Plane) สำหรับใช้อ้างอิงหรือเป็นศูนย์ในการหาระยะทางตั้งของจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพ¹

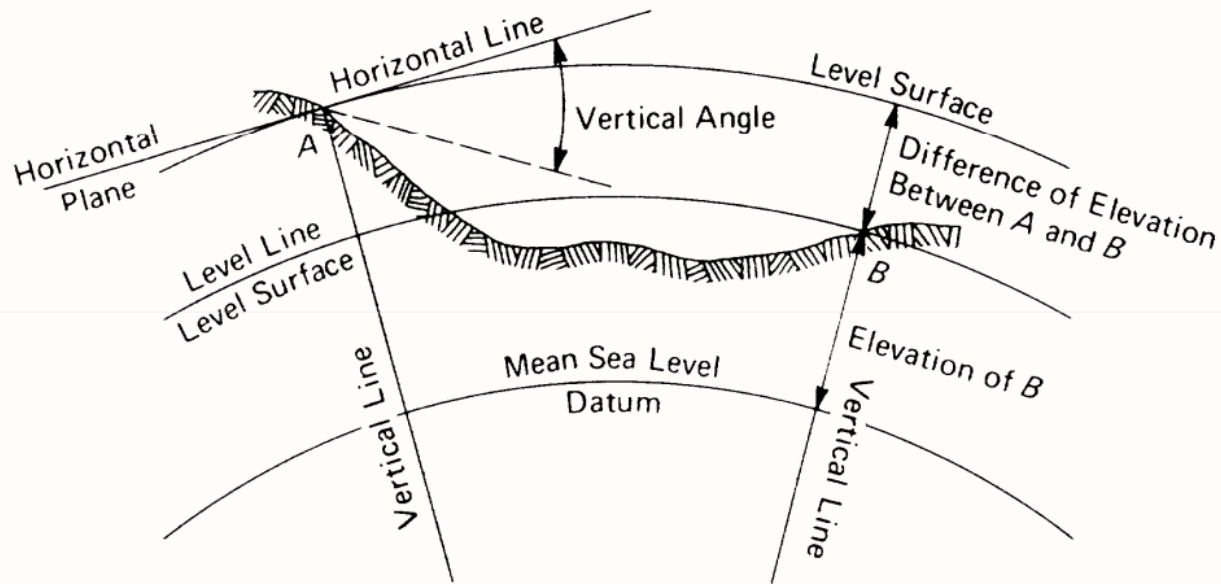
การระดับ คือ กรรมวิธีการวัดระยะตั้ง ระหว่างจุดบนพื้นผิวที่ต้องการและพื้นผิวอ้างอิงที่เป็นพื้นหลักฐานการระดับ (datum) ระยะตั้งนี้เรียกว่า ค่าระดับ (elevation) พื้นหลักฐานอ้างอิงที่ใช้ คือ พื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level) โดยกำหนดให้มีค่าระดับเท่ากับ 0 เมตร²

กล่าวโดยทั่วไป การระดับก็คือ วิธีการหาความสูง ของจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพในแนวตั้ง ให้ความสัมพันธ์กันพื้นผิวอ้างอิง





นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานระดับ

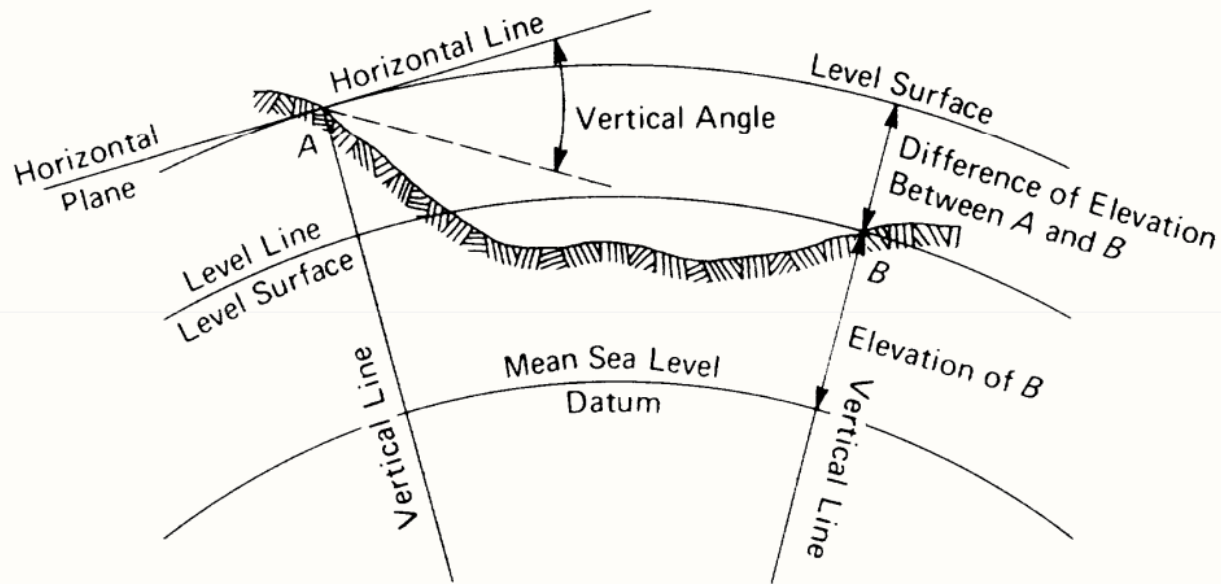


1. แนวตั้ง (vertical line) คือ แนวเส้นที่อยู่ในแนวแรงดึงดูดของโลก เทียบได้กับแนวสายตั้ง
2. พื้นผิวระดับ (level surface) คือ พื้นผิวที่มีค่าระดับเท่ากันและตั้งฉากกับแนวตั้ง หรือแรงดึงดูดของโลกทุกจุด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นลูกทรงกลมโดยประมาณ
3. แนวระดับ (level line) คือ เส้นที่อยู่บนพื้นผิวระดับ ดังนั้น เส้นระดับจึงเป็นเส้นโค้งไปกับพื้นผิวระดับ
4. ระนาบราบ (horizontal plane) คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงดึงดูดของโลก หรือแนวตั้ง





นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานระดับ



5. แนวราบ (horizontal line) คือ แนวเส้นที่อยู่บนระนาบราบและตั้งฉากกับแนวโค้ง
6. พื้นหลักฐานทางตั้ง (vertical datum) คือ พื้นผิวระดับซึ่งใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิง ทางความสูง หรือ ค่าระดับของจุดต่างๆ โดยทั่วไปใช้พื้นผิวระดับทะเลปานกลาง (Mean sea level, MSL)
7. ค่ากำหนดสูง (elevation) คือ ค่าระยะตั้งจากพื้นผิวระดับอ้างอิงถึงจุดที่ต้องการทราบค่าระดับ
8. ค่าต่างระดับ (elevation difference) คือ ค่าระยะตั้งระหว่างพื้นผิวระดับสองพื้นผิว





พื้นหลักฐานทางคิ่ง (vetical datum) ของประเทศไทย

❑ การตรวจระดับน้ำในครั้งแรกของประเทศไทยจะเริ่มขึ้นเมื่อใดไม่มี หลักฐานบันทึกไว้นั่นเอง ทราบเพียงว่าการตรวจในครั้งนั้นตรวจโดยวิธีใช้บรรทัดน้ำปักไว้ในทะเล โดยมิได้เทียบเกณฑ์ใด ๆ แล้วให้คนอ่านและบันทึกไว้

❑ สมัย ร.6 จ้างชาวยุโรป ชื่อ Master ให้ทำการสร้างสถานีวัดระดับน้ำแบบถาวรขึ้นที่เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เริ่มใช้เครื่องเมื่อ 21 ต.ค.2453 และทำการวัดอย่างต่อเนื่องมาจนถึง เม.ย.2454 รวมเวลาตรวจ 6 เดือนเศษ

จากนั้นจึงคำนวณหาค่า "ระดับทะเลปานกลาง" และกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์



สถานีวัดน้ำ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ



พื้นหลักฐานทางคิ่ง (vertical datum) ของประเทศไทย

❑ จากระดับทะเลปานกลาง ได้ทำการโยงระดับถ่ายค่าไว้ที่หมู่ระดับชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นรอยบากทำไว้บนหินทราย และให้ชื่อหมุดนี้ว่า BMA มีค่ากำหนดสูงจากระดับทะเลปานกลาง **1.4477** เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าการรังวัด 5 ปี และเรียก รทก. นี้ว่า " พื้นหลักฐานทางคิ่ง เกาะหลัก 2458 " (Kolak 1915 Vertical Datum)

❑ และจากหมุด BMA ก็ได้มีการโยงระดับถ่ายค่าไปยังหมู่ระดับทั่วประเทศ เพื่อใช้ประโยชน์ในกิจการสำรวจและทำแผนที่ งานวิศวกรรม โดย กองยิออเคซีและยิออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร

หมุด BMA. อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ (พ.ศ. 2548)





วิธีการทำระดับ

หลักการที่สำคัญของการหาความระดับของจุดใดๆ คือ การวัดค่าตางระดับของจุดนั้นกับจุดที่ทราบความระดับหรือหมุดระดับ วิธีการทำงานเพื่อหาความระดับอาจแบ่งได้ 3 แบบ

1) งานระดับโดยไขกลองระดับ (Spirit leveling)

เป็นการทำงานระดับโดยวัดระยะตั้งโดยตรง วิธีนี้มีความละเอียดมากที่สุดและใช้มากที่สุดในการทำงานโครงการทางวิศวกรรม เครื่องมือที่สำคัญในการทำงานคือไขกลองระดับและไมระดับ

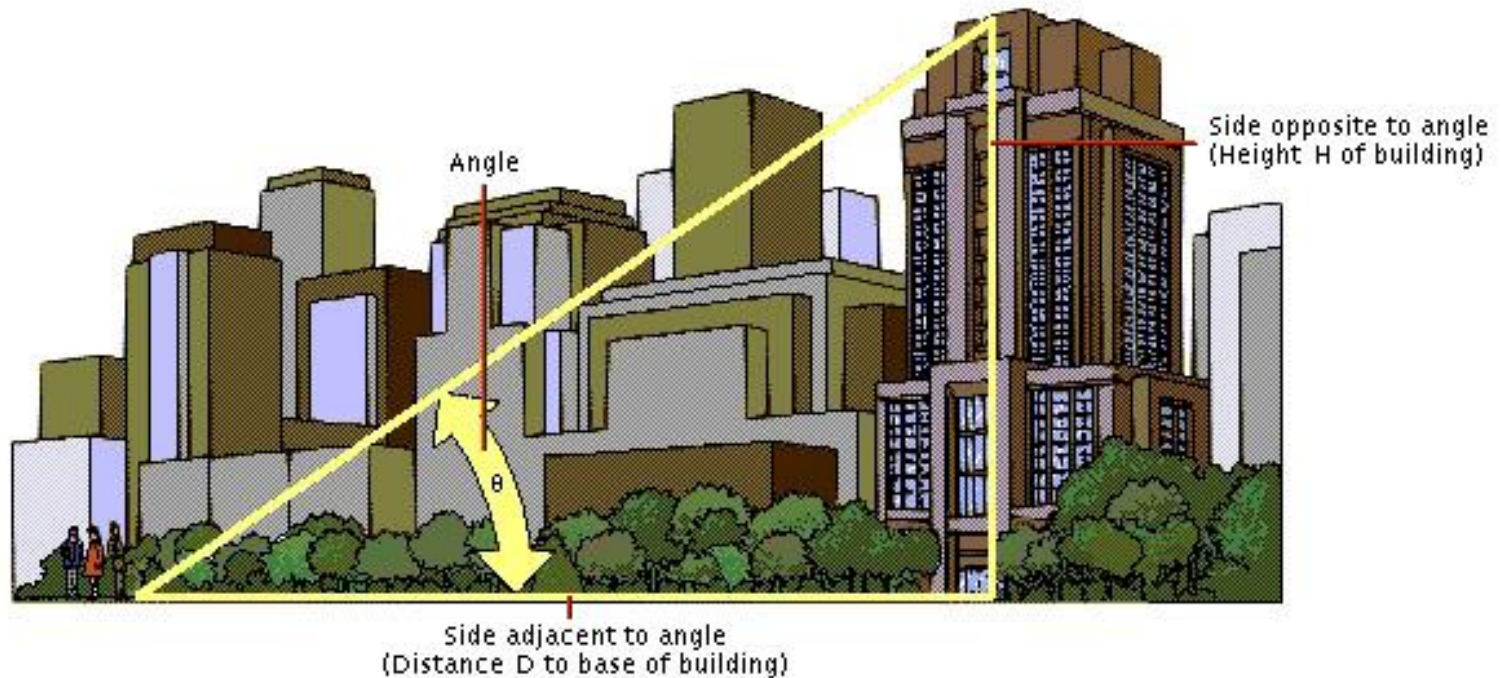




วิธีการทำระดับ

2) งานระดับตรีโกณมิติ (Trigonometric leveling)

เป็นการทำงานระดับโดยอาศัยการรังวัดมุมตั้งและระยะทางราบ แล้วคำนวณหาค่าตางระดับ
ด้วยสูตรทางตรีโกณมิติ เครื่องมือในการวัดที่สำคัญ คือ กลองวัดมุมและเครื่องมือวัดระยะทาง

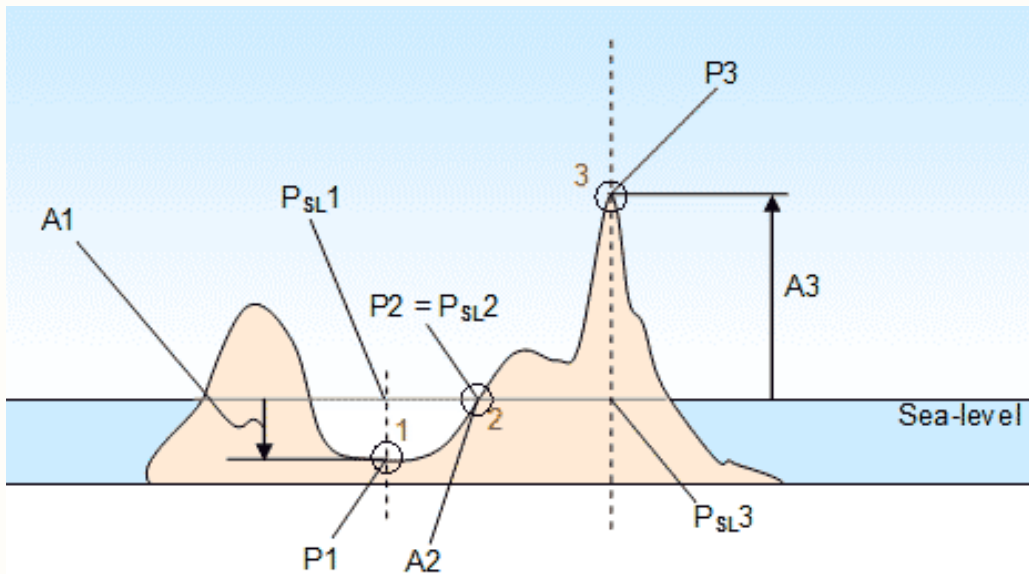




วิธีการทำระดับ

3) งานระดับบารอมิเตอร์ (Barometric leveling)

อาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของความดันบรรยากาศที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความสูง หรือ ค่าต่างระดับระหว่างจุดเป็นสัดส่วนกับผลต่างของความดันบรรยากาศ คือ เมื่อระดับสูงขึ้นความดันบรรยากาศจะลดลง เป็นวิธีการทำงานระดับที่ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด ใช้เฉพาะงานสำรวจเบื้องต้นเท่านั้น เครื่องมือที่ใช้คือบารอมิเตอร์ที่มีหน้าปทมนบอกระดับความสูง เรียกว่า **Altimeter**



ความสูงจากระดับน้ำทะเล = (760 - ความดันของอากาศ ณ จุดนั้น) x 11

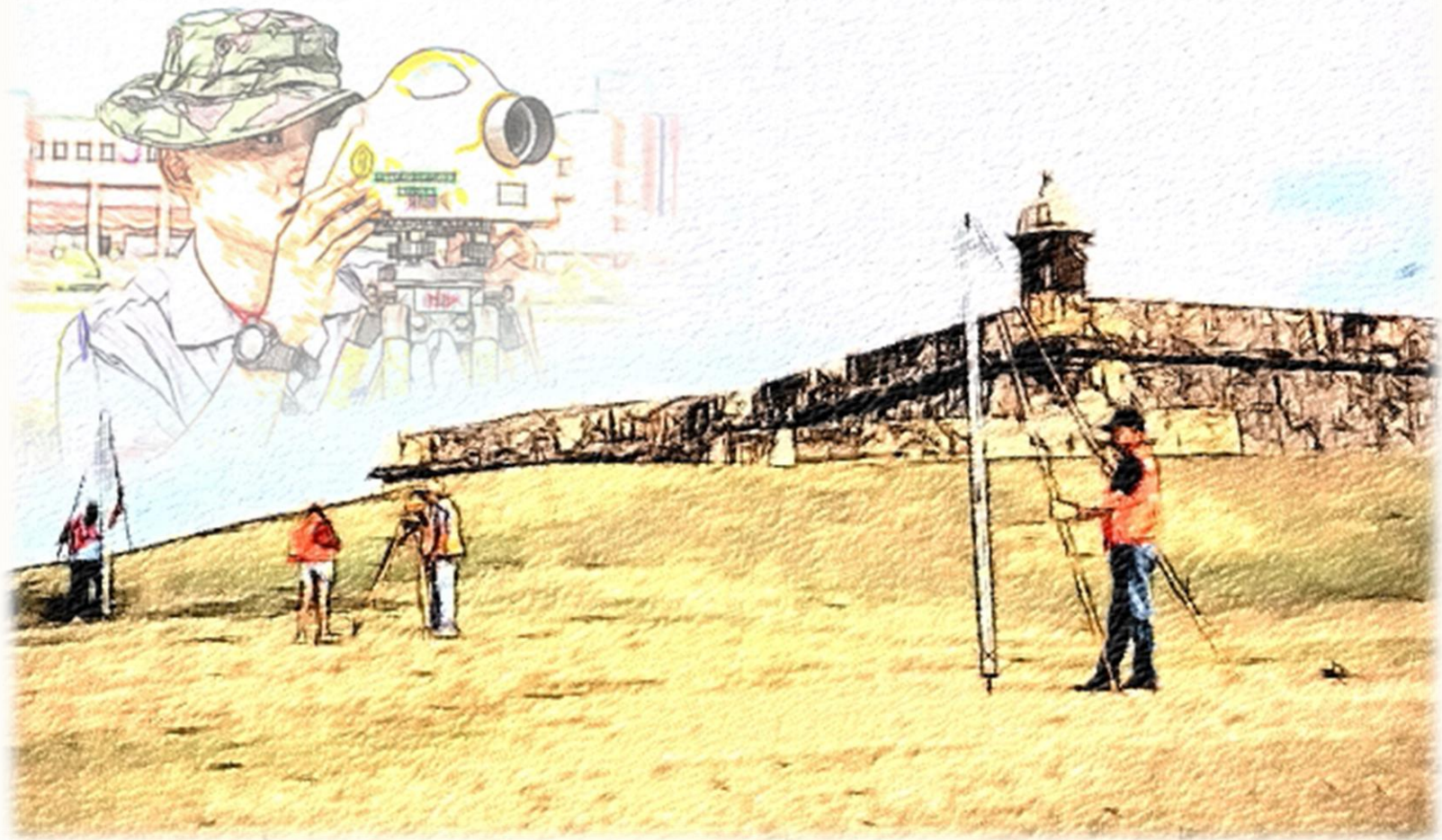


Altimeter





SPIRIT LEVELING





Spirit leveling

จากวิธีการหาค่าความต่างระดับซึ่งมี 3 วิธีนั้น วิธี spirit leveling ด้วยกล้องระดับ กับไม้เล็งระดับ เป็นการหาค่าความสูงที่ให้ความละเอียดถูกต้องที่สุด และใช้เป็นวิธีการของงานวางหมุดหลักฐานทางคิ่งของกรมแผนที่ทหาร

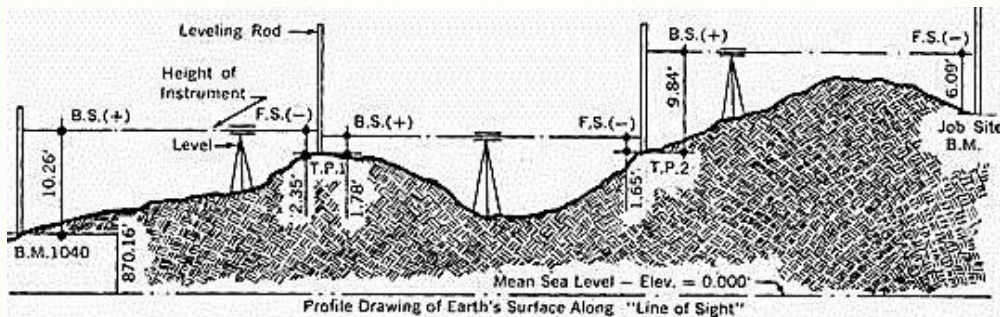
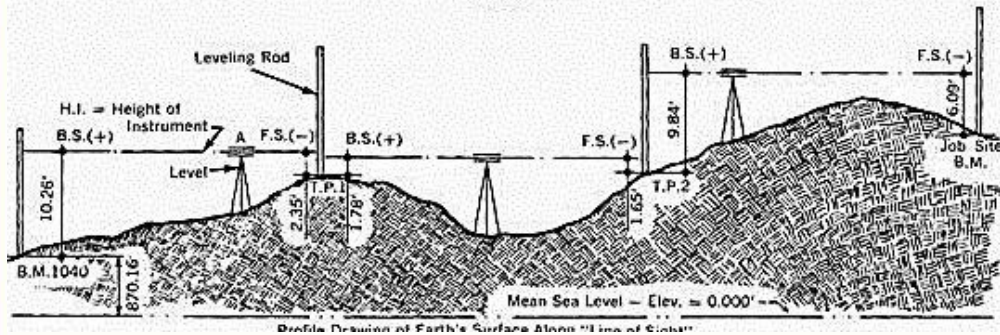


FIG. 31





อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง



1. กล้องระดับ (Level)



3. ขากกล้องระดับ (Tripod)



2. ไม้เล็งระดับ

(leveling staff or leveling rod)



4. ฐานรองไม้ระดับ (foot plate)



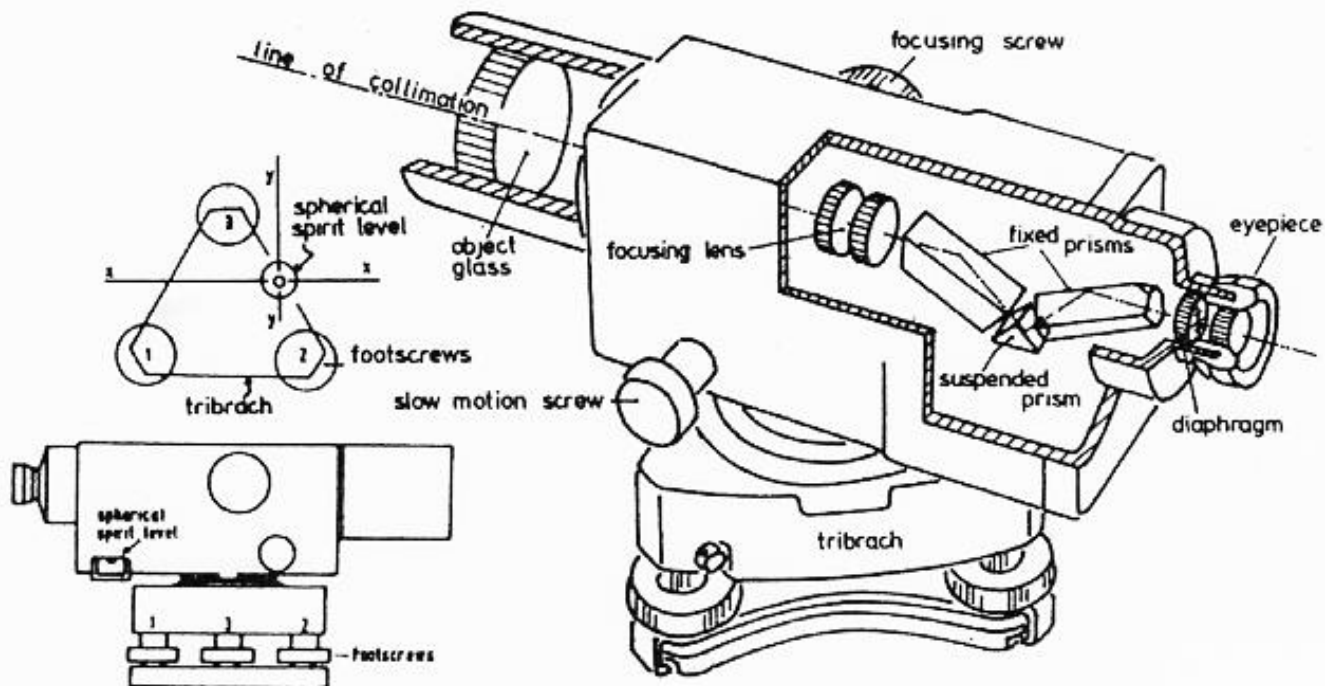


อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1. กล้องระดับ (Level)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. กล้องโทรทรรศน์ (Telescope)
2. หลอดระดับของกล้อง
3. ฐานรองกล้องระดับ (Tribach)





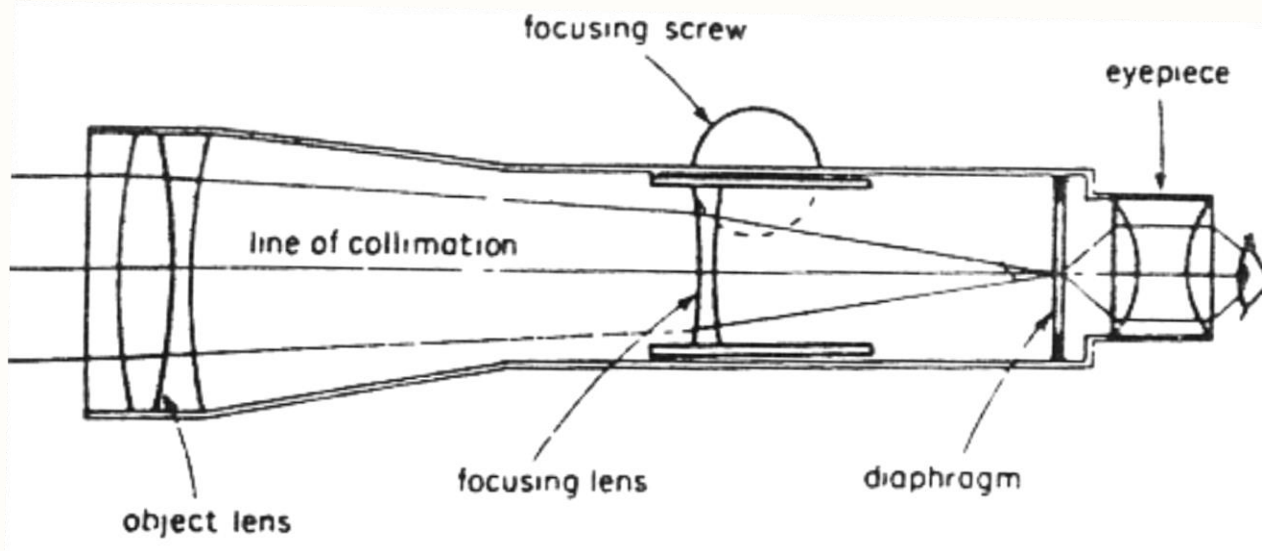
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

1 กล้องโทรทรรศน์ (Telescope)

1) เลนชปากกล้องหรือ Objective lens ทำหน้าที่ดึงภาพเข้ามาในตัวกล้อง แล้วส่งต่อไปยัง focusing lens

2) เลนชปรับความชัดของภาพ หรือ Focusing lens ทำหน้าที่ขยายโฟกัสให้ไกลหรือใกล้ เพื่อให้จุดโฟกัสไปตกบน Diaphragm ซึ่งเป็น plane ของสายใย ถ้าภาพตกลงบน plane พอดี จะทำให้ภาพของวัตถุและภาพของสายใยชัดเท่ากัน





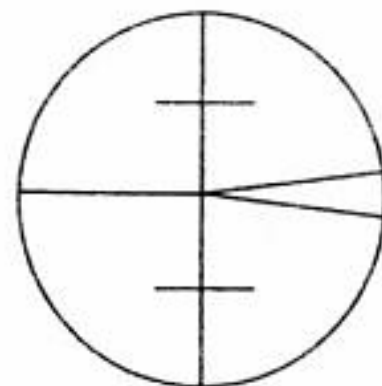
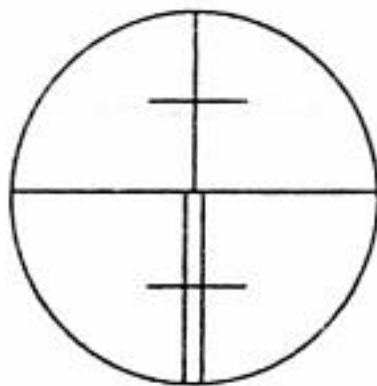
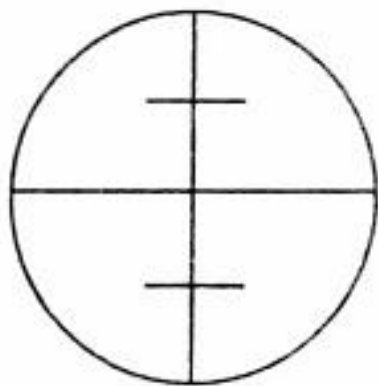
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

1. กล้องโทรทรรศน์ (Telescope)

3) เลนชตากล่อง หรือ Eyepiece lens ทำหน้าที่ขยายภาพและสายใยที่อยู่ใน Plane ของ Diaphragm ให้ชัดเจน ซึ่งจะสามารถปรับได้ เลนชที่ประกอบอยู่ใน eyepiece จะเป็นเลนชนูนเป็นส่วนมากและจะมีหลายอัน

4) สายใย (Cross hair) หรือ Diaphragm จะเป็นแผ่นแก้วบาง ๆ ประกบกัน 2 แผ่น ตรงกลางจะมีขีดสายใยไวซึ่งเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าแทบจะไม่เห็น แต่สายใยนี้จะถูกขยายด้วย Amplified ของเลนซ์ Eyepiece จะก็เท่าที่ขึ้นอยู่กับกำลังขยายของกลองนั้น ๆ



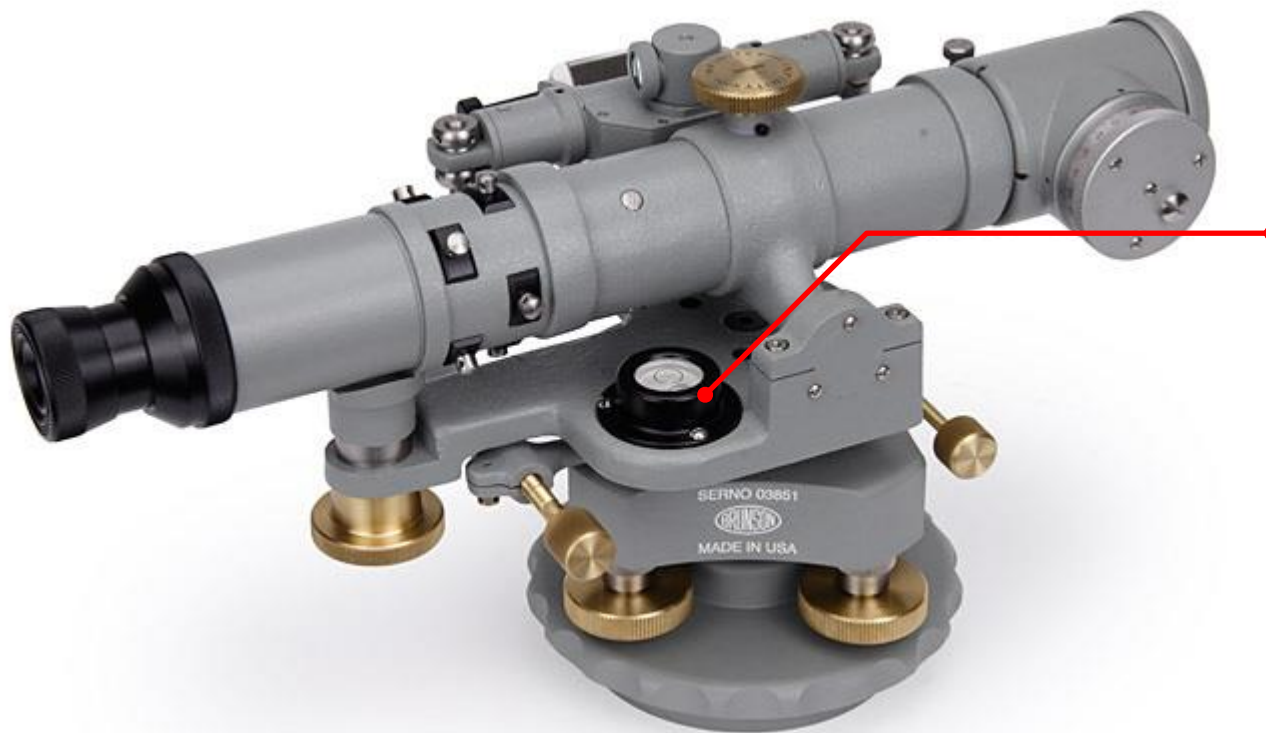


อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

2. หลอดระดับ (Level tube)

1) **ระดับฟองกลม (Circular level)** ประกอบด้วยกลองรูปวงกลม มีส่วนบนแบนแกว่ารูปทรงกลม ฟองอากาศจะเป็นรูปทรงวงกลมมีความไวต่ำ ใช้ปรับหาระนาบราบโดยประมาณก่อน แล้วจึงปรับหาแนวราบอย่างถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง



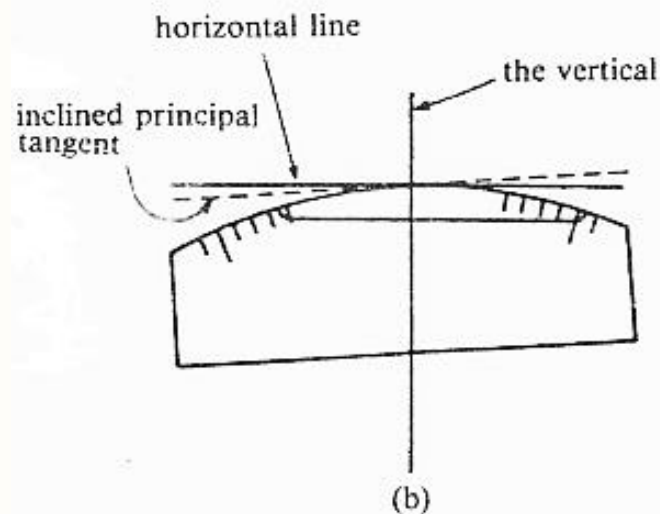
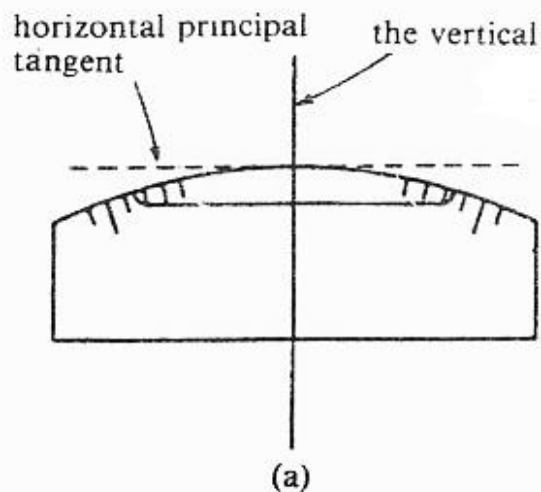


อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

2. หลอดระดับ (Level tube)

2) ระดับฟองยาว (Tubular level) ใช้เป็นเครื่องสังเกตเพื่อกำหนดแนวระดับของกล้อง
ส่อง ความไวของฟองระดับเป็นเครื่องเปรียบเทียบความละเอียดถูกต้องในผลการรังวัด หลอดระดับที่มีรัศมี
ความโค้งยาวกว่า ย่อมมีความไวของฟองระดับสูงกว่า (ความไวของฟองระดับจะบอกไว้เป็น
ความสัมพันธ์ระหว่างง่ามมุมกับขีดส่วนแบ่งบนหลอดระดับ ง่ามมุมเกิดที่รัศมีของหลอดระดับบอกหน่วยเป็นพิ
ลิปดา ส่วนขีดแบ่งบนหลอดระดับบอกหน่วยเป็นมิลลิเมตร เช่น $30'' / 2 \text{ มม.}$ ย่อมมีความไวสูงกว่า
 $20'' / 2 \text{ มม.}$)





อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

2. หลอดระดับ (Level tube)

3) **ระดับเชาควาย (Coincidence bubble reader หรือ Tilting level)** ใช้ในกล้องระดับที่มีความละเอียดทุกชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับความไวของฟองระดับ ถ้าความไวน้อย กลองที่ใช้ก็จะละเอียดน้อย เช่น 60" ต่อ 1 ชีต ถ้ามีความไวมากกลองก็จะละเอียดมาก เช่น 10" ต่อ 1 ชีต จะเห็นว่าตัวเลขน้อย เมื่อหลอดระดับใดระดับเราจะเห็นปลายของหลอดระดับทั้งสองข้างขบกัน เพราะปลายของฟองระดับสะท้อนผ่าน **prism** ซึ่งมีอยู่ 4 ตัว

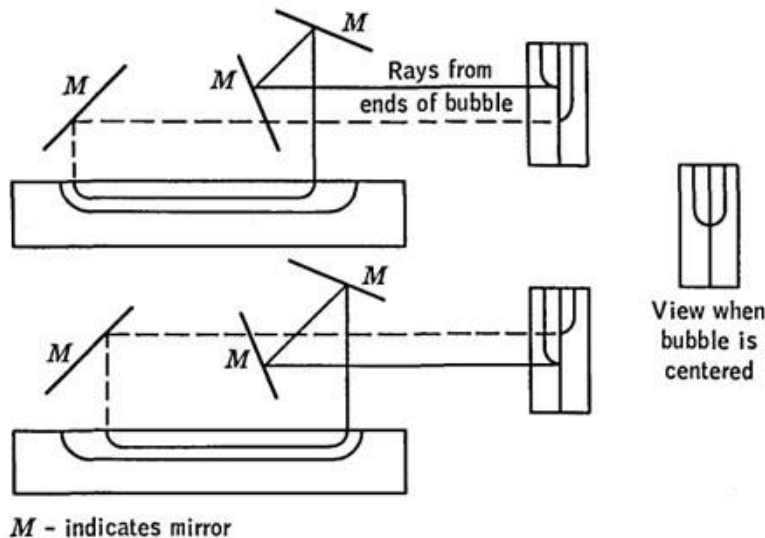


Fig. 9-8. The principle of one type of coincidence-reading device.



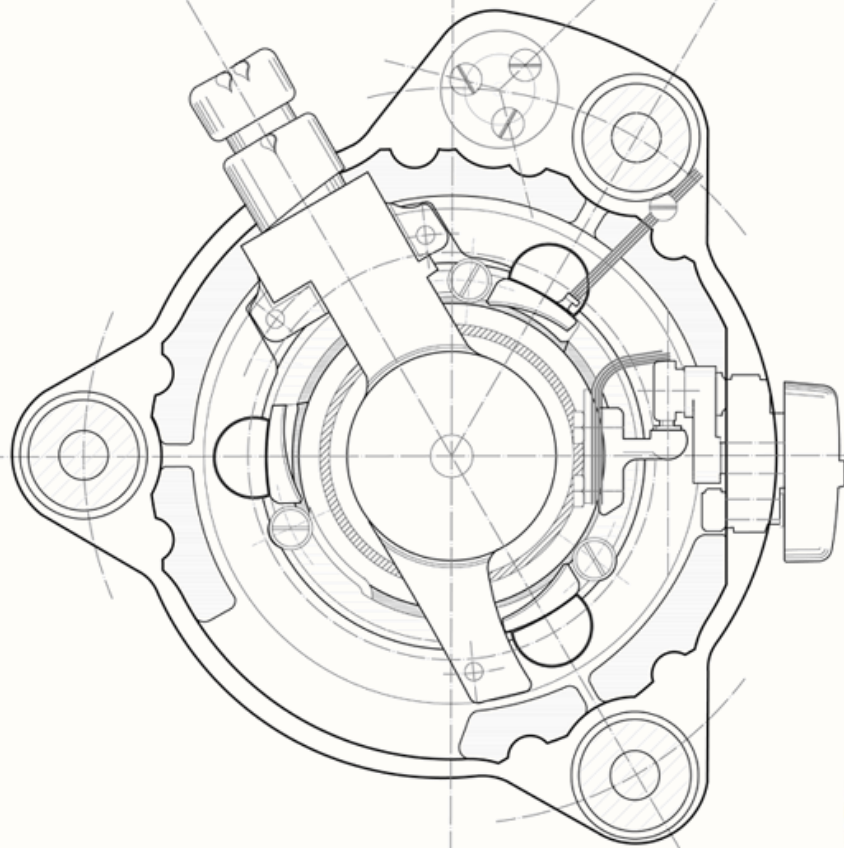


อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ส่วนประกอบของกล้องระดับ

3. ฐานรองกล้องระดับ (Tribach)

โดยปกติกล้องระดับจะมีควงสำหรับตั้งระดับ (Leviling Screws) มีทั้งแบบ 3 ควงและ 4 ควง คล้ายกล้องวัดมุม ส่วนมากนิยมแบบ 3 ควงที่เรียกว่า ควงสามเส้า





อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ชนิดของกล้องระดับ

กล้องระดับทุกชนิดจะมีกล้องโทรทรรศน์และหลอดระดับ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือวิธีทำให้น้ำเลี้ยงอยู่ในแนวราบขณะกำลังใช้งาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ



กล้องระดับมือ (Hand Level)



กล้องระดับดัมป์ (Dumpy Level)



กล้องระดับทิลติง (Tilting Level)



กล้องระดับอัตโนมัติ (Automatic Level)

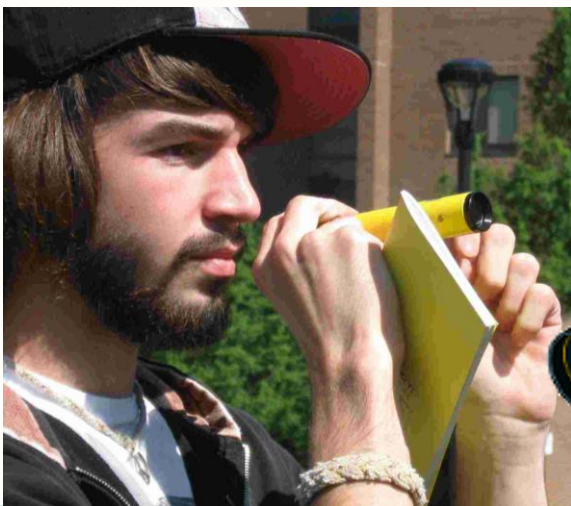




อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ชนิดของกล้องระดับ

1) **กล้องระดับมือ (Hand Level)** เป็นกล้องระดับแบบง่าย ๆ สะดวกต่อการใช้และพกพา มีลักษณะเป็นหลอดกลมหรือสี่เหลี่ยมยาวประมาณ 10 ซม. มีหลอดระดับอยู่ด้านบน แนวเล็งของกล้องใช้วิธีเล็งตามรูเล็กๆ เห็นสายใยที่เป็นลวดโลหะที่อยู่อีกปลายหนึ่งของตัวกล้อง และเพื่อให้ผู้วัดสามารถถือกล้องให้อยู่ในแนวราบได้ขณะส่อง ตรงกลางตัวกล้องจึงมีปริซึม 45 องศาที่จะช่วยสะท้อนภาพของหลอดระดับด้านบน ทำให้ขณะมองผ่านช่องเล็งจะเห็นภาพเป้าและฟองอากาศของหลอดระดับพร้อมกัน กล้องชนิดนี้ไม่มีเลนส์ช่วยขยายภาพจึงมีระยะการเล็งสั้น และมีความละเอียดค่อนข้างต่ำ แต่ก็เหมาะที่จะใช้กับงานบางประเภทที่ไม่ต้องการความละเอียดสูง

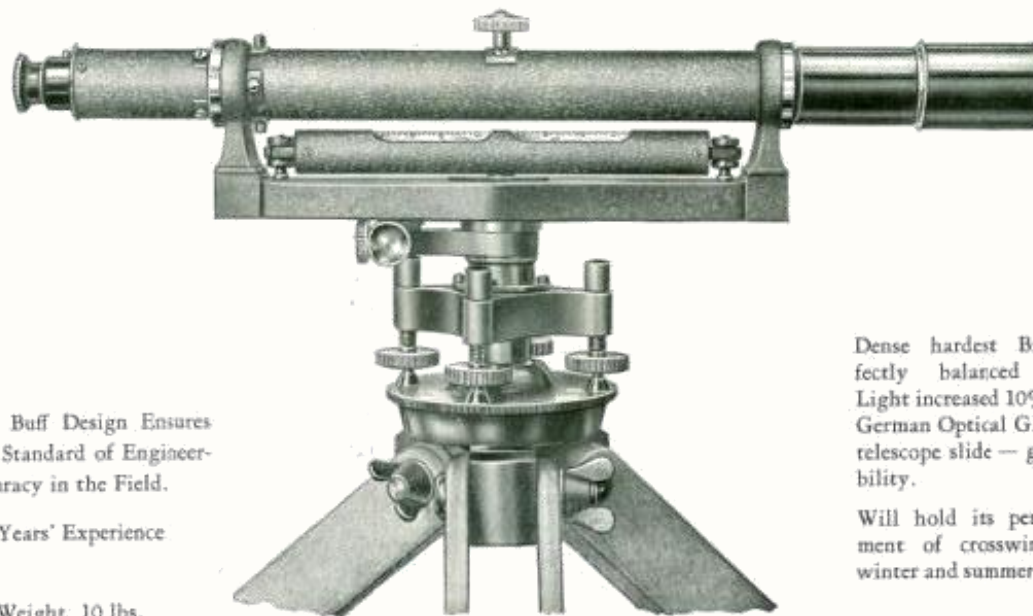




อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ชนิดของกล้องระดับ

2) กล้องระดับคัมป์ (Dumpy Level) เป็นกล้องระดับที่มีตัวกล้องโทรทรรศน์ยึดติดกับแกนตั้งเป็นชิ้นเดียวกัน จึงมีแนวเล็งที่ตั้งฉากกับแกนตั้งของกล้อง ดังนั้นในการทำงานระดับเพื่อทำให้แกนตั้งของกล้องอยู่ในแนวตั้ง การตั้งกล้องจะดูจากหลอดระดับยาว แลวแนวเล็งของกล้องก็จะกวาดอยู่ในแนวระนาบราบตลอดเวลา



Genuine Buff Design Ensures
Highest Standard of Engineer-
ing Accuracy in the Field.

73 Years' Experience

Weight, 10 lbs.

Dense hardest Bronze. Per-
fectly balanced Telescope.
Light increased 10% with New
German Optical Glass. Larger
telescope slide — greater dura-
bility.

Will hold its perfect adjust-
ment of crosswires through
winter and summer.

ENGINEER'S 18-IN. DUMPY LEVEL, MODEL 19
POWER OF TELESCOPE — 32 MAGNIFICATION
Code-Name — DUMPAT
MASTER LEVEL OF RUGGED STRENGTH





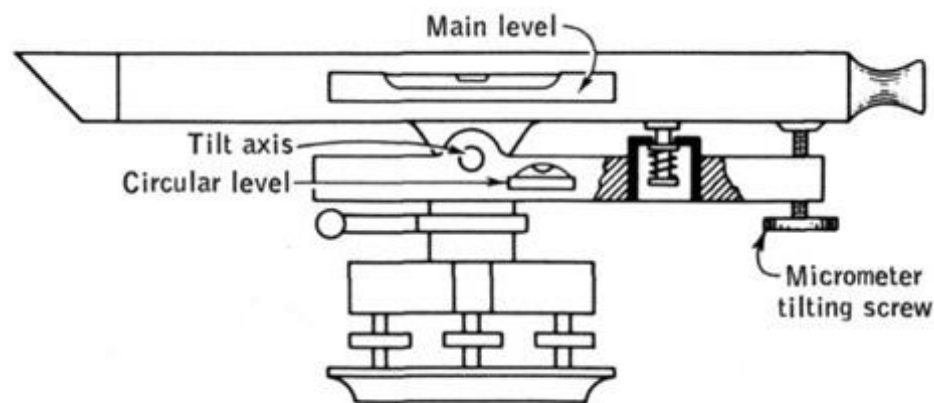
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ชนิดของกล้องระดับ

3) กล้องระดับทิลติง (Tilting Level) เป็นกล้องระดับที่มีตัวกล้องโทรทรรศน์อิสระไม่ได้ถูกตรึงแน่นอยู่กับแกนคัง แต่สามารถขยับให้เอียงได้เล็กน้อย การขยับกล้องนี้อาศัยสกรูที่มีเกลียวละเอียดมาก ทำให้แนวเล็งขยับตามกล้องโทรทรรศน์ แนวเล็งของกล้องจึงไม่จำเป็นต้องตั้งฉากกับแกนคังกล้อง ฉะนั้นการตั้งกล้อง แกนคังจึงไม่จำเป็นต้องอยู่แนวคังจริง จะใช้เพียงการดูจากหลอดระดับกลม และเพื่อให้แนวเล็งอยู่ในแนวราบจึงต้องปรับอีกครั้งให้ฟองอากาศหลอดระดับเขาควางอยู่ที่กึ่งกลาง ซึ่งต้องปรับทุกครั้งก่อนที่จะอ่านค่าบนไม้ระดับ



PL1 Sokkia



Schematic view showing the principles of a tilting level.

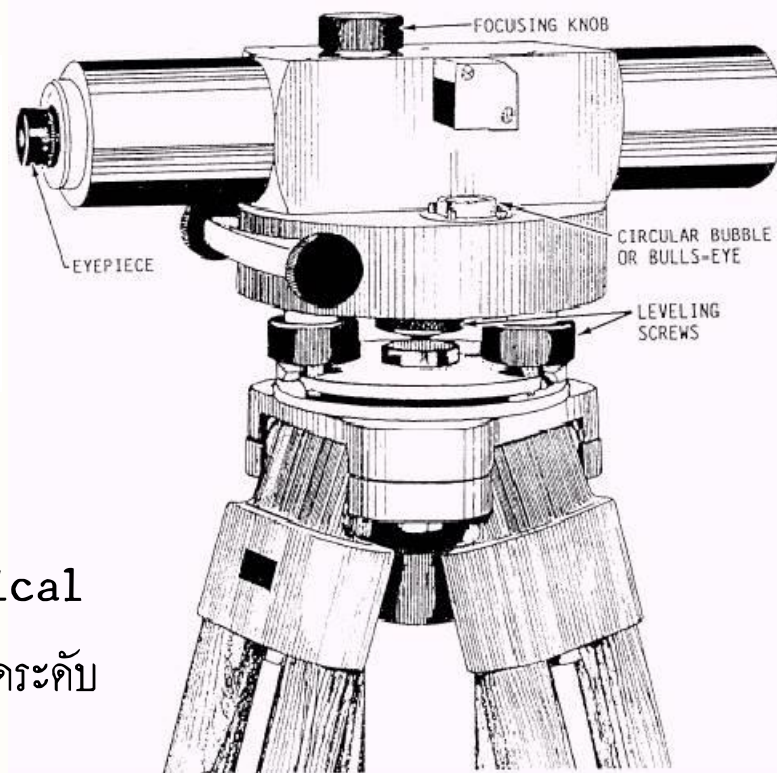
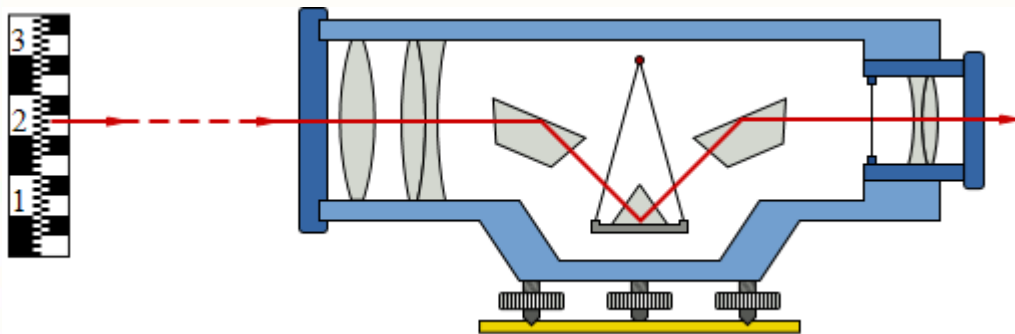




อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ชนิดของกล้องระดับ

4) กล้องระดับอัตโนมัติ (Automatic Level) เป็นกล้องที่มีโครงสร้างภายในคอนชาง
ซับซ้อน เพราะต้องมีระบบทัศนูปกรณ์และกลไกตัวทดแทน เพื่อทำให้แนวเล็งอยู่ในแนวราบและคงระดับเดิม
ไวตลอดเวลาไม่ว่าหมุนกล้องไปในทิศทางใด แม่นแนวแกนของกล้องโทรทรรศน์จะเอียงจากแนวราบ
เล็กน้อย เราเรียกระบบนี้ว่า ระบบ Compensators



ระบบ Compensator ของกล้องอัตโนมัติจะแขวนลอยอยู่
โดยมีระยะแกว่งทำมุมไม่เกิน 15 องศาจากแนวดิ่งหรือ Vertical
axis ซึ่งการตั้งระดับจะไขควงตั้งระดับ ตั้งระดับฟองกลมให้ไครระดับ
จากนั้นกล้องก็จะปรับระดับเอง



อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2. ไม่เล็งระดับ (leveling staff or leveling rod)

ไม้เล็งระดับ หัวไปจะทำควยไม้เนื้ออ่อนน้ำหนักเบา และได้รับการอบแห้งเป็นอย่างดีเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูปขึ้นได้ในภายหลัง

หรืออาจทำควยวัสดุโลหะผสม มีขนาดของความกว้างและความหนาแตกต่างกันไป ส่วนความยาวมีตั้งแต่ 2 3 และ 4 เมตร บางชนิดทำให้เลื่อนโคบบางชนิดพับเก็บได้

คานหนาของไม้ระดับจะมีตัวเลข สัญลักษณ์ และทาสีขาวสลับสีคำหรือสีขาวสลับสีส้ม การออกแบบมีมากมายหลายแบบวัตถุประสงค์เพื่อทำให้มองเห็นและอ่านค่าได้สะดวก เช่น หลักเมตรจะใช้จำนวนจุดหรือตัวเลขกำกับ มีตัวเลขเพื่อบอกความสูงทุกสิบเซนติเมตร มีขีดแบ่งของเล็กสุดของช่องละ 1 เซนติเมตรหรือทาสีสลับ เป็นต้น





อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เพิ่มที่ไต่กับไมระดับ เพื่อให้หาการวัดตีสั้น ไคแก

ระดับฟองกลม หรือบางครั้งเรียกว่า ตาไก่ จะติดไวคานหลังของไมระดับสูงจากพื้นดินประมาณ 1.20 เมตร

ไคเปนอุปกรณ์ช่วยใ้หาการถื่อไมระดับอยู่ในแนวคิ่ง

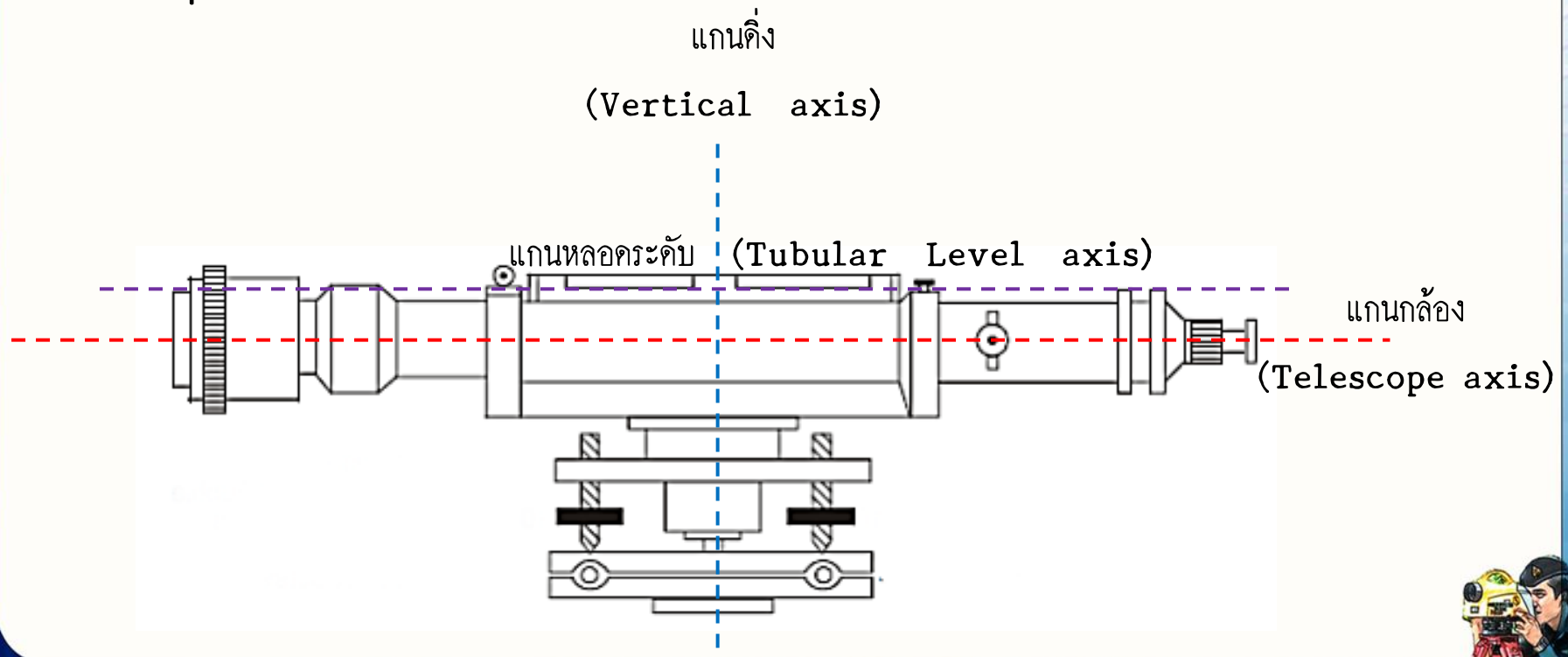




การตรวจและการปรับแก้กล้องระดับเบื้องต้น

กล้องระดับ มีส่วนสำคัญที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้คือ แกนต่าง ๆ ซึ่งจะต้องมีลักษณะ
พึงประสงค์ ถ้าแกนกล้องต่าง ๆ ขาดคุณลักษณะนี้แล้ว ไม่ว่าจะเป็นกล้องระดับที่มีความละเอียดสูง
หรือประกอบด้วยอุปกรณ์พิเศษใด ๆ ก็ตาม ไม่สามารถจะเป็นเครื่องมือกำหนดแนวระดับที่เที่ยงตรงได้

แกนต่าง ๆ ของกล้องระดับ





การตรวจและการปรับแก้กล้องระดับเบื้องต้น

ลักษณะอันพึงประสงค์ของกล้องระดับ

กล้องระดับที่เที่ยงตรงดีต้องมีลักษณะดังนี้

1. แกนดิ่งต้องตั้งตรงดิ่ง
2. แกนหลอดระดับต้องขนานกับพื้นระดับ
3. แกนกล้องต้องขนานกับแกนหลอดระดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างแกนต่าง ๆ ของกล้องระดับ

จากลักษณะอันพึงประสงค์ของกล้องระดับ จะได้ความสัมพันธ์ของแกนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แกนดิ่งเมื่อตั้งตรงดิ่ง จะตั้งฉากกับพื้นระดับด้วย
2. แกนหลอดระดับ เมื่อขนานกับพื้นระดับจะตั้งฉากกับแกนดิ่งด้วย
3. แกนกล้อง เมื่อขนานกับแกนหลอดระดับจะตั้งฉากกับแกนดิ่ง และจะขนานกับพื้นระดับด้วย



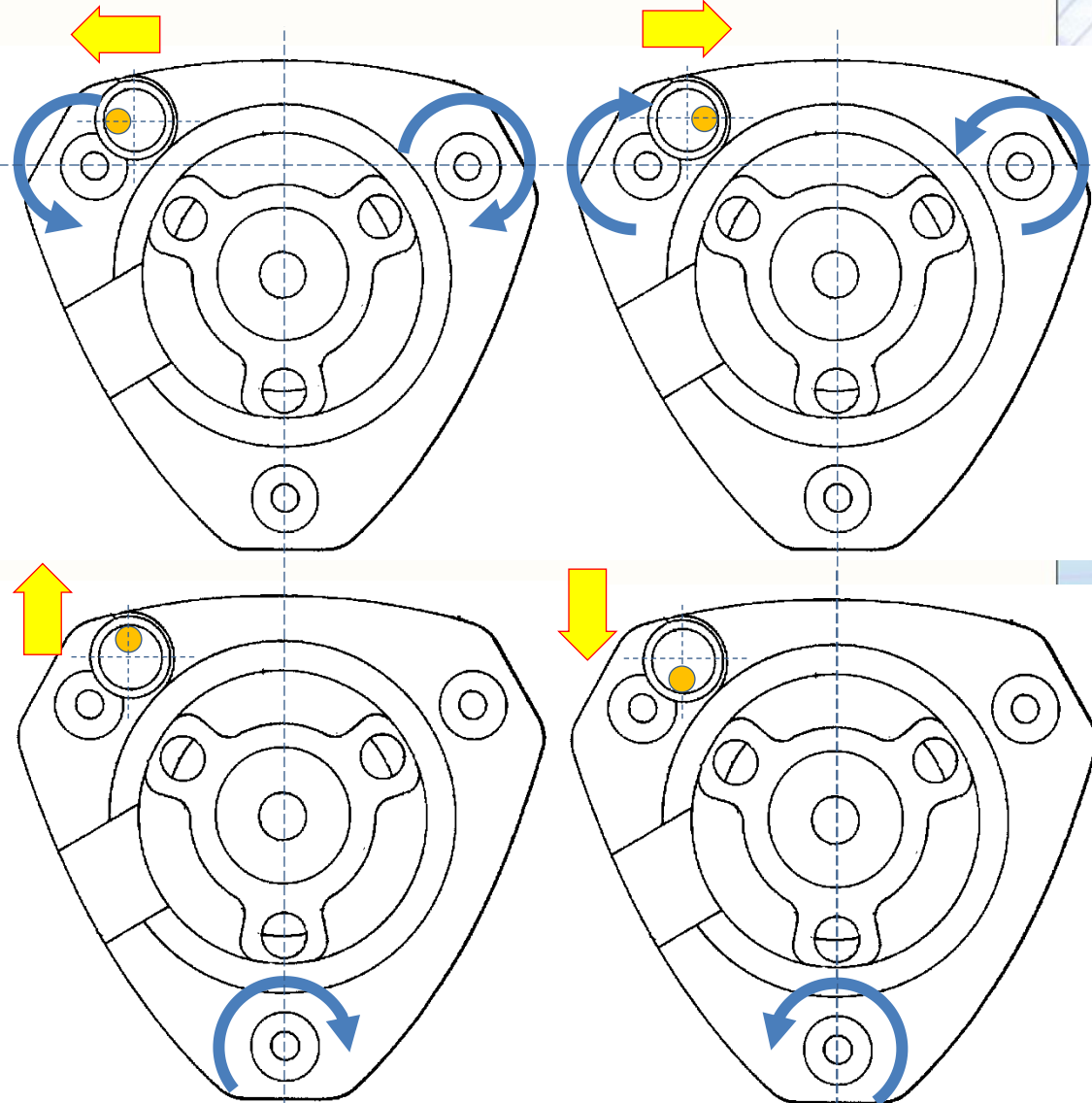


การตรวจและการปรับแก้กล้องระดับเบื้องต้น

การตั้งแกนดิ่งให้ตั้งตรงคิ่ง

การตั้งแกนดิ่งให้ตรงคิ่งกระทำได้ด้วยการตั้งระดับ โดยใช้ควงสามเส้าเป็นตัวตั้ง และอาศัยฟองระดับเป็นที่สังเกต เรียกก้น โดยทั่วไปว่าการตั้งระดับ (กล้องระดับระบบอัตโนมัติ อาศัยการตั้งระดับฟองกลมเป็นหลัก กล้องระดับระบบไม่ใช่อัตโนมัติอาศัยการตั้งระดับฟองยาวเป็นหลักส่วน การตั้งระดับฟองกลมเพื่อให้ได้ระดับพอประมาณ)

การตั้งระดับฟองกลม





การตรวจและการปรับแก้กล้องระดับเบื้องต้น

การตั้งแกนคังให้ตั้งตรงคัง

กล้องระดับบางประเภทมีเพียงแค่การปรับระดับฟองกลม แต่ในกล้องระดับที่มีความละเอียดสูงจะมีระดับเขาควาย เพื่อใช้ปรับระดับอย่างละเอียด เช่น กล้องสำหรับการทำระดับพิเศษ (Precise Leveling)

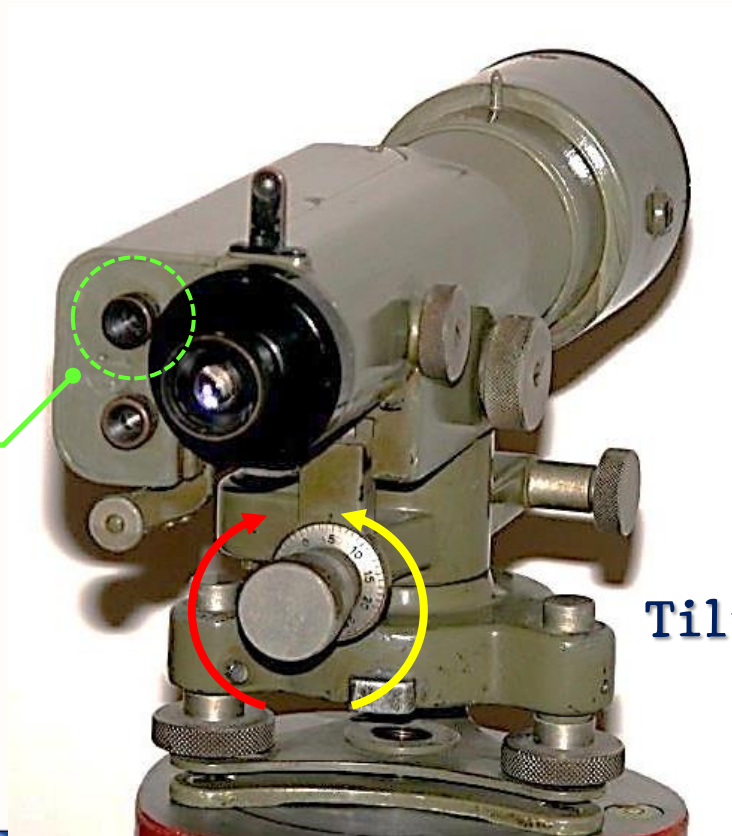
การปรับระดับเขาควาย ในกล้อง Wild N3 หลังจากปรับระดับฟองกลมเรียบร้อยแล้วทำการปรับที่ Tilting screw



No



Yes



Tilting screw

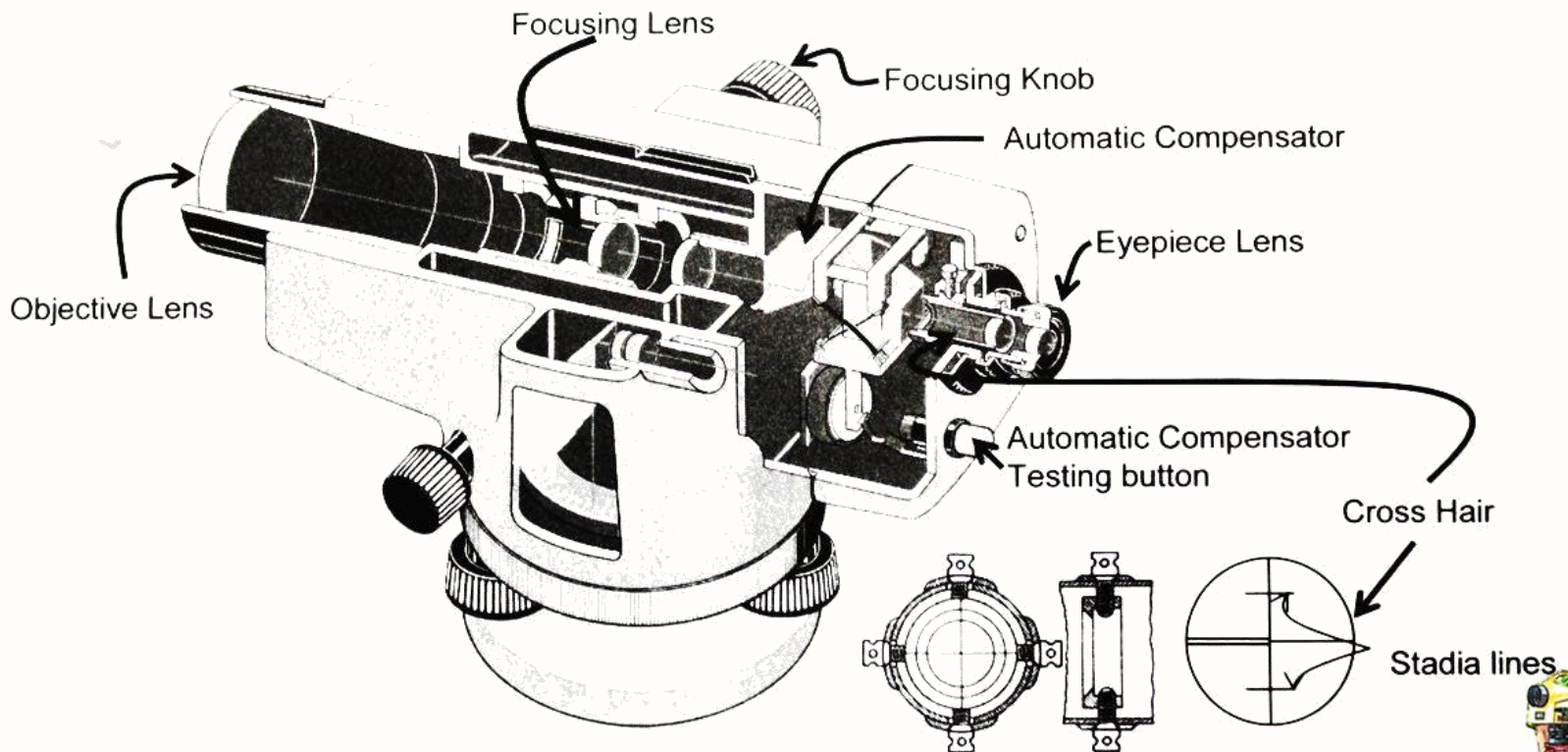




การตรวจและการปรับแก้กล้องระดับเบื้องต้น

การตั้งแกนคังให้ตั้งตรงคัง

ในกรณีของกล้องระดับอัตโนมัติ เมื่อทำการตั้งระดับพองกลมแล้ว ตัวชดเชยระดับอัตโนมัติ จะอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานได้ การตรวจสอบการทำงานของตัวชดเชยระดับอัตโนมัติสามารถทำได้โดยการกดปุ่มทดสอบ ซึ่งเมื่อกกดขณะมองภาพในกล้อง จะเห็นภาพสั่นเคลื่อนไหวขึ้นลงจนกระทั่งนิ่ง แสดงว่าระบบทำงานปกติ การใช้งานไม่จำเป็นต้องกดปุ่มนี้ทุกครั้ง เพราะระบบจะทำงานตลอดเวลาที่กล้องตั้งได้ระดับโดยประมาณ



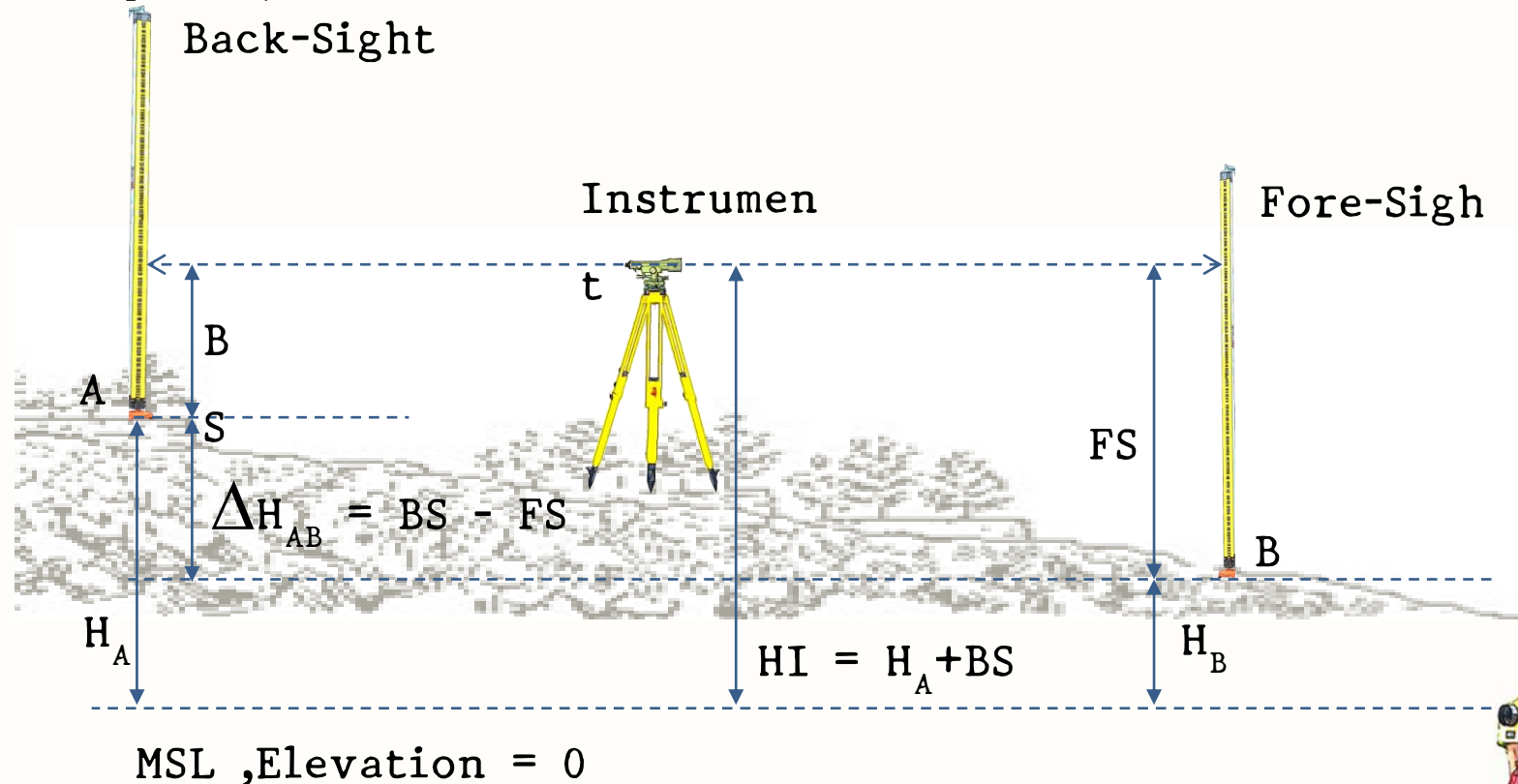


การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

ทฤษฎีการระดับ (Theory of leveling) แบ่งออกเป็น 2 ทฤษฎี

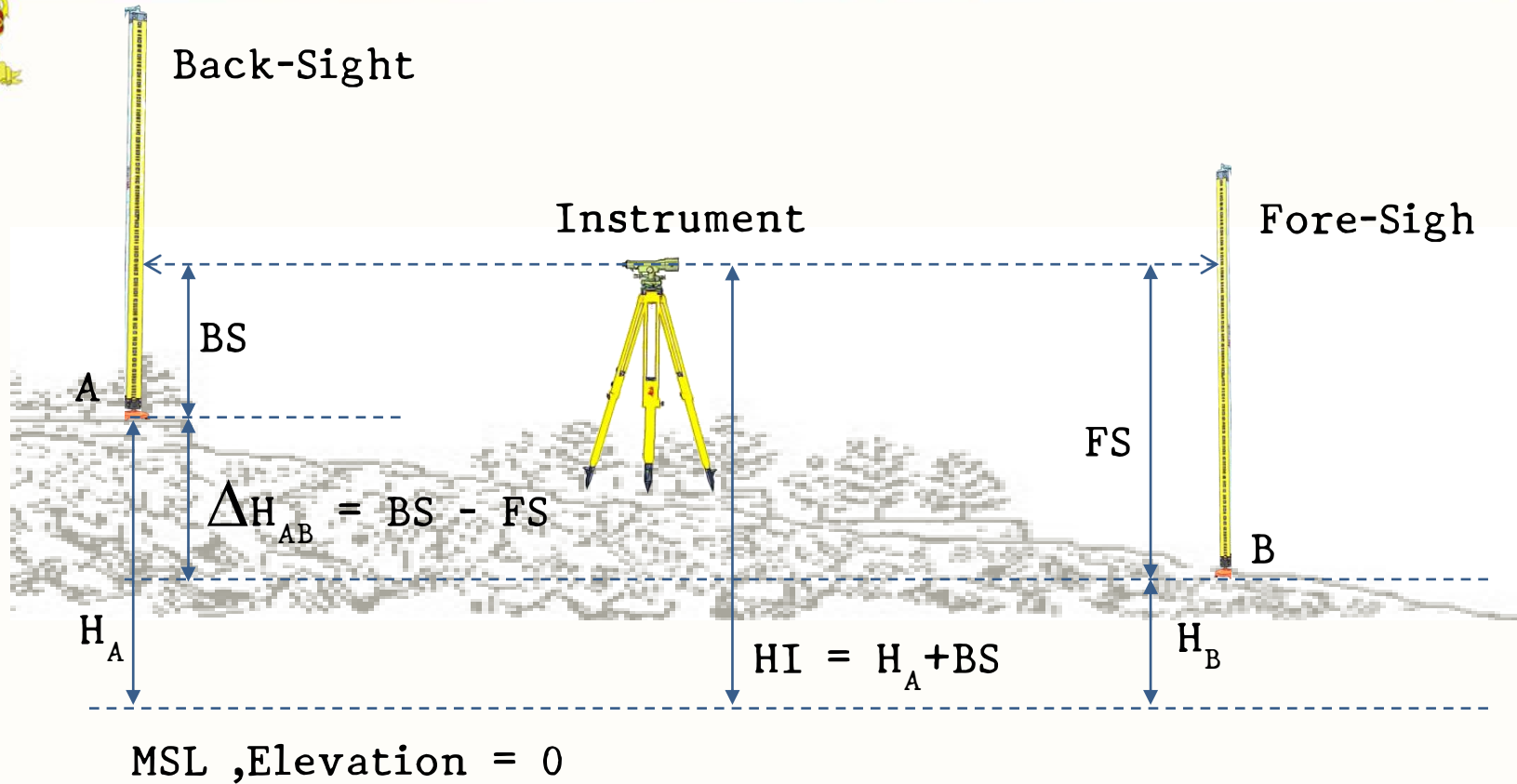
ทฤษฎีที่ 1 คือ ความสูงของหมุดที่ตั้งไม้หลังบวกค่าไม้หลังเท่ากับความสูงเครื่องมือ และความสูงเครื่องมือลบด้วยค่าไม้หน้า เท่ากับความสูงของจุดที่ตั้งไม้หน้า

ทฤษฎีที่ 2 คือ ความสูงของหมุดแรกออกบวกผลรวมค่าไม้หลัง ลบด้วยผลรวมค่าไม้หน้า เท่ากับความสูงของหมุดที่ต้องการทราบค่า (หรือเมื่อจบรวบงาน)





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)



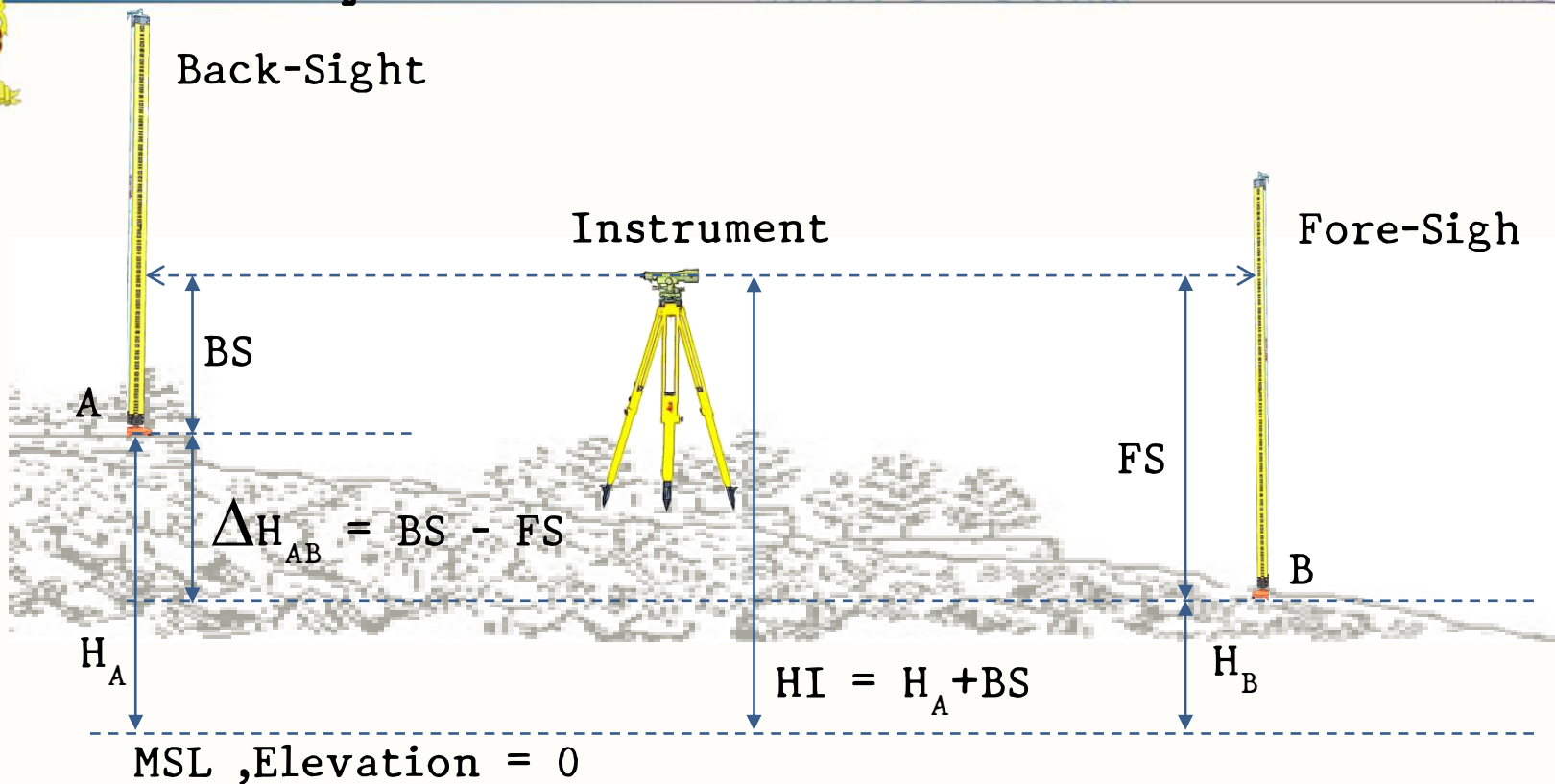
จากรูป A เป็นจุดที่ทราบค่ากำหนดสูง ซึ่งเท่ากับ H_A ต้องการหาค่ากำหนดสูงที่จุด B ทำการตั้งกล้องระดับอยู่ระหว่าง ไม่วัดระดับที่ A และ B

อ่านค่าไม้ระดับหลัง (Back-Sight, BS) ที่จุด A

อ่านค่าไม้ระดับหน้า (Fore-Sight, FS) ที่จุด B



การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)



สามารถคำนวณหาค่ากำหนดสูงเหนือระดับทะเลปานกลางของจุด B ได้ 2 วิธีคือ

1. คำนวณค่าจากค่าความสูงกล้องเหนือระดับทะเลปานกลาง

$$HI = H_A + BS$$

คำนวณค่ากำหนดสูงของจุด B จาก

$$H_B = HI - FS$$

2. คำนวณจากค่าต่างระดับจาก A ไป B

$$\Delta H_{AB} = BS - FS$$

ดังนั้นค่ากำหนดสูงของ จุด B คือ

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}$$





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

สรุปวิธีการทำระดับ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. คำนวณจากค่าความสูงเครื่องมือ โดยนำความสูงของหมุดที่ตั้งไม้หลังบวกค่าไม้หลัง เท่ากับความสูงเครื่องมือ และความสูงเครื่องมือลบด้วยค่าไม้หน้า เท่ากับความสูงของจุดที่ตั้งไม้หน้า
2. คำนวณจากค่าต่างระดับระหว่างสองจุด โดยนำความสูงของหมุดแรกออกบวกผลรวมค่าไม้หลัง ลบด้วยผลรวมค่าไม้หน้า เท่ากับความสูงของหมุดที่ต้องการทราบค่า (หรือเมื่อจบรจนงาน)

ข้อสังเกต

- 1) วิธีที่ 1 เหมาะสำหรับ การหาการระดับของจุดต่างๆ ที่อยู่โดยรอบหมุดที่ทราบค่ากำหนดสูง เพราะการทำงานลักษณะนี้จะสองไม้หลัง 1 ครั้ง แต่สองไม้หน้าไปยังจุดหลายจุด โดยสองไม้หลังไปยังจุดอ้างอิง และสองไม้หน้าไปยังจุดต่างๆที่ต้องการหาการระดับ การคำนวณหาความสูงจะต้องทำเพียงครั้งเดียว สามารถนำไปหาการระดับของจุดที่ต้องการหาการระดับใดหมด
- 2) วิธีที่ 2 เหมาะสำหรับ การหาการระดับของจุดควบคุมหรือจุดอ้างอิง เพราะการทำงานลักษณะนี้จะสองไม้หลัง (BS) สองไม้หน้า (FS) แล้วยายกลอง จนจบงาน เช่น การถายระดับจากจุดควบคุมที่มีอยู่ไปยังจุดควบคุมใหม่ การคำนวณ จุดควบคุมใหม่ที่ต้องการหาการระดับ การหาค่าต่างระดับสามารถหาได้สะดวกรวดเร็วจาก $\sum BS - \sum FS$





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

ตัวอย่าง ในการถาырระดับจากหมุด BM ไปหมุด A อานคาไມระดับที่ BM ได้ 1.752 เมตร และ
อานคาไມระดับที่จุด A ได้ 1.230 เมตร ถาคาระดับของ BM = 10.144 เมตร จงหาคาระดับของจุด A

ก) คำนวณจากคาระดับแนวเล็ง

$$\begin{aligned}\text{คาระดับแนวเล็ง HI} &= 10.144 + 1.752 \\ &= 11.896 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{คาระดับของจุด A} &= 11.896 - 1.230 \\ &= 10.666 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$

ข) คำนวณจากคาตางระดับ

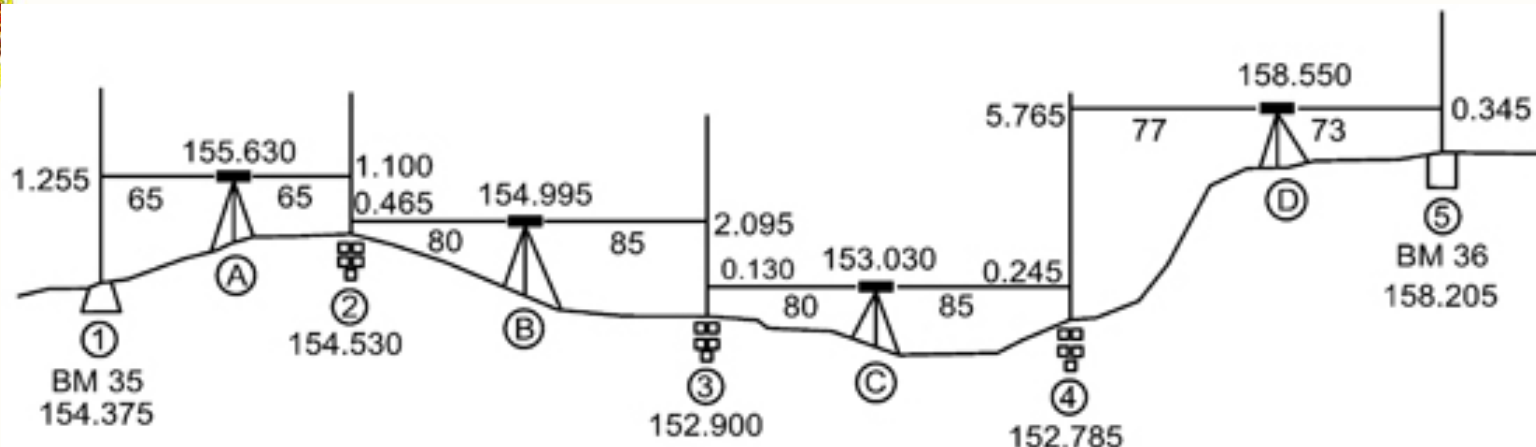
$$\begin{aligned}\text{คาตางระดับระหว่างจุดทั้ง} &= 1.752 - 1.230 \\ &= 0.522 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{คาระดับของจุด A} &= 10.144 + 0.522 \\ &= 10.666 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)



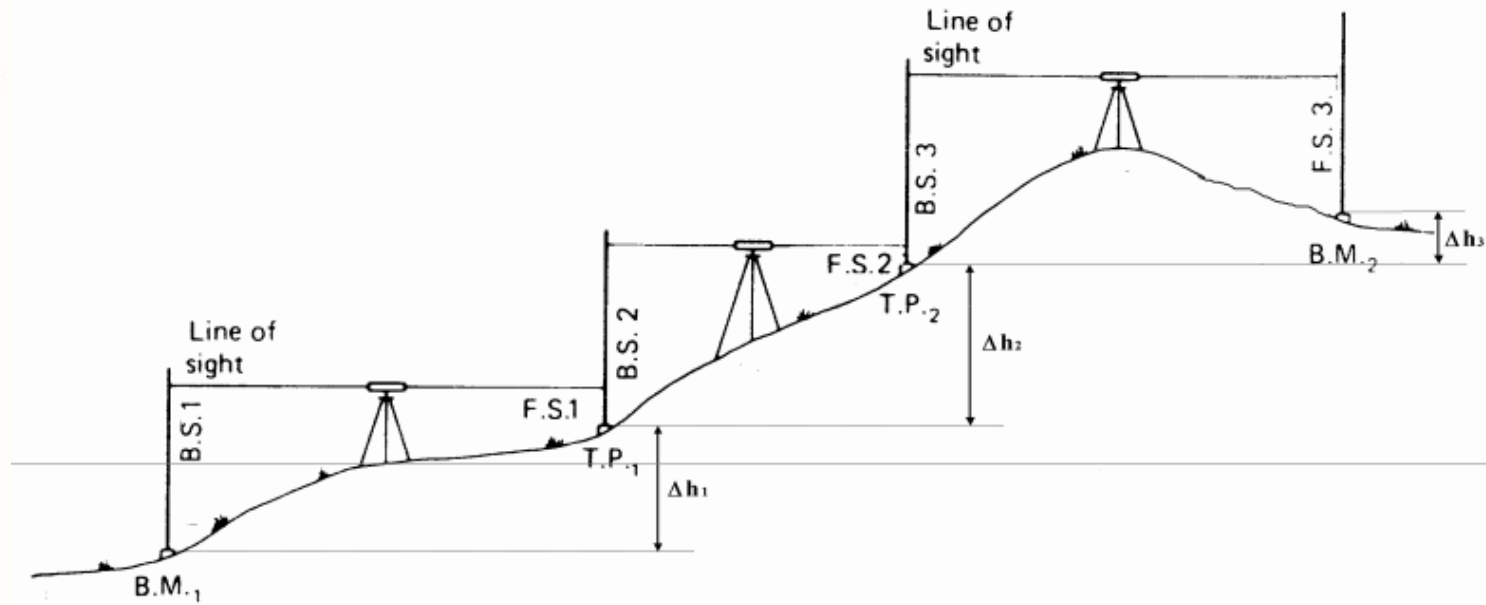
การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ คือ การถ่ายค่ากำหนดสูงจากหมุดที่ทราบค่า ซึ่งเรียกว่า "Bench Mark" (BM) ไปยังหมุดที่ต้องการทราบค่า ซึ่งจะถูกใช้เป็นหมุดอ้างอิงในการดำเนินงานต่างๆ ในบริเวณนั้น ซึ่งโดยปกติแล้ว BM ที่ทราบค่ากำหนดสูงมักไม่อยู่ในพื้นที่โครงการ การสร้างหมุดระดับ สำหรับใช้เป็นหมุดอ้างอิงจึงจำเป็นอย่างยิ่ง

ซึ่งการระดับวิธีนี้จะให้ค่าความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับการเลือกใช้เครื่องมือ วิธีในการคำนวณ และการควบคุมคุณภาพในการทำงาน





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)



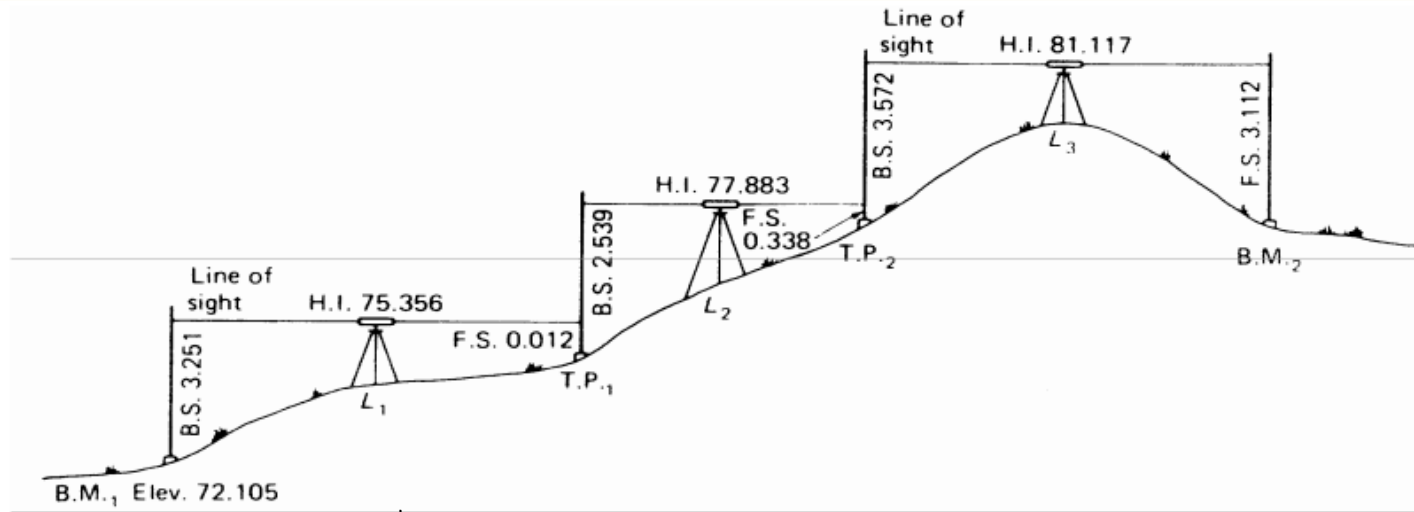
จากรูป จะเห็นได้ว่าการตั้งกล้องเพียงครั้งเดียวเพื่อวัดค่าต่างระดับจึงเป็นไปได้ ต้องแบ่งเป็นส่วนๆ โดยทำจุดชั่วคราวขึ้น เรียกว่า จุดเปลี่ยนระดับ (Turning point, TP.) แล้วดำเนินการวิธี หาดุลต่างระดับเป็นช่วงๆต่อเนื่องกันไปด้วยหลักการ Differential Leveling

$$\begin{aligned}
 \Delta h_1 &= BS_1 - FS_1 \\
 \Delta h_2 &= BS_2 - FS_2 \\
 \Delta h_3 &= BS_3 - FS_3 \\
 \Delta h(BM_1 - BM_2) &= \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 \\
 &= \sum BS - \sum FS
 \end{aligned}$$





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)



ตัวอย่างที่ 6.2 การถ่ายระดับจาก BM1 ไปหมุด BM2 อานดาไม้ระดับดังรูป จงหาค่าระดับของจุด BM2

ก) คำนวณจากจากระดับแนวเล็ง

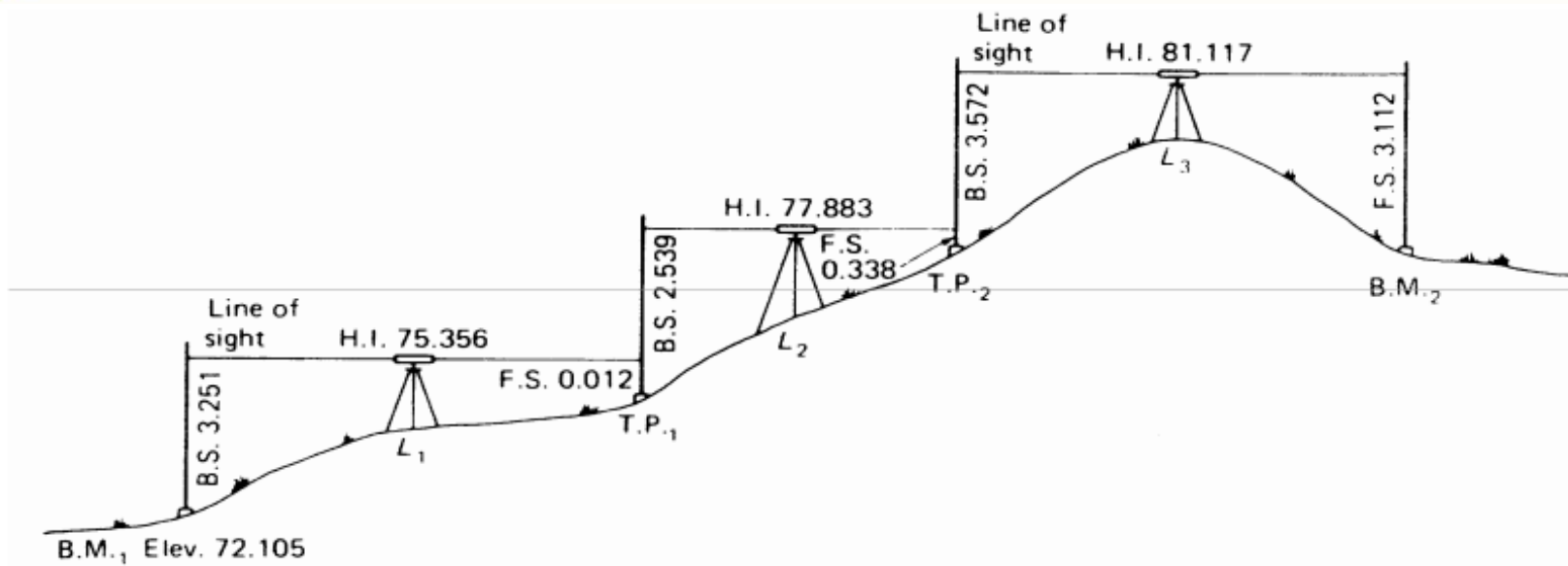
จากระดับแนวเล็ง HI1	=	72.105 + 3.251	=	75.356	
TP1	=	75.356 - 0.012	จากระดับของจุด	=	75.344 เมตร
จากระดับแนวเล็ง HI2	=	75.344 + 2.539	=	77.883	
TP2	=	77.883 - 0.338	จากระดับของจุด	=	77.545 เมตร
จากระดับแนวเล็ง HI3	=	77.545 + 3.572	=	81.117	
BM2	=	81.117 - 3.112	จากระดับของจุด	=	78.005 เมตร





การหาค่ากำหนดสูง โดยวิธี หาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

ตัวอย่าง การถากระดับจาก BM1 ไปหาค่า BM2 อานคาไมระดับตั้งรูป จงหาการะดับของจุด BM2



ข) คำนวณจากค่าต่างระดับ

$$\begin{aligned}\text{ค่าต่างระดับ BM1- BM2} &= (3.251+2.539+3.572) - (0.012+0.338+3.112) \\ &= 9.362 - 3.462 \\ &= 5.900 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{การะดับของจุด BM2} &= 72.105 + 5.900 \\ &= 78.005 \quad \text{เมตร}\end{aligned}$$



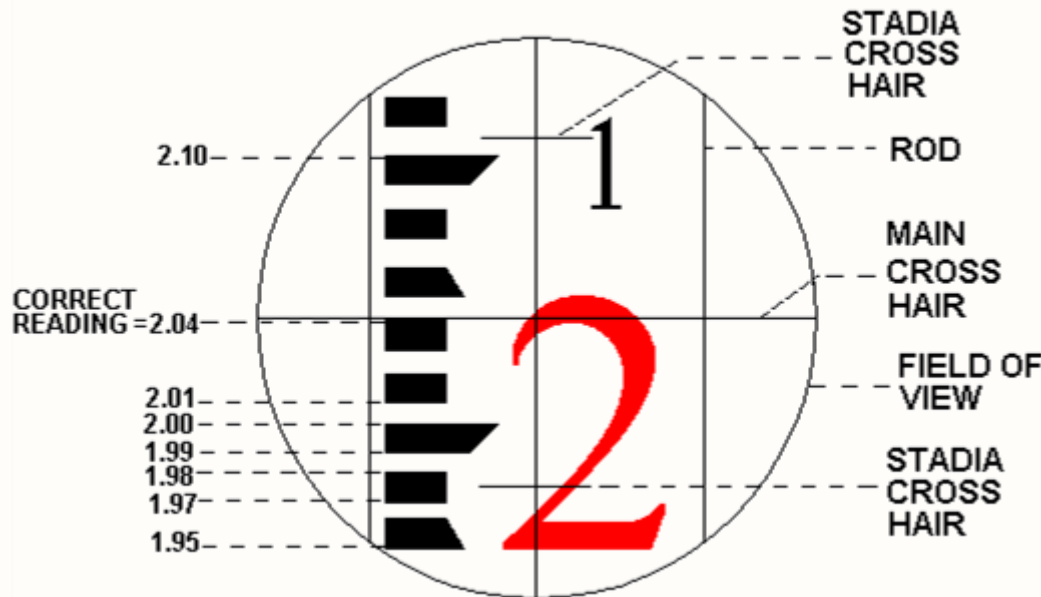


การอ่านไม้ระดับ

การอ่านไม้ระดับด้วยกล้องระดับที่มีสามสายใย

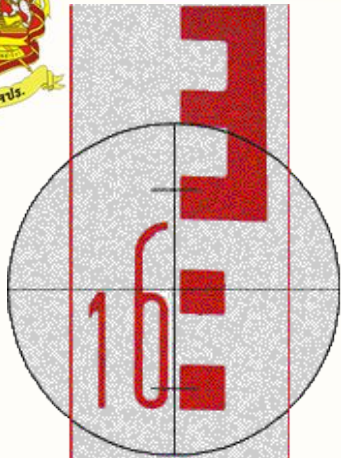
ทำการตั้งกล้องให้ได้ระดับ จากนั้นหมุนกล้องไปยัง Staff ปรับความคมชัดของสายใยที่ eyepice จากนั้นปรับความคมชัดของภาพ แล้วจึงทำการอ่านค่าที่สายใยทาบทั้งสามสายใย โดยการอ่าน ตัวเลขหลักสุดท้ายจะเป็นตัวเลขที่ได้จากการประมาณของผู้อ่าน เมื่อนำค่าทั้งสามมาเฉลี่ย จะเป็นค่าของสายใยกลาง

การตรวจสอบค่าที่อ่านได้ ว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับหรือไม่ พิจารณาจากผลต่างของ ค่าสายใย บนลงกลาง กับ สายใยกลางลงล่าง ต้องต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

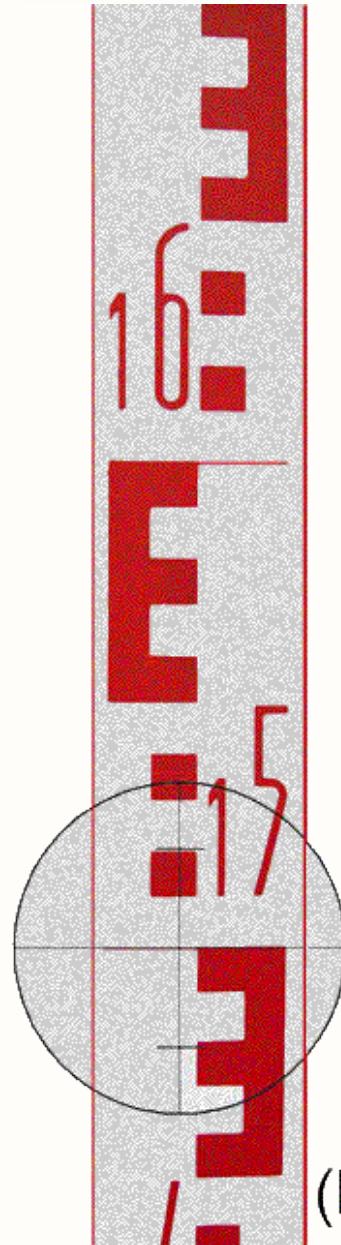




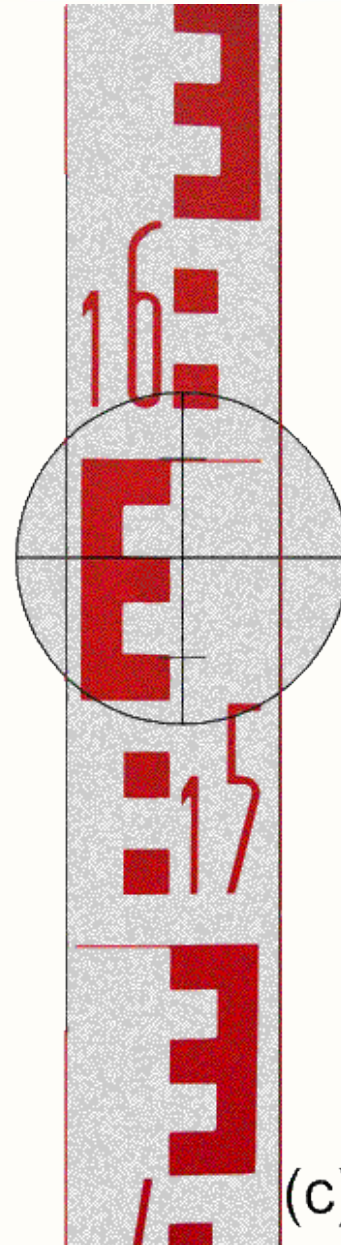
การอ่านไม้ระดับ



(a)



(b)



(c)

ค่าที่อ่านได้ จาก (a)

สายโยบน =

สายโยกลาง =

สายโยล่าง =

ค่าที่อ่านได้ จาก (b)

สายโยบน =

สายโยกลาง =

สายโยล่าง =

ค่าที่อ่านได้ จาก (c)

สายโยบน =

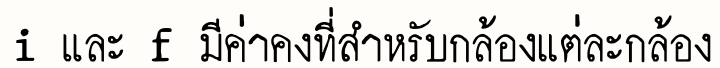
สายโยกลาง =

สายโยล่าง =





ช่วงระยะระหว่างสายโยนและล่างเรียกว่าช่วงสเตเดีย (Stadia interval) ซึ่งสามารถใช้คำนวณระยะระหว่างกล้องถึงไม้ระดับ (D) หรือเรียกว่าระยะสเตเดีย



$$\frac{d}{f} = \frac{I}{i} \quad \text{or} \quad d = \frac{f}{i} I = KI$$

$$D = KI + C$$

ในการผลิตกล้องระดับจะผลิตให้กล้องมีค่า $K = 100$ และ $C = 0$ ดังนั้นจะหาระยะทาง D ได้จาก $D = 100I$





ข้อกำหนดเกณฑ์งาน

ข้อกำหนดหรือเกณฑ์ชั้นงานของการระดับส่วนใหญ่นิยมใช้มาตรฐานของ Federal Geodetic Control Committee, FGCC ปี 1984 ซึ่งแบ่งชั้นงานได้ดังนี้

Classification	First Order Class I, Class II	Second Order		Third Order
		Class I	Class II	
<i>Principle uses:</i> Minimum standard; 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 Network, 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 topographic mapping Drainage studies and gradient establishment in mountainous areas
<i>Recommended spacing of lines:</i> National Network Metropolitan control; other purposes	Net A; 100 to 300 km Class I Net B; 50 to 100 km Class II 2 to 8 km As needed	Secondary network; 20 to 50 km 0.5 to 1 km As needed	Area control; 10 to 25 km As needed As needed	As needed As needed As needed
<i>Spacing of marks along lines</i>	1 to 3 km	1 to 3 km	not more than 3 km	not more than 3 km



Gravity requirement	0.20x10 ⁻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 ^b				
Max. difference in lengths				
Forward and backward sights per setup	2 m Class I; 5m Class II	5 m	10 m	10 m
per section (cumulative)	4 m Class I; 10m Class II	10 m	10 m	10 m
Max. length of line between connections	Net A; 300 km Net B; 100 km	50 km	50 km double run 25 km double run	25 km double run 10 km single run
Maximum closures ^c				
Section; forward and backward	3 mm √k Class I ; 4 mm √k Class II ;	6 mm √k	8 mm √k	12 mm √k
Loop or line	4 mm √k Class I ; 5 mm √k Class II ;	6 mm √k	8 mm √k	12 mm √k

^bThe maximum length of line between connections may be increased to 100 km 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.

^cCheck between forward and backward running where K is the distance in kilometers.





การคำนวณงานระดับ

การตรวจสอบความถูกต้อง

แบบจุดบันทึกร	ชื่อโครงการ
ผู้รังวัด	ผู้บันทึก 1
จากหมุด	ถึงหมุด
(ทำไป, ทำกลับ, ซ่อม)	แผนที่
จาก	แผ่น

จำนวน ตั้งกล้อง	อ่านไม้หลัง(BS)					อ่านไม้หน้า(FS)					หมายเหตุ
	ค่าไม้ระดับ (ซม.)	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	U-M M-L	ระยะทาง (ม.)	ค่าความต่าง (มม.)	ค่าไม้ระดับ (ซม.)	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	U-M M-L	ระยะทาง (ม.)	ค่าความต่าง (มม.)	
2 U	2.052	3	4	5	6						
(1) M	1.612	1.612	0.440	88.0	0						
PS03 L	1.172	1.612	0.440	88.0		7	8	9	10	11	12
U	2.170					2.032					
(2) M	1.535	1.534	0.635	127.2	-2	1.728	1.728	0.304	60.8	0	-0.116
L	0.898	3.146	0.637	215.2		1.424	1.728	0.304	60.8		
U	2.050					2.021					
(3) M	1.468	1.469	0.582	116.0	4	1.474	1.472	0.547	109.9	-5	0.062
L	0.890	4.616	0.578	331.2		0.922	3.200	0.552	170.7		

ค่าความต่างระหว่าง U-M กับ M-L ต้องไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

ค่าความต่างทางระยะ แต่ละตั้ง ไม่เกิน 10 ม. (ระยะจากกล้องไป BS – ระยะจากกล้องไป FS <10m)

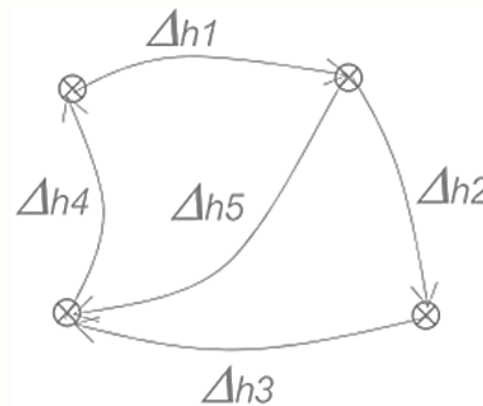
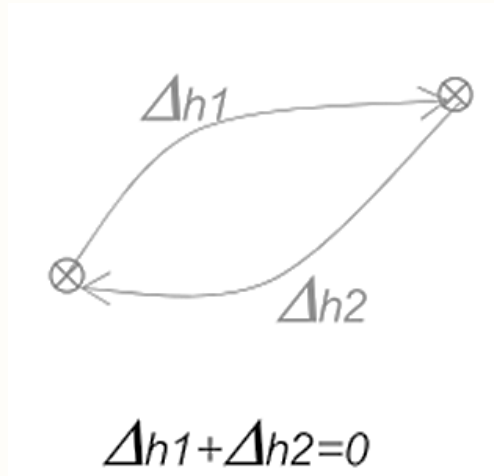
ผลรวมระยะของทั้งสายการระดับ ไม่เกิน 10 ม. ($\sum$ ระยะ BS – $\sum$ ระยะ FS < 10 m)





การตรวจสอบผลการทำงานว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดโดยทั่วไป จะต้องทำงานระดับแบบการวัดเชิงเงื่อนไข คือ การทำระดับย้อนกลับไปจุดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง หรือทำไปบรรจบกับหมุดระดับอื่นที่รู้ค่าระดับแล้วก็ได้ เป็นการทำการระดับแบบวงจรมหัพภาค สามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของการบรรจบ (Error of closure) ได้

สำหรับข้อกำหนดของกรมแผนที่ทหาร ตามระเบียบว่าด้วยการสำรวจวงหมุดหลักฐานทางดิ่ง พ.ศ.2539 กำหนดให้ **ทุกตอนการระดับต้องปฏิบัติทำไปและทำกลับ** เท่านั้น

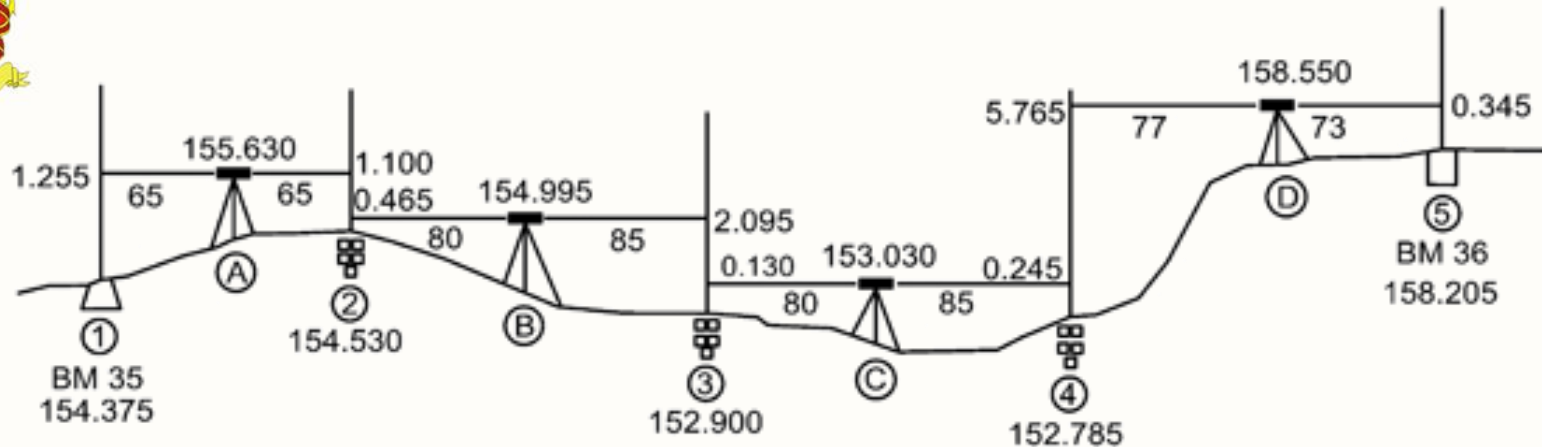


$$\Delta h_1 + \Delta h_5 + \Delta h_4 = 0$$

$$\Delta h_2 + \Delta h_3 - \Delta h_5 = 0$$

การทำระดับย้อนกลับไปจุดเริ่มต้น





การทำระดับไปบรรจบยังหมุดที่ทราบค่า

$$\text{ทำไป} \quad \Delta h(\text{BM}_{35} - \text{BM}_{36}) = \sum \text{BS}_{\text{BM}_{35}} - \sum \text{FS}_{\text{BM}_{36}}$$

$$\text{ทำกลับ} \quad \Delta h(\text{BM}_{36} - \text{BM}_{35}) = \sum \text{BS}_{\text{BM}_{36}} - \sum \text{FS}_{\text{BM}_{35}}$$

$$\Delta h_{\text{ทำไป}} - \Delta h_{\text{ทำกลับ}} \text{ (ไม่คิดเครื่องหมาย } \Delta h) = 0 \text{ (ในทางอุดมคติ)}$$

ในความเป็นจริงการรังวัดย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังนั้นผลต่างย่อมไม่เท่ากับ 0 ในการยอมรับค่าความแตกต่างดังกล่าวพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบตามมาตรฐานเกณฑ์งานที่กำหนดไว้สำหรับงานชั้นที่ 3 เท่ากับ $\pm 12 \text{ มม. } \sqrt{K}$ เมื่อ K คือ ระยะทางเฉลี่ยของการทำไปและกลับ มีหน่วยเป็น กิโลเมตร (วิชัย เยี่ยงวีรชน, ทฤษฎีการสำรวจและการประยุกต์ใช้)



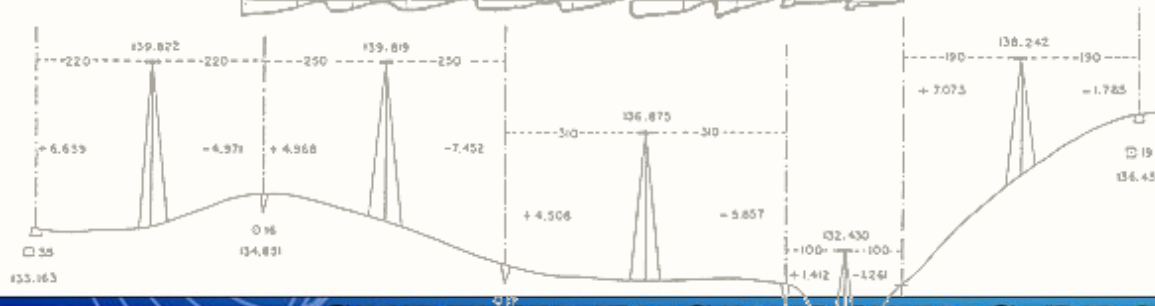


การคำนวณปรับแก้

หลังจากตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการบรรจบ แล้วอยู่ในเกณฑ์กำหนดของชั้นงานที่ต้องการ
ถือว่างานนั้นยอมรับได้ จึงจะทำการคำนวณปรับแก้ กระจายความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไปตามหมุดระดับแต่ละ
หมุดซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น

- ให้นำหนักการปรับแก้แต่ละค่าเท่ากัน
- ประมาณไปตามจำนวนครั้งที่ทำการตั้งกล้อง (จำนวนหมุด TP) ในแต่ละช่วงของคาตางระดับ
- ให้นำหนักการปรับแก้แปรตามระยะทางระหว่างจุด

LEVEL CIRCUIT						Levelling E.A.S. M.F. Road B.S. & Survey Rodman 445 C.L. MINOR Level 11037	
FROM B.M. 35 TO B.M. 19						REMARKS	
Sta.	B.S.	I.S.	F.S.	Level	Height	Remarks	
B.M. 35	6.659	139.822		133.163	220	Concrete monument	
O 16	4.968	139.819	4.971	134.851	220	Peg	
O 17	4.908	138.879	7.452	132.367	310	"	
O 18	1.412	132.430	5.857	131.018	100	"	
T.P. 1	7.073	138.242	1.261	131.169	190	Turning Point	
B.M. 19		1.785	136.457	190		Concrete monument	
	24.620		11.326	133.163	1070	Actual elevation of O 19 = 136.442 ft	
			24.620	3.794	1070	Permissible error = $0.05 \sqrt{2163} = 0.037$ ft	
			3.294	Check	2163	Actual error of closure = $2163 \cdot 0.015$ ft	





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ใ้หน้าให้นักการปรับแก้แต่ละคาเทากัน

ในการถายระดับจากหมุด BM ที่มีคาระดับ 22.394 เมตร ไปยังจุด A ที่ทางออกไป
ประมาณ 400 เมตร โดยทำระดับจาก BMถึงจุด A แล้วยอนกลับมาสิ้นสุดที่ BM ไคข้อมูลการอ่านค่าไม
ระดับตามตารางจงหาระดับจุด A

จุด	ค่าไม้หลัง	ค่าไม้หน้า	จุด	จุด	ค่าไม้หลัง	ค่าไม้หน้า	จุด
BM	1.256	1.241	TP1	A	1.220	1.371	TP4
TP1	1.233	1.542	TP2	TP4	1.415	1.359	TP5
TP2	1.361	1.402	TP3	TP5	1.515	1.230	TP6
TP3	1.395	1.220	A	TP6	1.236	1.248	BM
	5.245	5.405			5.386	5.208	

ถายระดับจาก BM ไปจุด A

ถายระดับจาก A กลับจุด BM





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ในหน้าพนักงานปรับแก้แต่ละคาเทากัน

จุด	ค่าไม้หลัง	ค่าไม้หน้า	จุด
BM	1.256	1.241	TP1
TP1	1.233	1.542	TP2
TP2	1.361	1.402	TP3
TP3	1.395	1.220	A
	5.245	5.405	

จุด	ค่าไม้หลัง	ค่าไม้หน้า	จุด
A	1.220	1.371	TP4
TP4	1.415	1.359	TP5
TP5	1.515	1.230	TP6
TP6	1.236	1.248	BM
	5.386	5.208	

ถายระดับจาก BM ไปจุด A

ถายระดับจาก A กลับจุด BM

สมมุติข้อกำหนดเบี่ยงงานระดับชั้น 4 (25 มิลลิเมตร $\sqrt{K}$)

$$\text{ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้} = 25\sqrt{0.8} = 22.4 \text{ มม.}$$

$$\begin{aligned}\text{ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบ} &= \sum BS - \sum FS \\ &= (5.245 + 5.386) - (5.405 + 5.208) \\ &= 10.631 - 10.613 = 0.018\end{aligned}$$

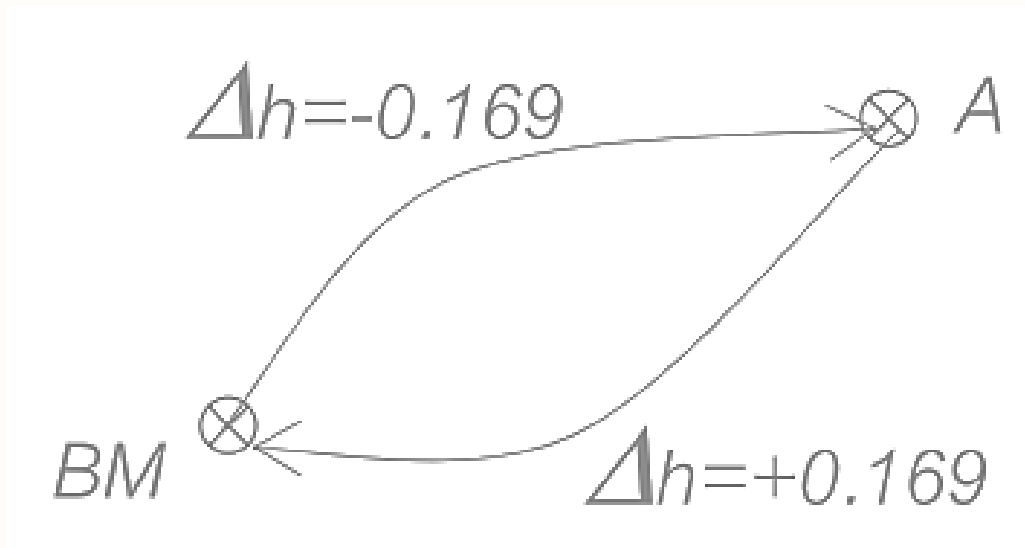
ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบ (18.0) < ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ (22.4) ***ใช้ได้***





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ในหน้าพนักงานการปรับแก้แต่ละคาเทากัน

ค่าปรับแก้	=	$-0.018/2$	=	-0.009
ค่าตางระดับ BM-A	=	$(5.245-5.405)-0.009$	=	-0.169
ค่าตางระดับ A-BM	=	$(5.386-5.208)-0.009$	=	$+0.169$
ค่าระดับจุด A	=	$22.394-0.169$	=	22.225 เมตร





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ประมาณตามจำนวนครั้งที่ทำการตั้งกล้อง (จำนวนหมุด TP) ในแต่ละช่วงของคาตาจระดับ

ตัวอย่าง การทำระดับโดยถาวยระดับจากหมุด BM มายังจุด A ไคจากระดับจุด A = 10.144 เมตร ถ้า A เป็นหมุดหนึ่งในวงรอบปด A B C D E เพื่อหาจากระดับของหมุดที่เหลือ จึงทำระดับจากจุด A ผ่านจุดต่างๆของ วงรอบแล้วกลับมาบรรจบที่จุด A ไคข้อมูลการวัดตามตาราง จงหาจากระดับของหมุดวงรอบ

จุด	ค่าไม้หลัง	ค่าไม้หน้า
A	1.752	---
B	1.660	1.230
TP1	1.776	1.415
C	1.965	1.176
TP2	1.335	1.223
TP3	1.251	1.944
D	1.275	1.762
E	1.183	1.826
A		1.623





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ประมาณตามจำนวนครั้งที่ทำการตั้งกล้อง (จำนวนหมุด TP)

ในแต่ละช่วงของคาตาจระดับ

จุด	Σ ค่าไม้หลัง	Σ ค่าไม้หน้า	Δh	ค่าปรับแก้	ปรับแก้ Δh	ค่าระดับ
A	1.752	1.230	0.522		0.522	10.144
B	3.436	2.591	0.845	+0.001	0.846	10.666
C	4.551	4.929	- 0.378	+0.001	- 0.377	11.512
D	1.275	1.826	- 0.551		- 0.551	11.135
E	1.183	1.623	- 0.440		- 0.440	11.584
A						10.144
	12.197	12.199	- 0.002		0.000	

ความคลาดเคลื่อนของการบรรจบ = $12.197 - 12.199 = - 0.002$

การปรับแก้ต้องกระจายความคลาดเคลื่อนไปยังคาตาจระดับ (Δh) ระหว่างหมุดวงรอบ

แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนน้อยมากจึงพิจารณาปรับแก้เฉพาะช่วงที่มี TP คือ Δh_{BC}

และ Δh_{CD}





ตัวอย่างการคำนวณปรับแก้ ประมาณตามจำนวนครั้งที่ทำการตั้งกล้อง (จำนวนหมุด TP) ในแต่ละช่วงของคาตาจระดับ

ละช่วงของคาตาจระดับ

จุด	Σ ค่าไม้หลัง	Σ ค่าไม้หน้า	Δh	ค่าปรับแก้	ปรับแก้ Δh	ค่าระดับ
A	1.752	1.230	0.522		0.522	10.144
B	3.436	2.591	0.845	+0.001	0.846	10.666
C	4.551	4.929	-0.378	+0.001	-0.377	11.512
D	1.275	1.826	-0.551		-0.551	11.135
E	1.183	1.623	-0.440		-0.440	11.584
A						10.144
	12.197	12.199	-0.002		0.000	

ดังนั้นจะได้คาตาจระดับ Δh ที่ปรับแก้แล้ว จึงคำนวณหาจากระดับของหมุดต่างๆ

$$\text{จากระดับ จุด B} = 10.144 + 0.522 = 10.666$$

$$\text{จากระดับ จุด C} = 10.666 + 0.846 = 11.512$$

$$\text{จากระดับ จุด D} = 11.512 - 0.377 = 11.135$$

$$\text{จากระดับ จุด E} = 11.135 - 0.551 = 11.584$$

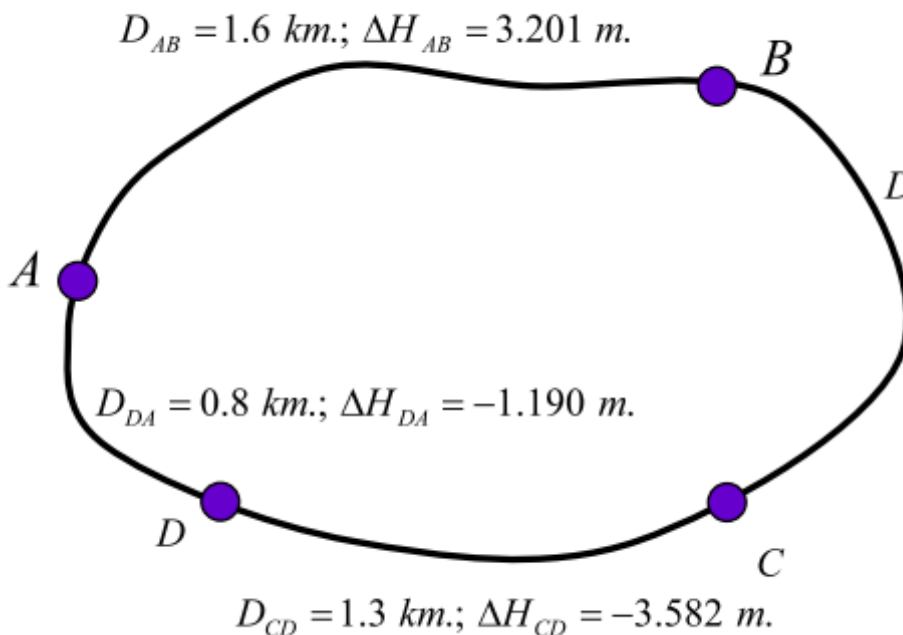
$$\text{จากระดับ จุด A} = 11.584 - 0.440 = 10.144 \text{ ***** ตรวจสอบถูกต้อง}$$





การคำนวณปรับแก้ ในหน้าหนักการปรับแก้แปรตามระยะทางระหว่างจุด

ตัวอย่าง วงรอบระดับวงหนึ่งประกอบด้วยตอนระดับ 4 ตอน ซึ่งได้รังวัดค่าต่างระดับในทิศทางตามเข็มนาฬิกาแสดงในรูปด้านล่าง หลังจากได้ตรวจสอบตามเกณฑ์งานชั้นที่ 3 มีข้อมูลสรุปของแต่ละช่วงดังนี้



ในทางอุดมคติ $\sum \Delta H$ ต้องเท่ากับ 0

แต่ค่าจากการสำรวจได้เท่ากับ

$$3.201 + 1.634 - 3.582 - 1.190 = 0.063$$

ระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการเดินระดับ เท่ากับ

$$1.6 + 1.1 + 1.3 + 0.8 = 4.8 \text{ กม.}$$

ค่าปรับแก้ต่อระยะทาง เท่ากับ

$$-0.063 / 4.8 = -0.013 \text{ ม./กม.}$$





การคำนวณปรับแก้ ใ้หน้าหนักการปรับแก้แปรตามระยะทางระหว่างจุด

Section	Distance (km.)	Diff. Elev. (m.)	Cumm. dist. (km.)	Correction value for each section (m.)	Corrected distance (km.)
A-B	1.6	3.201	1.6	-0.021	3.180
B-C	1.1	1.634	2.7	-0.014	1.620
C-D	1.3	-3.582	4.0	-0.017	-3.599
D-A	0.8	-1.190	4.8	-0.011	-1.201
Sum	4.8	0.063		-0.063	0.000
Correction value (m./km.)	-0.013			Checked	Checked





ตารางคำนวณการระดับชั้นที่ 3

ตารางคำนวณการระดับขั้นที่ 3												
หมุด 1	ระยะ (กม.)	ร.ร.จปร.				BM1 2		BM2		8 แบบคำนวณค่ากำหนดสูง		หมายเหตุ
		ทำไป		ทำกลับ		เฉลี่ย						
		สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)	แก้	ต่ำ (-)	แก้	กำหนดสูง(เมตร)	หมุด	
BM.1 - T1	0.500		-0.364	+0.348				-0.356	-0.003	99.641	BM.1	เกณฑ์กำหนดมาตรฐาน
T1 - T2	0.700	+0.032			-0.026	0.029	-0.004			99.666	T2	= ±12x√ 2.700 ± 19.718 มม.
T2 - T3	0.600		-0.130	+0.126				-0.128	-0.004	99.534	T3	
T.3 - BM.2	0.900	+0.314			-0.328	0.321	-0.005			99.850	BM.2	
												ΔH = -0.134 ม.
												Comp. = 99.866 ม.
												Fixed = 99.850 ม.
												Error = 0.016 ม.
												= 16.0 มม.
												ผ่านเกณฑ์ ±12mm√K
												Corr'n = -0.016 ม.
												Corr. = -0.006 ม.

ค่าต่างความสูงแต่ละช่วง

ช่วงใดมีค่าเป็น ลบ ใส่ช่อง ต่ำ(-)

ช่วงใดมีค่าเป็น บวก ใส่ช่อง สูง(+)

เฉลี่ยค่าทำไปและทำกลับ(บวกกันหารสองไม่คิดเครื่องหมาย)

ใช้เครื่องหมายของทำไป

ถ้าเป็น บวก ใส่ช่อง สูง(+)

ถ้าเป็น ลบ ใส่ช่อง ต่ำ(-)

3 ผลรวม 2.700

0.3500

-0.3340

5

6

7

1. กรอกรั้วจากหมุดถึงหมุด ,ระยะทางในหน่วย กม.ของแต่ละช่วง ,ค่าต่างความสูงในแต่ละช่วง ทั้งทำไปและทำกลับ
2. คำนวณค่าเฉลี่ย
3. หาผลรวมระยะ และค่าเฉลี่ย
4. คำนวณเกณฑ์งาน และ ค่า ΔH (นำค่าเฉลี่ยของค่าสูงและต่ำ บวกกันหารสอง)
5. คำนวณค่ากำหนดสูงของหมุดเข้าบรรจบ (Comp.) โดย นำ Start + ΔH = Comp.
6. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Error) โดย นำ Comp. - Fixed = Error

7. คำนวณค่าแก้ในหนึ่งหน่วยระยะ โดยแปลงให้เป็นหน่วยเมตร นั้นหารด้วยระยะทางรวม เครื่องหมายตรงข้ามกับ ค่า Error
8. คำนวณค่ากำหนดสูง โดยเริ่มจากหมุดแรกออกที่ทราบค่า นำค่าหมุดแรกออก บวกกับค่าเฉลี่ยที่ผ่านการปรับแก้แล้ว จะได้เป็นค่า กำหนดสูงของหมุดนั้นๆ ทำต่อเนื่องจนถึงหมุดเข้าบรรจบ





อ้างอิง

1. คู่มือประกอบการศึกษาวิชาการระดับ กองการศึกษา โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร
2. วิชัย เยี่ยงวีรชน, การสำรวจรังวัด ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้
3. เอกสารคำสอนวิชาการสำรวจ 1 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4. ดร.สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, แนวทางปฏิบัติสำหรับการสำรวจภาคสนาม

