

Introduction

Surames Piriawat, Ph.D.

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

Introduction to Surveying

การสำรวจ (Surveying):

ศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคนิคในการหาตำแหน่ง หรือการกำหนดตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่เหนือ บน และใต้ผิวโลก ทั้งในลักษณะตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative positioning) และตำแหน่งสัมบูรณ์ (Absolute positioning) ด้วยการประยุกต์เทคโนโลยีต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้มาซึ่ง

- ข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial data)
- ข้อมูลชนิดไม่มีตำแหน่ง (Non-spatial data)
- ข้อมูลบรรยาย (Attribute data)

และบริหารจัดการข้อมูลเหล่านี้ด้วย “ระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS)

Surveying = Geomatics or Geospatial Engineering

Geomatics:

การวัดสิ่งต่างๆ ของโลก (Measurement of the earth)

- Photogrammetry
- Global Navigation Satellite System (GNSS)
- Ground surveys
- Hydrographic surveys etc.

การสำรวจหาตำแหน่งในพื้นที่:

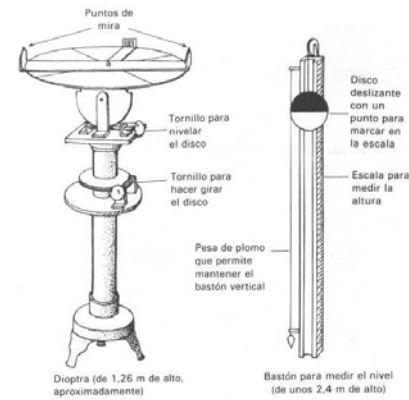
การหาค่าพิกัดซึ่งเป็นค่าพิกัด 3 มิติ หรืออย่างน้อยเป็นพิกัดทางราบแบบ 2 มิติ โดยการคำนวณข้อมูลที่ได้จากการรังวัด ได้แก่

- ทิศทาง
- ระยะระหว่างจุดสองจุด
- มุมระหว่างทิศทางแต่ละทิศ

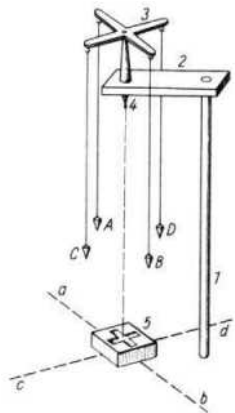
The Brief History of Surveying

- 1,400 ปี ก่อนคริสต์ศักราช: ชาวอียิปต์ ใช้ในการแบ่งแปลงที่ดินเพื่อการจัดเก็บภาษี
- ก่อนคริสต์ศักราช 120 ปี: ชาวกรีกคิดค้นตรีโกณมิติขึ้น และสร้างเครื่องมือสำรวจชิ้นแรกขึ้นมาชื่อ Dioptra รวมถึงกำหนดขั้นตอนในการทำงานสำรวจ
- สมัยโรมัน: Frontinus พัฒนาการสำรวจในยุคนี้ และได้มีการผลิตเครื่องมือสำรวจสำหรับการก่อสร้าง เรียกว่า Groma
- ค.ศ. 1800: มีการพัฒนาศาสตร์ของการสำรวจบนพื้นระนาบ (Plane surveying) และการสำรวจขั้นสูง (Geodetic surveying)

▪ Dioptra



▪ Groma



Categories of Surveying

ลักษณะของงานสำรวจ

1. งานสำรวจขั้นสูง (Geodetic surveys):

เป็นงานสำรวจที่มีความละเอียดถูกต้องสูง และคำนึงถึงรูปร่างสัณฐานของโลกหรือความโค้งของผิวโลก (Earth curvature) ด้วย เหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ การคำนวณต่างๆ จะอ้างอิงกับผิวโค้งวงรี (Ellipsoid) ที่เหมาะสมแทนสัณฐานของโลกในแต่ละพื้นที่

2. งานสำรวจบนพื้นระนาบ (Plane surveys):

เป็นงานสำรวจที่ใช้สมมติฐานว่าพื้นที่ที่ทำการสำรวจเป็นพื้นระนาบ การคำนวณสามารถใช้สูตรเรขาคณิตบนพื้นระนาบได้ เหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็ก ความโค้งของโลกไม่มีผลกระทบต่อการสำรวจลักษณะนี้



ชนิดของงานสำรวจ (1)

- งานสำรวจรังวัดควบคุม (Control surveys): งานสำรวจเพื่อการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ (Horizontal control points) และหมุดหลักฐานทางตั้ง (Vertical control point) หรือทั้งสองอย่าง (Full control points) เพื่อใช้เป็นหมุดอ้างอิงสำหรับงานสำรวจอื่นๆ
- งานสำรวจภูมิประเทศ (Topographic surveys)
- งานสำรวจแปลงที่ดิน (Cadastral surveys)
- งานสำรวจทางวิศวกรรม (Engineering surveys)

ชนิดของงานสำรวจ (2)

- งานสำรวจชลศาสตร์ (Hydrographic surveys)
- งานสำรวจเส้นทาง (Route surveys)
- งานสำรวจเหมืองแร่ (Mine surveys)
- การสำรวจงานอุตสาหกรรม (Industrial surveys)

Level of Accuracy

- ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Spatial accuracy)

- **Federal Geodetic Control Committee (FGCC):**

แบ่งระดับความถูกต้องออกเป็น 3 ระดับชั้นงาน

1. First order: การจัดทำหมุดควบคุมทั้งทางราบและทางตั้งของประเทศ จังหวัด เมือง และงานวิจัยต่างๆ ในระดับมาตรฐานสูงสุด

2. Second order: การขยายหมุดควบคุมทั้งทางราบและทางตั้งจากหมุดงานชั้นหนึ่ง เพื่อใช้เป็นหมุดควบคุมสำหรับพื้นที่ที่เล็กกว่าเมือง

3. Third order: มาตรฐานชั้นงานต่ำสุด ใช้สำหรับโครงการพื้นที่เล็กๆ งานก่อสร้าง งานสถาปัตยกรรม งานวิศวกรรม

Earth Shape

1. พื้นฐานโลกทางกายภาพ (Terrestrial surface):

เส้นขอบเขตระหว่างผิวดินหรือผิวน้ำกับอากาศรอบผิวโลก เป็นลักษณะที่ปรากฏจริงของผิวโลก ไม่สามารถนิยามรูปร่างได้ด้วยรูปทรงทางเรขาคณิต หรือแบบจำลองคณิตศาสตร์

2. พื้นฐานโลกจีโออยด์ (Geoid):

พื้นฐานของโลกที่เกิดจากการจินตนาการพื้นผิวของน้ำทะเลให้แผ่กระจายอย่างต่อเนื่องเข้าไปในแผ่นดินเป็นพื้นผิวเดียวกันทั่วโลก โดยที่ทุกๆ จุดบนพื้นผิวมีค่าศักย์ภาพแรงโน้มถ่วงเท่ากันซึ่งยังคงมีลักษณะไม่ราบเรียบ แบบจำลองที่ได้จึงไม่สะดวกและยากที่จะใช้ในการคำนวณ

3. พื้นฐานโลกรูปทรงรี (Ellipsoid):

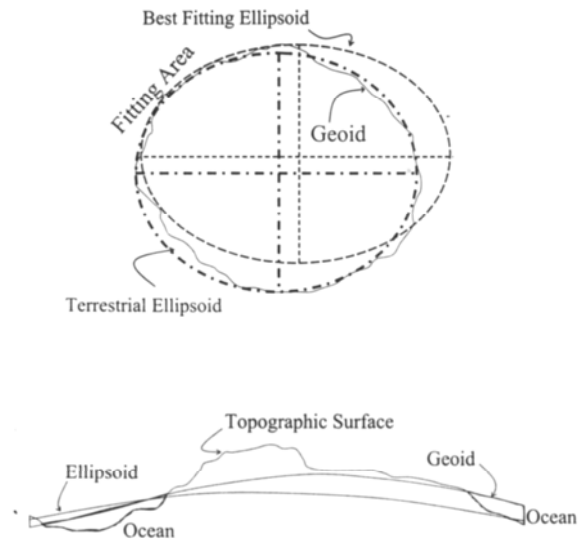
การใช้รูปทรงรีซึ่งมีรูปทรงใกล้เคียงกับจีโออยด์มากที่สุดเป็นพื้นฐานของโลก ซึ่งเรียกว่า "พื้นหลักฐาน" (Datum) ทำให้สามารถคำนวณปริมาณต่างๆ ได้ด้วยสมการคณิตศาสตร์ พื้นหลักฐานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

■ รูปทรงรีภูมิพื้นฐาน (Terrestrial ellipsoid):

รูปทรงรีพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงแทนลูกโลก มีจุดศูนย์กลางกำเนิดที่จุดใจกลางโลก และแกนหมุนสมมาตรขนานกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก ทุกๆ จุดบนผิวโลกจะอยู่ในระบอบอ้างอิงเดียวกัน

■ รูปทรงรีภูมิภาค (Best-fitting ellipsoid):

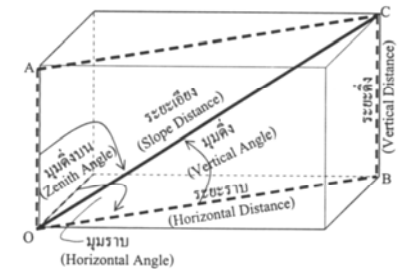
รูปทรงรีพื้นหลักฐานที่ใช้เฉพาะบริเวณหนึ่งในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศ โดยเป็นรูปทรงรีที่มีพื้นผิวใกล้เคียงกับพื้นผิวจีโออยด์ในบริเวณนั้น



Measurements in Surveying

การวัดปริมาณในงานสำรวจภาคสนามประกอบด้วย

- ระยะเอียง (Slope distance)
- ระยะราบ (Horizontal distance)
- ระยะตั้ง (Vertical distance)
- มุมราบ (Horizontal angle)
- มุมตั้ง (Vertical angle)
- มุมตั้งบน (Zenith angle)



Units of Measurement

หน่วยความยาว พื้นที่ และปริมาตร

- ระบบเมตริก (Metric system)
- ระบบอังกฤษ (Imperial system)
- ระบบไทย (Thai system)

หน่วยมุม

- ระบบองศา (Degree system): decimal system, hexadecimal system
- ระบบเกรด (Centesimal system)
- ระบบเรเดียน (Radian system)
- ระบบทางทหาร (Military system)

Significant Figures and Rounding Off Numbers

จำนวนเลขนัยสำคัญ:

จำนวนหลักตัวเลขที่บอกถึงความละเอียดที่อ่านได้จากการวัดของเครื่องมือ ประกอบด้วยจำนวนหลักของตัวเลขที่อ่านได้แน่นอนบวกกับจำนวนหลักของตัวเลขที่ได้จากการประมาณอีกหนึ่งหลัก ซึ่งตัวเลขสุดท้ายนี้เป็นตัวเลขที่มีความไม่แน่นอนของการวัด

Theory of Measurements and Errors

Surames Piriyaawat, Ph.D.

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

Measurements and Standards

การวัด (Measurement):

กระบวนการหาขนาด ปริมาณ ของสิ่งที่ต้องการด้วยการเทียบกับมาตรฐานอันหนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดและปริมาณนั้น เช่น ความยาว น้ำหนัก ทิศทาง เวลา และปริมาตร เป็นต้น

Direct and Indirect Measurements

การวัดโดยตรง (Direct measurement):

การวัดปริมาณที่ต้องการโดยเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานของการวัดนั้น

การวัดโดยอ้อม (Indirect measurement):

การวัดปริมาณอื่นแล้วคำนวณหาปริมาณที่ต้องการด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

Measurements Errors

การอ่านค่า (Reading):

ตัวเลขหลักสุดท้ายที่ได้จากการอ่านค่าเป็นตัวเลขที่ประมาณได้จากการแบ่งขีด

การวัดซ้ำ (Repeated measurement):

กระบวนการที่ทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุดจากการวัดปริมาณ ซึ่งได้แก่ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean) เนื่องจากการวัดแต่ละครั้งนั้นไม่สามารถทราบได้ว่าค่าที่ถูกต้องแท้จริงนั้นเป็นเท่าไร

ค่าที่ดีที่สุด (The best value):

คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดหลายๆ ครั้ง

ความผิดพลาด (Mistakes or Blunders):

คือ ผลของการวัดที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากขาดความระมัดระวังในการวัดของผู้วัดค่า ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้โดยส่วนใหญ่

ค่าความแตกต่าง (Discrepancy):

ค่าต่างของการวัด 2 ครั้ง หรือมากกว่า ค่าความต่างนี้ช่วยบอกถึงความระมัดระวังในการวัดแต่ละครั้งว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ รวมถึงการเกิดความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ (Gross errors)

ค่าความคลาดเคลื่อน (Errors) และค่าเศษเหลือ (Residuals):

■ ค่าความคลาดเคลื่อน (\mathcal{E}):

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ (x) กับค่าจริง (t)

$$\mathcal{E}_i = x_i - t$$

■ ค่าเศษเหลือ (V):

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต (\hat{x}) กับค่าสังเกต (x)

$$V_i = \hat{x} - x_i$$

Systematic Errors

ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors):

ความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดและเครื่องหมายคงที่ภายใต้สภาวะหนึ่ง บางครั้งเรียกว่า “ความคลาดเคลื่อนคงที่” (Constant errors) หรือ “ความคลาดเคลื่อนสะสม” (Cumulative errors) แบ่งได้เป็น 4 ชนิดตามสาเหตุการเกิด

1. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural errors):

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติในขณะที่ทำการวัดนั้น ไม่ใช่สภาวะเดียวกันกับสภาวะมาตรฐานของการใช้เครื่องมือที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้

2. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด (Instrumental errors):

ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมืออันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้ด้วยการตรวจสอบเครื่องมือเทียบกับมาตรฐาน เรียกว่า “การวัดสอบ” (Calibration)

3. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ทำการวัด (Personal errors):

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไม่ระมัดระวัง ความไม่ประณีต รวมถึงความไม่ชำนาญของผู้ปฏิบัติในการทำงาน

4. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการคำนวณ (Calculation errors):

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้เครื่องคำนวณที่มีความละเอียดไม่เพียงพอ และการปัดเศษตัวเลข (Round off errors)

เมื่อตรวจสอบพบความคลาดเคลื่อนมีระบบแฝงอยู่ต้อง
ปรับแก้ก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ด้วยสมการต่อไปนี้:

$$x_c = x_{obs} + C_s$$

x_c = ค่าสังเกตที่แก้ค่าความคลาดเคลื่อนมีระบบ

x_{obs} = ค่าสังเกตที่ได้จากการวัด

C_s = ค่าแก้ความคลาดเคลื่อนมีระบบ

Accidental Errors

ความคลาดเคลื่อนบังเอิญ (Accidental errors):

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับการวัดที่มีขนาดเล็กมาก มีลักษณะและทิศทางของความคลาดเคลื่อนไม่แน่นอน มีได้ทั้งค่าบวกและลบ ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของการเกิดได้ จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ความคลาดเคลื่อนสุ่ม” (Random errors)

Note: สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอทุกครั้งในการวัดก็คือ ผู้ทำการวัดจะต้องกำจัดความผิดพลาด ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ และความคลาดเคลื่อนมีระบบออกจากข้อมูล ให้เหลือเพียงความคลาดเคลื่อนสุ่มเท่านั้น

Mean Value

ค่าเฉลี่ย (Mean value):

คือ ค่าที่ดีที่สุดที่เราใช้เป็นตัวแทนของค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราต้องการวัด ข้อควรระวังในการใช้ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลการวัดคือ ต้องมั่นใจว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนคงที่ ความผิดพลาด (Mistakes) หรือความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ (Gross error) แฝงอยู่ ถ้ามีจะต้องทำการตรวจสอบและแก้ไขก่อนนำข้อมูลนั้นไปใช้

Theory of Measurement

- การวัดทุกครั้งไม่มีความแม่นยำที่แน่นอน
- การวัดทุกครั้งมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ
- ค่าที่ถูกต้องของการวัดไม่สามารถทราบได้แน่นอน
- ค่าความคลาดเคลื่อนที่แน่นอนไม่สามารถทราบได้

Note: สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอทุกครั้งที่ในการวัดก็คือ การวัดจะต้องไม่มีความคลาดเคลื่อนมีระบบ ความผิดพลาด (Mistakes) หรือความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ (Gross errors) แฝงอยู่ ซึ่งโดยมากมักจะเกิดจาก Personal errors

Components of Measurement

- มีการประมาณขนาดของการวัด
- มีหน่วยที่ใช้ในการวัด
- มีการประมาณค่าช่วงของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัด
- มีการบอกถึงระดับความเชื่อมั่นของช่วงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัด

Precision and Accuracy

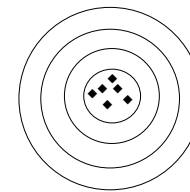
ความแม่นยำ (Precision):

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความประณีตและความละเอียดในการวัด ตรวจสอบจากการวัดปริมาณหนึ่งหลายๆ ครั้งแล้วมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย แสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำสูง การกระจายตัวของค่าสังเกตน้อยเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย

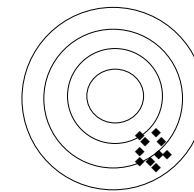
ความถูกต้อง (Accuracy):

คือ ค่าที่บอกถึงความถูกต้องของค่าที่วัดได้ว่าใกล้เคียงค่าจริงเพียงใด

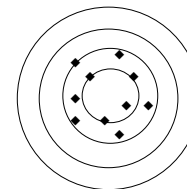
Note: ค่า Precision และ Accuracy นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน การวัดที่มีความแม่นยำสูงอาจไม่มีความถูกต้องเลยก็ได้ และการวัดที่ไม่แม่นยำก็อาจมีระดับความถูกต้องสูงก็ได้



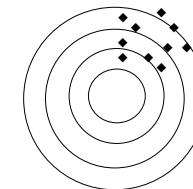
High precision
High accuracy



High precision
Low accuracy



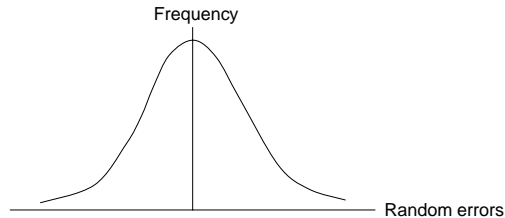
Low precision
High accuracy



Low precision
Low accuracy

Statistical Characteristics of Random Error

ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ($v_i = \hat{x} - x_i$) จะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีคุณลักษณะดังนี้



- การเกิดความคลาดเคลื่อนขนาดเล็กจะมากกว่าขนาดใหญ่มาก
- ไม่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่มาๆ
- ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นไปได้ทั้งทางบวกและลบ

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงแบบปกติ คือ

■ ค่าเฉลี่ย (Mean) $\hat{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$

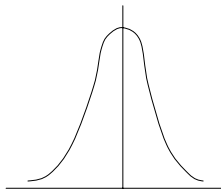
■ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x} - x_i)^2}{n-1}}$$

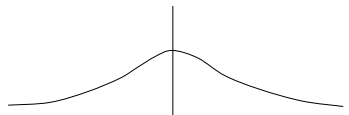
■ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard deviation of mean)

$$\sigma_{\hat{x}} = \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย การกระจายตัวน้อย ความแม่นยำสูง ข้อมูลเกาะกลุ่มกันมาก



- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก การกระจายตัวมาก ความแม่นยำต่ำ ข้อมูลไม่เกาะกลุ่มกัน



การหาค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นกับจำนวนการวัดที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

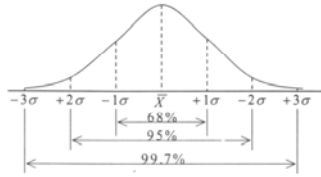
$$E_p = C_p \sigma_x$$

E_p = ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เป็นไปได้ที่อัตราส่วนร้อยละ p ของการวัด 1 ครั้ง

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ใต้กราฟของการแจกแจงปกติที่อัตราส่วนร้อยละ p

σ_x = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงปกติ

ค่าอัตราส่วนร้อยละ p สามารถใช้ในการบอกถึงระดับความเชื่อมั่น (Confidence level) ของการวัดนั้นๆ ที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น



- ระดับความเชื่อมั่น 50%: $p(-0.6745\sigma \leq \varepsilon \leq +0.6745\sigma) = 50\%$
- ระดับความเชื่อมั่น 68%: $p(-\sigma \leq \varepsilon \leq +\sigma) = 68\%$
- ระดับความเชื่อมั่น 90%: $p(-1.6449\sigma \leq \varepsilon \leq +1.6449\sigma) = 90\%$
- ระดับความเชื่อมั่น 95%: $p(-1.9599\sigma \leq \varepsilon \leq +1.9599\sigma) = 95\%$
- ระดับความเชื่อมั่น 99.5%: $p(-3\sigma \leq \varepsilon \leq +3\sigma) = 99.5\%$

การพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ (Gross error) ในทางปฏิบัติจะพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนที่เกินช่วง $\pm 3\sigma$

Distance Measurement

Surames Piriawat, Ph.D.

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

Accuracy of Distance Measurement

$$Accuracy = \frac{Forward\ distance - Backward\ distance}{Mean\ distance}$$

- ค่าความถูกต้องบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือในการวัดว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

Distance Measurement Methods

- o การนับก้าว (Pacing)
- o มาตรวัดระยะ Odometer
- o วิธีสเตเดียม (Stadia)
- o วิธีใช้แท่งวัดระยะ (Subtense bar)
- o วิธีวัดด้วยเทปวัดระยะ (Taping)
- o วิธีวัดด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic distance measurement, EDM)

1. การนับก้าว (Pacing)

- o การนับก้าว (Pacing) เป็นการหาความยาวก้าวหรือความเร็วของผู้เดิน
- o ให้ความถูกต้องค่อนข้างต่ำ ประมาณ 1:50 ถึง 1:100
- o เหมาะสมกับงานตรวจสอบระยะเบื้องต้น หรือการสำรวจสังเขป (Reconnaissance survey)

2. มาตรวัดระยะโอโดมิเตอร์ (Odometer)

- o ระยะที่วัดได้เป็นระยะตามพื้นผิว ไม่ใช่ระยะราบ
- o ให้ความถูกต้องอยู่ในช่วง 1:100 ถึง 1:200
- o เหมาะกับพื้นที่ราบเรียบ ถ้าพื้นขรุขระความคลาดเคลื่อนจะสูง

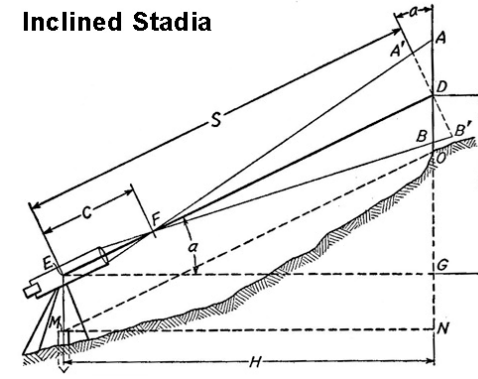
Odometer



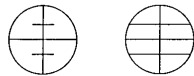
3. วิธีสเตเดียม (Stadia)

- o เป็นการวัดระยะราบและระยะตั้งระหว่างจุดสองจุดโดยใช้กล้องวัดมุมหรือกล้องระดับ และไม้ระดับ (Staff) และหลักการของเรขาคณิต
- o วิธี Stadia ให้ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1:250 ถึง 1:1,000

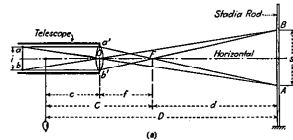
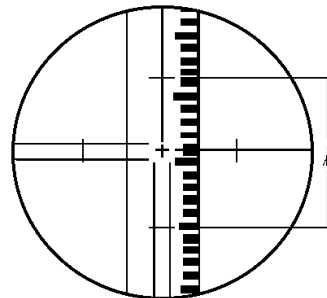
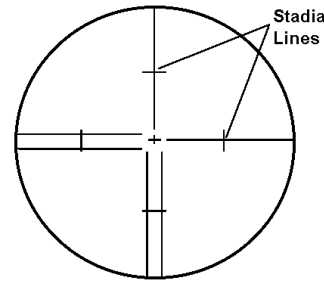
Inclined Stadia



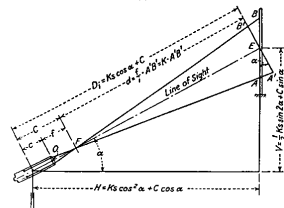
Stadia



Two styles of stadia hairs.



(a)



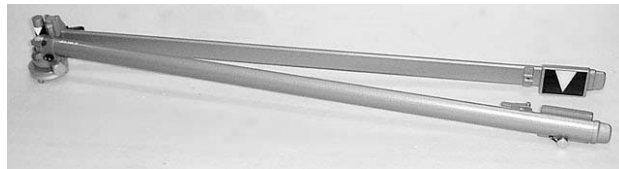
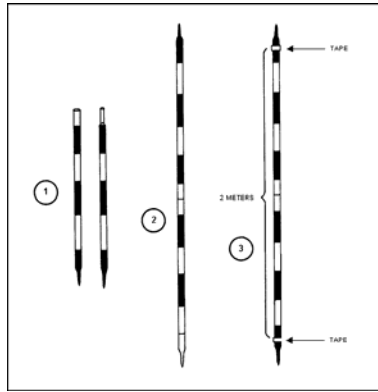
(b)

(a) Horizontal stadia sight. (b) Inclined stadia sight.

4. วิธีใช้แท่งวัดระยะ (Subtense bar)

- o Subtense bar คือ แท่งวัดระยะที่ทราบความยาวแน่นอน โดยทั่วไปมีความยาว 2 เมตร
- o เป็นการวัดระยะทางอ้อมด้วยการวัดมุมที่รองรับความยาวของแท่งวัดระยะ
- o ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1:1,000 ถึง 1:5,000

Subtense bar

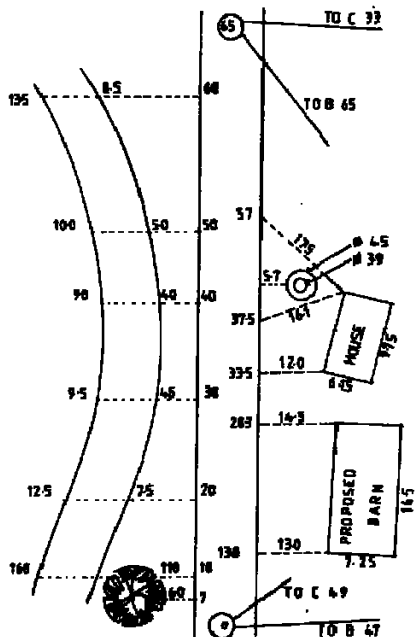


5. การวัดระยะด้วยโซ่ (Chain)

- o เป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นต้นศตวรรษที่ 17 เรียกว่า "Gunter's chain" ยาว 66 ฟุต ประกอบด้วยข้อโซ่ 100 ข้อ ความยาวข้อละ 7.92 นิ้ว นิยมใช้ในงานรังวัดที่ดินสำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา



Chain surveying



Courtesy, Donald Ebbutt

6. การวัดระยะด้วยเทป (Taping)

- o ความถูกต้องของการใช้เทปวัดระยะโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1:3,000 ถึง 1:5,000 สำหรับกรณีที่ต้องการความถูกต้องสูง จะอยู่ในช่วง 1:10,000 ถึง 1:30,000



7. เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic distance meter, EDM)

o EDM แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Electro-optical: ใช้คลื่นแสง (Light waves) ในการวัดระยะทาง
2. Electromagnetic: ใช้คลื่น Microwave ในการวัดระยะทาง

o ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm(1\text{ mm} + 2\text{ ppm}) - \pm(5\text{ mm} + 5\text{ ppm})$

o ppm (Parts per million) จำนวนส่วนต่อล้านส่วน หรือทุกๆ 1 กิโลเมตร จะคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเท่ากับตัวเลขของ ppm

o ตัวอย่าง $\pm(3\text{ mm} + 3\text{ ppm})$ หมายถึง หากวัดระยะ 2 กิโลเมตร จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเท่ากับ $3 + (3 \times 2) = 9\text{ mm}$.

EDM



Types of Tape

o Steel tapes or surveyor's and engineering tapes: ทำด้วยเหล็กมีความกว้าง 1/4 – 3/8 นิ้ว ความยาว 30, 60, 100 และ 150 เมตร

o Invar tapes: ส่วนผสมระหว่างเหล็ก 65% และนิกเกิล 35%

o Lovar tapes

o Woven tapes: มีความกว้าง 5/8 นิ้ว ทำด้วยลวดทองแดงหุ้มด้วยลวดลวดคุณภาพสูง แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง

o Fiberglass tapes: ปัจจุบันนิยมใช้ เพราะราคาถูก ดูแลรักษาง่าย

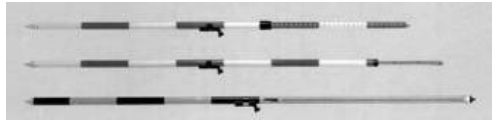
Distance Measurement by Taping

Required equipments

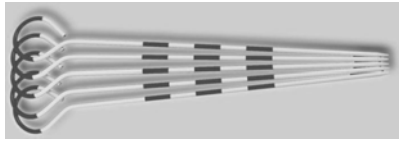
o เทปวัดระยะ: โดยทั่วไปใช้เทปไฟเบอร์กลาส ขนาดความยาว 30 เมตร โดยมีการแบ่งขีดทุกๆ 1 เมตร เทปที่ใช้ในงานสำรวจแบ่งได้ 3 ชนิด

1. Fully graduated tape: เทปที่มีการแบ่งขีดถึงมิลลิเมตรตลอดความยาวเทป
2. Subtracting tape: เทปที่มีการแบ่งขีดถึงมิลลิเมตรเฉพาะเมตรแรกและเมตรสุดท้ายของเทป
3. Adding tape: เทปที่มีช่วงขยายอีก 1 เมตร จากขีด 0 และมีการแบ่งขีดถึงมิลลิเมตรส่วนที่ขยายออกไป

- o Range pole: มีลักษณะเป็นแท่งโลหะน้ำหนักเบาความยาวประมาณ 1.20 ถึง 1.50 เมตร ทาสีขาวสลับแดงหรือเหลืองสลับดำ ใช้เป็นหลักเล็งแนวหัวท้ายของการวัดระยะที่มีหลายช่วงให้อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน



- o Taping pins: ทำด้วยโลหะมีลักษณะปลายมนแหลมอีกด้านมีรูปร่างเป็นห่วงสำหรับคล้องเข็มขัดหรือเชือก ความยาวประมาณ 30 ซม. ใช้ในการเล็งแนวของการวัดระยะเต็มช่วงเทประหว่างหลักเล็งโพล

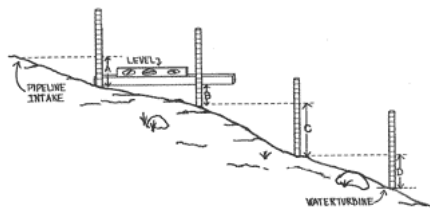


- o Pump bobs: ใช้สำหรับหมายตำแหน่งบนเทปให้ตรงกับจุดบนพื้นดินในแนวตั้ง
- o Tensometer: เครื่องวัดแรงดึงในการดึงเทปให้มีน้ำหนักการดึงตามมาตรฐานของเทปวัดระยะที่ใช้
- o Clinometer: กล้องสำหรับวัดมุมตั้งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายของการวัดระยะ
- o Thermometer: ปกติเทปจะถูกออกแบบให้ใช้งานได้ตามปกติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส การวัดอุณหภูมิระหว่างการวัดทำให้สามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการยืดหดของเนื้อเทปได้

■ การวัดระยะด้วยเทปแบ่งเป็น

- o การวัดระยะราบ
- o การวัดระยะราบบนพื้นลาดเอียง

ใช้เทคนิคการวัดแบ่งช่วง (Breaking tape) ซึ่งจะทำให้การวัดในทิศทางลงเนิน และใช้กล้องวัดความลาดเอียง (Clinometer) ส่องช่วยประมาณระยะที่จะแบ่งช่วง ซึ่งสามารถทำการวัดระยะราบได้โดยทำการวัดระยะเป็นช่วงสั้นๆ แต่ละช่วง



Clinometer



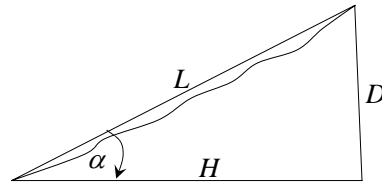
o กรณีภูมิประเทศมีความลาดชันมาก

การวัดแบบแบ่งช่วงอาจใช้เวลานานมาก ให้ทำการวัดระยะตามพื้นเอียงและวัดมุมเอียงด้วยกล้องวัดความลาดเอียงแทนการวัดแบบแบ่งช่วง จากนั้นหาระยะราบ (H) จากสูตร

$$H = L \cos \alpha$$

$$H = \sqrt{L^2 - D^2}$$

$$H = L - \frac{D^2}{2L}$$



ความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะด้วยเทป

- **Instrumental errors:** เทปยาวไม่ได้มาตรฐาน และความยาวเทปไม่ถูกต้อง เป็นต้น
- **Natural errors:** การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการวัด และการตักท้องข้าง เป็นต้น
- **Personal errors:** วางเทปไม่อยู่ในแนวราบ การออกแรงดึงไม่สม่ำเสมอ การเล็งแนวเทป การดึงเทปไม่ตรง การทิ้งดึง การหมายหมุด และการอ่าน เป็นต้น

การตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนมีระบบของการวัดระยะด้วยเทป

■ ความยาวเทปไม่ได้มาตรฐาน:

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเทปมีความยาวไม่ได้มาตรฐานตามตัวเลขที่ระบุความยาวไว้ อันเนื่องมาจากการแบ่งขีดไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด

$$C_p = \frac{L_s}{L} = \text{Proportional correction}$$

$$L_c = C_p L_{obs}$$

■ ความยาวเทปไม่ถูกต้อง:

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการชำรุดของเทป เช่น เทปขาดที่ปลาย ไม่มีขีด 0 (ศูนย์) เป็นต้น การวัดจึงต้องเทปส่วนที่เหลือเท่านั้น

$$C_i = \left(\frac{L_i - L_f}{L_f} \right) L_{obs}$$

$$L_c = L_{obs} + C_i$$

■ อุณหภูมิไม่ได้มาตรฐาน:

เมื่อนำเทปไปใช้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิมาตรฐาน (ปกติอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส หรือขึ้นกับชนิดของเทป) เมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า เทปจะยืด หรือหดถ้าใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า

$$C_t = k(T_{obs} - T_0)L_{obs}$$

$$L_c = L_{obs} + C_t$$

■ แรงดึงไม่ได้มาตรฐาน:

การดึงเทปแรงหรือค้อยเกินไปล้วนมีผลต่อการยืดและหดตัวของเนื้อเทปทั้งสิ้น การดึงเทปจึงควรดึงให้ได้แรงดึงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยใช้เครื่องช่วยคือ Tensometer

$$C_p = (P_{obs} - P_0) \frac{L_{obs}}{AE}$$

$$L_c = L_{obs} + C_p$$

การตกท้องช้าง (Sag):

$$C_s = -\frac{w^2 L_s^3}{24 P_{obs}^2}$$

$$C_s = -\frac{W^2 L_s}{24 P_{obs}^2}$$

$$L_c = L_{obs} + C_s$$

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในการวัดระยะด้วยเทป

- การวัดอุณหภูมิไม่ถูกต้อง
- ดึงเทปไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด
- แรงลมพัดทำให้ลูกดิ่งเคลื่อน
- ปัก Pins ไม่ตรงตำแหน่งของการทึงดิ่ง
- ผู้วัดถือดิ่งไม่นิ่ง
- การประมาณค่าที่ได้จากการอ่านเทปหลักสุดท้าย
- การเล็งแนวของการวัดระยะ

ตารางสรุปประเภทและชนิดของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้เทปวัดระยะ

สาเหตุ	ประเภท	ชนิด
ความยาวเทป	I	S
อุณหภูมิ	N	S or R
แรงดึง	P	S or R
ตกท้องช้าง	N, P	S
เล็งแนว	P	S
เทปไม่ไต่ระดับ	P	S
การทึงดิ่ง	P	R
การหมายจุด	P	R
การอ่านเทป	P	R

การใช้เทปในงานรังวัด

- การวัดมุม
- การวางมุมฉาก
- การลากเส้นตั้งฉาก
- การใช้เทปวางแนวเส้นตรงผ่านสิ่งกีดขวาง

การรังวัดแผนที่ด้วยเทป

- สร้าง Base line network
- ใช้หลักการของการวัดระยะตั้งฉาก (Offsetting) จากเส้นฐานด้วยเทคนิคการวัดมุม การวางมุมฉาก และการลากเส้นตั้งฉาก หรืออาจใช้อุปกรณ์เล็งมุมฉาก (Optical square)
- เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก



Leveling

Surames Piriawat, Ph.D.

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

Leveling

การระดับ (Leveling)

กรรมวิธีการวัดระยะตั้งระหว่างจุดบนพื้นผิวที่ต้องการและพื้นผิวอ้างอิงที่เป็นพื้นฐานทางระดับ (Datum) ระยะตั้งนี้เรียกว่า ค่าระดับ (Elevation) พื้นฐานอ้างอิงที่ใช้ คือ พื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level, MSL) โดยกำหนดให้มีค่าระดับเท่ากับ 0 เมตร

วัตถุประสงค์ของงานระดับ

การหาค่าระดับให้กับตำแหน่งต่างๆ ว่ามีความสูงเท่าใดเทียบกับผิวอ้างอิง (Reference surface, Datum)

ค่าต่างระดับ (Elevation difference, Δe)

การหาค่าระดับของจุดใดๆ บนผิวโลกจะวัดเทียบกับจุดอ้างอิงที่ทราบค่าระดับด้วยการวัดค่าระยะตั้งเทียบกับจุดอ้างอิงนั้น

The technical terms

- o Vertical line: แนวเส้นที่อยู่ในแนวแรงดึงดูดของโลกเทียบได้กับแนวของสายลูกตั้ง
- o Level surface: พื้นผิวที่มีค่าระดับเท่ากันและตั้งฉากกับแนวตั้งหรือแรงดึงดูดของโลกทุกจุดซึ่งจะมีลักษณะเป็นลูกทรงกลมโดยประมาณ
- o Level line: เส้นที่อยู่บนพื้นผิวระดับ ดังนั้นเส้นระดับจึงเป็นเส้นโค้งขนานไปตลอดพื้นผิวระดับ (Level surface)
- o Horizontal plane: ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแรงดึงดูดของโลกหรือแนวตั้ง
- o Horizontal line: แนวเส้นที่อยู่บนระนาบราบและตั้งฉากกับแนวตั้ง
- o Vertical datum: พื้นผิวระดับซึ่งใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงทางความสูงหรือค่าระดับของจุดต่างๆ โดยทั่วไปใช้พื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level, MSL)
- o Elevation: ค่าระยะตั้งจากพื้นผิวระดับอ้างอิงถึงจุดที่ต้องการทราบค่าระดับ
- o Elevation difference: ค่าระยะตั้งระหว่างพื้นผิวระดับสองพื้นผิว

วิธีการหาค่าระดับความสูง

การหาค่าระดับของจุดใดๆ ใช้วิธีการหาค่าต่างระดับของจุดนั้นเทียบกับจุดที่ทราบค่าระดับอยู่แล้วที่เรียกว่า หมุดระดับ (Bench mark, BM) ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้:

- o การวัดด้วยเทป (Taping)
- o การวัดด้วยกล้องวัดระดับ (Differential leveling)
- o การวัดแบบตรีโกณมิติ (Trigonometric leveling)
- o การวัดด้วยเครื่องวัดความกดต้นของอากาศ (Aneroid barometer)

Leveling Instruments

- o Tripod
- o Leveling telescope
- o Staff
- o Foot plate



กล้องระดับ:

เครื่องมือที่ใช้ในการอ่านค่าความสูงของแนวเล็งกล้องจากไม้ระดับเหนือพื้นผิวที่ไม้ระดับตั้งอยู่ เมื่อกล้องระดับติดตั้งอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน แกนตั้งกล้องจะอยู่ในแนวตั้งและแนวเล็งจะอยู่ในแนวระดับ

The Components of Leveling Telescope

o Telescope:

Important components: *eyepiece lens, cross hair, focusing lens, focusing knob, objective lens*

o Circular bubble

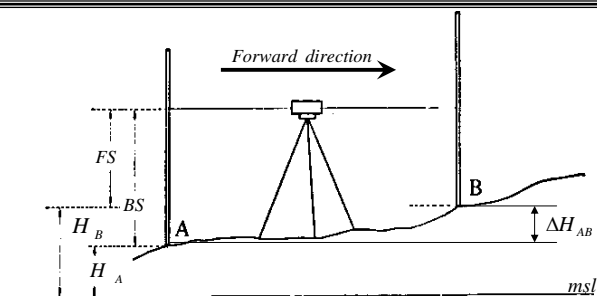
o Tribach



Telescope



การหาค่าระดับความสูงด้วยกล้องระดับ



- o คำนวณค่าความสูงของกล้องเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง: $HI = H_A + BS$
- o คำนวณค่าระดับของจุด B: $H_B = HI - FS$
- o ค่าต่างระดับจาก A ไป B: $\Delta H_{AB} = BS - FS$
- o ค่าระดับของจุด B: $H_B = H_A + \Delta H_{AB}$

H_A = ค่าระดับของจุด A เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level, msl)

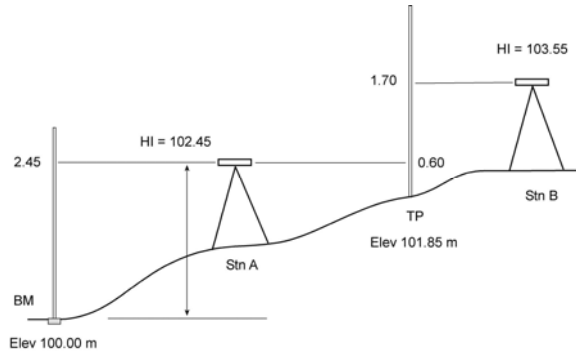
BS (Back-sight) = ค่าที่อ่านได้จากไม้ระดับเมื่อส่องมาทางด้านหลัง

FS (Fore-sight) = ค่าที่อ่านได้จากไม้ระดับเมื่อส่องไปทางด้านหน้า

การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ:

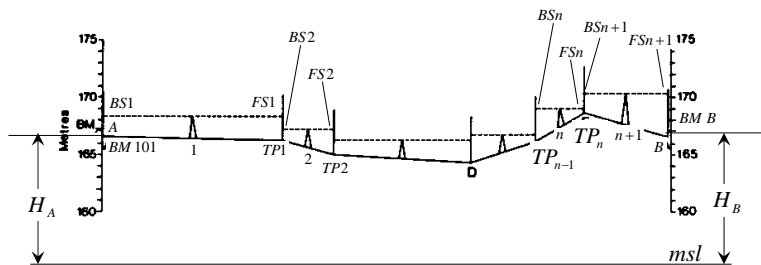
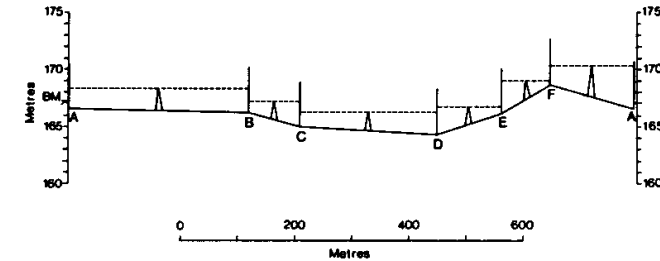
การถ่ายค่าระดับจากหมุดระดับที่ทราบค่าระดับซึ่งเรียกว่า "Bench mark" (BM) ไปยังหมุดระดับที่ต้องการทราบค่า ซึ่งจะถูกใช้เป็นหมุดระดับอ้างอิงในการดำเนินงานต่างๆ ในบริเวณนั้น ด้วยการวัดและคำนวณค่าต่างระดับระหว่างหมุดทั้งสอง



การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ (Differential Leveling)

การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ:

การถ่ายค่าระดับจากหมุดระดับที่ทราบค่าระดับซึ่งเรียกว่า "Bench mark" (BM) ไปยังหมุดระดับที่ต้องการทราบค่า ซึ่งจะถูกใช้เป็นหมุดระดับอ้างอิงในการดำเนินงานต่างๆ ในบริเวณนั้น ด้วยการวัดและคำนวณค่าต่างระดับระหว่างหมุดทั้งสอง



- o Turning point (TP): จุดพักระดับ หรือจุดถ่ายระดับ
- o Vertical control point: หมุดหลักฐานทางดิ่งที่ทราบค่าระดับ ในที่นี้คือหมุด BM 101
- o BM B คือ หมุดระดับที่เราต้องการทราบค่าระดับ

หลักการคำนวณ:

- o ค่าต่างระดับของการตั้งกล้องแต่ละครั้ง: $\Delta H_i = BS_i - FS_i$
- o ค่าต่างระดับจาก BM 101 ไปยัง BM B: $\Delta H_{BM101-BM B} = \sum BS_{BM101-BM B} - \sum FS_{BM101-BM B}$
- o ค่าระดับของหมุด BM B: $H_{BM B} = H_{BM101} + \Delta H_{BM101-BM B}$

การตรวจสอบความถูกต้อง

การตรวจสอบความถูกต้อง:

การตรวจสอบความถูกต้องงานระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับสามารถทำได้โดยการเดินระดับย้อนกลับจากหมุด BM B มายังหมุด BM101 อีกครั้ง ซึ่งจะได้ว่า

$$\Delta H_{BM B-BM101} = \sum BS_{BM B-BM101} - \sum FS_{BM B-BM101}$$

- o หากไม่มีความคลาดเคลื่อนใดๆ ในการเดินระดับไปและกลับจะได้ค่าความแตกต่างของค่าต่างระดับที่เยวไปและที่ยวกลับควรเท่ากับศูนย์

$$\Delta H_{BM101-BM B} - \Delta H_{BM B-BM101} = 0$$

ข้อกำหนดชั้นงานสำหรับงานระดับ

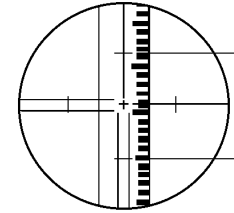
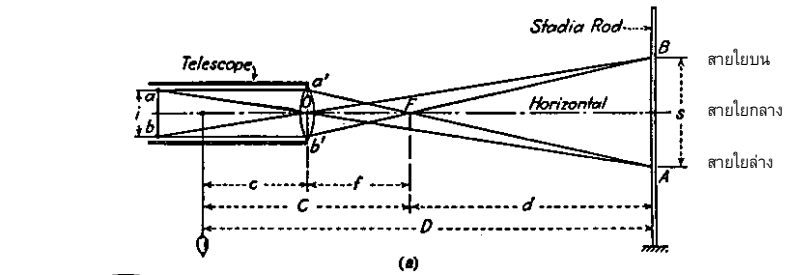
Federal Geodetic Control Committee or FGCC (1984):

แบ่งชั้นงานสำหรับงานระดับออกเป็น 3 ชั้นงาน ตามระดับความถูกต้องของการใช้งานประเภทต่างๆ

- o ตัวอย่าง: ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้นได้สำหรับมาตรฐานงานชั้น 3 เท่ากับ $\pm 12\sqrt{K} \text{ mm.}$

โดยที่ K คือ ระยะทางเฉลี่ยของการเดินระดับไปและกลับระหว่างจุดที่ต้องการหาความต่างระดับ, km.

การอ่านไม้ระดับและการจดบันทึกข้อมูลสนาม



$$D = Ks + C$$

ในการผลิตกล้อง จะปรับให้กล้องมีค่า $K=100$ และ $C=0$ จะได้

$$D = 100s$$

ความคลาดเคลื่อนและความผิดพลาดในงานระดับ

ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ

- o แนวเล็งไม่อยู่ในแนวราบเมื่อกล้องได้ระดับ หรือแนวเล็งเอียง เรียกว่า "Collimation error" ตรวจแก้ได้ด้วยการวัดสอบกล้องด้วยวิธี Two-peg test
- o สายใยราบไม่อยู่ในแนวราบหรือเอียง
- o ไม้ระดับมีความยาวไม่ถูกต้องหรือไม่ได้มาตรฐาน

- o การขันสกรูยึดกล้องไม่แน่นพอ

ความคลาดเคลื่อนจากบุคคล

- o การเกิดภาพเหลื่อม (Parallax)
- o การปรับระดับกล้องไม่ได้ระดับ
- o การอ่านค่าไม้ระดับขณะที่มีภาพเหลื่อม หรือเกิดไอแดด หมอกควัน และการสั่นสะเทือน

ความคลาดเคลื่อนจากธรรมชาติ

- o ความโค้งของผิวโลก (Curvature of the Earth) และการหักเหของแสง (Reflection)
- o การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- o แรงแลม
- o การตั้งกล้องบนพื้นดินอ่อน

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในงานระดับ

- o การวางไม้ระดับผิดตำแหน่ง
- o การอ่านค่าไม้ระดับผิดพลาด การอ่านหลักตัวเลขผิด
- o การจดบันทึกข้อมูลผิดพลาด
- o การจับขากล้องขณะทำงาน

การรังวัดระดับจุดรายละเอียดระหว่างสถานีหลัก

- o การหาค่าระดับของตำแหน่งต่างๆ ที่สำคัญซึ่งอยู่ระหว่างการเดินระดับระหว่างจุดสองจุด เช่น ค่าระดับของประตูระบายน้ำ หรือตำแหน่งของจุดที่จะติดตั้งมาตรวัดน้ำ เป็นต้น
- o ค่าระดับของจุดที่แทรกเข้ามานี้ เรียกว่า Intermediate sights (IS)
- o โดยทั่วไปการวัดค่าระดับ IS นี้ จะอ่านค่าไม้ระดับสายไยกลางเพียงค่าเดียว และจะไม่ถูกนำมาคำนวณเพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนบรรจบ (Miss-closure error) ของการเดินระดับ

การประยุกต์ใช้งานระดับ

- o การระดับเพื่อสร้างหมุดหลักฐานทางตั้ง (Vertical control bench mark)
- o การระดับเพื่องานวิศวกรรมโยธา: Cross section and Profile

การคำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนงานระดับ

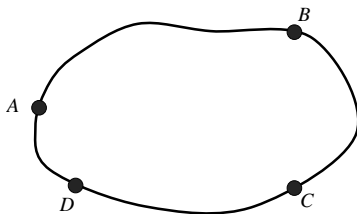
- o ตัวอย่าง: วงรอบระดับวงหนึ่งประกอบด้วยตอนระดับ 4 ตอน ซึ่งได้รังวัดค่าต่างระดับในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตั้งแสดงในรูปด้านล่าง หลังจากได้ตรวจสอบตามเกณฑ์งานชั้นที่ 3 ($\pm 12\sqrt{K}$) มีข้อมูลสรุปของแต่ละช่วงดังนี้

$$D_{AB} = 1.6 \text{ km.}; \Delta H_{AB} = 3.201 \text{ m.}$$

$$D_{BC} = 1.1 \text{ km.}; \Delta H_{BC} = 1.634 \text{ m.}$$

$$D_{CD} = 1.3 \text{ km.}; \Delta H_{CD} = -3.582 \text{ m.}$$

$$D_{DA} = 0.8 \text{ km.}; \Delta H_{DA} = -1.190 \text{ m.}$$



- o จากตัวเลขค่าต่างระดับระหว่างจุดต่างๆ ถ้าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด ผลรวมของค่าต่างระดับจะต้องเท่ากับ ศูนย์
- o แต่จากข้อมูลพบว่า เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $3.201 + 1.634 - 3.582 - 1.190 = 0.063$ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้ แปรผันตามระยะทางจากจุด A ดังนั้น ค่าปรับแก้จะแปรผันตามระยะทางด้วยเช่นกัน
- o ระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการเดินระดับ เท่ากับ $1.6 + 1.1 + 1.3 + 0.8 = 4.8$ กิโลเมตร
- o ดังนั้น จะได้ค่าปรับแก้ต่อระยะทาง เท่ากับ $-0.063/4.8 = -0.013$ เมตรต่อกิโลเมตร

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

Reciprocal Leveling

- o การทำระดับบางกรณีไม่สามารถรักษาระยะไม้ระดับหน้าและหลังให้เท่ากันได้เนื่องจากข้อจำกัดของภูมิประเทศ เช่น การทำระดับข้ามลำน้ำ เป็นต้น
- o ผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนแนวเล็งเอียง ความโค้งผิวโลก การหักเหของแสงจะทำให้การอ่านค่าไม้ระดับผิดไปได้
- o Reciprocal leveling คือ การทำระดับด้วยการใช้กล้องระดับ 2 ชุด ทำการอ่านค่าไม้ระดับที่อยู่ทั้งฝั่งไกลและใกล้ในเวลาพร้อมกัน

- o จากรูปในแผ่นใส อ่านค่าจากกล้องระดับที่ตั้งใกล้จุด A จะได้

$$\Delta H_{AB} = x_1 - (x_2 - (c - r))$$

- o ขณะเดียวกัน อ่านค่าจากกล้องระดับที่ตั้งใกล้จุด B ได้

$$\Delta H_{AB} = (y_2 - (c - r)) - y_1$$

- o ดังนั้น สามารถหาค่าต่างระดับระหว่างจุด A และ B ได้ดังนี้

$$2\Delta H_{AB} = (x_2 - x_1) + (y_1 - y_2)$$

$$\Delta H_{AB} = \frac{1}{2}[(x_2 - x_1) + (y_1 - y_2)]$$

Angle, Bearing, and Azimuth

Dr. Surames Piriyaawat

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

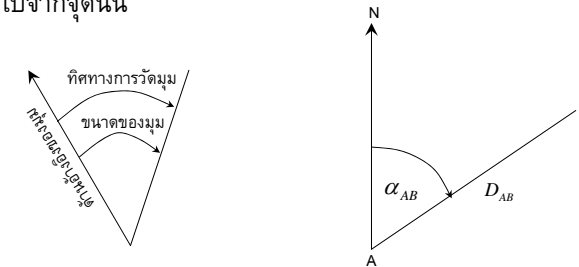
การวัดมุม

การวัดมุมที่จุดใดจุดหนึ่ง คือ

การวัดขนาดของมุมโดยมีแขนของมุมด้านหนึ่งเป็นด้านอ้างอิงและทำการวัดมุมไปยังแขนของมุมอีกด้านหนึ่ง

การระบุตำแหน่งของจุดใด ๆ คือ

การระบุตำแหน่งของจุดที่ต้องการด้วยการบอกมุมเทียบกับทิศทางหนึ่งพร้อมระยะทางที่อยู่ห่างออกไปจากจุดนั้น



ประเภทของการวัดมุม

การวัดมุมในงานสำรวจจะมีการวัดมุมบประมาณสองระนาบ คือ

- มุมบประมาณราบ: มุมราบ (Horizontal angle) ใช้อ้างอิงถึงตำแหน่งของจุดบนระนาบราบ
- มุมบประมาณตั้ง: มุมตั้ง (Vertical angle) ใช้อ้างอิงถึงตำแหน่งของจุดในแนวตั้งว่าอยู่สูงหรือต่ำกว่าเป็นมุมเท่าใด

การวัดมุมรวม

การวัดมุมรวมในงานสำรวจมี 3 ประเภท คือ

- การวัดมุมภายในหรือมุมภายนอก (Interior or exterior angles): การวัดมุมภายใน หรือมุมภายนอกของรูปปิด (Closed polygon)
- การวัดมุมเวียนขวาหรือเวียนซ้าย (Angle to the right or to the left): การวัดมุมตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกา ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ ทิศทางการกวาดมุมไปข้างหน้า
- การวัดมุมเบี่ยงเบน (Deflection angle): การวัดขนาดมุมของเส้นข้างหน้าที่เบนออกไปจากแนวเดิมหรือแขนของมุมอ้างอิงที่ต่อไปข้างหน้า หากเบี่ยงเบนไปทางขวา จะใช้สัญลักษณ์ R หรือ (+) ต่อท้ายค่ามุม ถ้าเบี่ยงเบนไปทางซ้ายจะใช้สัญลักษณ์ L หรือ (-) ต่อท้ายค่ามุม

การวัดมุมตั้ง

การวัดมุมตั้งในงานสำรวจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการใช้เส้นอ้างอิงในการวัด คือ

■ มุมตั้งบน (Zenith angles):

ค่ามุมบนระนาบตั้งที่วัดอ้างอิงกับเส้นตั้งโดยให้ทิศ 0° อยู่เหนือศีรษะ เป็นการวัดมุมรอบจุด ดังนั้น 90° จะอยู่ในแนวราบ

■ มุมตั้ง (Vertical angle):

ค่ามุมบนระนาบตั้งที่วัดเทียบกับแนวราบเป็นทิศ 0° ถ้าค่ามุมกวาดขึ้นเหนือแนวราบ ค่ามุมจะเป็นบวก เรียกว่า มุมเงย ถ้าค่ามุมกวาดลงต่ำกว่าแนวราบค่ามุมเป็นลบ เรียกว่า มุมก้ม

Direction of Line

การแสดงทิศของเส้นบนแผนที่หรือทิศที่ใช้ในการนำหน (Navigation) จะมีแนวเส้นอ้างอิงที่เป็นมาตรฐาน เรียกว่า เส้นเมริเดียน (Meridian) ซึ่งได้แก่เส้นวงกลมใหญ่ (Great circle) ที่ลากผ่านแนวเหนือใต้ของโลก แบ่งได้ 4 ชนิด คือ

■ เส้นเมริเดียนดาราศาสตร์ (Astronomic meridian):

เส้นเมริเดียนที่ได้จากรูปร่างและค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เส้นเมริเดียนจีโอเดติก (Geodetic meridian)

■ เส้นเมริเดียนแม่เหล็ก (Magnetic meridian):

เส้นเมริเดียนที่ได้จากสนามแม่เหล็กเหนือใต้ของโลก

■ เส้นเมริเดียนสมมติ (Assumed meridian):

การสมมติเส้นแนวเส้นเมริเดียนขึ้นมาใช้ซึ่งมีข้อจำกัดคือข้อมูลต่างๆ ในระบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลในระบบอ้างอิงอื่นได้โดยตรง

■ เส้นเมริเดียนกริด (Grid meridian):

เส้นเมริเดียนในระบบพิกัดบนระนาบ เป็นการฉายเส้นเมริเดียนบนผิวโลกลงสู่ระนาบ ในกรณีนี้เส้นที่เป็นเส้นเมริเดียนกลางจะเป็นแนวเดียวกันกับเส้นเมริเดียนจริง (True meridian) นอกนั้นจะไม่ใช้เส้นเดียวกัน

ระบบการบอกทิศ

ระบบการบอกทิศของเส้นเทียบกับเมริเดียน สามารถบอกได้ 2 วิธี คือ

■ ระบบแบริงส์ (Bearings):

การบอกทิศของเส้นจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายด้วยค่ามุมที่วัดเทียบกับเส้นเมริเดียนที่ผ่านจุดเริ่มต้นนั้นไปทางทิศตะวันออกหรือตะวันตก เมื่อจุดปลายอยู่ทางทิศเหนือ ค่ามุมจะอ้างอิงกับทิศเหนือ และเมื่อจุดปลายอยู่ทางทิศใต้ ค่ามุมจะอ้างอิงกับทิศใต้ โดยบอกทิศอ้างอิงเหนือหรือใต้ตามด้วยค่ามุมและทิศของจุดปลายนั้นทางตะวันออกหรือตะวันตก

Note: การบอกค่ามุมในระบบแบริงส์ค่ามุมจะมีค่าไม่เกิน 90° และมีชื่อเรียกชนิดของทิศแบริงส์ตามชนิดของเส้นเมริเดียนที่ใช้อ้างอิงในการบอกทิศ คือ Geodetic bearings, Magnetic bearings, Assumed bearings และ Grid bearings

▪ ระบบแอสซิเมท (Azimuths):

การบอกทิศของเส้นจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายของเส้นโดยอ้างอิงกับเส้นเมริเดียนด้วยค่ามุมที่วัดตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) รอบจุดเริ่มต้น ปกติค่ามุมแอสซิเมทจะวัดเทียบกับทิศเหนือของเส้นเมริเดียน ชนิดของแอสซิเมทจะเรียกตามชนิดของเส้นเมริเดียนที่ใช้ คือ Geodetic azimuths, Magnetic azimuths, Assumed azimuths และ Grid azimuths

ความสัมพันธ์ทิศไปและกลับของเส้น

▪ การเรียกทิศไปข้างหน้า:

Forward bearings, Forward azimuths

▪ การเรียกทิศทางย้อนกลับ:

Backward bearings, Backward azimuths

ความสัมพันธ์ระหว่างทิศไปและกลับของเส้นในแต่ละระบบ แบ่งเป็น

1. ทิศไปและกลับระบบแบริงส์
2. ทิศไปและกลับระบบแอสซิเมท

ความสัมพันธ์ระหว่างทิศแบริงส์และแอสซิเมท

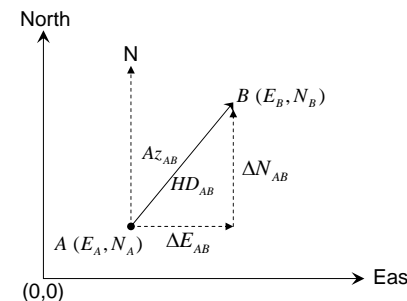
Bearings quadrant	Bearings	Relation	Azimuth	Azimuth quadrant
NE	$N49^\circ E$	=	49°	$0^\circ - 90^\circ$
SE	$S35^\circ E$	$180^\circ - 35^\circ$	145°	$90^\circ - 180^\circ$
SW	$S50^\circ W$	$180^\circ + 50^\circ$	230°	$180^\circ - 270^\circ$
NW	$N20^\circ W$	$360^\circ - 20^\circ$	340°	$270^\circ - 360^\circ$

Azimuth quadrant	Azimuth	Relation	Bearings	Bearings quadrant
$0^\circ - 90^\circ$	49°	$N49^\circ E$	$N49^\circ E$	NE
$90^\circ - 180^\circ$	145°	$S(180^\circ - 145^\circ)E$	$S35^\circ E$	SE
$180^\circ - 270^\circ$	230°	$S(230^\circ - 180^\circ)W$	$S50^\circ W$	SW
$270^\circ - 360^\circ$	340°	$N(360^\circ - 340^\circ)W$	$N20^\circ W$	NW

การคำนวณทิศของเส้นจากค่ามุม

- การคำนวณทิศแบริงส์
- การคำนวณทิศแอสซิเมท

ระบบพิกัดระนาบและการคำนวณค่าพิกัด



$$\Delta E_{AB} = HD_{AB} \sin Az_{AB}$$

$$\Delta N_{AB} = HD_{AB} \cos Az_{AB}$$

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB}$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB}$$

$$HD_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$Az_{AB} = \tan^{-1} \frac{(X_B - X_A)}{(Y_B - Y_A)}$$

Theodolite

Dr. Surames Piriawat

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

การวัดมุมราบ

การวัดมุมราบทำได้ 2 วิธี คือ

■ การวัดมุมราบโดยวิธีวัดแบบสองหน้า (Double Sighting):

การวัดมุมแบบวัดทิศทาง (Direction measurement) 2 ครั้ง ด้วยตำแหน่งกล้องทั้งหน้าซ้ายและหน้าขวา โดยครั้งแรกให้วัดทิศทางแขนของมุมโดยกล้องอยู่ในตำแหน่งหน้าซ้าย จากนั้นวัดทิศทางแขนมุมย้อนกลับด้วยตำแหน่งกล้องหน้าขวาอีกครั้งหนึ่ง การวัดครบหนึ่งรอบทั้งหน้าซ้ายและหน้าขวา เรียกว่า การวัดมุม 1 ชุด

STA	POS	OBJ	HOR RDG	HOR ANG	MEAN HOR ANG
O	L	A	0°00'00"		
	L	B	139°58'11"	139°58'11"	139°58'12"
	R	B	319°58'11"	139°58'14"	
	R	A	179°59'57"		

■ การวัดมุมราบโดยวิธีวัดแบบทบ (Repetition Method):

เป็นการวัดเพื่อให้ได้ค่าความละเอียดสูงกว่าค่าที่อ่านได้จากจานองศาของกล้อง มีขั้นตอนดังนี้

- o ส่องไปยังสถานีหลังหรือสถานีเริ่มต้นด้วยกล้องหน้าซ้าย ตั้งค่าจานองศาเท่ากับศูนย์
- o ส่องไปยังสถานีหน้า อ่านค่าจานองศา นับเป็นทบที่ 1
- o ล็อคจานองศาตามการหมุนของกล้อง ด้วยการเปิดปุ่มล็อคล่าง หมุนกล้องกลับไปส่องสถานีหลัง ซึ่งจะทำให้ค่าจานองศาอยู่ที่เดิม
- o ปลดล็อคจานองศาอิสระ ด้วยการปลดล็อคล่าง ส่องไปยังสถานีหน้า ค่าจานองศาจะอ่านได้เป็นสองเท่าของค่าแรก นับเป็นทบที่ 2 แต่ไม่ต้องจดบันทึกข้อมูล
- o ให้ทำตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนครบ 6 ทบ แล้วจึงทำการบันทึกข้อมูล (ดังแสดงตัวอย่างในตาราง)
- o เปลี่ยนเป็นกล้องหน้าขวา ทำการวัดย้อนกลับ จากสถานีหน้าไปยังสถานีหลัง และทำการบันทึกข้อมูลครั้งเดียวเมื่อครบ 6 ทบ ดังแสดงตัวอย่างในตาราง

STA	POS	OBJ	No	HOR RDG	ARC PASS	HOR ANG	MEAN HOR ANG
O	L	A	0	0°00'00"			
	L	B	1	30°57'05"			
	L	B	6	185°43'35"	185°43'30"	30°57'15"	30°57'13.3"
	R	A	6	0°00'25"	185°43'10"	30°57'11.7"	

■ การวัดมุมราบรอบจุด:

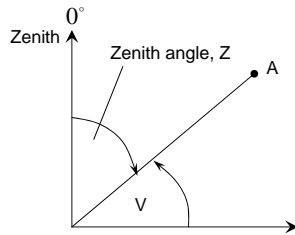
การวัดทิศทางแขนของมุมเป็นวงกลมจากสถานีเริ่มต้นไปยังสถานีต่างๆ และบรรจบสถานีเริ่มต้นอีกครั้ง โดยทำการวัดทั้งสองหน้าของกล้อง

STA	POS	OBJ	HOR RDG	MEAN RDG	ADJ RDG	HOR ANG	REDUCED
O	L	RP	174°29'00"	174°28'46"	174°28'46"		00°00'00"
	L	A	259°58'26"	259°58'06"	259°58'06"	85°29'20"	85°29'20"
	L	B	275°39'41"	275°39'25"	275°39'25"	15°41'19"	101°10'39"
	L	C	86°19'33"	86°19'15"	86°19'15"	170°39'50"	271°50'29"
	L	RP	174°28'45"	174°28'45"	174°28'46"	38°09'31"	
	R	RP	354°28'26"		SUM	360°00'00"	360°00'00"
	R	C	266°18'57"				
	R	B	15°39'09"				
	R	A	79°57'46"				
	R	RP	354°28'33"				

การวัดมุมตั้ง

การวัดมุมตั้ง (Vertical angle measurement, V):

การวัดมุมบนระนาบตั้ง โดยวัดค่ามุมเทียบกับแนวราบ หากแขนของมุมอยู่ในเหนือแนวราบ ค่ามุมจะเป็นบวก เรียกว่า มุมเงย ถ้าแขนของมุมอยู่ในใต้แนวราบ ค่ามุมจะเป็นลบ เรียกว่า มุมก้ม



■ กล้องหน้าซ้าย: $V = 90^\circ - Z$

■ กล้องหน้าขวา: $V = Z - 270^\circ$

การตรวจสอบสภาวะของกล้องวัดมุม

- แกนหลอดระดับจานองศาราบต้องวางตัวอยู่ในระนาบราบที่ตั้งฉากกับแกนตั้ง ดังนั้นเมื่อปรับระดับแล้ว แกนตั้งของกล้องจะอยู่ในแนวตั้ง
- สายใยตั้งต้องอยู่ในแนวตั้ง
- แกนแนวเล็งต้องตั้งฉากกับแกนราบ ดังนั้นเมื่อมีการหมุนกล้องโทรทัศน์รอบแกนราบ แนวเล็งจะกวาดเป็นระนาบผ่านแกนตั้งของกล้อง
- แกนราบต้องตั้งฉากกับแกนตั้ง จะทำให้ระนาบการกวาดของกล้องอยู่ในแนวตั้ง หรือเป็นระนาบตั้ง
- จานองศาตั้งอ่านได้เท่ากับศูนย์ หรือ 90° เมื่อแกนแนวเล็งกล้องอยู่ในแนวราบ

การวัดสอบสภาวะของกล้องวัดมุม

การทดสอบหลอดระดับจานองศา (Plate level test):

เพื่อตรวจสอบว่าแกนหลอดระดับจานองศาราบตั้งฉากกับแกนตั้งหรือไม่

การทดสอบสายใย (Cross hair test):

เพื่อตรวจสอบสายใยตั้งของกล้องว่าอยู่ในแนวตั้ง หรือสายใยราบอยู่ในแนวราบหรือไม่

การทดสอบแนวเล็ง (Horizontal collimation test):

เพื่อตรวจสอบแกนแนวเล็งกล้องว่าตั้งฉากกับแกนราบของกล้องหรือไม่

การทดสอบแกนราบ (Transit axis test):

เพื่อตรวจสอบว่าแกนราบตั้งฉากกับแกนตั้ง หรือแกนราบอยู่ในแนวราบเมื่อกำลังได้ระดับหรือไม่

การทดสอบความคลาดเคลื่อนดัชนี (Index error test):

เพื่อตรวจสอบว่าค่าจานองศาตั้งอ่านได้ศูนย์ หรือ 90° หรือไม่ เมื่อแนวเล็งอยู่ในแนวราบ

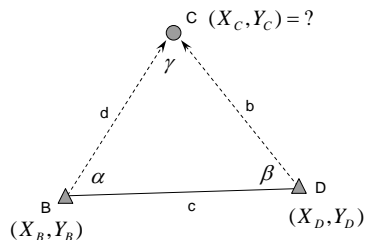
การรังวัดหาตำแหน่งพิกัดและความสูงด้วยวิธีการวัดมุม

1. การเล็งสกัดจาก 2 จุด:

o การเล็งสกัด (Intersection) คือ การรังวัดเพื่อหาตำแหน่งพิกัดของวัตถุที่ไม่สามารถเข้าถึงและอยู่ไกลด้วยวิธีการวัดมุมที่สถานีที่ทราบค่าพิกัดอย่างน้อย 2 สถานี

o โดยทั่วไปมักใช้ในการหาตำแหน่งของจุดที่เห็นเด่นชัดและเห็นได้ไกลเพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบรายละเอียดของแผนที่ และสามารถใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการเล็งสกัดย้อน (Resection)

o การเล็งสกัดสามารถทำได้ต่อเมื่อมีจุดที่ทราบค่าพิกัดสำหรับการตั้งกล้องวัดมุมไปยังจุดที่ต้องการรังวัดอย่างน้อย 2 จุด โดยที่จุดทั้งสองต้องมองเห็นซึ่งกันและกัน

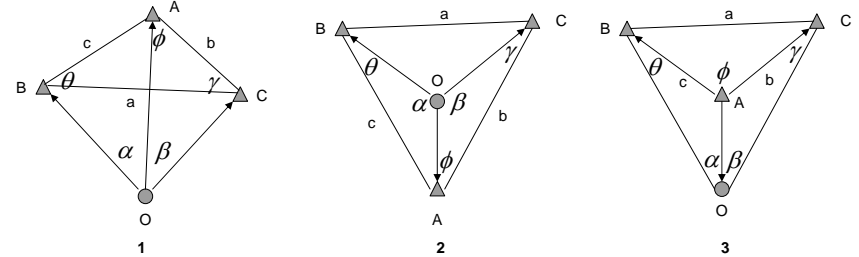


การคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณความยาวเส้นฐาน BD: $c = \sqrt{(X_D - X_B)^2 + (Y_D - Y_B)^2}$
2. คำนวณแอซิมัทของ BD: $Az_{BD} = \tan^{-1}\left(\frac{Y_D - Y_B}{X_D - X_B}\right)$
3. คำนวณค่ามุม $\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$
4. คำนวณระยะ BC หรือ d และระยะ DC หรือ b จากสูตร sine law: $d = \frac{c \sin \beta}{\sin \gamma}$ and $b = \frac{c \sin \alpha}{\sin \gamma}$
5. คำนวณค่าแอซิมัทของเส้น BC และ DC จากเส้นฐาน BD สมมติได้ Az_{BC} และ Az_{DC} ตามลำดับ:
6. คำนวณค่าพิกัดของจุด C โดยใช้ Az_{BC} จากสูตร: $X_C = X_B + d \sin Az_{BC}$
 $Y_C = Y_B + d \cos Az_{BC}$
7. คำนวณตรวจสอบค่าพิกัดของจุด C โดยใช้ Az_{DC} จากสูตร: $X_C = X_D + b \sin Az_{DC}$
 $Y_C = Y_D + b \cos Az_{DC}$

2. การเล็งสกัดย้อนจาก 3 จุด:

o การเล็งสกัดย้อน (Resection) คือ การรังวัดหาตำแหน่งพิกัดของจุดตั้งกล้องจากจุดที่ทราบค่าพิกัดอย่างน้อย 3 จุด ด้วยการวัดมุมเพียงอย่างเดียว โดยการวัดมุมไปยังจุดที่ทราบค่าพิกัดนั้น



วิธีการ คือ หาค่ามุม θ และ γ เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางและทิศทางของ AO และ BO หรือจะเป็น CO เพื่อใช้ในการคำนวณตรวจสอบค่าพิกัด O อีกทางหนึ่ง

ทราบพิกัดของจุด A B และ C: (X_A, Y_A) (X_B, Y_B) (X_C, Y_C)

ต้องการทราบพิกัดของจุด O: (X_O, Y_O)

การคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

1. รูปหลายเหลี่ยม OBAC: จากรูปที่ 1 $R = \theta + \gamma = 360^\circ - (\phi + \alpha + \beta)$
จากรูปที่ 2 $R = \phi - \alpha - \beta$

2. รูปสามเหลี่ยม OAC จาก Law of sine จะได้:

$$AO = \frac{b \sin \gamma}{\sin \beta} = \frac{c \sin \theta}{\sin \alpha} \quad \sin \theta = \frac{b \sin \gamma \sin \alpha}{c \sin \beta}$$

3. จากข้อ 1: $\theta = R - \gamma$

แทนค่าในข้อ 2 ได้ $\sin(R - \gamma) = \frac{b \sin \gamma \sin \alpha}{c \sin \beta} = \sin R \cos \gamma - \cos R \sin \gamma$
หารด้วย $\sin R \sin \gamma$

$$\therefore \cot \gamma = \cot R + \frac{b \sin \alpha}{c \sin \beta \sin R}$$

$$\gamma = \cot^{-1}\left(\cot R + \frac{b \sin \alpha}{c \sin \beta \sin R}\right)$$

4. คำนวณค่า $\theta = R - \gamma$

5. คำนวณระยะ AO จากสมการในข้อ 2 โดยแทนค่า b, γ และ β และตรวจสอบค่าโดยการแทนค่าด้วย c, θ และ α

6. คำนวณค่ามุม $CAO = 180 - (\gamma + \beta)$

และตรวจค่าที่ได้จากสมการ $CAO + BAO = \phi$

7. คำนวณค่าระยะ OC และหรือ OB โดยใช้ Law of sine

8. คำนวณค่าแอซิมัทของเส้น AO ต่อเนื่องไป OC และ CA เพื่อตรวจสอบกับค่าแอซิมัท CA ที่ได้จากการคำนวณจากพิกัดจุด C และ A

9. คำนวณค่าพิกัด O จากจุด A และคำนวณค่าพิกัด C จากจุด A เพื่อตรวจสอบการบรรจบค่าพิกัดของจุด C ซึ่งต้องเท่ากัน

Traverse

Dr. Surames Piriyaawat

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

ประเภทของวงรอบ

วงรอบ (Traverse) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

- วงรอบปิด (Closed traverse)
- วงรอบเปิด (Open traverse)

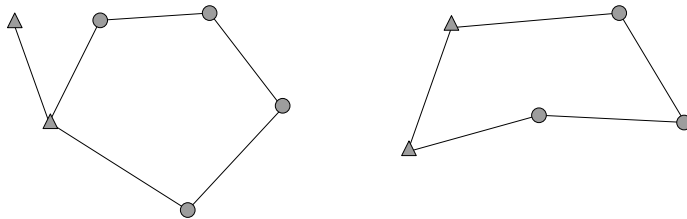
หลักเกณฑ์ในการพิจารณาวงรอบว่าเป็นวงรอบปิดหรือวงรอบเปิด สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี

- หลักเกณฑ์ทางเรขาคณิต (Geometrical properties)
- หลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical properties)

1. หลักเกณฑ์ทางเรขาคณิต (Geometrical properties)

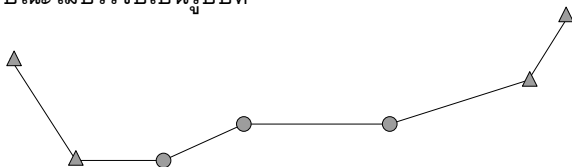
▪ วงรอบปิดทางเรขาคณิต (Geometrical closed traverse):

วงรอบที่มีลักษณะบรรจบเป็นรูปปิด



▪ วงรอบเปิดทางเรขาคณิต (Geometrical open traverse):

วงรอบที่มีลักษณะไม่บรรจบเป็นรูปปิด



2. หลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical properties)

▪ เงื่อนไขสภาวะทางมุม:

- o วงรอบปิด: ผลรวมของมุมภายในวงรอบต้องเท่ากับ $(n-2)180^\circ$
- o วงรอบเปิด: ทิศแอสิมัทที่ได้จากการรังวัดของเส้นบรรจบต้องเท่ากับทิศแอสิมัทที่ทราบค่าของเส้นบรรจบนั้น

▪ เงื่อนไขสภาวะทางระยะทาง:

- o วงรอบปิด: $\sum \Delta X_{obs} = 0$ and $\sum \Delta Y_{obs} = 0$
- o วงรอบเปิด: $\sum \Delta X_{obs} = X_n - X_1$ and $\sum \Delta Y_{obs} = Y_n - Y_1$

■ วงรอบปิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical closed traverse):

วงรอบที่บรรจบเข้ากับมุมที่ทราบค่าพิกัดทั้งจุดเริ่มต้นและจุดปลายของวงรอบสามารถคำนวณตรวจสอบและปรับแก้สภาวะเงื่อนไขได้ทั้งทางมุมและระยะ

■ วงรอบเปิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical open traverse):

วงรอบที่ไม่บรรจบเข้ากับมุมที่ทราบค่าพิกัดทั้งจุดเริ่มต้นและจุดปลายของวงรอบรวมทั้งทิศทางซิมัท หรือบรรจบกับจุดที่ไม่สามารถคำนวณตรวจสอบและปรับแก้สภาวะเงื่อนไขทางมุมและระยะได้ครบ

การวัดมุมวงรอบ

- ปกติค่าจนวนองศาจะเพิ่มขึ้นในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Angle to the right)
- การวัดมุมภายในวงรอบปิดต้องมีทิศทางการเดินวงรอบทวนเข็มนาฬิกา

การเลือกสถานีวงรอบ

- ต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานสถานีวงรอบนั้น
- ต้องจัดทำเอกสารอ้างอิงตำแหน่งมุมทุกมุม เพื่อประโยชน์ในการสืบค้นภายหลัง

ข้อกำหนดงานรังวัดวงรอบ

- มาตรฐาน Federal Geodetic Control Committee (FGCC, 1984)

การคำนวณปรับแก้สภาวะทางมุมของวงรอบ

■ กรณีวงรอบปิด

1. ผลรวมมุมภายในรูปปิด: $(n-2)180^\circ$
2. ผลรวมมุมภายนอกรูปปิด: $(n+2)180^\circ$

■ หลักการ

- ทำการตรวจสอบผลรวมของมุมภายในที่ได้จากการรังวัดเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
- หาผลต่างของค่าทั้งสอง (ค่าคลาดเคลื่อน) และตรวจสอบว่าผลต่างของค่าทั้งสองเกินเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่
- ถ้าอยู่ในเกณฑ์ชั้นงาน จากนั้นเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนนี้กระจายไปตามมุมต่างๆ
- ค่าปรับแก้ค่ามุมต้องไม่ละเอียดไปกว่าค่าความละเอียดของกล้องที่อ่านได้

■ กรณีวงรอบเปิด

- การรังวัดจะเริ่มจากมุมบังคับ (Control point) ที่ทราบค่าพิกัด 2 มุม หรือเรียกว่ามุมคู่
- คำนวณค่าแอสิมัทเริ่มต้นจากมุมคู่
- คำนวณค่าแอสิมัทของเส้นวงรอบต่อเนื่องจากมุมคู่ไปบรรจบกับมุมบังคับปลายทางที่ทราบค่าพิกัด 2 มุม ซึ่งสามารถคำนวณค่าแอสิมัทที่ถูกต้องได้เช่นเดียวกัน
- ทำการตรวจสอบค่าแอสิมัทบรรจบ (แอสิมัทที่ได้จากการคำนวณมุมคู่ปลายทางกับแอสิมัทที่ได้จากการคำนวณต่อเนื่อง) ว่ามีค่าผลต่างอยู่ในเกณฑ์ชั้นงานที่ยอมรับได้หรือไม่
- ถ้าอยู่ในเกณฑ์ จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปยังทุกเส้นของวงรอบ

ระยะเหนือและระยะตะวันออก (Latitude and Departure)

- ระยะเหนือ (Latitude, Lat.)
- ระยะตะวันออก (Departure, Dep.)

จากรูปประกอบ

- ระยะเหนือของเส้น AB: $Lat_{AB} = HD_{AB} \cos Az_{AB}$
- ระยะตะวันออกของเส้น AB: $Dep_{AB} = HD_{AB} \sin Az_{AB}$

จะสามารถหาพิกัดของจุด B ได้

$$E_B = E_A + Dep_{AB}$$
$$N_B = N_A + Lat_{AB}$$

การคำนวณตรวจสอบสถานะทางระยะทางของวงรอบ

- กรณีวงรอบปิด

$$\sum Lat = 0$$
$$\sum Dep = 0$$

- กรณีวงรอบเปิด

ผลรวมระยะเหนือ = ผลต่างพิกัดทางเหนือของสถานีบรรจบกับสถานีเริ่มต้น

ผลรวมระยะตะวันออก = ค่าต่างพิกัดทางตะวันออกของสถานีบรรจบกับสถานีเริ่มต้น

$$\sum Lat = N_n - N_1$$
$$\sum Dep = E_n - E_1$$

ความถูกต้องของงานวงรอบ (Traverse Accuracy)

การคำนวณค่าความถูกต้องของงานวงรอบสามารถคำนวณได้จากความคลาดเคลื่อนบรรจบเชิงเส้น (Linear misclosure) ที่เกิดขึ้นจากการทำงานวงรอบ

$$Accuracy = \frac{E_l}{\sum L}$$

Where: $E_l = \sqrt{(\Delta Dep)^2 + (\Delta Lat)^2}$

$\sum L = \text{Total length of traverse}$

การคำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนบรรจบของวงรอบ

- เมื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางมุมและความคลาดเคลื่อนของการบรรจบว่าอยู่ในเกณฑ์ชั้นงานที่กำหนดหรือไม่แล้ว ถ้าอยู่ในชั้นงาน ลำดับต่อไปคือการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนบรรจบของวงรอบ
- การคำนวณปรับแก้วงรอบ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของความละเอียดในการรังวัดมุมและระยะทางซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 กรณี คือ
 - เมื่อความละเอียดในการรังวัดมุมและระยะเท่ากัน ใช้ Compass rule
 - เมื่อความละเอียดในการรังวัดมุมมากกว่าการวัดระยะ ใช้ Transit rule
 - เมื่อความละเอียดในการรังวัดมุมน้อยกว่าการวัดระยะ ใช้ Crandall rule

Compass Rule

- การปรับแก้ Latitude และ Departure

$$C_{Dep_{ij}} = \frac{-(\Delta Dep)(L_{ij})}{\sum L}$$

$$C_{Lat_{ij}} = \frac{-(\Delta Lat)(L_{ij})}{\sum L}$$

Transit Rule

- การปรับแก้ Latitude และ Departure

$$C_{Dep_{ij}} = \frac{-(\Delta Dep)|Dep_{ij}|}{\sum |Dep|}$$

$$C_{Lat_{ij}} = \frac{-(\Delta Lat)|Lat_{ij}|}{\sum |Lat|}$$

การคำนวณระยะและทิศเส้นวงรอบ

- หลังจากคำนวณปรับแก้วงรอบแล้ว ค่าระยะตะวันออกและระยะเหนือได้ถูกปรับเปลี่ยนไปตามค่าแก้ ดังนั้นระยะและทิศแอสิมัทเส้นวงรอบจึงเปลี่ยนไปด้วย จึงต้องมีการคำนวณค่าระยะและทิศแอสิมัทของเส้นวงรอบใหม่

- การคำนวณระยะ

- คำนวณจากค่าระยะตะวันออกและระยะเหนือที่ปรับแก้แล้ว

$$HD_{ij} = \sqrt{(Dep_{ij})^2 + (Lat_{ij})^2}$$

- คำนวณจากค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว

$$HD_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$$

- การคำนวณแอสิมัท

- คำนวณจากค่าระยะตะวันออกและระยะเหนือที่ปรับแก้แล้ว

$$Az_{ij} = \tan^{-1} \frac{Dep_{ij}}{Lat_{ij}}$$

- คำนวณจากค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว

$$Az_{ij} = \tan^{-1} \frac{(X_j - X_i)}{(Y_j - Y_i)}$$

สรุปขั้นตอนการคำนวณงานวงรอบ

- คำนวณมุมและปรับแก้มุมหรือทิศทางเข้ากับเงื่อนไขทางเรขาคณิต
- คำนวณค่าแอสิมัทเบื้องต้น และค่าระยะตะวันออกและระยะเหนือให้กับเส้นวงรอบทุกเส้น
- คำนวณและปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนบรรจบด้วย Compass rule หรือ Transit rule
- คำนวณค่าพิกัดจากของสถานีวงรอบจากผลการปรับแก้ในข้อ 3
- คำนวณค่าระยะและแอสิมัทของเส้นวงรอบหลังการปรับแก้

การคำนวณพื้นที่วงรอบปิด

- การคำนวณจากค่าพิกัด

$$2Area_{ABCDE} = \begin{array}{ccccccc} X_1 & & X_2 & & X_3 \dots X_n & & X_1 \\ & \searrow & \nearrow & \searrow & \nearrow & \searrow & \nearrow \\ Y_1 & & Y_2 & & Y_3 \dots Y_n & & Y_1 \end{array}$$

- Double meridian distance method (DMD)

DMD เส้นใต้ = DMD เส้นก่อนหน้า + ระยะตะวันออกของเส้นก่อนหน้า + ระยะตะวันออกของเส้นนั้น

$$2Area_{ABCDE} = DMD_{AB}Lat_{AB} + DMD_{BC}Lat_{BC} + DMD_{CD}Lat_{CD} + DMD_{DE}Lat_{DE} + DMD_{EA}Lat_{EA}$$

- Double parallel distance method (DPD)

DPD เส้นใต้ = DPD เส้นก่อนหน้า + ระยะเหนือของเส้นก่อนหน้า + ระยะเหนือของเส้นนั้น

$$2Area_{ABCDE} = DPD_{AB}Dep_{AB} + DPD_{BC}Dep_{BC} + DPD_{CD}Dep_{CD} + DPD_{DE}Dep_{DE} + DPD_{EA}Dep_{EA}$$

Contour Line

Dr. Surames Piriyaawat

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

เส้นชั้นความสูง (Contour line)

การแสดงรายละเอียดทางตั้ง ได้แก่ ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศ ซึ่งสามารถแสดงได้สองลักษณะ ได้แก่

- เส้นชั้นความสูง (Contour line)
- จุดความสูง (Spot height)

o เส้นชั้นความสูง (Contour line):

เส้นต่อจุดที่มีค่าระดับความสูงเท่ากัน หรือคือเส้นที่เกิดจากการตัดกันของผิวระดับที่ความสูงนั้นกับผิวดิน

o จุดความสูง (Spot height):

จุดที่บอกค่าความสูงที่ตำแหน่งนั้นๆ

o ช่วงเส้นชั้นความสูง (Contour interval):

ระยะตั้งระหว่างคู่เส้นชั้นความสูง ซึ่งจะมีค่าคงที่สำหรับแผนที่หนึ่ง

คุณลักษณะเส้นชั้นความสูง (1)

- เส้นชั้นความสูงที่อยู่ใกล้กันแสดงว่าพื้นที่มีความลาดเอียงมาก หรือชันมาก และเส้นชั้นความสูงที่อยู่ห่างกันแสดงว่าพื้นที่มีความลาดชันน้อย
- บริเวณพื้นที่ขรุขระและไม่สม่ำเสมอเส้นชั้นความสูงจะไม่เป็นเส้นเรียบ และบริเวณพื้นที่ราบเรียบสม่ำเสมอเส้นชั้นความสูงจะมีระยะห่างสม่ำเสมอและขนานกัน
- ทิศทางของเส้นชั้นความสูงจะตั้งฉากกับแนวลาดเอียงสูงสุด
- เส้นชั้นความสูงจะลากตัดกับแนวสันเขาหรือร่องน้ำเป็นมุมฉาก
- เส้นชั้นความสูงที่แสดงลักษณะของพื้นที่เนินหรือแอ่งจะมีลักษณะเป็นวงรอบปิด และอาจทำการแรเงาส่วนที่เป็นแอ่ง
- เส้นชั้นความสูงแต่ละเส้นจะไม่รวมเป็นเส้นเดียวกันหรือตัดกัน นอกจากกรณีที่เป็นหน้าผาสูงชันหรือเป็นชะงักเขาและถ้ำ

คุณลักษณะเส้นชั้นความสูง (2)

- เส้นชั้นความสูงเส้นหนึ่งจะไม่แยกออกเป็นสองเส้น
- เส้นชั้นความสูงเส้นหนึ่งจะไม่อยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูง 2 เส้น ที่มีค่าระดับสูงกว่าหรือต่ำกว่า แต่จะมีลักษณะเป็นคู่กันได้
- เส้นชั้นความสูงที่ลากผ่านแนวสันร่องน้ำที่เรียกว่า "Stream line" จะมีลักษณะเป็นรูปตัววี (V-shape) หรือหักมุมกลับ โดยหันมุมชี้ขึ้นไปทางด้านที่สูงกว่า หรือต้นน้ำ
- เส้นชั้นความสูงที่ลากผ่านแนวสันเขาที่เรียกว่า "Ridge line" จะมีลักษณะเป็นรูปโค้งวงกลับคล้ายตัวยู (U-shape) หันด้านมนไปทางด้านที่มีค่าระดับที่ต่ำกว่า

ลักษณะเส้นชั้นความสูงตามภูมิประเทศต่าง ๆ

- รูปภาพประกอบในแผ่นใส

ประเภทเส้นชั้นความสูง (1)

▪ เส้นชั้นความสูงดัชนี (Index contour line):

เส้นชั้นความสูงที่นับเริ่มต้นจากค่าระดับเท่ากับ 0 จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level, msl.) และนับไปทุกๆ เส้นที่ของเส้นชั้นความสูง มักเป็นเส้นที่มีระดับลงทำด้วย 0 หรือ 5 ขึ้นอยู่กับการกำหนดช่วงเส้นชั้นความสูง โดยทั่วไปจะแสดงด้วยการเขียนให้น้ำหนักเส้นแตกต่างจากเส้นอื่นให้เห็นชัดเจน (มีความหนาเพิ่มขึ้น หรือใช้สีที่เด่นชัดขึ้น) และจะมีตัวเลขค่าระดับกำกับบอกไว้บนเส้น

ประเภทเส้นชั้นความสูง (2)

▪ เส้นชั้นความสูงระหว่างกลาง (Intermediate contour line):

เส้นชั้นความสูงที่อยู่ระหว่างเส้นชั้นความสูงดัชนี ซึ่งจะมีจำนวน 4 เส้น โดยจะแสดงด้วยน้ำหนักเส้นธรรมดา หรือบางกว่า และไม่ระบุค่า

▪ เส้นชั้นความสูงเสริม (Supplementary contour line):

เส้นชั้นความสูงที่เขียนแทรกเสริมระหว่างเส้นชั้นความสูง ในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างเส้นมากเกินไป หรือลักษณะเส้นชั้นความสูงระหว่างเส้นชนิดที่ 1 และ 2 มีความลาดชันไม่สม่ำเสมอและมีระยะห่างมาก ซึ่งมักจะแสดงด้วยเส้นประ (Dashed line)

การกำหนดช่วงเส้นชั้นความสูง (Contour interval)

การเลือกเส้นชั้นความสูงมีปัจจัยพิจารณา 2 ปัจจัย:

- มาตรฐานของแผนที่
- ลักษณะภูมิประเทศ

แผนที่มาตรฐานเล็ก จะมีช่วงเส้นชั้นความสูงใหญ่ และแผนที่มาตรฐานใหญ่จะมีช่วงเส้นชั้นความสูงเล็ก โดยที่:

- แผนที่มาตรฐานใหญ่ ใช้ช่วงเส้นชั้นความสูง 0.1 - 2 เมตร
- แผนที่มาตรฐานกลาง ใช้ช่วงชั้นความสูง 2 - 5 เมตร
- แผนที่มาตรฐานเล็ก ใช้ช่วงชั้นความสูง 5 - 20 เมตร

การกำหนดมาตราส่วนและช่วงชั้นความสูง

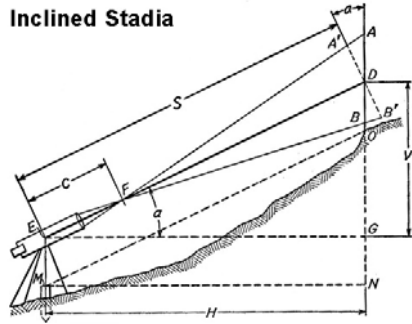
มาตราส่วนแผนที่	ช่วงชั้นความสูง (เมตร)
1 : 500	0.50
1 : 1,000	1
1 : 2,000	2
1 : 5,000	5
1 : 10,000	10
1 : 50,000	20

การหาจุดความสูง (Spot Height)

■ Tacheometry:

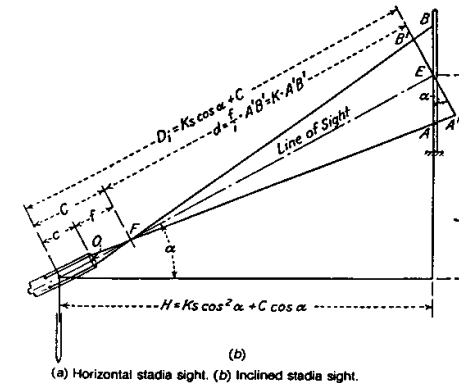
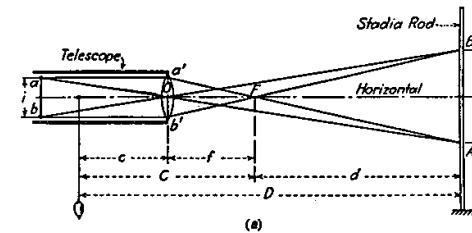
การวัดระยะราบและระยะตั้งโดยใช้วิธีการวัดค่าช่วง Stadia บนไม้ระดับร่วมกับการวัดมุมตั้งด้วยกล้องวัดมุม การวัดระยะโดยวิธีนี้เป็นการวัดโดยอ้อมที่ให้ความถูกต้องของค่าระยะตั้งน้อยกว่าการใช้กล้องระดับ ซึ่งถือว่าการวัดระยะตั้งโดยตรง

Inclined Stadia



$$H = 100s \cos^2 \alpha$$

$$V = 50s \sin 2\alpha$$



(a) Horizontal stadia sight. (b) Inclined stadia sight.

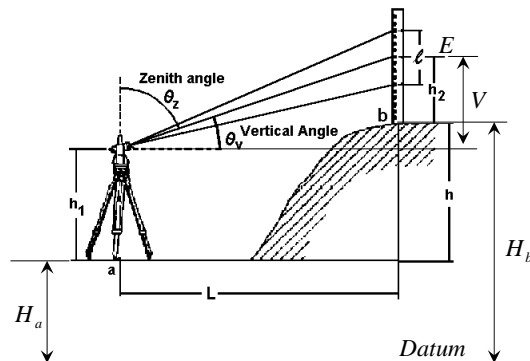
ค่า K และ C คือ ค่าคงที่ของกล้องวัดมุม ซึ่งปัจจุบันผู้ผลิตจะผลิตให้ค่า K = 100 และ ค่า C = 0 สมการจึงลดรูปเป็น

$$H = 100s \cos^2 \alpha$$

$$V = 50s \sin 2\alpha$$

■ การคำนวณค่าระดับจากการรังวัด Stadia:

จากรูป ตั้งกล้องที่ Station a รังวัดด้วยวิธี Stadia ไปยังไม้ระดับที่จุด b คำนวณระยะตั้งได้ V และอ่านค่าไม้สายโยกกลางได้ที่ตำแหน่ง E (ระยะ bE) ทำการวัดความสูงของกล้องจากหมุดสถานี a ถึงแกนราบกล้องคือ ระยะ h1 เมื่อค่าระดับสถานี a เท่ากับ H_a ดังนั้น ค่าระดับจุด b คำนวณได้ดังนี้



$$H_b = H_a + h_1 + V - bE$$

การวัดระดับตรีโกณมิติเพื่อหาความสูงของจุดที่เข้าไม่ถึง

■ จุดตั้งกล้องสองจุดและจุดที่ต้องการวัดอยู่ในระนาบตั้งเดียวกัน แบ่งได้ 2 วิธี

1. เมื่อจุดตั้งกล้องมีระดับเดียวกัน (ดูภาพประกอบในแผ่นใส)

$$D = \frac{d \tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

$$h = \frac{d \tan \beta \cdot \tan \alpha}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

2. เมื่อจุดตั้งกล้องมีระดับต่างกัน (ดูภาพประกอบในแผ่นใส)

$$D = \frac{d \tan \beta - h_2}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

$$h = D \tan \alpha = \frac{(d \tan \beta - h_2) \cdot \tan \alpha}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

■ จุดตั้งกล้องอยู่คนละระนาบตั้ง (ดูภาพประกอบในแผ่นใส):

$$BC = \frac{d \sin \theta}{\sin(180^\circ - \phi - \theta)}$$

$$B'D = \frac{d \sin \phi}{\sin(180^\circ - \phi - \theta)}$$

$$AB = BC \tan \alpha$$

$$AB' = B'D \tan \beta$$

การเขียนเส้นชั้นความสูง

- การเขียนเส้นชั้นความสูงจะอาศัยข้อมูลจุดความสูงในพื้นที่ที่ได้จากการสำรวจ ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม (Random points) หรือเป็นตารางกริด (Grid points)
- ทำการคำนวณหาตำแหน่งจุดที่มีค่าระดับตามเส้นชั้นความสูงที่ต้องการจากจุดเหล่านี้ แล้วลากเส้นเชื่อมจุดเป็นเส้นชั้นความสูงนั้นๆ

การหาตำแหน่งจุดเพื่อเขียนเส้นชั้นความสูง

- วิธีกราฟิก (Graphical method)
- วิธีคำนวณ (Calculation method)

การใช้ประโยชน์จากเส้นชั้นความสูง

- เขียนรูปตัดตามแนวต่างๆ:
การใช้ประโยชน์ในการหาจุดตัดตามแนว และตามขวางจากแผนที่เส้นชั้นความสูงตามแนวนอนหรือคลองส่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นรูปตัดตามแนวยาวหรือตัดขวาง เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาดูสภาพพื้นที่และทำการออกแบบเชิงเรขาคณิตของถนนหรือคลองนั้นๆ
- ออกแบบการพัฒนาปรับสภาพพื้นที่:
ใช้ในการพัฒนาพื้นที่โดยรวมขึ้นใหม่ด้วยการปรับสภาพภูมิทัศน์ (Landscape design) ซึ่งจะได้แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ที่ออกแบบใหม่

- ออกแบบโครงสร้างเพื่อก่อสร้างเขื่อนหรือฝาย:

ใช้ในการพิจารณาเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมในการสร้างเขื่อน ฝาย สำหรับการเก็บกักน้ำ ซึ่งจะช่วยให้สามารถคำนวณหาปริมาณการกักเก็บน้ำได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูง

- การคำนวณปริมาณงานดิน:

1. คำนวณจากรูปตัด ซึ่งมักใช้กับโครงการงานทาง คลองส่งน้ำ ด้วยการสร้างรูปจากเส้นชั้นความสูงตามแนวที่กำหนด และคำนวณปริมาณงานดินจากหน้าตัด
2. คำนวณจากเส้นชั้นความสูง โดยการหาพื้นที่หน้าตัดของเส้นชั้นความสูงที่ระดับต่างๆ และใช้ช่วงเส้นชั้นความสูงในการคำนวณไม่ว่าจะเป็นสูตรหน้าตัดหัวท้ายเฉลี่ย (End areas) หรือ Prismoidal formula

การคำนวณปริมาตรจากเส้นชั้นความสูง

- การคำนวณปริมาตรจากเส้นชั้นความสูงทำได้โดยการหาพื้นที่ที่ล้อมรอบของแต่ละเส้นชั้นความสูง ซึ่งอาจหาโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ (Planimeter) หรือวิธีกระดาษกราฟก็ได้
- จากนั้นจึงใช้วิธีการคำนวณโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นสูตรหน้าตัดหัวท้ายเฉลี่ย หรือ Prismoidal formula
- แต่เมื่อพิจารณาลักษณะของพื้นที่เส้นชั้นความสูงแล้ว จะพบว่ามีความเหมาะสมกับวิธีคำนวณแบบเฉลี่ยหน้าตัดหัวท้ายซึ่งการคำนวณจะง่ายและสะดวกกว่าการใช้ Prismoidal formula

Planimeter



วิธีเฉลี่ยหน้าตัดหัวท้าย (End areas)

- กรณีที่มี 2 หน้าตัดอยู่ติดกันห่างกัน D เมตร

$$V = \left[\frac{A_1 + A_2}{2} \right] D$$

- กรณีที่มี n หน้าตัด แต่ละหน้าตัดอยู่ห่างกันเป็นระยะ D เมตร

$$V = \left[\frac{A_1 + A_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} A_i \right] D$$

วิธีใช้ Prismoidal formula

- กรณีที่มี 3 หน้าตัดอยู่ติดกัน และหน้าตัดที่ 1 และ 3 ห่างกัน D เมตร

$$V = \frac{D}{6} (A_1 + 4A_2 + A_3)$$

- กรณีที่มี $2n-1$ หน้าตัด และทุก 3 หน้าตัดที่อยู่ติดกันมีหน้าตัดที่ 1 และ 3 ห่างกันเป็นระยะ D เมตร

$$V = \frac{D}{6} [A_1 + A_{2n-1} + 4\sum A_{even} + 2\sum A_{odd}]$$

Topographic Map Surveying

Dr. Surames Piriyaawat

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Burapha University

แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map)

การแสดงผลของสิ่งต่างๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกลงบนระนาบสองมิติด้วยขนาดย่อส่วนหรือมาตราส่วน (Scale) ที่เหมาะสม โดยแทนสิ่งต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ทั้งชนิดเส้น (Line types) และเครื่องหมาย (Symbols) ต่างๆ โดยอ้างอิงกับระบบพิกัดที่ใช้ในการรังวัด

- รายละเอียดทางตำแหน่ง เช่น ถนน อาคาร เสาไฟฟ้า ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ฯลฯ เรียกว่า รายละเอียดทางราบ (Horizontal details)
- การแสดงความสูงต่ำของพื้นที่ด้วยเส้นชั้นความสูง (Contour line) และจุดระดับความสูง (Spot height) เรียกว่า รายละเอียดทางตั้ง (Vertical details)

แผนที่ภูมิประเทศแบ่งออกเป็น 2 ประเภท:

- Paper map
- Digital map

มาตราส่วนแผนที่ (Map scale)

สิ่งต่างๆ ที่ปรากฏบนแผนที่จะมีขนาดย่อส่วนจากขนาดจริงด้วยอัตราส่วนระยะบนแผนที่ต่อระยะเดียวกันบนพื้นผิวโลกโดยเทียบเศษเป็น 1

- $\text{มาตราส่วนแผนที่} = \frac{\text{ระยะบนแผนที่}}{\text{ระยะเดียวกันบนพื้นดิน}}$
- o ตัวอย่าง: แผนที่มาตราส่วน 1:1,000 หมายถึง วัดระยะบนแผนที่ได้ 1 มิลลิเมตร จะมีค่าเท่ากับระยะบนพื้นดิน 1,000 มิลลิเมตร หรือ 1 เมตร

มาตราส่วนแผนที่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท:

- แผนที่มาตราส่วนใหญ่ (Large scale map): คือ แผนที่มาตราส่วน 1:250, 1:500, 1:2,500, 1:4000, 1:5,000
- แผนที่มาตราส่วนกลาง (Medium scale map): คือ แผนที่มาตราส่วน 1:10,000, 1:20,000, 1:25,000
- แผนที่มาตราส่วนเล็ก (Small scale map): คือ แผนที่มาตราส่วน 1:50,000, 1:100,000, 1:250,000, 1:500,000, 1:1,000,000

ความถูกต้องของแผนที่ (Map accuracy)

ความถูกต้องของแผนที่สามารถพิจารณาได้ 2 ประเภท:

▪ ความครบถ้วนของข้อมูลแผนที่ (Completeness):

การตรวจสอบเชิงปริมาณ (Quantitative assessment) ของรายละเอียดที่ปรากฏบนแผนที่ว่าครบถ้วนตามวัตถุประสงค์การใช้งานของมาตราส่วนแผนที่ที่กำหนดไว้หรือไม่

▪ ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Positional accuracy):

การตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งของรายละเอียดต่างๆ ที่ปรากฏบนแผนที่เป็นการตรวจสอบเชิงคุณภาพ (Qualitative assessment) ที่เกี่ยวกับความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (Horizontal positional accuracy) และความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้ง (Vertical positional accuracy)

ความถูกต้องเชิงตำแหน่งสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของแผนที่:

■ ความถูกต้องของแผนที่กระดาษ

○ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ (Horizontal positional accuracy):

ขนาดของจุดที่เล็กที่สุดบนแผนที่ที่สามารถวัดได้ เท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ค่าพิกัดตำแหน่งที่อ่านได้ควร จะมีความถูกต้องในเกณฑ์เท่ากับขนาด 0.2 มิลลิเมตรคูณด้วยมาตราส่วนของแผนที่กระดาษนั้น เช่น แผนที่มาตราส่วน 1:1,000 ความถูกต้องของตำแหน่งจุดที่อ่านได้จะอยู่ในเกณฑ์ $0.2 \times 1,000 = 200$ มิลลิเมตร หรือ 0.20 เมตร ซึ่งหมายถึง เมื่อนำค่าพิกัดจากแผนที่กระดาษไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจุด ดิ่งกล่าวที่วัดได้ในสนามจะผิดพลาดได้ในเกณฑ์ไม่เกิน ± 0.20 เมตร

○ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้ง (Vertical positional accuracy):

ทำได้โดยการอ่านค่าระดับความสูง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ และทำการเปรียบเทียบกับค่าที่รังวัดได้จริง ในสนามที่ตำแหน่งนั้น โดยจะยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินครึ่งหนึ่งของช่วงเส้นชั้นความสูง เช่น แผนที่ที่มี ช่วงเส้นชั้นความสูง 1 เมตร จะยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกิน 0.50 เมตร เป็นต้น

■ ความถูกต้องของแผนที่เชิงเลข (Digital map)

○ แผนที่เชิงเลข (Digital map) คือ แผนที่ที่จัดเก็บในรูปแบบไฟล์คอมพิวเตอร์เป็นตัวเลข และสามารถเรียกแสดงผลในรูปแบบต่างๆ เช่น หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือพิมพ์ออก ทางเครื่องพิมพ์ตามมาตราส่วนที่ต้องการก็ได้

○ ข้อมูลของ Digital map มักจะเก็บในรูปแบบของค่าพิกัด โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล พิกัดและสัญลักษณ์การแสดงผล เพื่อให้สามารถแสดงรายละเอียดรูปร่างต่างๆ ทั้ง รายละเอียดทางราบและทางตั้งได้

○ ดังนั้นข้อมูลแผนที่เชิงเลขจะสามารถดูความถูกต้องไว้ได้ตามความถูกต้องของ กรรมวิธีที่ใช้ในการรังวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลนั้น และเมื่อพิมพ์ลงในกระดาษ ความ ถูกต้องแผนที่จะพิจารณาตามหลักเกณฑ์ของมาตราส่วนตั้งเช่นแผนที่กระดาษ

ขั้นตอนการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศ

- การสำรวจสังเขป (Reconnaissance surveys)
- การสำรวจจริงวัดหมุดควบคุม (Control surveys)
- การสำรวจจริงวัดเก็บรายละเอียด (Detail surveys)
- การเขียนแผนที่ภูมิประเทศ (Plotting)
- การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (Field check)

การสำรวจสังเขป (Reconnaissance Surveys)

การเดินทางตรวจสอบสภาพพื้นที่โดยรวม พร้อมทั้งสังเกตแผนผังรวม บันทึกภาพ และจด บันทึกข้อสังเกตต่างๆ ที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการทำงานในพื้นที่ เพื่อใช้ในการวางแผน งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มักวัดระยะทางโดยประมาณด้วยการเดินนับก้าว

การสำรวจสังเขปสามารถทำให้ทราบสิ่งต่อไปนี้

- ตำแหน่งที่เหมาะสมในการสร้างหมุดหลักฐานทั้งทางราบและทางตั้ง
- การเลือกตำแหน่งหมุดสถานีวงรอบเพื่อใช้ในการจัดเก็บรายละเอียด
- การกำหนดมาตรฐานการรังวัดหมุดหลักฐาน
- การวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ต้องการตามขนาดมาตราส่วนแผนที่ เพื่อเลือกใช้เครื่องมือสำรวจได้อย่างเหมาะสม
- การจัดหาหมุดหลักฐานที่ใช้ในการโยนยัดทั้งทางราบและทางตั้งในบริเวณ ใกล้เคียงพื้นที่โครงการมากที่สุดเพื่อใช้อ้างอิงเข้าระบบพิกัดของประเทศ

การสำรวจรังวัดหมุดควบคุม (Control Surveys)

การสร้างหมุดหลักฐานที่ต้องการทราบค่าพิกัดทางราบและ/หรือทางตั้งให้ครอบคลุมพื้นที่โครงการอย่างเพียงพอ เริ่มต้นด้วยการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมและจัดสร้างให้มั่นคงปลอดภัยใช้งานได้ตลอดระยะโครงการ ซึ่งต้องจัดทำบัญชีเขตตำแหน่งหมุด และวัดระยะโยงยึดกับตำแหน่งที่มีนัยคงชัดเจนน้อย 3 ตำแหน่ง

การรังวัดหมุดหลักฐานแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. การรังวัดหมุดหลักฐานทางราบ (Horizontal control surveys)

- การสร้างหมุดคู่ที่ทราบค่าพิกัด อาจเป็นหมุดคู่หลักถาวร ระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 100 เมตร
- การรังวัดถ่ายค่าพิกัดจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าพิกัดจากนอกโครงการมายังหมุดหลักฐานหรือหมุดสถานีวงรอบภายในโครงการ
- วิธีการรังวัดพื้นฐานที่ใช้ คือ การทำวงรอบ การใช้อุปกรณ์ GPS

2. การรังวัดหมุดหลักฐานทางตั้ง (Vertical control surveys)

- การทำงานระดับชนิดรังวัดค่าต่างระดับ (Differential leveling) ด้วยการถ่ายค่าระดับจากหมุดระดับภายนอกโครงการมายังหมุดระดับ (Bench mark) ที่ติดตั้งอย่างถาวรภายในโครงการ

สรุปขั้นตอนในการรังวัดหมุดควบคุม

- การรังวัดโยงยึดหมุดหลักฐานทางราบและทางตั้งจากหมุดหลักฐานหลักมายังหมุดหลักฐานภายในพื้นที่โครงการ
- การรังวัดหมุดควบคุมที่ใช้ในพื้นที่โครงการจากหมุดหลักฐานที่กำหนดขึ้นนั้น
- เมื่อถ่ายทิศทางและระดับจากหมุดควบคุมมายังสถานีวงรอบ จะได้หมุดสถานีวงรอบที่ทราบค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้ง (Full control point) สำหรับการรังวัดเพื่อเก็บรายละเอียด

การสำรวจรังวัดเก็บรายละเอียด (Detail Surveys)

การรังวัดเพื่อเก็บรายละเอียดสามารถดำเนินการได้หลายวิธี

1. วิธีการวัดระยะฉาก (Offset surveying)

- เป็นวิธีการวัดตำแหน่งวัตถุอ้างอิงกับเส้นฐานที่ทราบการวางตัว
- วิธีนี้ไม่สามารถหาค่าระดับของจุดที่วัดได้
- เหมาะสำหรับการรังวัดแผนที่แสดงตำแหน่งวัตถุเท่านั้น เช่น แผนที่โรงงาน แผนที่เมือง เป็นต้น

2. วิธีการวัด Stadia

3. วิธีการวัดอิเล็กทรอนิกส์ Tacheometry

การเขียนแผนที่ภูมิประเทศ (Plotting)

การเขียนแผนที่สามารถทำได้ 3 วิธี

1. เขียนจากข้อมูลการวัดมุมและระยะทาง

- เริ่มด้วยการกำหนดตำแหน่งสถานีวงรอบทั้งหมด
- Plot ตำแหน่งของรายละเอียดต่างๆ จากมุมและระยะทางที่รังวัดได้ในแต่ละสถานีตามมาตรฐานที่ต้องการ
- สำหรับรายละเอียดทางตั้งให้แสดงด้วยเส้นชั้นความสูง และจุดความสูงในบริเวณที่ไม่มีเส้นชั้นความสูง หรือมีแต่อยู่ห่างกันค่อนข้างมาก

2. เขียนจากข้อมูลพิกัดที่คำนวณได้

- o วิธีนี้ต้องใช้กระดาษกราฟช่วยในการกำหนดตำแหน่งตามค่าพิกัดที่คำนวณได้

3. การประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- o การรังวัดด้วยกล้อง Total station และบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ จากนั้นนำเข้าประมวลผลในคอมพิวเตอร์

การเขียนรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ลงในแผนที่ สามารถแทนได้ด้วยรายละเอียด 4 ประเภท

1. รายละเอียดประเภทจุด (Point features):

รายละเอียดที่มีขนาดเล็กไม่สามารถแสดงเป็นรูปร่างที่แท้จริงด้วยมาตราส่วนแผนที่นั้นๆ เช่น หมุดหลักฐาน เสาไฟฟ้า ต้นไม้ ตู้โทรศัพท์ ตู้ไปรษณีย์ เป็นต้น

2. รายละเอียดประเภทเส้น (Line features):

แนวกึ่งกลางถนน ขอบถนน ขอบทางเท้า ทางน้ำ เป็นต้น

3. รายละเอียดประเภทรูปปิด (Polygon features):

อาคาร สระน้ำ บ่อน้ำ แปลงที่ดิน เป็นต้น

4. รายละเอียดประเภทตัวอักษร (Annotation features):

ข้อความและตัวเลข เป็นต้น

องค์ประกอบการออกแบบสัญลักษณ์ทั้ง 4 ประเภท ได้แก่

1. รายละเอียดประเภทจุด (Point features):

ได้แก่ รูปลักษณ์ (Shape) ขนาด (Size) สี (Color)

2. รายละเอียดประเภทเส้น (Line features):

ได้แก่ ชนิดเส้น (Line type) น้ำหนักเส้น (Line weight) สี (Color)

3. รายละเอียดประเภทรูปปิด (Polygon features):

ได้แก่ ชนิดเส้น (Line type) น้ำหนักเส้น (Line weight) สี (Color) การระบายสีภายใน (Hatching or shading)

4. รายละเอียดประเภทตัวอักษร (Annotation features):

ได้แก่ ชนิดตัวอักษร (Text type) ขนาด (Text height) รูปแบบการเขียน (Text style) สี (Color)

- o สัญลักษณ์ที่แสดงบนแผนที่ทั้งหมดจะแสดงประกอบคำอธิบายไว้บนแผนที่ในส่วนที่เรียกว่า Legend

สิ่งสำคัญที่ต้องแสดงบนแผนที่ภูมิประเทศ

1. ตารางกริดค่าพิกัด: มักจะมีช่วงห่างเท่ากับ 10 เซนติเมตร หรือตามความเหมาะสมในการทำงาน ไม่จำเป็นต้องวางในทิศทางเดียวกับกระดาษ และต้องมีตัวเลขค่าพิกัดกำกับไว้ที่ขอบระวางแผนที่
2. เครื่องหมายแสดงทิศเหนือ
3. การบอกมาตราส่วนของแผนที่ ต้องบอกในลักษณะที่เป็นทั้งตัวเลข และแถบมาตราส่วน (Graphical scale bar)
4. คำอธิบายสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในแผนที่ (Legend)
5. รายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผนที่นั้น เช่น พื้นที่ วันเดือนปีที่ทำการผลิต ชื่อโครงการ ผู้ผลิต เป็นต้น

การตรวจสอบความถูกต้อง (Field Check)

- o ความครบถ้วนของรายละเอียดและความถูกต้องทางตำแหน่ง
- o ความครบถ้วนของรายละเอียด:
ทำได้โดยนำแผนที่ออกตรวจภาคสนามในพื้นที่จริงโดยการสุ่มตรวจบริเวณที่สำคัญในการใช้งาน
- o ความถูกต้องทางตำแหน่ง:
การวัดสอบในพื้นที่โดยการสุ่มวัดทั้งขนาด ทิศทาง ค่าระดับจุดความสูง รวมทั้งการรังวัดรูปตัดตรวจสอบกับรูปตัดแนวเดียวกันที่ได้จากการอ่านเส้นชั้นความสูงของแผนที่
- o แผนที่จะต้องมีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 90% ถึงจะผ่านเกณฑ์ในการยอมรับ