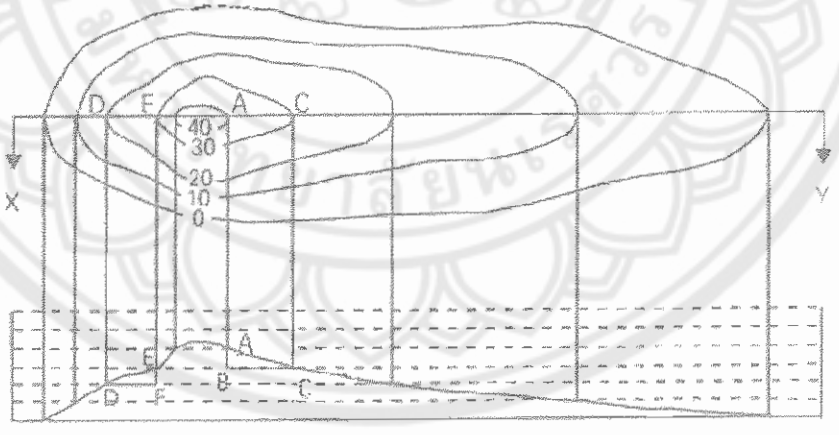
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 เส้นชั้นความสูง

ลักษณะสูงต่ำของพื้นดินแสดงโดยเส้นชั้นความสูงบนแผนที่ เส้นชั้นความสูงแสดงโดยรอยตัดของพื้นดินกับระนาบราบสมมุติ เช่น ในแอ่งน้ำระดับของผิวน้ำเป็นระนาบราบที่ความสูง 80 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เส้นชายน้ำมีระดับ 80 เมตร ถ้าระดับของน้ำสูงขึ้นอีก 1 เมตร ก็จะเกิดเส้นชายน้ำที่ระดับ 81 เมตร ระดับน้ำดังกล่าวเปรียบได้กับ เส้นชั้นความสูง (Contour Line) หมายถึงเส้นสมมุติโยงจุดบนพื้นดินที่มีค่าระดับเท่ากันตลอด

2.1.1 ช่วงชั้นความสูง คือระยะดิ่งหรือค่าต่างระดับระหว่างคู่เส้นชั้นความสูง ช่วงชั้นความสูงจะเป็นค่าคงตัวสำหรับแผนที่ ระยะ AB และ EF เป็นช่วงชั้นความสูงระหว่างคู่เส้นชั้นความสูงที่มีค่าระดับ 20 และ 30 เมตร ส่วนระยะราบระหว่างคู่เส้นชั้นความสูงนั้นขึ้นอยู่กับอัตราความลาดเอียงของพื้นดิน ดังเช่นระยะ BC และ DF ในรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงรูปตัดตามแนว แกนXและแกน Y

2.1.2 การเลือกช่วงชั้นความสูง การเลือกช่วงชั้นความสูงขึ้นอยู่กับ

- ลักษณะของความลาดเอียงของพื้นดินในพื้นที่ที่เป็นที่ราบ การกำหนดช่วงชั้นความสูงใหญ่เกินไปจะทำให้มีเส้นชั้นความสูงในแผนที่น้อยเกินไปจนผู้ใช้ไม่สามารถอ่านลักษณะของพื้นที่ได้พอกับความต้องการ ในขณะที่ช่วงชั้นความสูงขนาดเดียวกันนี้จะบอกลักษณะของพื้นที่ที่เป็นภูเขาหรือที่เนินได้เป็นอย่างดี

- วัตถุประสงค์ของการทำแผนที่ภูมิประเทศ จะต้องทราบว่าแผนที่ที่ได้จะนำไปใช้กับงานอะไร ต้องการความละเอียดแค่ไหน การทำแผนที่ละเอียดเกินความจำเป็นย่อมหมายถึงการทำงานและค่าใช้จ่ายที่มากเกินความจำเป็นด้วย ในการกำหนดช่วงชั้นความสูงก็ใช้หลักการนี้เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปแผนที่ที่จะนำไปใช้ในการหาปริมาณงานดินมักจะต้องการช่วงชั้นความสูงน้อยๆ และในขณะเดียวกันพื้นที่ของโครงการก็มักจะไม่กว้างขวางนัก ในทางปฏิบัติจึงมักกำหนดช่วงชั้นความสูงไว้น้อย อาจเพียง 25 ซ.ม. ก็มีงานที่ต้องการช่วงชั้นความสูงมากขึ้นได้แก่ งานวางแนวต่างๆ อ่างเก็บน้ำและพื้นที่ชลประทานเป็นต้น ส่วนที่ต้องการโตขึ้นไปอีก ได้แก่ แผนที่ภูมิศาสตร์ต่างๆ

- เวลาและค่าใช้จ่ายในการรังวัด ช่วงชั้นความสูงยิ่งน้อยเพียงใด ย่อมหมายความว่าต้องทำงานทั้งในสนามและสำนักงานมากขึ้นเป็นเงาตามตัว

- มาตราส่วนแผนที่ แผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กจะต้องกำหนดช่วงชั้นความสูงโตพอสมควร มิฉะนั้นเมื่อเขียนแผนที่แล้วจะปรากฏเส้นชั้นความสูงมากเกินไปจนเกิดความสับสนได้

2.1.3 ช่วงชั้นความสูงที่ใช้ในงานต่างๆ

พื้นที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร 0.10 ถึง 0.50 เมตร

อ่างเก็บน้ำ สวนสาธารณะ การวางผังเมือง 0.50 ถึง 1.00 เมตร

งานวิศวกรรมทั่วๆไป 1.00 ถึง 5.00 เมตร

สำหรับพื้นที่โดยทั่วๆไป ซึ่งไม่ขรุขระมากนัก จะเลือกช่วงชั้นความสูงโดยหารเลขส่วนของมาตราส่วนด้วย 1,000 เช่น

ขนาดของมาตราส่วน	1 : 500	ใช้ช่วงชั้นความสูง	0.5	เมตร
"	1 : 1,000	"	1.0	"
"	1 : 2,500	"	2.5	"
"	1 : 10,000	"	10.0	"
"	1 : 50,000	"	50.0	"

เมื่อเลือกใช้ช่วงชั้นความสูงขนาดใดขนาดหนึ่งให้ถือว่าเป็นช่วงชั้นความสูงคงตัวของแผนผังนั้น

2.1.4 ลักษณะของเส้นชั้นความสูง

ก. เส้นชั้นความสูง คือ เส้นสมมุติโยงต่อจุดที่มีค่าระดับเท่ากันบนแผนที่ หรือคิดว่าเป็นรอบดัดของระนาบราบกับผิวดิน ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่ เส้นชายน้ำ

ข. ช่วงชั้นความสูง คือ ระยะดิ่งหรือคาต่างระดับของคู่เส้นชั้นความสูง

ค. เส้นชั้นความสูงที่อยู่ใกล้กันแสดงถึงพื้นที่ที่มีความลาดเอียงมาก และในทางตรงกันข้ามถ้าอยู่ห่างกันแสดงว่าพื้นที่มีความลาดเอียงน้อย

ง. ถ้าผิวดินขรุขระและไม่สม่ำเสมอเส้นชั้นความสูงจะไม่เป็นเส้นเรียบ ถ้าผิวดินเรียบเส้นชั้นความสูงจะเป็นเส้นเรียบและขนานกัน

จ. เส้นชั้นความสูงที่แสดงลักษณะเนินหรือแอ่ง จะเป็นรูปปิด ค่าระดับของเส้นข้างเคียงเป็นตัวชี้ว่าเส้นชั้นความสูงรูปปิดเป็นยอดเนินหรือแอ่ง

ฉ. เส้นชั้นความสูงเส้นหนึ่งจะปรากฏเป็นเส้นคู่ทั้งสองด้านของสันเขาหรือร่องน้ำ

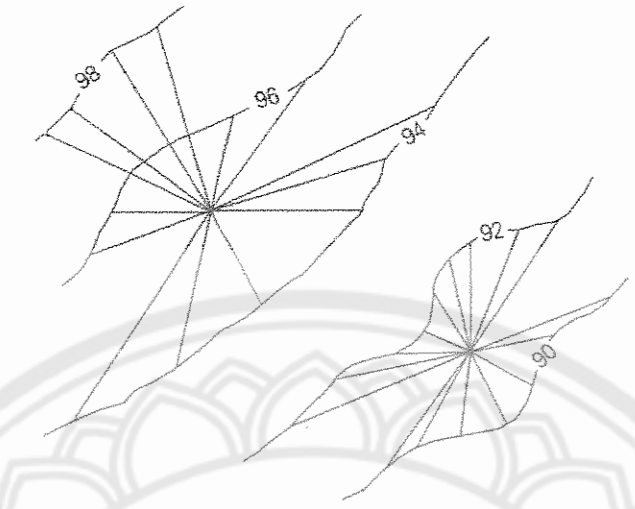
ช. เส้นชั้นความสูงจะไม่ตัดกัน หรือรวมเป็นเส้นเดียวกัน นอกจากบริเวณที่เป็นหน้าผาชัน

ซ. เส้นชั้นความสูงจะตัดเป็นแนวตั้งฉากกับทิศทางที่มีความลาดเอียงสูงสุด

ฌ. การหักมุมของเส้นชั้นความสูงชี้ขึ้นไปตามร่องน้ำ หรือชี้ลงตามสันเขา

2.1.5 วิธีกำหนดจุดรังวัดเพื่อเขียนเส้นชันความสูง เป็นการกำหนดตำแหน่งของจุดและหาค่าระดับที่จุดเหล่านั้นเพื่อนำมาเขียนเส้นชั้นควมสูง การหาค่าระดับทำได้ 2 วิธี คือ วิธีหาค่าระดับโดยตรง กับ วิธีหาค่าระดับทางอ้อม

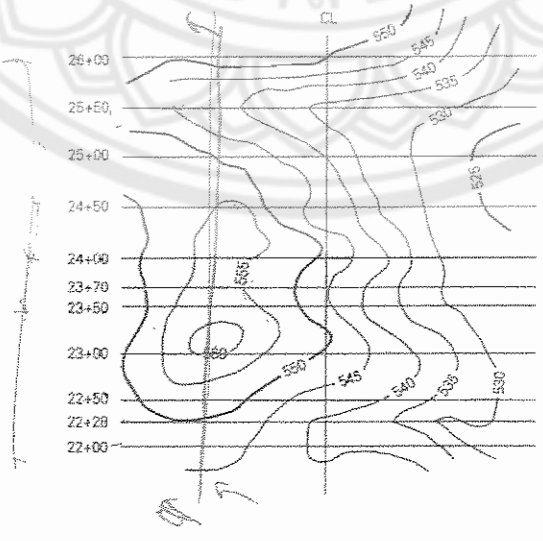
- **วิธีหาค่าระดับโดยตรง** หาตำแหน่งของจุดบนพื้นดินที่มีค่าระดับเท่ากับเส้นชั้นความสูงที่ต้องการ เป็นวิธีการที่ช้า แต่ได้ความละเอียดสูงใช้สำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก การหาค่าระดับทำโดยตั้งกล่องระดับและหาความสูงของแนวเล็งโดยการอ่านค่าไม้ระดับหลังไปยังจุดที่ทราบค่าระดับแล้ว (จากหมุดหลักฐานหรือจุดถ่ายระดับก็ได้) นำค่าระดับของเส้นชั้นความสูงที่ต้องการลบออกจากค่าความสูงของแนวเล็ง ใช้เป็นค่าไม้ระดับหน้าบนจุดที่มีระดับเท่ากับระดับของเส้นชั้นความสูงที่ระดับดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงวิธีหาค่าระดับโดยตรง

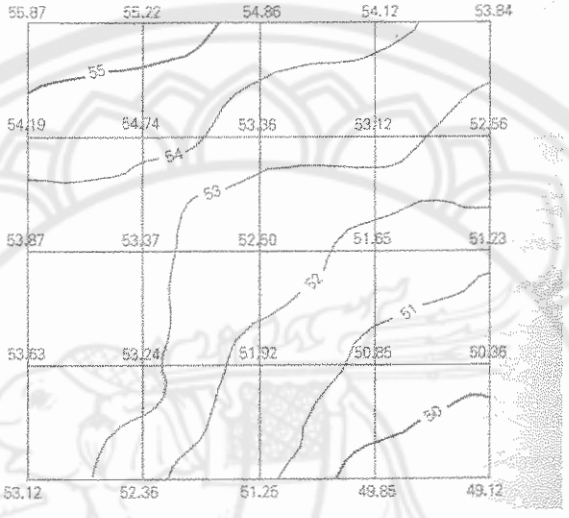
- **วิธีหาค่าระดับทางอ้อม** เป็นวิธีที่รวดเร็วกว่าวิธีหาค่าระดับโดยตรง ค่าระดับของจุดต่างๆบนพื้นดินเรียกว่า จุดระดับ (Spot Level) วิธีนี้จุดระดับจะกระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นที่ บางจุดแสดง สันเขา ร่องน้ำ เนินและแอ่ง และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของพื้นดิน จุดเหล่านี้จะถูกหมายลงบนพื้นที่ และการเขียนเส้นชั้นความสูงทำได้โดยวิธีการประมาณค่า การหาค่าระดับทางอ้อมทำได้ 3 วิธี คือ

ก. **วิธีรูปตัดแนวขวาง (Cross Section)**หาค่าระดับไปตามแนวตั้งฉากกับแนวถนน ทางรถไฟหรือคลอง และจุดที่มีการเปลี่ยนความลาดเอียงของพื้นดิน ระยะห่างของรูปตัดแนวขวางขึ้นอยู่ในลักษณะของพื้นดิน อาจจะเป็น 10 ถึง 25 ม. ระยะห่างจากกึ่งกลางถนน 20 ม. หรือมากกว่านำค่าระดับมาลงในแผนที่เพื่อเขียนเส้นชั้นความสูง ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงการหาค่าระดับโดยวิธีแนวขวาง

ข. วิธีตารางจัตุรัส (Squares) ทำโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดอกมุดไว้ที่มุมรูปด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดตั้งแต่ 5 ถึง 20 ม. ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ เขียนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสพร้อมทั้งค่าระดับที่มุมทุกมุม และเขียนเส้นชั้นความสูง ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงการหาค่าระดับโดยวิธีตารางจัตุรัส

ค. วิธีสเตเดีย (Stadia method) เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เป็นเนิน หาทิศทางของแนวเล็งออกจากสถานีเส้นวงรอบ หาค่าระดับที่จุดต่างๆตามแนวเล็งโดยการวัดค่ามุมดิ่ง อ่านค่าไม้ระดับทั้งสามสายใย กำหนดหมุดควบคุมบนแนวร่องน้ำและแนวสันเขา คำนวณหาค่าระดับและระยะทางในแนวราบแล้วนำมาเขียนเส้นชั้นความสูง

2.1.6 การเขียนเส้นชั้นความสูง การเขียนเส้นชันความสูงเขียนได้โดยประมาณค่าระหว่างจุดดังนี้

- การประมาณค่า (Estimation) ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการความละเอียดสูง พื้นที่ค่อนข้างราบและใช้มาตราส่วนของแผนที่ขนาดกลางหรือขนาดเล็ก

- การคำนวณ (Calculation) ใช้ในกรณีที่ต้องการความละเอียดสูงและใช้มาตราส่วนของแผนที่ขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ หลักการคำนวนอาศัยสมมุติฐานว่าค่าต่างระดับจะเป็นปฏิภาคตรงกับระยะทางในแนวราบระหว่างหมุดควบคุม สมมุติจุด A และ B เป็นจุดที่อยู่บนพื้นดินมีค่าระดับเท่ากับ 49.65 และ 52.85 ม. ตามลำดับ ระยะทางระหว่าง A และ B เป็น 20 ม.ช่วงชั้น

ความสูงเท่ากับ 1 ม. จะเห็นว่าระหว่างจุด A และ จุด B จะมีเส้นชั้นความสูง 3 เส้น คือ 50 , 51 และ 52 ม.

การหาตำแหน่งของเส้นชั้นความสูงที่ 50 ม. ทำโดย

ค่าต่างระดับระหว่างจุด A และ จุด B = 52.85 - 49.65 = 3.2 ม.

ค่าต่างระดับระหว่างจุด A และเส้นชั้นความสูงที่ 50 ม. = 50 - 49.65 = 0.30 ม.

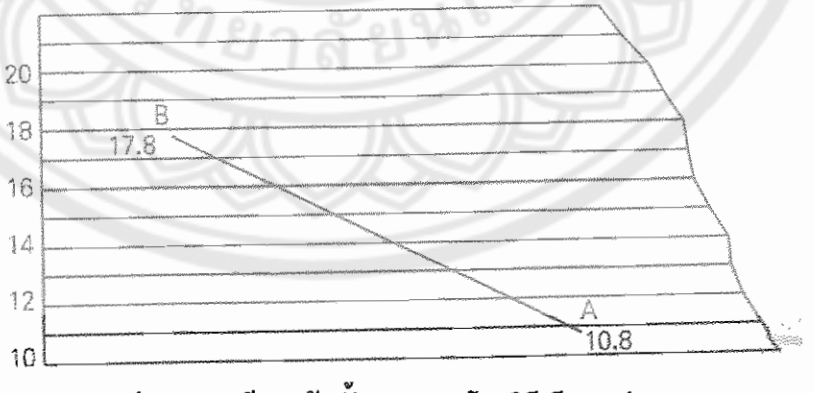
ระยะทางจากจุด A ไปยังเส้นชั้นความสูงที่ 50 ม. = $\frac{20}{3.2} x 0.35 = 2.2$ ม.

ในทำนองเดียวกันระยะทางจากจุด A ไปยังเส้นชั้นความสูงที่ 51 และ 52 ม. คือ 8.4 และ 14.7 ม. ตามลำดับ

2.2 วิธีเขียนรูป (Graphical means)

ทำได้โดยโดยการสร้างเส้นขนานบนกระดาษไขให้มีระยะห่างระหว่างเส้นเท่ากับช่วงชั้นความสูงที่ต้องการ รูป 12.4 ช่วงของเส้นขนานเท่ากับ 1.0 ม. ต้องการเขียนเส้นชั้นความสูงซึ่งมีช่วงชั้นความสูง 2.0 ม.

นำกระดาษไขทาบลงบนกระดาษแผนที่ซึ่งมีจุดระดับอยู่แล้ว สมมุติจุด A และ จุด B มีค่าระดับ 10.8 และ 17.8 ม. ตามลำดับ ให้เส้นที่อยู่ต่ำสุดของกระดาษไขแทนค่าระดับ 10.0 ม. วางกระดาษไขให้จุด A อยู่ตรงกับระดับ 10.8 และให้จุด B อยู่ตรงกันระดับ 17.8 จุดตัดระหว่างเส้นบนกระดาษไขกับเส้น A B จะเป็นจุดที่จะใช้เขียนเส้นชั้นความสูง ซึ่งมีช่วงชั้นความสูง 2 ม. ตามต้องการ การหมายจุดเหล่านี้โดยการใช้ปลายแหลมแทงทะลุงกระดาษไข

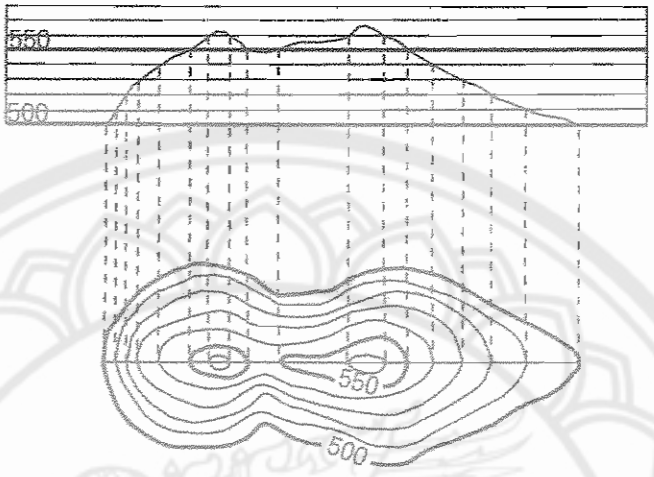


รูป 2.5 การเขียนเส้นชั้นความสูงโดยวิธีเขียนรูป

2.3 ประโยชน์ของแผนที่เส้นชั้นความสูง

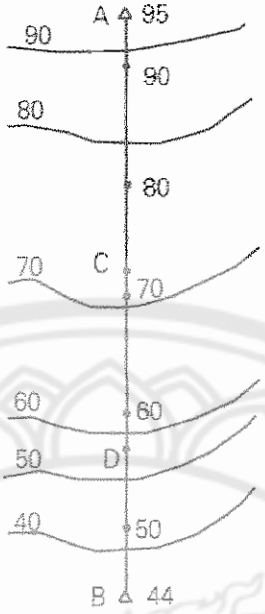
แผนที่เส้นชั้นความสูงแสดงมิติ (dimension) ที่สามของผิวโลกด้วย จึงให้ข้อมูลที่นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายในงานวิศวกรรมประโยชน์ที่ได้จากแผนที่ชั้นความสูงมีดังนี้

2.3.1 การเขียนรูปตัดแนวดิ่ง (Drawing of section) การเขียนรูปตัดตามแนวที่กำหนดจะเป็นแนวเส้นตรงหรือแนวเส้นโค้งก็ได้ ระยะตามแนวที่กำหนดเป็นระยะทางราบ เลือกใช้ฐานระดับที่เหมาะสมสำหรับเขียนระยะดิ่ง แสดงความสูงของผิวดินวัดจากเส้นฐานระดับที่เลือกไว้ดังรูป 2.6



รูป 2.6 แสดงการเขียนรูปตัดแนวดิ่ง

2.3.2 การมองเห็นระหว่างจุด (Determination of intervisibility) การที่จะทราบว่าจุด 2 จุด ที่กำหนดค่าระดับให้จะมองเห็นกันหรือไม่สามารถจะดูได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูงโดยไม่ต้องใช้วิธีเขียนรูปตัด พิจารณารูป 12.6 ถ้าต้องการจะทราบว่าจุด A และ จุด B มองเห็นกันหรือไม่ ทำโดยลากเส้นต่อจุด A B และจากการคำนวณหรือประมาณค่าจากความยาวและค่าระดับที่ทราบแล้วของจุด A B จะได้ตำแหน่งของจุดบนเส้น AB ซึ่งมีระดับเท่ากับเส้นชั้นความสูง ที่จุดเหล่านี้เขียนค่าระดับกำกับไว้ด้วย ตรวจดูว่าจุดเหล่านี้อยู่ต่ำหรือสูงกว่าพื้นดิน ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ที่ระดับ 90 บนเส้นเล็ง A Bจะเห็นว่าจุดนี้ลอยตัวอยู่ในซีกความลาดเอียงของพื้นดินที่ต่ำกว่า ดังนั้นจุดนี้จะอยู่เหนือพื้นดิน ในทำนองเดียวกันจุด 80 และ 50 บนเส้นเล็ง A B ก็จะอยู่เหนือพื้นดินแต่จุด 60 และ 70 จมอยู่ใต้ดิน จุด C และจุด D เป็นจุดบนเส้นเล็ง A B ซึ่งมีระดับเท่ากับผิวดินคือ ประมาณ 72 และ 57 ตามลำดับ เป็นช่วงที่พื้นดินบังแนวเล็ง วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับแนวเล็งระยะไกล ซึ่งมีผลของความโค้งของผิวโลกและการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง



รูป 2.7 แสดงการมองเห็นระหว่างจุด

2.4 แผนที่ภูมิประเทศ

แผนที่ภูมิประเทศคือแผนที่ที่แสดงให้เห็นรูปลักษณะพื้นที่โดยการใช้สัญลักษณ์ที่เหมาะสม รูปลักษณะดังกล่าวได้แก่ (1) ความสูงต่ำของผิวโลก ซึ่งรวมถึงลักษณะของภูเขาและหุบเขา (2) ลักษณะทางธรรมชาติอย่างอื่น ๆ เช่น ต้นไม้ ลำธาร และ (3) การเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติบนผิวโลกโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น อาคาร ถนน คลอง ลักษณะแผนที่ภูมิประเทศเมื่อเปรียบกับแผนที่อื่นก็คือ แผนที่ภูมิประเทศแสดงส่วนสูงต่ำบนผิวโลกซึ่งแสดงโดยแบบจำลองการแลเงา เส้นลายขวานสับ เส้นรูปลักษณะ หรือเส้นชั้นความสูง สัญลักษณ์ที่ใช้มากที่สุดในแผนที่คือ เส้นชั้นความสูง ซึ่งแสดงค่าระดับและบอกเป็นจำนวนเลข มีช่วงชั้นความสูงหรือระยะดิ่งระหว่างเส้นชั้นความสูงที่เหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และมาตราส่วนแผนที่และยังขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ด้วย

แผนที่ภูมิประเทศได้ถูกนำมาใช้งานหลายอย่าง เช่น ในการออกแบบโครงสร้างวิศวกรรมซึ่งต้องพิจารณารูปแบบของพื้นที่ ค่าต่างระดับหรืออัตราการลาดเอียง และยังให้ข้อมูลที่จำเป็นเพื่อการศึกษาของนักธรณีวิทยา นักเศรษฐศาสตร์และผู้ที่สนใจทางด้านการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติ

การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศส่วนใหญ่กระทำโดยหน่วยงานของรัฐ ในกรณีที่ใช้แผนที่ภูมิประเทศเพื่อช่วยในงานรังวัดอย่างอื่น ผู้ทำการรังวัดควรมีแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณถึงแม้จะไม่มีลักษณะเฉพาะหรือมาตราส่วนที่ต้องการ

2.4.1 การวางแผนงานรังวัด การเลือกวิธีการในสนามเพื่อการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศควรพิจารณาดังนี้

2.4.1.1 ความต้องการในการใช้แผนที่ งานรังวัดเพื่อทำแผนที่แสดงรายละเอียดควรจะทำด้วยวิธีที่ปราณีตกว่างานรังวัดสำหรับแผนที่แสดงลักษณะทั่วไป เช่น การประมาณงานดินจากแผนที่ภูมิประเทศโดยภูมิสถาปนิก จะต้องหาหากแผนที่ซึ่งแสดงผิวดินที่มีขนาดทั้งทางราบและทางดิ่งถูกต้องกว่าแผนที่ที่ใช้ในการประมาณความจุในการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ ในทำนองเดียวกันการรังวัดในบริเวณที่จะก่อสร้างสะพาน ควรมีรายละเอียดและความถูกต้องของบริเวณที่จะสร้างมากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลออกไป

2.4.1.2 พื้นที่ของอาณาบริเวณ การที่จะให้จุดที่สัมพันธ์กันบนพื้นที่ขนาดใหญ่คงความละเอียดที่ต้องการเป็นการยากกว่าพื้นที่ขนาดเล็ก ดังนั้นการวัดสำหรับงานควบคุมบนพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรทำอย่างละเอียดกว่าบนพื้นที่ขนาดเล็ก

2.4.1.3 มาตราส่วน มีข้อพิจารณาหลายอย่างที่ใช้เป็นตัวกำหนดในการเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่ โดยทั่วไปจะต้องเลือกมาตราส่วนขนาดพอเหมาะ ซึ่งจะต้องใหญ่พอที่จะแสดงลักษณะต่าง ๆ อย่างชัดเจน และขนาดของสิ่งต่าง ๆ จะถูกย่อลงบนแผนที่ด้วยความถูกต้องที่กำหนด วิศวกรที่คุ้นเคยกับแบบโครงสร้างที่มีมาตราส่วนขนาดใหญ่ จะมีความโน้มเอียงในการเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่ใหญ่กว่าที่จำเป็น ซึ่งจะไม่มีผลเสียจากการกระทำนั้น แต่บางครั้งจะพบว่า ขนาดที่วัดอย่างละเอียดจากแผนที่เหล่านั้นไม่ถูกต้องเท่าที่ควร การเลือกขนาดมาตราส่วนแผนที่มีข้อพิจารณาดังนี้

- ความชัดเจนของลักษณะที่แสดงในแผนที่
- ราคาหรือค่าใช้จ่ายในการทำแผนที่ ถ้ามาตราส่วนขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้น
- ความสัมพันธ์ของข้อมูลกับแผนที่
- ขนาดของกระดาษแผนที่ที่ต้องการ
- องค์ประกอบธรรมชาติ เช่น จำนวน และลักษณะสมบัติที่จะแสดงในแผนที่ ลักษณะของผิวดินและช่วงชั้นของความสูง
- การรังวัดแผนที่ภูมิประเทศจัดตามมาตราส่วนที่ใช้เป็น 3 ชนิดได้แก่
- แผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ 1:2,500 หรือใหญ่กว่า
- แผนที่มาตราส่วนขนาดกลาง 1:5,000 ถึง 1:25,000

2.5 ช่วงชั้นความสูง

ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กจะต้องทำการวัดระดับในสนามละเอียดกว่าช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่กว่า การเลือกช่วงชั้นความสูงที่เหมาะสมสำหรับการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศขึ้นอยู่กับการพิจารณาที่สำคัญ 4 ประการ คือ

2.5.1 ความถูกต้องของค่าระดับที่อ่านจากแผนที่ สมมุติว่าแผนที่ 2 แผ่น มีความถูกต้องเท่ากัน ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าระดับที่อ่านจากจุดซึ่งเลือกโดยการสุ่มบนแผนที่เปรียบเทียบกันไม่เกินค่าจริงครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูงเป็น 1 เมตร และ0.5 เมตร ตามลำดับ ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าระดับของจุดจะเป็น 0.5 และ 0.25 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่า ถ้าช่วงชั้นความสูงมีขนาดเล็กลง จะให้ค่าระดับที่ละเอียดกว่า ฉะนั้นการวัดค่าระดับก็ต้องละเอียดขึ้น

2.5.2 ลักษณะภูมิประเทศ สภาพพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดช่วงชั้นความสูง ถ้าต้องการแสดงลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่เล็ก ๆ ที่มีความแตกต่างของพื้นที่น้อย จะต้องใช้ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กเพื่อจะได้เห็นชัดเจน แต่ถ้าความแตกต่างของพื้นที่มีมาก ก็ควรใช้ช่วงชั้นความสูงใหญ่ขึ้น

2.5.3 ความชัดเจนอ่านง่าย แผนที่ซึ่งแสดงเส้นชั้นความสูงหนาแน่นเกินไปจะทำให้ไม่เห็นลักษณะที่สำคัญอย่างอื่น ถึงแม้ว่าความชัดเจนอ่านง่ายของแผนที่จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเส้นที่ลากขึ้นก็ตาม

2.5.4 ค่าใช้จ่าย ช่วงชั้นความสูงขนาดเล็กค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่ โดยถ้าจะให้เห็นความถูกต้องถึงครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูง

ช่วงชั้นความสูงและมาตราส่วนแผนที่มีความสัมพันธ์กัน โดยทั่วไปถ้าแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กใช้ช่วงชั้นความสูงขนาดใหญ่ ความสัมพันธ์นี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และมาตราส่วนของแผนที่ ลักษณะของพื้นดินและลำดับของการพัฒนาที่ดินในพื้นที่จะทำแผนที่

ขนาดช่วงชั้นความสูงที่เหมาะสมกับมาตราส่วนแผนที่ได้แก่

มาตราส่วน 1:100 ถึง 1:2,000 ช่วงชั้นความสูง 0.5 ถึง 2 เมตร

มาตราส่วน 1:2,500 ถึง 1:10,000 ช่วงชั้นความสูง 1 ถึง 5 เมตร

มาตราส่วน 1:10,000 ถึง 1:250,000 ช่วงชั้นความสูง 10 ถึง 50 เมตร

2.6 งานสนาม

เป็นงานรังวัดเพื่อการกำหนดตำแหน่งทางราบและหาค่าระดับของจุดที่เลือกบนผิวดินเพื่อใช้ในการเขียนเส้นชั้นความสูงและสร้างแผนที่ภูมิประเทศ การใช้กล้องวัดมุมมีข้อดีกว่าการใช้โต๊ะแผนที่ในบริเวณที่มีการลงจุดเป็นจำนวนมาก สภาวะที่เหมาะสมกับการใช้โต๊ะแผนที่คือที่โล่ง นอกจากนี้ยังเหมาะกับการทำแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก บางครั้งก็ใช้ร่วมกันทั้งกล้องวัดมุมและโต๊ะแผนที่ หรือกล้องวัดมุมและกล้องระดับ ในป่าทึบการหาค่าระดับของจุดราบละเอียดทำโดยระดับมือถือ หรือโดยเครื่องวัดความลาดเอียง ระยะทางวัดออกจากสถานีแถบวัดระยะ

2.7 งานควบคุม

งานควบคุมประกอบด้วยงานควบคุมทางราบ และงานควบคุมทางดิ่ง งานควบคุมจะให้โครงร่างของงานรังวัด ซึ่งในภายหลังจะประกอบด้วยรายละเอียดหรือการกำหนดตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ ได้แก่ ถนน อาคาร ต้นไม้ ลำธาร จุดซึ่งทราบค่าระดับ และเส้นชั้นความสูง

ในงานรังวัดพื้นที่กว้าง ๆ จะต้องจัดข่ายควบคุมหลัก (primary control) โดยเลือกสถานีรังวัดเป็นระยะ ทำการวัดอย่างละเอียด และแทรกสถานีควบคุมที่วัดด้วยความละเอียดน้อยกว่าเป็นข่ายควบคุมรอง (secondary control) สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กใช้ข่ายควบคุมเพียงระบบเดียว วัดด้วยความละเอียดเท่ากับข่ายควบคุมรองของพื้นที่ที่ใหญ่กว่า คำว่าหลัก (primary) และรอง (secondary) เป็นเพียงการเปรียบเทียบ ดังนั้นชั้นของความละเอียดที่ใช้ในการทำวงรอบรองสำหรับงานรังวัดวัดงานหนึ่ง อาจจะพอเพียงสำหรับงานรอบวงรอบหลักสำหรับอีกงานหนึ่ง

งานควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- งานควบคุมทางราบ ได้แก่งานวงรอบ งานข่ายสามเหลี่ยม หรือทั้งสองอย่างรวมกับสำหรับงานรังวัดทั่วไป ขั้นแรกจะสร้างงานควบคุมหลักและติดตามด้วยข่ายคุมรอง ในงานรังวัดบนพื้นที่ขนาดเล็ก จะใช้ควบคุมหลักเพียงอย่างเดียวซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับข่ายควบคุมรองของพื้นที่ใหญ่ งานแผนที่ภูมิประเทศทั่วไป ทำงานควบคุมทางราบโดยงานวงรอบชั้นสามหรือชั้นสี่

งานวงรอบ โครงรังวัดควบคุมโดยการจัดวางเส้นรังวัดเรียงต่อกัน ทำการวัดทิศทางและความยาวของทุกเส้น จากพิกัดแผนที่ของสถานีหนึ่งและคำนวณพิกัดแผนที่ของสถานีวงรอบโดยใช้ข้อมูลทิศทางกับความยาววัดได้เป็นรายเส้น งานแผนที่ภูมิประเทศส่วนใหญ่จะใช้วงรอบรูปปิดเป็นข่ายควบคุม

การวัดมุมให้ได้ความถูกต้องสูงทำได้ง่ายกว่าการวัดระยะ ระยะหนึ่ง ทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง เพื่อยืนยันว่าไม่มีค่าผิด และเป็นการตรวจสอบขนาดของค่าแย้งที่ไม่เกินเกณฑ์ความถูกต้องของงานที่ได้กำหนด

การตรวจสอบค่ามุมของวงรอบรูปปิด ทำโดยใช้ผลรวมของมุมภายในในรูปตามที่จะคำนวณได้ในวิธีเลขาคณิตสำหรับจำนวนสถานีวงรอบต่าง ๆ การวัดมุมราบของสถานีส่วนใหญ่จะวัดเป็นมุมเวียนทางขวามือที่เรียกว่ามุมสนาม ซึ่งในบางรูปมุมวัดได้ปรากฏว่าเป็นมุมภายนอกรูป ดังนั้นการตรวจสอบขนาดมุมทำได้ง่ายกว่าโดยการคำนวณแอซิมัธ ความรู้เบื้องต้นของการวัดแอซิมัธดาราศาสตร์ให้ทิศทางเพื่อการวัดรูปและเป็นข้อมูลสำคัญของการคำนวณพิกัดแผนในการรังวัดควบคุมมีการกำหนดให้วัดแอซิมัธเป็นระยะทางห่างกัน 10 ถึง 20 สถานี จำเป็นต้องรู้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นที่ดีพอสมควร ค่าแลติจูดและลองติจูดของพื้นที่ที่หาได้จากหน้าแผนที่ได้ถูกต้องดีกว่า 1ลิปดา หรือในกรณีที่ไม่สามารถหาแผนที่ของบริเวณนั้นได้ จะใช้วิธีการวัดมุมสูงของดวง

อาทิตย์ตรงเวลา 12 นาฬิกา หรือใช้เส้นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามศาสตร์การเดินเรือ วิธีการทั้งสองที่กล่าวมานี้ ต้องการปฏิทินดวงอาทิตย์ประกอบสำหรับพิกัดภูมิศาสตร์

เมื่อวัดมุมด้วยกล้องวัดมุม 01 ลิปดา โดยใช้กล้องทั้งสองหน้า และมีค่าแย้งของมุมที่ทอนในหน้าซ้ายและหน้าขวาไม่เกิน 01 ลิปดา ถือว่าค่าเฉลี่ยจากมุมวัดได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 ลิปดา ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นประมาณ 1 ใน 6,900 หลักการง่าย ๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้คือ แขนมุมเบนไป 0.5 ลิปดา หรือ 0.00015 เรเดียน ปลายของแขนมุมขนาดยาว 1 หน่วย กวาดออกไปเป็นระยะ 0.00015*1 หน่วย ความถูกต้องของการวัดมุมขนาดนี้สูงกว่าอัตราความถูกต้อง 1 ใน 2,500 ที่ต้องการในงานแผนที่โครงการ แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะที่เป็นตัวทอนให้อัตราความถูกต้องรวมลดลง ควรที่จะรักษาเกณฑ์ความถูกต้องของการวัดมุมไว้คงเดิม

เส้นรอบวงรองออกจากสถานีรอบใช้วิธีสเตเดีย ซึ่งความยาวของเส้นขนาดไม่เกิน 100 เมตร ให้ความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นประมาณ 1.5 มม. เมื่อบรรจบงานที่สถานีวงรอบอีกสถานีหนึ่งในช่วงขนาด 4 หรือ 5 สถานี ความคลาดเคลื่อนสะสมเพิ่มขึ้นเป็น 3 มม. ความคลาดเคลื่อนขนาดนี้ ไม่มีความหมายต่อการเขียนแผนที่ตามมาตราส่วน โดยที่ความคลาดเคลื่อนของการเขียนแนวจะมีมากกว่า ฉะนั้นการปรับแก้วงรอบจะทำได้โดยวิธีเขียนรูป จำเป็นต้องปรับแก้ตำแหน่งของสถานีเหล่านี้ก่อนจะลงรายละเอียดแผนที่ คงามคลาดเคลื่อนของงานวงรอบและของตำแหน่งรายละเอียดจะไม่คิดเป็นตัวเลขอัตรส่วนเหมือนงานรังวัดควบคุม แต่จะกำหนดเป็นระยะวัดเป็น มม. ในเกณฑ์ของแผนที่ภูมิประเทศ

ตาราง 2.1 ความถูกต้องสำหรับงานวงรอบ

	ชั้นหนึ่ง	ชั้นสอง	ชั้นสาม
จำนวนสถานีหลักระหว่างแอซิมัธดาราศาสตร์	10-15	15-25	25-35
ค่าแย้งแอซิมัธเฉลี่ยต่อสถานีไม่เกิน	1.0 พิลิปดา	2.0 พิลิปดา	5.0 พิลิปดา
ค่าคลาดเคลื่อนน่าจะเป็นสูงสุดของแอซิมัธดาราศาสตร์	0.5 พิลิปดา	2.0 พิลิปดา	5.0 พิลิปดา
ค่าคลาดเคลื่อนบรรจบสูงสุดไม่เกิน	1:25,000	1:10,000	1:5,000

- งานควบคุมทางดิ่ง เป็นการสร้างหมุดระดับเป็นระยะเพื่อการถ่ายระดับหรือเข้าบรรจบวงระดับในการเก็บรายละเอียด และเพื่อเป็นหมุดระดับอ้างอิงระหว่างงานก่อสร้างในภายหลังงานควบคุมทางดิ่งทำโดยการทำระดับวิธีตรง แต่สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กหรือพื้นที่ไม่เรียบมักจะทำโดยงานระดับตรีโกณมิติ ค่าระดับของแผนที่ภูมิประเทศควรจะโยงเข้ากับหมุดระดับจากค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง การทำระดับเพื่องานควบคุมทางดิ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ งานระดับชั้นหนึ่ง ชั้น

สอง ชั้นสาม ซึ่งแต่ละชั้นของงานระดับมีความแตกต่างกันทั้งความละเอียดของการวัดและวิธีการทำระดับ งานระดับชั้นหนึ่งเป็นงานระดับที่มีความละเอียดสูงสุด ในทางปฏิบัติความละเอียดที่ได้ขึ้นอยู่กับความไวของเครื่องมือ ความระมัดระวังในการทำระดับ และความละเอียดในการคำนวณ

- งานระดับชั้นหนึ่ง เป็นงานระดับที่มีความละเอียดสูง เส้นระดับควรจะเริ่มจากหมุดระดับที่มีอยู่เดิม และจบลงที่หมุดระดับลักษณะเดียวกันอีกหมุดหนึ่ง การวัดต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดค่าผิด และจะต้องทำระดับตรวจสอบจากหมุดระดับเริ่มต้น และจากหมุดระดับเข้าบรรจบไปยังหมุดระดับที่มีอยู่เดิมอย่างน้อยอีกหนึ่งหมุด เพื่อเป็นการยืนยันค่าระดับของหมุดระดับเริ่มต้นและหมุดระดับเข้าบรรจบ ค่าต่างระดับของหมุดระดับเริ่มต้นและหมุดระดับข้างเคียงที่ได้จากการตรวจสอบระดับจะต้องอยู่ในเกณฑ์การเข้าบรรจบของงานระดับชั้นหนึ่ง สำหรับหมุดระดับเข้าบรรจบก็เช่นเดียวกัน

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของค่าระดับให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แบ่งเส้นระดับเป็นตอนๆ ทำระดับไป – กลับในแต่ละตอน ความถูกต้องแสดงโดยค่าแย้งของการทำระดับไป – กลับไม่เกิน 4 มม. $\sqrt{k}$ ซึ่ง K คือความยาวของแต่ละช่วงของการทำระดับ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร เครื่องมือใช้กล้องระดับชั้นดี (precise level) และไม้ระดับ geodetic leveling rod

- งานระดับชั้นสอง ทำเหมือนงานระดับชั้นหนึ่ง เป็นการทำระดับทางเดียวในกรณีที่โยงหมุดระดับในงานชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า หรืออาจเดินเส้นระดับเป็นลักษณะของวงระดับโดยเริ่มต้นและจบลงที่หมุดระดับเดียวกัน การตรวจสอบความถูกต้องของหมุดระดับเริ่มต้น และหมุดระดับเข้าบรรจบเช่นเดียวกับงานระดับชั้นหนึ่ง

ความละเอียดของงาน แสดงโดยค่าแย้งที่ได้จากการทำระดับจากหมุดระดับหนึ่งไปยังหมุดระดับอีกหมุดหนึ่ง หรือจากค่าคลาดเคลื่อนบรรจบของวงระดับซึ่งเริ่มต้นและจบลงที่หมุดระดับเดียวกัน ค่าแย้งสูงสุดหรือค่าคลาดเคลื่อนบรรจบไม่เกิน 8 มม $\sqrt{k}$ ซึ่ง K คือความยาวของเส้นระดับเป็นกิโลเมตร

- งานระดับชั้นสาม เป็นการซอยงานอีกชั้นหนึ่งและชั้นสองลงมาเพื่อเพิ่มหมุดควบคุมทางดิ่ง เส้นระดับทำระหว่างหมุดระดับชั้นเดียวกันหรือชั้นสูงกว่า โดยเดินเส้นระดับทางเดียว แต่จะต้องมีการบรรจบหรือปิดวงระดับ เครื่องมือใช้กล้องระดับและไม้ระดับธรรมดา ค่าตรวจสอบของการบรรจบวงระดับไม่เกิน 12 มม $\sqrt{k}$ ซึ่ง K คือความยาวของวงระดับเป็นกิโลเมตร

งานระดับที่ต่ำกว่างานชั้นสาม เป็นพวกงานระดับซึ่งให้ค่าตรวจสอบในการเข้าบรรจบเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ในงานระดับชั้นสาม เช่น งานระดับตรีโกณมิติ งานระดับบารอมิเตอร์ และงานระดับทั่วไป ตาราง 14.2 เป็นการสรุปสิ่งสำคัญในสิ่งสำคัญในการกำหนดชั้นของงาน เช่น ความยาวของเส้นระดับในการสร้างหมุดควบคุมทางดิ่ง บริเวณที่อยู่ใกลซึ่งเส้นระดับของงานชั้นสองยาวเกิน

กว่า 40 กิโลเมตร จะต้องทำระดับไป – กลับจะจัดไว้ในประเภท 1 ของงานระดับชั้นสอง และบริเวณที่เดินเส้นระดับทางเดียวจัดไว้ในประเภท 2 ของงานระดับชั้นสอง

ตาราง 2.2 เกณฑ์กำหนดชั้นของงานระดับ

	งานชั้นหนึ่ง	งานชั้นสอง		งานชั้นสาม
		ประเภท 1	ประเภท 2	
ระยะห่างของเส้นระดับประมาณ	100 กม.	50 กม.	10 กม.	ไม่กำหนด
วางหมุดบนเส้นระดับเป็นระยะทางประมาณ	2 กม.	2 กม.	2 กม.	5 กม.
ความยาวของตอนระดับ	1 – 2 กม.	1 – 2 กม.	1 – 2 กม.	ไม่กำหนด
ค่าแย้งของการทำระดับไป – กลับระหว่างจุดที่มีค่าระดับกำกับไว้หรือค่าคลาดเคลื่อนของการบรรจบวงระดับไม่เกิน	4 มม. $\sqrt{k}$	8 มม. $\sqrt{k}$	8 มม. $\sqrt{k}$	12 มม. $\sqrt{k}$

2.8 งานสำนักงาน

เมื่อข้อมูลสนามถูกส่งเข้าสำนักงาน ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกแยกว่าเป็นงานควบคุมทางราบหรืองานควบคุมทางดิ่ง หรืองานเก็บรายละเอียด การคำนวณข้อมูลสนามแยกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 คำนวณและปรับแก้พิกัดแผนที่ของสถานีรังวัดควบคุม ตรวจสอบความคลาดเคลื่อน ถ้าเกินเกณฑ์ ทำการตรวจหาข้อมูลที่ผิดพลาด แล้วทำการวัดข้อมูลสนามส่วนนั้นใหม่ เมื่อความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการแล้ว จึงทำการปรับแก้

ตอนที่ 2 คำนวณและปรับแก้ค่าระดับหรือความสูงของสถานีวงรอบรอง เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับลงรายละเอียดแผนที่และการเขียนเส้นชั้นความสูง ทำได้พร้อมๆ กับการคำนวณงานควบคุมนอกจากค่าจุดระดับบนพื้นดิน ซึ่งต้องรอค่าปรับแก้ของหมุดควบคุมทางดิ่ง

2.9 พิกัดแผนที่

แผนที่ภูมิศาสตร์ใช้ระบบพิกัดฉาก UTM การทำแผนที่โครงการอาจจะใช้พิกัดมาตรฐานแบบเดียวกัน หรือจะใช้พิกัดสมมติโดยการกำหนดจุดกำเนิดและทิศทางอ้างอิงอะไรก็ได้ให้เกิดความสมจริง โดยกำหนดค่าพิกัดราบที่ไม่เกิดค่าติดลบที่จุดใดๆ ในพื้นที่ และใช้แอซิมัธดาราศาสตร์ช่วยให้ทำการคำนวณได้ง่ายและทิศทางแผนที่สมจริง

งานวงรอบควบคุมจัดทำเส้นหลักฐานโดยใช้หมุดคู่ มีค่าพิกัดราบของหมุดทั้งสองและค่าแอซิมัธแผนที่ของแนวโยงหมุดคู่นั้น นำมาใช้อ้างอิงในการทำแผนที่ภูมิประเทศได้โดยตรง ในโครงงานขนาดเล็กที่ไม่มีข้อมูลแผนที่ก็อาจจะหาข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์จากแผนที่ในสมุดแผนที่สำหรับโครงงานที่ไม่ใหญ่โตนักอาจจะสมมติแนวเมริเดียน และคำนวณพิกัดแผนที่ตามทิศทางสมมติได้

2.10 การหมายตำแหน่งบนแผนที่

สถานีรังวัดควบคุมหลัก สถานีรังวัดควบคุมรอง และจุดรายละเอียดแผนที่ ต้องการความถูกต้องของการหมายตำแหน่งเป็นอัตราที่ลดหลั่นกัน ข่ายควบคุมหลักมีอัตราความถูกต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 2,500 ลดลงเป็น 1 ใน 1,000 สำหรับข่ายควบคุมรองการหมายตำแหน่งสำหรับทิศทางที่วัดละเอียดกว่า 01 ลิปดา จำเป็นต้องใช้วิธีพิกัดฉาก ส่วนวงรอบรองที่วัดทิศทางละเอียดถึง 01 ลิปดา การเขียนทิศทางใช้การสร้างมุมด้วยวิธีคอร์ดหรือวิธีเส้นสัมผัส

การเขียนรายละเอียดแผนที่และเส้นชั้นความสูงมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ก. การประกอบรูปและการปรับแก้งานวงรอบสเตเดีย ใช้สูตรคำนวณสเตเดียอย่างง่ายปรับแก้ตำแหน่งของสถานีสเตเดียโดยวิธีเขียนรูปก่อนที่จะหมายตำแหน่งสัมพันธ์ของจุดรายละเอียด

ข. หมายตำแหน่งจุดรายละเอียดโดยใช้มาตรวงกลมกับระยะทางวัดแผ่ (radiation) ออกจากสถานี

ค. รายละเอียดของ อาคาร ถนนและสิ่งปลูกสร้างอื่น จำเป็นต้องทำร่างรูปประกอบกับการวัดขนาดกว้างยาวโดยวิธีรังวัดด้วยโซ่

ง. ประมาณตำแหน่งเพื่อลากเส้นชั้นความสูงระหว่างคู่จุดความสูงวิธีสเตเดีย

จ.

2.11 ร่างแผนที่

โดยปกติร่างแผนที่เป็นแบบลายเส้นเขียนด้วยดินสอดำบนกระดาษไขที่มีคุณภาพดีซึ่งทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น ในแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่รูปร่างปรากฏของรายละเอียดเป็นผังรูปเหมือนกับวัตถุโดยธรรมชาติหรือสิ่งประดิษฐ์ และแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กลง อาจจะต้องใช้สัญลักษณ์แทนรายละเอียดบางอย่าง มีการกำหนดแบบเส้นสำหรับ

จำแนกประเภทรายละเอียดเป็นเส้นเต็ม เส้นประชนิดต่างๆ เส้นเรียบอิสระหรือเส้นบรรทัด แนวรั้วแบบต่างๆ จะมีสัญลักษณ์ควบหรือใช้ตัวอักษรบรรยายลักษณะของรั้ว ข้อตกลงแบบลายเส้นเหล่านี้ถือเป็นแบบมาตรฐานที่ผู้ผลิตแผนที่จะแปลความหมายออกในการแยกสีแม่พิมพ์ต่อไป

2.12 เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศ

อัตราส่วนความถูกต้องที่กล่าวมาในตอนต้นเกี่ยวกับงานรังวัดควบคุม ซึ่งเป็นตัวเลขใช้สำหรับวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดความถูกต้องของการเขียนแบบลายเส้นมีปัญหาแตกต่างออกไป การกำหนดช่วงชั้นความสูงในหน่วยเมตริก โดยทั่วไปให้หารตัวเลขมาตราส่วนด้วย 1,000 เช่น มาตราส่วน 1 ใน 1,000 ใช้ช่วงชั้นความสูงเท่ากับ 1,000/1,000 = 1 เมตร หรือมาตราส่วน 1 ใน 10,000 ใช้ 10,000/1,000 = 10 เมตร โดยข้อกำหนดนี้ แผนที่ภูมิประเทศจะมีจำนวนเส้นชั้นความสูงจำนวนพอเหมาะที่จะแสดงความลุ่มคอนของพื้นดิน

ข้อกำหนดเพื่อเลือกใช้ช่วงชั้นความสูงอาจจะเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น กรณีของพื้นที่ค่อนข้างราบจะลดขนาดของช่วงชั้นความสูงลง ในมาตราเมตริกช่วงชั้นความสูงเล็กที่สุดควรเป็น 1 เมตร เมื่อการทำแผนผังโครงการต้องการแสดงความสูงละเอียดกว่า 1 เมตร ก็อาจจะเขียนเป็นเส้นประแทรกระหว่างเส้นชั้นความสูงที่เป็นเลขลงตัวของเมตร ลองพิจารณาแผนที่ภูมิศาสตร์มาตราส่วน 1 ใน 50,000 ซึ่งตามข้อกำหนดน่าจะใช้ช่วงชั้นความสูง 50 เมตร ช่วง 20 เมตร ที่เลือกใช้ในการผลิตแผนที่จะให้เส้นชั้นความสูงหนาแน่นมากในบริเวณภูเขา ซึ่งการเขียนเส้นเหล่านี้เป็นการลำบาก กรรมวิธีการผลิตแผนที่ทำได้โดยเขียนร่างแผนที่ในมาตราส่วน 1 ใน 25,000 หรือใหญ่กว่าแล้วถ่ายรูปย่อส่วนเป็นมาตราส่วนแผนที่ที่ต้องการ เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่จัดแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานดังนี้

ตาราง 2.3 เกณฑ์ความถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศ

	แผนผังโครงการ	แผนที่ภูมิประเทศ
มาตราส่วนแผนที่	1 : 2,500 หรือใหญ่กว่า	1 : 5,000 ถึง 1 : 10,000
ช่วงชั้นความสูง	1 เมตร หรือ 0.5 เมตร	5 ถึง 10 เมตร
ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งรายละเอียดเด่นชัด	0.5 มม.	1 มม.
ความคลาดเคลื่อนของความสูงประมาณจากเส้นชั้นความสูง	0.5 ของช่วงชั้นความสูง	1 ช่วงชั้นความสูง
ความคลาดเคลื่อนของจุดระดับ	2 ซม.	0.25 ของช่วงชั้นความสูง
ความถูกต้องของข้อมูลรอบจุด	ร้อยละ 90	ร้อยละ 90
การใช้ประโยชน์	การวางแผนงานวิศวกรรม	ศึกษาภูมิประเทศ

2.13การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ ทำได้ทั้งในทางราบและทางดิ่ง

ก. ขนาดทางราบ การตรวจสอบทางราบทำโดยการเปรียบเทียบระยะวัดจากแผนที่กับระยะวัดได้บนพื้นดินระหว่างจุดในตำแหน่งเดียวกัน ความละเอียดของระยะซึ่งวัดจากแผนที่ขึ้นอยู่กับมาตราส่วนแผนที่และขนาดของค่าคลาดเคลื่อนในการเขียนแผนที่ ถ้ามาตราส่วนแผนที่เป็น 1 : 1,000 ค่าคลาดเคลื่อนในการกำหนดจุดเป็น 0.5 มม. ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนบนพื้นดินจะเป็น 0.5 ม.

งานรังวัดบางงานทำเพื่อการประมาณขนาดพื้นที่ เช่น บริเวณอ่างเก็บน้ำ ค่าคลาดเคลื่อนของพื้นที่วัดจากแผนที่ หาได้จากการพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนในระยะวัดจากแผนที่และโดยการใช้หลักของการแพร่ความคลาดเคลื่อน (error propagation) เช่น พื้นที่ของสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนแผนที่ขนาด 20 x 60 ซม. มาตราส่วนแผนที่ 1 : 5,000 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะวัดจากแผนที่ 0.08 ซม.

พื้นที่ = ความยาว x ความกว้าง

หรือ A = ℓ x w เมื่อ ℓ = ความยาว และ w = ความกว้าง

จากสมการการแพร่ความคลาดเคลื่อน

$$= \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial \ell}\right)^2 s_\ell^2 \left(\frac{\partial A}{\partial w}\right)^2 s_w^2}$$

$$= \sqrt{(20\text{ซม.})^2 (0.08\text{ซม.})^2 + (60\text{ซม.})^2 (0.08\text{ซม.})^2}$$

= 5.1 ซม^2 หรือประมาณ 0.4% ของพื้นที่

ข. ค่าระดับ การตรวจสอบค่าระดับวิธีหนึ่ง ทำโดยเลือกจุดบนพื้นดินจำนวนหนึ่ง หาค่าระดับแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับของจุดเดียวกันบนแผนที่ โดยปกติจุดที่เลือกจะอยู่ห่างกันราว 1 ช่วงแถบวัดระยะตามแนววงรอบ

การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งทำโดยการสุ่มเลือกแนวทดสอบ เพื่อที่จะยืนยันแนวเดียวกันบนแผนที่ ทำการรังวัดและเขียนรูปตัดแนวดิ่งของผิวดิน นำมาเปรียบเทียบกับรูปตัดแนวดิ่งที่เขียนโดยใช้ข้อมูลจากหน้าแผนที่ ซึ่งรูปตัดทั้งสองใช้มาตราส่วนขนาดเดียวกัน โดยนำรูปตัดทั้งสองมาซ้อนกัน ถ้ามีค่าแย้งจะเห็นได้โดยการที่รูปตัดทั้งสองแยกจากกัน ถ้าค่าแย้งปรากฏไม่เกินเกณฑ์เป็นอันใช้ได้

2.14 การผลิตแผนที่

การผลิตแผนที่ อาจผลิตด้วยมาตราส่วนขนาดเดียวกับต้นฉบับ เช่น การทำพิมพ์เขียว หรือโดยมาตราส่วนขนาดต่างกัน (ด้วยการย่อหรือขยายมาตราส่วน) จากร่างแผนที่โดยขบวนการถ่ายรูปแบบต่างๆ เช่น การถ่ายสำเนา (photostat process) การใช้เครื่องพิมพ์ (photo offset method) หรือโดยการถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสาร (xerography) และวิธีการอื่นๆ ข้อดีอย่างหนึ่งของการผลิตโดยการลดขนาดมาตราส่วนก็คือ ง่ายต่อการนำไปใช้ในสนาม เช่น ในงานก่อสร้าง แผนที่ส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้เครื่องพิมพ์ ซึ่งจะให้แผนที่สีเดียวหรือหลายสีที่มีคุณภาพดี

2.15 การใช้ประโยชน์ของแผนที่

เนื่องจากแผนที่มีหลายประเภท เช่น แผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งแสดงสภาพพื้นผิวโลกตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ยังมีแผนที่ซึ่งเรียกว่า แผนที่เฉพาะเรื่องซึ่งมีข้อมูลอื่นที่จะต้องศึกษาเพื่อการวางแผนและการออกแบบโครงการต่างๆ ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น แผนที่แสดงลักษณะของป่า ความหนาแน่นของต้นไม้ ประเภทของพืชผล ลักษณะการระบายน้ำตามธรรมชาติลักษณะของหินดิน ความหนาแน่นของประชากร และอื่นๆ การใช้แผนที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงขึ้นอยู่กับการเลือกใช้แผนที่ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ เช่น ในการออกแบบก่อสร้างเขื่อน จำเป็นจะต้องใช้แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนต่อปีมาพิจารณาร่วมกับแผนที่ภูมิประเทศ เป็นต้น

2.16 การแบ่งประเภทของแผนที่ (Classification of maps)

แผนที่อาจแบ่งประเภทตามเนื้อหาและมาตราส่วนได้ดังนี้

2.16.1 แผนที่ทั่วไป (General map) แผนที่ที่มุ่งแสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวโลกรวมไปถึงทุกๆสิ่งที่ปรากฏบนผิวโลกด้วย จำแนกเป็น

ก. **แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map)** แสดงสภาพพื้นผิวโลก รูปร่างทั่วๆไปรวมทั้งความสูงต่ำของพื้นดิน มาตราส่วนที่ใช้ตั้งแต่ 1:25,000 ถึง 1:1,000,000

ข. **แผนที่อาณาเขต (Planimetric map)** เป็นแผนที่แสดงลักษณะเช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ แต่ไม่แสดงความสูงต่ำของพื้นดิน

ค. **แผนที่ภูมิศาสตร์ (Geographic map)** แผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก ตั้งแต่ 1 : 50,000 ลงไป ซึ่งจะแสดงบริเวณใหญ่ เช่น ประเทศหรือทวีป และแสดงให้เห็นเป็นบริเวณผืนแผ่นดินบริเวณทะเลหรือน้ำ และอาจแสดงแนวเขาและลำน้ำพร้อมทั้งทิศทางอยู่ด้วยเสมอ

2.16.2. แผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic Map) แผนที่ที่มุ่งแสดงข้อมูลเฉพาะเรื่องนั้นๆ แต่จำเป็นต้องอาศัยแผนที่ฐาน (base Map) เพื่อแสดงตำแหน่งภูมิประเทศอยู่เสมอ แผนที่เฉพาะเรื่องอาจแบ่งออกเป็น

ก. แผนที่แสดงคุณค่า (Qualitative map) แผนที่ที่มุ่งแสดงคุณลักษณะและการกระจายของสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น แผนที่แสดงการปลูกยาง แผนที่แสดงคุณค่าผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา เป็นต้น แผนที่ประเภทนี้จะแสดงหรือแจกแจงสิ่งที่มีคุณลักษณะต่างๆ กัน ซึ่งกระจายอยู่ทั่วบริเวณ โดยการแบ่งลักษณะด้วยสีหรือสัญลักษณ์

ข. แผนที่ทางสถิติ (Statistical map or Quantitative map) แผนที่ที่มุ่งแสดงปริมาณและการกระจายของข้อมูล เช่น แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝน แผนที่แสดงความหนาแน่นของประชากร แผนที่แสดงความหนาแน่นของการจราจร

2.17 ประโยชน์ของแผนที่

ในการออกแบบเพื่อการก่อสร้าง อาคาร ถนน ทางรถไฟ ระบบระบายน้ำ ฯลฯ ผู้ออกแบบจะต้องมุ่งเพื่อให้สิ่งต่างๆที่จะก่อสร้างมีความกลมกลืนและกระทบกระเทือนกับสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติน้อยที่สุด และต้องให้เข้ากับสมัยนิยมและความพอใจของผู้เป็นเจ้าของด้วย ซึ่งจะต้องรวมมือกันทั้งวิศวกรและสถาปนิกผู้ออกแบบ ทางด้านงานวิศวกรรมจะต้องอาศัยแผนที่ เพื่อศึกษาตำแหน่งที่สัมพันธ์กัน และค่าระดับของสิ่งที่มีอยู่เดิม เพื่อกำหนดตำแหน่งและค่าระดับของสิ่งที่จะก่อสร้างขึ้นใหม่ แผนที่ที่จะนำมาศึกษาข้อมูลเพื่อการออกแบบได้แก่ แผนที่ชนิดต่างๆที่กล่าวมาแล้ว

แผนที่ภูมิประเทศจะทำให้เกิดความคิด และมองเห็นสภาพของภูมิประเทศว่ามีลักษณะสูงต่ำอย่างไร ผืนดิน ผืนน้ำ อยู่ส่วนไหน ภูเขา และลำห้วยอยู่ในลักษณะใด ซึ่งจะให้ผลในการจัดสิ่งต่างๆ ตามหลักของภูมิสถาปัตยกรรม เช่น การจัดบริเวณ (Site) การจัดรูปบริเวณ(organization of spaces) เกณฑ์ที่จะมองเห็นจากผังที่จัดไว้ (Visual aspect of plan arrangement) เป็นต้น

สำหรับประเทศไทย แผนที่ภูมิประเทศได้จัดทำไว้โดยกรมแผนที่ทหาร มีมาตราส่วน 1 : 50,000 ครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศ และมาตราส่วน 1:250,000 แบ่งเป็นแผนที่ของแต่ละจังหวัดแต่เมื่อเป็นโครงการเฉพาะส่วนและต้องการความละเอียดเพื่อออกแบบโครงการ ก็ต้องดำเนินการสำรวจและทำแผนที่ด้วยตนเอง สำหรับโครงการที่ยังไม่แน่นนอนก็ต้องศึกษาความเป็นไปได้ โดยเริ่มจากแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็กและแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ขึ้นเป็นลำดับดังนี้

มาตราส่วน	1 : 250,000	ศึกษาบริเวณรอบๆ
	1 : 50,000	ศึกษาความสูงต่ำและลักษณะภูมิประเทศ
	1 : 5,000	ศึกษารายละเอียดของโครงการ
	1 : 1,000	ศึกษาและวางแผนการจัดรูปและการระบายน้ำ

2.18 คำนิยามเกี่ยวกับแผนที่

-แผนที่ (Map) รูปจำลองพื้นผิวโลกหรือบางส่วนของพื้นผิวโลกหรือท้องฟ้าลงบนระนาบราบตามมาตรส่วน และทิศทางตามที่ต้องการ บนแผนที่จะแสดงทั้งลักษณะตามธรรมชาติของพื้นผิวโลก และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น รวมไปถึงที่เป็นนามธรรมด้วย เช่น ชื่อต่างๆ

-แผนภูมิ (Chart) รูปจำลองสิ่งต่างลงบนระนาบราบ โดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับพื้นผิวโลก ถ้าเป็นการทำแผนภูมิเฉพาะ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับพื้นผิวโลกในภาษาอังกฤษก็อาจจะเรียกว่า Chat เช่น Navigation chat แต่ในภาษาไทยยังคงเรียก "แผนที่เดินเรือ"

ทิศทาง ในแผนที่โดยมากกำหนดให้ทิศเหนืออยู่ทางด้านบน ทิศใต้อยู่ด้านล่าง ทิศตะวันออกอยู่ทางด้านขวา และทิศตะวันตกอยู่ทางด้านซ้าย

องศา วงกลมทุกวงแบ่งออกเป็นส่วนย่อย 360 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า องศา ทุกๆองศาแบ่งออกเป็น 60 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า ลิปดา และทุกๆ ลิปดา แบ่งออกเป็น60 ส่วนเท่าๆกัน เรียกว่า พิลิดา เช่น 30° 14' 10" หมายถึง 30 องศา 14 ลิปตา 10 พิลิปดา

-เส้นศูนย์สูตร เส้นสมมุติบนผิวโลกที่ลากตรงกึ่งกลางระหว่างจุดขั้วเหนือ-ใต้ของโลกแบ่งโลกออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกันคือ ซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้

-เส้นรุ้ง หรือเส้นขนานแลติจูด เส้นสมมุติผิวโลกที่ขนานกับเส้นศูนย์สูตร ในซีกโลกเหนือเรียกว่า เส้นรุ่งเหนือ ในซีกโลกใต้เรียกว่า เส้นรุ้งใต้ทุกๆเส้น มีกำหนดค่าแลติจูด เส้นรุ้งขนานที่อยู่ใกล้ขั้วโลกมีขนาดสั้นลงเป็นลำดับ เส้นรุ้ง 0° คือ เส้นศูนย์สูตร และเส้นรุ้ง 90° อยู่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เส้นรุ้งขนานที่สำคัญมี 4 เส้น

เส้นรุ้งขนานที่ 23 $\frac{1}{2}$ องศาเหนือ เรียกชื่อว่า Tropic of Cancer เป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างย่านอากาศร้อนกับย่านอากาศอบอุ่นในซีกโลกเหนือ

เส้นรุ้งขนานที่ 23 $\frac{1}{2}$ องศาใต้ เรียกชื่อว่า Tropic of Capricorn เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่างย่านอากาศร้อนกับย่านอากาศอบอุ่นในซีกโลกใต้

เส้นรุ้งขนานที่ 66 $\frac{1}{2}$ องศาเหนือ เรียกชื่อว่า Arctic Circle เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่างย่านอากาศอบอุ่นและย่านอากาศหนาวในซีกโลกเหนือ

เส้นรุ้งขนานที่ 66 $\frac{1}{2}$ องศาใต้ เรียกชื่อว่า เส้น Antarctic Circle เป็นเส้นเขตแบ่งระหว่าย่านอากาศอบอุ่นและย่านอากาศหนาวในซีกโลกใต้

-เส้นแวง หรือแนวเมริเดียน วงกลมใหญ่บนผิวโลกผ่านขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เส้นแวงตัดกับเส้นศูนย์สูตรเป็นมุมฉาก ทุกๆ เส้น มีความยาวเท่ากัน ใช้เป็นทิศทางอ้างอิงทางภูมิศาสตร์เรียกว่า เส้นเมริเดียน กำหนดเส้นเมริเดียนมาตรฐานที่ลองติจูดศูนย์องศา ซึ่งลากผ่านเมืองกรีนิชในประเทศอังกฤษ เส้นแวงทางทิศตะวันออกและเส้นแวงทางทิศตะวันตก มีค่าลองติจูดสูงสุดถึง

180 องศาตะวันออก และ 180 องศาตะวันตก ตามลำดับ เส้นแวงที่ 180 องศาตะวันออกและตะวันตก เป็นเส้นเดียวกันและอยู่ตรงข้ามกับเส้นแวง 0 องศาพอดี ตรงเส้นศูนย์สูตร เส้นแวงเส้นหนึ่งๆ จะห่างกันราว 69 ไมล์ แต่ถ้าใกล้ไปทางขั้วโลก ระยะห่างของเส้นแวงเส้นหนึ่งๆจะแคบเข้า เพราะโลกมีสัณฐานกลม เช่น ตรงเส้นรุ้งขนานที่ 60 องศา เส้นแวงเส้นหนึ่งๆ จะห่างกันประมาณ 30 ไมล์ เส้นแวงเหล่านี้จะไปบรรจบกันที่ขั้วโลกทั้งสองข้าง