บทที่ 6
การสามเหลี่ยม (Triangulation)

ระบบของการสามเหลี่ยมประกอบด้วยโครงข่ายของรูปสามเหลี่ยมต่าง ๆ ที่จุดยอดมุมของรูปสามเหลี่ยมเป็นตำแหน่งของจุด อาจเป็นยอดเขา เจดีย์ ที่หมายเด่น และจุดใดที่เข้าถึงได้ต้องสร้างหมุดถาวรไว้ เรียกว่า หมุดสามเหลี่ยม

1. นิยาม

การสามเหลี่ยม คือ วิธีการสำรวจอย่างหนึ่งซึ่งจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพอันเป็นจุดยอดของรูปสามเหลี่ยม หรือจุดยอดของรูปสามเหลี่ยมในโครงข่ายต้องทำการรังวัดมุม และคำนวณหาด้านของรูปสามเหลี่ยมเหล่านั้นต่อเนื่องจากเส้นฐาน (Base Line) เส้นฐานเป็นระยะที่ทำการรังวัดขึ้นด้วยโซ่โดยตรง (หรือเครื่องมืออีเล็คทรอนิกส์) บนพื้นดิน

การสามเหลี่ยมยังกินความไปถึงวิธีการใด ๆ ที่ต้องการกำหนดจุดทั้งที่เป็นจุดทำการหาเชิงสัมพันธ์ (Relative Positions) และได้มาโดยตรง (Absolute Positions) การหาตำแหน่งของจุดเชิงสัมพัทธ์หมายถึงการหาตำแหน่งของจุดต่าง ๆ บนผิวพิภพโดยอ้างอิง หรือหาต่อเนื่องไปจากจุดอื่นจุดหนึ่ง หรือมากกว่าแล้วแต่ว่ามุม และระยะเหล่านั้นจะมีมากน้อยแค่ไหนตามความจำเป็น ในงานการสำรวจชั้นสูงที่ต้องคำนึงถึงขนาด และความโค้งของผิวพิภพ (Geodetic Work) ระยะมักนิยมจน์ หรือแสดงเป็นเมตร (Meters) และระยะนี้ต้องทอนลงหาพื้นระดับน้ำทะเลปานกลางเสมอ ส่วนตำแหน่งที่หาออกมาได้โดยตรงนั้น เป็นจุดที่สามารถกำหนดค่าละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ออกมาโดยไม่ต้องอาศัยอ้างอิงด้วยการคำนวณ

ต่อเนื่องมาจากจุดหนึ่งจุดใด และจุดนี้โดยทั่วไปจะต้องทราบระดับสูง (Elevations) และทิศทาง (Azimuth) คิดจากใต้อีกด้วย

การสามเหลี่ยม (Geodetic Triangulation) เป็นวิธีการหาตำแหน่งของจุดบนผิวพิภพที่ให้ประสิทธิภาพสูงมาก (Very Efficient Method) ซึ่งตำแหน่งของจุดเหล่านี้ใช้เป็นหลักในการควบคุมงานสำรวจบริเวณที่กว้างใหญ่ไพศาลบนผิวพิภพ ทั้งยังประโยชน์ใช้ควบคุมโครงข่ายระดับ หรือทางแนวระนาบ (ราบ) ของประเทศต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่โตอีกด้วย

การสามเหลี่ยมนั้นจะต้องคำนึงถึงรูป (Figure) และขนาด (Size) ของพิภพที่ใช้เป็นหลักในการคำนวณ ดังนั้นภาษาอังกฤษจึงใช้คำว่า "Geodetic Triangulation" ซึ่งความหมายในภาษาไทยคงเป็นไปดังได้กล่าวแล้ว ต่อไปจะพูดว่า "การสามเหลี่ยม" เท่านั้น แทนคำ Geodetic Triangulation การสำรวจชั้นสูงเชิงวิศวกรรมย่อยมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสามเหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลงานมีความละเอียดสูงโดยที่การสามเหลี่ยมมีบทบาทสำคัญต่อความละเอียดประณีตของงานวิศวกรรมทั้งหลาย ฉะนั้น การสามเหลี่ยมจึงต้องนำเอาสิ่งเหล่านี้มาพิจารณา คือ

1) เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำงานต้องมีความละเอียดเป็นพิเศษ (Extremely Precise)

2) เทคนิค และระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน

3) ตัวบุคคลปฏิบัติงาน ต้องมีความรู้ความสามารถ มีความชำนาญงาน และมีประสบการณ์มาก รู้สึกรับผิดชอบงานที่มอบหมายให้

4) ระเบียบวิธีการคำนวณในขั้นประมวลขั้นสุดท้าย

ความหมายทั่วไป (General Term)

คำว่า "การสามเหลี่ยม" นั้น ถ้ากล่าวกันให้กินความหมายอย่างสมบูรณ์แล้ว ย่อมมีความหมายกว้างขวางออกไปอีกมาก เช่น กินความหมายไปถึง

1) การรังวัดมุมราบ และมุมดิ่ง

2) การสำรวจเบื้องต้น

3) การรังวัดเส้นฐาน

4) การรังวัด "ลาพลาสอะซิมุท" (Laplace Azimuth) ทั้งนี้ เนื่องจากบทบัญญัติ (Specifications) ที่กำหนดไว้เพื่อควบคุมการปฏิบัติงาน หรือเป็นระเบียบข้อบังคับให้ผู้ปฏิบัติงานยึดถือ และปฏิบัติ เมื่อได้กล่าว หรือพูดถึงเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ในเรื่องเหล่านี้จะต้องมีการอ้าง หรือพาดพิงไปถึงอันอื่นอีกด้วย

ในการปฏิบัติงานสามเหลี่ยมจริง ๆ นั้น จะต้องมีการเลือกจุด หรือสถานีขึ้นบนผิวพิภพในบริเวณจะทำแผนที่ หรืองานด้านวิศวกรรม โดยเลือกขึ้นให้เหมาะสมเรียกว่า "สถานีการสามเหลี่ยม" (Triangulation Stations) ตลอดทั่วบริเวณนั้น และต้องกำหนดขึ้นอย่างเด่นชัด แน่นอน

2. การสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance Servey)

การสำรวจเบื้องต้นโดยปกติมีหน่วยสนามที่แยกตัวออกไปทำงานนี้โดยเฉพาะคือจะต้องออกไปเพื่อ

1) เลือกภูมิประเทศวางหมุด
2) เลือกที่ตั้งหมุด

หน่วยสนามหน่วยนี้จะออกไปปฏิบัติงานล่วงหน้าหน่วยสร้างกระโจม และหน่วยรังวัดมุม หน่วยสนามสำรวจเบื้องต้นประกอบด้วย

1) แม่กองสนาม
2) ผู้ช่วย 2 นาย

เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจมี

1) รถยนต์
2) กล้อง 2 ตา

3) แอลทิมิเตอร์ (Altimeter)

4) เซคแตนท์ (Sextants)

5) กล้อง (Transit)

6) เข็มทิศ

7) ผ้าแดง

8) โปรแทรกเตอร์ (Protractor)

9) เทปเหล็ก (Steel Tape)

10) ขวาน, เรื่อย, มีด

11) Packboards

12) เหล็ก Spur ติดรองเท้าใช้ขึ้นต้นไม้ 3 ชุด (Tree Climber)

13) สายโยงยึดช่วยในการขึ้นต้นไม้ (Strap)

ฯลฯ

หน่วยสำรวจเบื้องต้นจะได้รับคำแนะนำในเรื่อง

1) กำหนดพื้นที่ทำการสำรวจ

2) ชั้นของงานสามเหลี่ยมที่ต้องการ

3) หมุดที่จะกำหนดลงในภูมิประเทศ, ระยะห่าง

4) ที่ตั้ง และระยะของเส้นฐานเมื่อประกอบเป็นด้านของรูปโครงข่ายสามเหลี่ยม ความสะดวก และง่ายต่อการรังวัดระยะควรจะวาง ณ ที่บริเวณใด

5) การแลเห็นระหว่างสถานีที่ประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยม (Quadrilaterals)

6) ขนาดมุมของสามเหลี่ยม ไม่ควรมีมุมหนึ่งมุมใดเล็กกว่า 30̊ (หรือโตกว่า 150̊) สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 มุมหนึ่งมุมใดไม่ควรโตเกิน 120̊

7) จุดที่หมายเด่นในภูมิประเทศที่จะใช้เป็นจุดสกัด เช่น ปล่อง, ยอดโบสถ์, เจดีย์ ฯลฯ แม้จะเข้าไปไม่ถึงก็ควรทราบไว้เพื่อประโยชน์ต่อการสำรวจอื่น ๆ

8) การเชื่อมโยงที่จำเป็นต่องานสำรวจเก่า ๆ ซึ่งมีอยู่ในภูมิประเทศ ทั้งที่เป็น

งานของเราโดยเฉพาะ และงานของหน่วยอื่น รายละเอียดหมุดหลักฐานที่มีอยู่ตลอดจนแผนที่บริเวณ

9) ประโยชน์อื่น ๆ ที่ผิดปกติธรรมดาที่อาจได้จากการสำรวจ

หน่วยนี้จำเป็นจะต้องมีภาพเขียนหยาบ ๆ (Sketches) รายละเอียดหมุด (Descriptions) พิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดสามเหลี่ยมที่มีอยู่ในภูมิประเทศ แผนที่ (Maps) และแผนที่เดินเรือ (Charts) ของพื้นที่นั้น

งานสามเหลี่ยมดำเนินไปได้ด้วยดีขึ้นอยู่กับ "การสำรวจเบื้องต้น" เป็นสำคัญ การสำรวจเบื้องต้นจะต้องเลือกสถานที่สร้างหมุดซึ่งประกอบเป็นรูปสามเหลี่ยมที่แข็งแรงที่สุด (Strongest Figures) และเป็นรูปสามเหลี่ยมที่เหมาะที่สุด (Most Feasible) เข้าใจเลือกสถานที่รังวัดเส้นฐานตลอดจนต้องทราบเส้นทางต่าง ๆ ด้วย งานการสำรวจเบื้องต้นที่ดีอาจสูญเสีย และไม่มีประโยชน์ใด ๆ ถ้าหน่วยรังวัดมุมสามเหลี่ยมมิได้นำเอาผลการสำรวจนั้นไปใช้อย่างเต็มที่ หน่วยสำรวจเบื้องต้นควรใช้ความพยายามทุกวิถีทางที่จะกำหนดจุดและอธิบายให้ทราบถึงจุดโดยชัดเจนควรทำที่หมายให้เห็นได้ชัดถ้ากระทำได้ คำอธิบายรายละเอียดเรื่องจุดที่เลือกควรจะบอก

1) ตำบลที่ตั้งหมุด
2) เส้นทางเข้าไปถึงยังจุดที่เลือก
3) ชี้ลงไปให้แน่นอนว่าควรสร้างหมุด ณ ตรงจุดใด
4) การยินยอมของเจ้าของที่ดิน และเจ้าของทรัพย์สินบริเวณงาน
5) ชนิดของหมุดจะสร้าง
6) ต้องสร้างกระโจมตั้งกล้อง หรือใช้ขากล้องอย่างธรรมดา
7) แนวเล็งที่ต้องเล็งไปมีสิ่งกีดขวาง และอื่น ๆ
8) Sketches ช่วยให้เข้าใจดีกว่าคำอธิบาย

ฯลฯ

ระยะในแนวเล็งมักถูกจำกัดด้วยลักษณะของภูมิประเทศเสมอ แต่ปัญหานี้ไม่สู้สำคัญนัก สำหรับระยะโดยเฉลี่ยตามความต้องการของการสามเหลี่ยมเป็นเรื่องของหน่วยสนามจะตัดสินตกลงใจเอาได้เองอย่างเหมาะสม เขตจำกัดทางต่ำของระยะในแนวเล็งถูกบังคับให้ต้องพิจารณาในสิ่ง 2 ประการ ดังนี้

1) ระยะสั้นมาก ยากแก่การจะได้ค่ารังวัดที่มีความละเอียด ซึ่งมีความจำเป็นต้องปิดรูปสามเหลี่ยมให้อยู่ในเขตจำกัดที่ต้องการ

2) การตั้งกล้อง และที่หมายเล็งต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสุดความสามารถให้ศูนย์กลางของกล้อง และที่หมายเล็งอยู่ในแนวดิ่งของหมุดจริง ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการเยื้องไปจากศูนย์ (Errors of Eccentricity)

ระยะสั้นมาก ๆ ยังเพิ่มพูนให้มีจุดยอดมุมของสามเหลี่ยม หรือมีสถานีมากขึ้น และยังเพิ่มพูนความเคลื่อนคลาดเชิงสะสม (Accumulative Errors) จนเป็นผลร้ายต่องานอีกด้วย ในทางตรงข้ามกรณีที่เราคำนึงถึงเพียงความละเอียดของงานโดยเพ่งเล็งถึงระยะยาว ๆ ก็ทำให้มีข้อเสียเปรียบอยู่มากเหมือนกัน คือ

1) การไม่แลเห็นที่หมายเล็ง

2) งานชักช้าในเมื่อการสื่อสารไม่ดี

ฉะนั้น ในกรณีเช่นนี้เรานิยมใช้หมุดเสริม (Supplementary Stations) ขึ้นในโครงข่ายเพื่อให้สำเร็จประสงค์ตามความมุ่งหมาย ซึ่งวิธีนี้มีข้อได้เปรียบ และดีกว่าใช้ระยะสั้น ๆ ดังกล่าวแล้ว งานสามเหลี่ยมชั้นที่ 3 ระยะจากจุดยอดมุมของสามเหลี่ยมอยู่ระหว่าง 3 และ 10 ไมล์

ควรจัดนักสำรวจที่มีความชำนาญเคยประสบการณ์ในการทำงานสำรวจเบื้องต้นนี้มา เพราะการเลือกสถานีได้เหมาะสมถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอยู่มาก และในการนี้จะเกิดขึ้นได้ก็โดยมีนักสำรวจเบื้องต้นที่รู้ และเข้าใจวัตถุประสงค์ของงานสามเหลี่ยมเป็นอย่างดี รูปของสามเหลี่ยมในโครงข่ายต้องประกอบขึ้นเป็นโครงข่ายที่เหมาะสม จำนวนการถากถางแนวเล็ง

มีน้อย หรือกระทำเท่าที่จำเป็น ไม่ทำให้ทรัพย์สมบัติของเอกชนต้องถูกทำลายมากโดยใช่เหตุ เข้าไปถึงสถานีได้ง่าย ค่าโสหุ้ยการเข้าไปสู่สถานีไม่สิ้นเปลืองมาก หลีกเลี่ยง และปราศจากการรบกวนอันเกิดจากสภาพของดินฟ้าอากาศ และแนวเล็งไม่เฉียดไปยังวัตถุที่จะทำให้เกิดการหักเหของแสงทางข้าง และอื่น ๆ ปัญหาทั้งหมดตามที่กล่าวมานี้จะต้องนำมาพิจารณา

แม่กองสนามควรระลึกว่าเขากำลังเลือกสถานี (หรือหมุด) ที่จะต้องฝังลงไปในดินอย่างถาวร และค่าของหมุดมิใช่มีประโยชน์นำไปใช้เฉพาะในกิจการของตนเท่านั้น หากแต่ยังได้นำไปใช้เพื่องานของโครงการอื่น และกระทรวงทบวงกรมอื่นด้วย หน้าที่ของหน่วยสนามสำรวจเบื้องต้นอาจกล่าวได้ดังต่อไปนี้

1) การเลือกหารูปสามเหลี่ยม รูปหลายเหลี่ยม และรูปเหลี่ยมที่เหมาะสมและพึงประสงค์ที่สุด

2) ตรวจสอบแนวเล็งเพื่อเชื่อแน่ว่าแลเห็นกันได้จากหมุดถึงหมุด และพยายามหลีกเลี่ยงแนวเล็งใด ๆ ผ่านไปใกล้พื้นดิน และเฉียดวัตถุอื่นใด

3) ส่องเล็งดูจากจุดถึงจุด ลองให้สัญญาณธง และทำที่หมายชั่วคราวแต่ละจุดไว้

4) เลือกจัดหาบริเวณวางเส้นฐาน และกำหนดรูปโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ต้องการ

5) ให้ความสนใจต่อจุดสกัดต่าง ๆ มีอยู่อย่างไรเท่าที่สามารถจะสกัดได้

6) เขียนรายละเอียดอย่างสมบูรณ์ และเรื่องเกี่ยวกับที่ตั้งหมุด ตลอดจนเส้นทางระยะทางเข้าไปสู่หมุด

7) กำหนดชนิดของโคมสัญญาณ หรือกระโจมตั้งกล้องวัด และการกรุยแนวเล็งที่จำเป็น

8) จัดหาข้อตกลงยินยอมที่เป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เป็นเจ้าของทรัพย์สินในเขตปฏิบัติงาน

9) จัดทำแผนผัง (Plat) ของโครงข่ายสามเหลี่ยม และจดมุมต่าง ๆ พร้อมทั้งอะซิมุทอย่างเคร่า ๆ จัดไว้ในสนาม 1 ชุด ในสำนักงาน 1 ชุด

ข้อแนะนำการสำรวจเบื้องต้น

บทบัญญัติสำหรับการสำรวจเบื้องต้นในงานชั้นที่ 1 (First - order Specifications)

การสำรวจเบื้องต้นทั้งหมดสำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 นั้นต้องกระทำตามบทบัญญัติต่อไปนี้

1) ลักษณะของรูป (Charactor of Figures)

ก) โครงข่ายสามเหลี่ยมระหว่างเส้นฐานจะต้องประกอบขึ้นด้วยรูปสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ (Complete Quadrilaterals) หรือรูปมีจุดกลาง (Central - Point Figures) เช่น รูปสามเหลี่ยมควรให้เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า รูปสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Perfact Square) ซึ่งจุดยอดของสามเหลี่ยมจะต้องกำหนดค่าพิกัดภูมิศาสตร์ รูปสามเหลี่ยมเดี่ยวไม่ควรให้มีในโครงข่ายสามเหลี่ยม

ข) ต้องการ และที่นิยมกัน ระยะ หรือด้านของรูปสามเหลี่ยมทุกรูปต้องคำนวณมาได้ 2 ทาง ในทางตรงข้ามไม่ควรมีรูปเหลื่อมกัน และมีเส้นเล็งมากเกินความจำเป็น ยกเว้นในเรื่องต่อไปนี้

(1) รูปมี 4 ด้าน และมีจุดกลาง ต้องรังวัดแนวเส้นทะแยงไว้ 1 เส้น

(2) รูปที่ใช้ขยายโครงข่ายสามเหลี่ยมจากเส้นฐาน ควรเพิ่มแนวเล็งขึ้นหลาย ๆ เส้น

(3) โครงข่ายสามเหลี่ยมผ่านตัวเมือง และหรือผ่านพื้นที่กว้างขวาง อาจใช้รูปเหลื่อมกัน 2 - 3 รูปที่จำเป็น เพื่อให้เพียงพอกับเงื่อนไขพิเศษอาจกระทำได้

2) กำลังยึดเหนี่ยวของรูปสามเหลี่ยม (Strength of Figures)

กำลังยึดเหนี่ยวหรือความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยมเป็นการแสดง หรือนิพจน์ถึงความละเอียดเชิงเปรียบเทียบของระยะที่คำนวณในโครงข่ายสามเหลี่ยมซึ่งหาได้จากขนาดของมุมต่าง ๆ จำนวนเงื่อนไขต่าง ๆ ที่คาดหวัง และการแจกแจงของเส้นฐาน และตำแหน่งของจุดที่ทราบค่าแล้ว กำลังยึดเหนี่ยวในการสามเหลี่ยมมิได้ขึ้นอยู่กับกำลังการ

ยึดเหนี่ยวเฉพาะรูปโดยตรง แต่ขึ้นอยู่กับกำลังการยึดเหนี่ยวเชิงสัมพัทธ์ จำนวนซึ่งแสดงหรือนิพจน์ถึงความแข็งแรง หรือกำลังการยึดเหนี่ยวของสามเหลี่ยมนั้นเป็นมาตรการบอกถึงกำลังการยึดเหนี่ยวของสามเหลี่ยม บอกให้ทราบถึง "กำลังการยึดเหนี่ยวไม่ดี" (Its Weakness) เพราะว่า จำนวนกำลังการยึดเหนี่ยวที่คำนวณได้จากสูตรยิ่งมีค่าโตมากขึ้น กำลังการยึดเหนี่ยวของสามเหลี่ยมกลับลดลง กำลังการยึดเหนี่ยวของสามเหลี่ยมนั้นคำนวณหาได้จากตอนหนึ่งของสูตรเรื่องความเคลื่อนคลาดคาดคะเนของด้านสามเหลี่ยมซึ่งมิได้เกี่ยวข้อง หรือขึ้นอยู่กับความละเอียดของการรังวัดมุมแต่อย่างไร

ในโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ระหว่างเส้นฐานเก่าของจำนวน R มาจากสูตร $R = (\frac{D - C}{D}) \Sigma [\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2]$ ซึ่งจะต้องไม่เกิน 25 ของแต่ละรูปในโครงข่ายที่ดีที่สุดตามที่ได้เลือกไว้ (เรียกว่า R_1) หรือไม่เกิน 80 สำหรับโครงข่ายที่ดีที่สุดเป็นที่ 2 (เรียก R_2) ค่านี้เป็นหน่วยของทศนิยมตัวที่ 6 ของพละคณิต ค่าเหล่านี้เป็นเขตจำกัดทางสูงที่ไม่ควรจะเกินนั้น ค่าของ R_1 และ R_2 สำหรับโครงข่ายที่ดีที่สุด และดีที่เป็นที่ 2 เราลดลงมาเป็น 15 และ 50

3) ระยะจากหมุดถึงหมุด (Length of Lines) ระยะแนวเส้งของสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่โยงไปจากเส้นฐานเรื่อยไปในโครงข่ายนั้น โดยทั่วไปไม่ต่ำกว่า 3 ไมล์ ในกรณีที่ใช้ระยะเหล่านี้คำนวณต่อเนื่องไปในโครงข่ายซึ่งด้านนี้จะต้องอยู่ตรงข้ามกับมุมที่ใช้คำนวณค่าของ R (Distance Angle) ระยะแนวเส้งจากหมุดถึงหมุดที่พึงประสงค์ที่สุด คือ 4 ถึง 10 ไมล์ เพื่อแจกแจงสถานีต่าง ๆ กระจัดกระจายกันอยู่ให้ดีขึ้นสำหรับใช้ควบคุมการทำแผนที่ และใช้งานในพื้นที่บริเวณนั้น ปกติระยะจากหมุดถึงหมุดของสามเหลี่ยมแต่ละชั้นนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของบทบัญญัติ หรือคำแนะนำของโครงการ ขึ้นอยู่กับภาวะของภูมิประเทศ และขึ้นอยู่กับการพิจารณาถึงกำลังยึดเหนี่ยวของโครงข่ายสามเหลี่ยม

4) จำนวนมากน้อยของเส้นฐาน (Frequency of Bases) ถ้าลักษณะภูมิประเทศอำนวยให้สามารถกำหนดวางเส้นฐานได้แล้ว ควรให้ ΣR_1 ระหว่างเส้นฐานมีค่าประมาณ 80 ในการ

นี้จะเห็นว่าโครงข่ายสามเหลี่ยมจะมีอยู่ระหว่าง 10 ถึง 25 รูป เส้นฐาน 2 - 3 เส้นมีความจำเป็นเพื่อทำให้โครงข่ายสามเหลี่ยมยึดตัวกันแข็งแรง แต่ก็ต้องคำนึงถึงการประหยัดในการนี้ด้วย ถ้าลักษณะภูมิประเทศไม่อำนวยในการวาง หรือหาบริเวณที่จะทำการรังวัดเส้นฐานได้ ก็อาจยอมให้ ΣR_1 มีค่าถึง 110 แต่ห้ามเกินจำนวนดังกล่าวนี้

5) **ที่ตั้งของเส้นฐาน และ โครงข่ายเส้นฐาน** (Base Sites and Base Nets) ในการเลือกที่ตั้งเส้นฐานต้องระลึกว่า ระยะเส้นฐานนี้สามารถรังวัดขึ้นมาได้ด้วยความละเอียดที่ต้องการ โดยที่ถือว่าที่ตั้งเส้นฐานใด ๆ ระยะ 50 เมตร ช่วงระยะของโซ่นั้นจะต้องมีลาด (Slope) ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และต้องระลึกว่าที่ราบระหว่างเขาแคบ ๆ หรือลำธารที่กว้างน้อยกว่า 50 เมตร ในแนวทิศทางของเส้นฐานนั้นไม่ใช่เป็นอุปสรรคกีดขวางแนวการรังวัด ระยะของเส้นฐานโดยทั่วไปไม่เกิน 4 กิโลเมตร ในการรังวัดเส้นฐานทุกเส้นฐานจะต้องใช้ความระมัดระวังที่จะให้ได้ผลมาเชิงเรขาคณิตมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ไม่ควรลังเลใจต่อการกำหนดวางเส้นฐานลงบนพื้นพิภพที่ไม่ราบเรียบถ้าหากว่าความไม่ราบเรียบ หรือลาดไม่เกินจากที่กำหนดไว้ดังกล่าว ในการกระทำเช่นนี้จะทำให้สภาพเชิงเรขาคณิตของโครงข่ายเส้นฐานดีขึ้น โครงข่ายเส้นฐานแต่ละอันไม่ควรยาวเกินกว่ารูปธรรมดาของโครงข่ายหลัก 2 รูป ระหว่างเส้นฐาน

6) **สถานีใกล้เมือง** (Stations Near Cities) ในเมืองใหญ่และเมือง (หรือใกล้ ๆ เมือง) ที่มีประชาชนมากกว่า 3,000 คน สถานีสามเหลี่ยมที่โยงมาจาก 2 สถานี หรือมากกว่าจากโครงข่ายหลัก ควรจะได้กำหนด หรือหล่อไว้ในเมือง หรือใกล้เมืองนั้น เส้นฐานควรวัดใกล้ ๆ เมืองที่มีประชากรประมาณ 100,000 หรือมากกว่า

7) **การโยงยึดโครงข่ายสามเหลี่ยมกับสามเหลี่ยมที่มีอยู่** (Connections to Existing Trianguation) ในการเริ่มงาน หรือทำการเชื่อมโยงกับสามเหลี่ยมทั้งที่เป็นงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หรือชั้นที่ 2 เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของด้านสามเหลี่ยมที่คำนวณหาไว้ก่อนแล้วนั้นเพื่อใช้เป็นแนวต่อเชื่อม ที่ปลายแนวเชื่อมนี้จะต้องรังวัดมุม

ไปยังจุดที่ 3 ที่ประกอบเป็นรูปสามเหลี่ยมนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบงานเก่า แม้ว่าการโยงยึดต่อเชื่อมจะเป็นงานชั้นที่ 3 ควรทำการต่อเชื่อมกับเส้น หรือแนวหรือด้านของสามเหลี่ยมดีกว่าจะต่อเชื่อมกับจุด เพราะว่าการเปรียบเทียบระยะของแนวร่วมของระบบสามเหลี่ยม 2 ระบบนั้น อาจให้ข่าวสารอันมีค่ามากในการปรับโครงข่ายที่อ่อนกว่า การเชื่อมโยงโครงข่ายสามเหลี่ยมจากจุดเพียงอย่างเดียวหมายถึงออกจากจุดเดียวโดด ๆ หรือออกจากจุด และมีอาซิมุทเช่น ออกจากจุดโดด ๆ จุดหนึ่ง และรังวัดอาซิมุทจากจุดนั้นไปยังจุดหนึ่งในโครงข่ายสามเหลี่ยม บางทีก็ได้เปรียบอยู่ถ้ากระทำในย่าน หรือช่วงตอนระหว่างโยงยึดด้วยด้าน

8) **การโยงยึดกับงานสำรวจขององค์การอื่น ๆ** (Connection to Surveys of Other Organizations) การโยงยึดนี้จะกระทำกับหมุดหลักฐานขององค์การสำรวจ และทำแผนที่อื่น ๆ เช่น องค์การรถไฟ ป่าไม้ ชลประทาน ธรณี ฯลฯ

9) **คำแนะนำของโครงการ** (Project Instructions) บทบัญญัติอันเป็นมาตรฐานสำหรับการสำรวจเบื้องต้นอาจดัดแปลง หรือทำให้แข็งแรงยิ่งขึ้นโดยคำแนะนำของโครงการสำรวจ

เขตจำกัด R_1 และ R_2 ของรูปสามเหลี่ยมเดี่ยวอาจลดลงไปถึง 15 และ 25 ตามลำดับ และเขตจำกัดที่ต้องการอาจลดลงได้ถึง 10 และ 15 ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันระยะจากจุดถึงจุดในโครงข่ายหลักอาจถูกจำกัดลง เมื่อเป็นเช่นนี้ก็สร้างรูปสามเหลี่ยมเสริมขึ้นให้พอเพียงแก่ความต้องการ คำแนะนำอาจรวมทั้งบอกให้ทำการเชื่อมโยงหมุดหลักฐานการระดับ (Bench Marks) เพื่อใช้ในการระดับเชิงตรีโกณมิติ และแจ้งให้ทราบถึงระยะห่างในการเชื่อมโยงหมุดเหล่านี้ด้วย

10) **รูปสามเหลี่ยมเสริม** (Supplemental Figures) สำหรับการทำโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ครอบคลุมพื้นที่อันกว้างขวาง และการจะเสริมรูปสามเหลี่ยมลงไปให้กับโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ได้มีวิธีดัดแปลงขึ้นดังนี้

ก) โครงข่ายควรประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมง่าย ๆ โดยเฉพาะที่นิยมกันมักเป็นรูปสามเหลี่ยมเดี่ยว พยายามหลีกเลี่ยงการรังวัดที่ไม่จำเป็น และการคำนวณที่มีมากเกินไป

ข) โครงข่ายของรูปสามเหลี่ยมรูปเดี่ยวควรมีการเชื่อมโยงให้มากที่สุดที่จะทำได้ไปยังเส้น หรือด้านของสามเหลี่ยมที่มีความละเอียดสูงกว่า หรืออย่างน้อยก็มีความละเอียดอยู่ในระดับเดียวกัน โดยปกติถ้าจุดหนึ่งสามารถจะกำหนดได้จากด้านที่ที่ทราบแล้วด้านหนึ่ง โครงข่ายสามเหลี่ยมก็ไม่ควรจะโยงเลยเถิดจากจุดนั้นไป นอกเสียจากโครงข่ายต้องการจะเชื่อมโยงกับด้านที่ทราบแล้วอีกอันหนึ่ง

ค) ถ้าสถานี 2 สถานีไม่ว่าจะอยู่ใกล้กันขนาดไหนก็ตาม ด้านใดด้านหนึ่งระหว่าง 2 สถานีนี้จะต้องใช้เป็นด้านทำการส่องด้านหนึ่งของสามเหลี่ยม หรือไม่หมุดทั้ง 2 หมุดนั้นก็ควรจะเชื่อมโยงโดยวิธีการรังวัดเชิงวงรอบ

ง) ที่ถนนตัดกัน (Crose Roads) ต้องมีหมุดหลักฐานฝังไว้หรือ ณ ที่ใด ๆ ที่สามารถจะทราบได้จากภาพถ่ายทางอากาศ พยายามหาที่วางหมุดให้เหมาะสมเท่าที่จะทำได้

11) **สถานีที่สนามบิน** (Stations at Airports) สนามบินทั้งหลายที่ตั้งอยู่บริเวณทำสามเหลี่ยมของโครงการ ควรจะต้องเลือกวางหมุดหลักฐานลงในสนามบินทั้งหลายนั้น ผู้อำนวยการสนามบินควรติดต่อ และเสนอแนะที่ตั้งของหมุดได้อย่างเหมาะสม หน่วยสร้างกระโจมโดยสัญญาณ ควรจะเตรียมการติดตั้งแสงไฟเตือนเครื่องบินตามความจำเป็น

12) **สถานีที่มหาวิทยาลัย** (Stations at Colleges) จุดต่าง ๆ ที่สามารถรังวัดได้จากสถานี 2 สถานี หรือมากกว่าของโครงข่ายหลัก ควรได้เลือกขึ้นไว้เพื่อจะได้กำหนดหาตำแหน่งของจุดที่เลือกไว้นั้น เช่น บริเวณใกล้ ๆ วิทยาลัย หรือมหาวิทยาลัยเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยควรได้รับการติดต่อจากเจ้าหน้าที่สามเหลี่ยมเกี่ยวกับตำบลจะสร้างหมุดหลักฐาน

13) **หมุดสะกัด** (Intersection Stations) ที่สูงเด่น เช่น ยอดโบสถ์ ยอดเจดีย์ ถังน้ำประปา หอคอย ที่หมายเล็งต่าง ๆ เช่น กระโจมไฟ ปล่อยทั้งหลาย, ยอดเขาสูงเด่น และท่อ หรือถังสูบน้ำ

(Standpipes) ต้องเลือกไว้เป็นจุดสกัด หรือหมุดสกัด จุดสกัดควรกระทำจากสถานีอันเหมาะสมที่สุดซึ่งทราบค่าเรียบร้อยแล้ว และจะต้องเขียนรูป Sketch แสดงให้เห็นด้วยเส้นประ (Short-Rays) ใน Sketch ไปยังจุดสะกัดนั้น

14) **การโยงยึดกับหมุดหลักฐานการระดับ** (Connections to Bench Marks) ไม่ว่าที่ใดมีหมุดหลักฐานการระดับควรจะได้ทำการโยงยึดเท่าที่จะทำได้ หมุดหลักฐานการระดับอาจใช้เป็นหมุดพะยาน หรือหมายพะยานที่โครงข่ายสามเหลี่ยมหลัก หรืออาจใช้เป็นหมุดต่างหมุดเสริม (Supplemental Stations) ที่ใดที่มีการรังวัดมุมดิ่งการเชื่อมโยงชนิดนั้นต้องการประมาณทุกรูปเหลี่ยมรูปที่ 3 (Third Quadrilateral)

บทบัญญัติสำหรับการสำรวจเบื้องต้นงานชั้นที่ 2 (Specifications for Second-Order Reconnaissance)

สำหรับบทบัญญัติการสำรวจเบื้องต้นงานชั้นที่ 1 ดังกล่าวมาแล้วนั้นยังได้นำเอาไปใช้ในงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 อีกด้วย นอกจากจะได้ดัดแปลงดังต่อไปนี้

15) **ลักษณะของรูปสามเหลี่ยม** (Character of Figures) โครงข่ายหลักของสามเหลี่ยมควรประกอบขึ้นด้วยรูปสามเหลี่ยมจาก 4 ถึง 7 จุด ซึ่งสถานีบางสถานีอาจตัดทิ้งไม่ต้องคำนวณหาตามในข้อ 16) เรื่องกำลังยึดเหนี่ยวของสามเหลี่ยม ในกรณีพิเศษอาจตัดทอนลงเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมเดี่ยว ซึ่งทำการรังวัดมาทุกมุมซึ่งถ้าไม่ทำเช่นนั้นแล้วอาจต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเสียเวลามาก ในทางตรงข้ามไม่ควรมีรูปสามเหลี่ยมเหลื่อมล้ำกัน นอกเสียจากรูปสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นในลักษณะ 4 ด้าน (Four-Sided) รูปชนิดมีจุดศูนย์กลางซึ่งเส้นทแยงเส้นหนึ่งอาจต้องรังวัดมา และไม่ควรจะต้องรังวัดมาให้มากเกินความจำเป็นในการจะให้ได้ด้านมาเพื่อตรวจสอบ 2 ด้าน อย่างไรก็ตามยอมให้รังวัดระหว่างสถานีซึ่งไม่ใช่เป็นรูปเดียวกันเพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณกลับเพื่อกำหนดหมุดเสริม หรือหมุดสกัด การรังวัดแนวเล็งที่จะกระทำในโครงข่ายสามเหลี่ยมหลักให้สลับซับซ้อนกว่าดังกล่าวนี้ จะทำให้เสียเงินเสียเวลาโดยใช่เหตุในเชิงปฏิบัติ ถ้าจำเป็นจะได้ค่า หรือกำหนดจุดอื่น ๆ จากโครงข่ายสามเหลี่ยม

หลัก เพื่อประโยชน์ทางอุทกศาสตร์ หรือทางทำแผนที่ภูมิประเทศ จุดบางจุดก็อาจสกัดเข้าไว้ เรียกหมุดเสริม (Supplentary Stations) และควรเป็นรูปง่าย ๆ ที่สุดที่จะง่ายได้ซึ่งอาจจะตรวจสอบได้ด้วย สามเหลี่ยมรูปเดี่ยวที่รังวัดมุมทั้งหมดอย่างดีโดยปกติมักพอเพียงกับความต้องการ

16) **กำลังยึดเหนี่ยวของรูปสามเหลี่ยม** (Strength of Figures) ในโครงข่ายสามเหลี่ยมหลักค่าของ

$$R = \frac{D - C}{D} \Sigma \left[\delta_A^2 + \delta_A\delta_B + \delta_B^2\right]$$

สำหรับแต่ละรูป R_1 ที่เป็นโครงข่ายดีที่สุดที่เลือกไว้ต้องไม่เกิน 40 และดีเป็นที่ 2 จะต้องไม่เกิน 120 คิดเป็นหน่วยทศนิยมตัวที่ 6 ของพละคณิต เขตจำกัดนี้เป็นเขตทางสูงสุดที่เกินไม่ได้ ยกเว้นในกรณีที่มีความยุ่งยากสุดขีดที่จะไม่อาจรักษาสภาพที่เป็นอยู่นั้นให้อยู่ในเขตจำกัดได้ จำนวน R_1 และ R_2 ควรลดลงได้ถึงเขตจำกัด 25 และ 80 สำหรับโครงข่ายดีสุดและดีเป็นที่ 2 ตามลำดับ ในการกระทำเช่นนี้ปรากฏชัดว่าค่าใช้จ่ายจะไม่เกินค่าอย่างเขตจำกัดสูงสุดนั้นมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ สถานีหนึ่งในรูปสามเหลี่ยม (Quadrilateral) หรือรูปมีจุดศูนย์กลาง (Central-Point Figure) อาจปล่อยไว้ไม่ต้องกำหนดหาค่า หรือบางแนวอาจรังวัดเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ถ้า R_1 และ R_2 ไม่เกินขตจำกัดกำหนดไว้ และถ้าเป็นการไม่เสียเวลาจากการปฏิบัติการนั้น ถ้าหมุดเสริมเชื่อมโยงจากโครงข่ายสามเหลี่ยมหลักเป็นสามเหลี่ยมเดี่ยว มุมภายใน ณ ที่หมุดเสริมไม่ควรโตกว่า 30° ถ้ากระทำได้

17. **จำนวนมากน้อยของเส้นฐาน** (Frequency of Bases) ถ้าลักษณะของภูมิประเทศที่เส้นฐานสามารถจะวางลงได้ใกล้ ๆ บริเวณที่ต้องการ ΣR_1 ระหว่างเส้นฐาน ไม่ว่าจะเป็นระยะที่วัดขึ้นโดยตรงเป็นเส้นฐาน หรือเป็นระยะของสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่ใช้ต่างเป็นเส้นฐาน ควรให้ ΣR_1 มีค่าประมาณ 100 ค่านี้พบว่าจะสมนัยกับโครงข่ายสามเหลี่ยมที่มีรูปสามเหลี่ยม 10 ถึง 30 รูป ตามความแข็งแรง หรือกำลังการยึดเหนี่ยวของรูปสามเหลี่ยมที่เกี่ยวข้อง ถ้ารูปสามเหลี่ยมมีความแข็งแรงความต้องการรังวัดเส้นฐานก็มีน้อย และขณะเดียวกันในงาน

นี้ก็จะไม่สิ้นเปลืองเงิน และเสียเวลามาก หากต้องการจะวางเส้นฐานแต่เกิดความยุ่งยากเรื่องภูมิประเทศ อาจยอมให้ ΣR_1 มีค่าย่างไปสู่ 130 และไม่โตกว่า 130 หากเห็นว่าอาจเป็นอันตรายต่องานก็ให้รังวัดเส้นฐานขึ้นในระหว่าง หากในบางกรณีความต่างระหว่างเส้นฐานที่อยู่ใกล้เคียง หรือถัดกันไปพบว่าเกิน 1 ใน 10,000 หลังจากได้ปรับสมการด้าน และมุมแล้ว เส้นฐานในระหว่างนั้นจำเป็นต้องวัดขึ้น หรือไม่การรังวัดมุมจะต้องกระทำอย่างละเอียดประณีต

บทบัญญัติสำหรับการสำรวจเบื้องต้นงานชั้นที่ 3 (Specifications for Third-Order Reconnaissance)

วิธีการนี้ก็คล้ายคลึงกับหลักเกณฑ์ขั้นชั้นที่ 1-2 แม้จะมีอะไรที่แตกต่างอยู่บ้างดังต่อไปนี้

18) **กำลังยึดเหนี่ยวของรูปสามเหลี่ยม** (Strength of Figures) ในโครงข่ายสามเหลี่ยมหลักค่าของ R_1 สำหรับรูปสามเหลี่ยมรูปหนึ่งต้องไม่เกิน 50 และ R_2 ต้องไม่เกิน 150 ยกเว้นเฉพาะความยุ่งยาก หรือจำเป็นที่จะกำหนดให้อยู่ในเขตจำกัดนี้ R_1 และ R_2 อาจลดลงถึง 25 และ 120 สำหรับโครงข่ายดีที่สุด และดีเป็นที่ 2 ตามลำดับ และการกระทำเช่นนี้จะไม่ทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายเกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์คิดจากเขตจำกัดทางสูงสุด

19) **จำนวนมากน้อยของเส้นฐาน** (Frequency of Bases) เมื่อพบที่จะวางเส้นฐานใกล้ ๆ กับตำบลหนึ่งตำบลใดที่ต้องการ ΣR_1 ระหว่างเส้นฐานซึ่งหมายถึงว่าจะอยู่ในระหว่างเส้นฐานที่วัดขึ้นโดยตรง หรือระหว่างระยะในโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หรือชั้นที่ 2 ที่ใช้เป็นด้านฐานก็ได้ ควรมีค่าประมาณ 125 และอาจเพิ่มขึ้นไปถึง 175 ถ้าหากภูมิประเทศไม่อำนวยให้วางเส้นฐานได้ แต่จะต้องไม่เกิน 175 เมื่อเห็นว่า ΣR_1 ใกล้ 175 เข้าไปให้เตรียมหาที่จะวางเส้นฐานได้ เนื่องจากถ้าความต่างระหว่างเส้นฐานเกิน 1 ใน 5,000 หลังจากที่สมการของมุมและด้านได้แก้เรียบร้อยแล้ว จะต้องวางเส้นฐานขึ้นในระหว่าง หรือไม่มุมจะต้องรังวัดอย่างละเอียด และประณีต

ภารกิจของหน่วยสนามถือว่าการสำรวจเบื้องต้น คือ การวางเค้าโครง (Design) โครงข่ายควบคุมทางสำรวจอันสำคัญ การสำรวจเบื้องต้นที่สมบูรณ์ถูกต้อง คือ

1) เลือกหาที่ตั้งของหมุดหลัก และหมุดเสริม

2) เลือกหาที่ตั้งของเส้นฐาน

3) ทดลอง และกำหนดหาถึงการแลเห็นกันได้ของแนวเล็งทั้งหมดด้วยความละเอียดประณีตพอควร

4) ระบุความสูงของโคมฉาย หรือที่หมายเล็ง และชนิดของหมุดที่ต้องการ

5) รวบรวมข่าวสารต่าง ๆ เช่น ถนนหนทาง สภาพดินฟ้าอากาศ และความรู้อื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์เพื่ออำนวยความสะดวก และเพิ่มความรวดเร็วให้แก่หน่วยสร้าง และหน่วยรังวัด

6) วางแผน และเตรียมการเขียน Sketches โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นต่ำกว่าที่จะเข้าเชื่อมโยงกับโครงข่ายหลัก

7) ทำการสำรวจด้วยตา (Reconnoiter) ดูทางที่ดีที่สุดที่วงรอบและสายการระดับที่จะเข้ามาเชื่อมโยงกับโครงข่ายหลัก

8) เลือกวิธีดีที่สุดในการขยายจุดบังคับไปยังจุดในภาพถ่าย (Picture Points) ต่าง ๆ เพื่อประโยชน์แก่การทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ

9) ควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการขยายจุดควบคุมโดยการรังวัดด้านสามด้าน (Trilateration) โดยเฉพาะเมื่อการแลเห็นระหว่างจุดกระทำไม่ได้สำหรับการสามเหลี่ยมหรือวงรอบ

การเตรียมการ (Preparation)

วิธีดำเนินการ และการรับผิดชอบ (Procedure and Responsibility)

1) แผนที่ และรูปถ่ายที่คลุมพื้นที่ทั้งหมด วิธีดำเนินการขั้นแรกในการสำรวจเบื้องต้น คือ การรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ทุกอย่างที่จะอำนวยประโยชน์ให้ในการสำรวจควรหาแผนที่ชนิดต่าง ๆ และภาพถ่ายทางอากาศในเขตปฏิบัติการ หากไม่มีเลยแผนที่ Sketch ที่กระทำขึ้น

ในสนามจากหน่วยนี้ก็เป็นการพอเพียง ข่าวสารที่ได้ยิ่งมีมากก่อนออกทำการ ก็ยิ่งเพิ่มความง่ายในการดำเนินการในสนาม แผนที่การบินเฉพาะแห่งนับเป็นเครื่องช่วยได้เหมือนกันในเมื่อไม่มีแผนที่มาตราส่วนใหญ่พิจารณา เพราะแผนที่การบินจะแสดงให้เห็นทางรถไฟ ถนน หลวงสายหลัก ลำธารใหญ่ เมือง หอสัญญาณเครื่องบิน (Air Beacons) และเขตที่มีสิ่งสูงเด่นที่อาจเป็นภัยต่อการบิน เป็นต้น

2) การศึกษาจากแผนที่ (Map Study) จุดควบคุม หรือหมุดหลักฐานที่จะต้องสร้างตามความต้องการของโครงการซึ่งได้ระบุไว้ในระเบียบการปฏิบัติการควรจะได้ลองกำหนดลงบนแผนที่ ควรศึกษาอย่างถี่ถ้วนถึงระบบการระบายน้ำของพื้นที่นั้น เพื่อกำหนดการแบ่งแยกน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำสายลำธารใหญ่ ๆ โดยปกติมักจะแสดงกำหนดสูงที่สูงสุดไว้ นอกจากในพื้นที่ที่เป็นนินทราย หรือธารน้ำแข็ง (Sand Dunes & Glacial Moraines) สิ่งเหล่านี้จะเป็นเครื่องช่วยให้ตัดสินใจได้ถูกถึงขนาดรูปสามเหลี่ยม และวางแผนทั่วไปในการใช้การสามเหลี่ยม การวัดด้านสามด้าน หรือการวงรอบ การศึกษาแผนที่จะชี้บอกให้ผู้รังวัดได้ทราบถึงแบบหรือชนิดของภูมิประเทศที่เขาจะต้องเผชิญ การไปตรวจภูมิประเทศในพื้นที่ปฏิบัติการก่อนจะทำให้ทราบข่าวสาร

ก) ทำให้ทราบความสูงของภูมิประเทศจากต้นไม้

ข) คุณภาพของถนน และอื่น ๆ

3) การรับผิดชอบอื่น ๆ นอกจากดังกล่าวแล้วหน่วยสนามสำรวจเบื้องต้นยังต้องกระทำในสิ่งต่อไปนี้

ก) กำหนดตำแหน่งของสถานีต่อเนื่องตามต้องการของการสำรวจนี้และกะระยะโดยประมาณระหว่างสถานีเหล่านั้น

ข) กำหนดระดับสูงต่อเนื่องของสถานี การเขียนแสดงเส้นตัดทางข้าง (Profiling) จะทำให้ทราบกำหนดสูงของจุดวิกฤติ (Critical Points) ตามแนวที่คาดหวังไว้ (Prospective Lines) เพื่อกำหนดการแลเห็นได้ระหว่างสถานีทั้งสองที่อยู่ปลายแนวเล็งนั้น กำหนดสูงเหล่านี้หาได้จากการรังวัดมุมสูง หรือได้จากเครื่องแอลทิมิเตอร์ (Altimeter) หรือโดยการใช้วิธีทั้ง 2 อย่างนี้ผสมกัน หรือในบางกรณีอาศัยเส้นชั้นในแผนที่ (Map Contours)

ค) ตรวจสอบการแลเห็นระหว่างสถานี และการถากถาง หรือทำให้สิ่งกีดขวางอยู่ในแนวเล็งหมดไป รวมทั้งความสูงของที่หมายเล็งซึ่งควรให้เห็นได้จากสถานีที่ส่องมา

จุดที่ขวางอยู่ในแนวเล็งอาจกำจัดให้สูญไปได้จากการถากถางโค่นต้นไม้ที่อยู่ในแนว หรือโดยการสร้างกระโจมขึ้นที่ปลายแนวเล็งข้างใดข้างหนึ่ง หรือทั้ง 2 ข้างแล้วแต่ว่าอย่างไหนจึงจะประหยัด และเสียเวลาน้อยกว่า หรือโดยการเลือกสถานีเพิ่มขึ้น หรือสลับกันและสร้างรูปสามเหลี่ยมขึ้นมาใหม่

ง) วัดมุมโดยประมาณระหว่างสถานีที่กำหนดไว้ (Proposed Stations) ด้วยเข็มทิศ หรือใช้กล้องธีโอโดไลท์ (Theodolite) ที่มีความละเอียดในการรังวัดมุมขนาด 1.0″ รังวัดมุมมา

จ) กำหนดชนิด และกำลังยึดเหนี่ยวของรูปสามเหลี่ยม (Types & Strength of Figures) และจำนวนกับปริมาณของเส้นฐาน และสถานีลาพลาส (Laplace Stations) สำหรับการสำรวจนั้น

ฉ) ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่เลือก ณ ตำบลที่ตั้งต่าง ๆ ไว้ด้วยจุดกลม (Hubs) ที่กองหิน (Rock Piles) ธง (Flags) หรือด้วยวิธีอื่นที่จะทำได้เพื่อจะค้นหาได้สะดวก และง่ายจากหน่วยรังวัดมุม

ช) รายงาน และให้รายละเอียดสิ่งต่าง ๆ ตลอดจน Sketches ย่อมทำให้การสามเหลี่ยม การรังวัด 3 ด้าน การระดับ และการสำรวจ ได้รับความสะดวก

ที่ตั้งสถานี (Station Location)

ก. การค้นพบหมุด และการใช้สถานีที่มีอยู่ในภูมิประเทศ

หน้าที่อีกอันหนึ่งของหน่วยสำรวจเบื้องต้นก็คือ การค้นพบสถานีที่มีอยู่ และเพื่อนำเอาหมุดเหล่านี้รวมเข้าไปในงานใหม่เท่าที่จะทำได้ หมุดเหล่านี้มักเป็นสถานีของการสำรวจที่กระทำไว้แต่ก่อน และมักจะทำหมายไว้ด้วยวิธีต่าง ๆ พร้อมกับคำอธิบายรายละเอียดที่ไม่เพียงพอ หรือล้าสมัย

ถ้าหมุด เหล่านี้แลเห็นได้โดยปกติชาวบ้านแถวนั้นจะบอกให้ทราบว่าอยู่ที่ใด หมุดสามเหลี่ยมโดยปกติสร้างไว้ ณ พื้นดินสูง ๆ และในภูมิประเทศที่มีทรวดทรงจำกัด

มักจะสร้างไว้บนลูกเนินสูงสุด

สถานีวงรอบจะอยู่ในเส้นทางสัญจรที่จำกัด การหยั่งลงไปในดินด้วยการใช้เหล็กแท่งกระทุ้ง (Prodding Bar) อาจบอกให้ทราบ หรือตรวจพบหมุดที่จมดิน (Subsurface Mark) หรือชิ้นส่วนของหมุดบนผิวพื้น หมุดเก่าหาย ควรเขียนอธิบายให้ชัดหมุดใหม่ควรสร้างขึ้นอย่างไร

ข. การเข้าไปถึงที่ตั้งหมุด

การเข้าไปถึงหมุดได้นับว่าสำคัญ ไม่เฉพาะแต่ผู้จะไปสร้างหมุด และผู้รังวัดแต่ยังมีความสำคัญต่อบุคคลอื่นจะต้องการใช้หมุดนั้น ๆ อีกด้วย

แต่ก็น่าคิดอยู่เหมือนกัน เพราะหมุดที่เข้าถึงได้ง่ายมักเปิดเผยต่อการถูกรบกวนและถูกทำลายได้ง่าย การเข้าไปถึงได้ง่ายนั้นมีความสำคัญน้อยกว่าการที่จะคงไว้ให้หมุดมีอายุยืนนาน

ค. การเห็นกันได้ของสถานี

ได้เคยกล่าวมาแล้วหน่วยการสำรวจเบื้องต้นนี้จะบอกถึงการแลเห็นกันได้หรือไม่ต้องมีการตัดโค่นต้นไม้ หรือสร้างกระโจมแล้วแต่กรณี อาจใช้เฮลิคอปเตอร์ช่วยกะประมาณความสูงของกระโจม โดยใช้เฮลิคอปเตอร์บินเหนือสถานีแล้วหย่อนเชือก หรือโซ่ที่ถ่วงน้ำหนักก็อาจสร้างกระโจมที่แลเห็นกันได้ต้องใช้กระโจมสูงเท่าไรจากเชือก หรือโซ่ที่หย่อนนั้น

โดยการหมุนไปรอบ ๆ อาจเป็นไปได้ที่จะค้นหาสถานที่ซึ่งกระโจมเตี้ย ๆ อาจนำมาใช้ได้ กำหนดสูงของจุดสูง ๆ ในระหว่างอาจหาได้จากเฮลิคอปเตอร์ถ้ากระทำได้หรือโดยการระดับบาโรเมตร หรือเชิงตรีโกณมิติ หรือจากแผนที่ภูมิประเทศที่เชื่อถือได้

ความโค้งของผิวพื้นพิภพ และการหักเหของแสง (Curvature and Refraction)

มีปัจจัยอันหนึ่งเข้ามาเกี่ยวในการคำนวณงานสนามเป็นอันมาก ปัจจัยอันนั้นเป็นจำนวนแก้ (Correction) อันเนื่องจากความโค้งของพื้นผิวพิภพ และการหักเหของบรรยากาศ เนื่องจากผิวพิภพมีลักษณะเป็นพื้นโค้ง สถานีไกล ๆ จะปรากฏอยู่ต่ำกว่าแนวระดับของสาย

ตาจากจุดที่ทำการรังวัด อนึ่งการหักเหทางดิ่งเป็นเหตุให้แนวเล็งเป็นโค้งโน้มลงและทำให้จุดที่อยู่ไกล ๆ ปรากฏเห็นสูงขึ้นกว่ากำหนดสูงจริง ๆ

การหักเหของแสงมีค่าประมาณ $\frac{1}{7}$ ของความโค้งของพื้นผิวพิภพ และมีเครื่องหมายตรงข้าม ในการสำรวจโดยทั่วไปค่าทั้ง 2 นี้จะผสมกันเป็นจำนวนแก้สำเร็จรูปและจำนวนแก้สำเร็จรูปโดยประมาณนี้ได้จาก

$$h \text{ (เมตร)} = K^2 \text{ (กิโลเมตร)} \times 0.0676$$

ถ้า h เป็นจำนวนที่ทราบแล้ว สูตรนี้หา K ได้ คือ

$$K \text{ (กิโลเมตร)} = \sqrt{h \text{ (เมตร)}} \times 3.8478$$

หรือหากให้ h (ฟุต) และ K (ไมล์) จะได้จากสูตร

$$h \text{ (ฟุต)} = 0.574.K^2$$

$$K \text{ (ไมล์)} = 1.32 \sqrt{h}$$

ตาราง 6.1

จำนวนแก้สำหรับความโค้งผิวพิภพ และการหักเหของแสง

ระยะ (ก.ม.)	จำนวนแก้ (ม.)	ระยะ (ก.ม.)	จำนวนแก้ (ม.)	ระยะ (ก.ม.)	จำนวนแก้ (ม.)	หมายเหตุ
1	0.1	21	29.8	41	113.5	N.B. ตารางนี้
2	0.3	22	32.7	42	119.1	เตรียมจากสูตรที่
3	0.6	23	35.7	43	124.8	ระยะเป็นเมตร
4	1.1	24	38.9	44	130.7	และกิโลเมตร ถ้า
5	1.7	25	42.2	45	136.7	จะใช้ค่าเป็นฟุต
6	2.4	26	45.6	46	142.8	ไมล์ ก็คำนวณ
7	3.3	27	49.2	47	149.1	จากสูตรข้างบน
8	4.3	28	52.9	48	155.5	
9	5.5	29	56.8	49	162.1	
10	6.8	30	60.8	50	168.8	
11	8.2	31	64.9	51	175.6	
12	9.7	32	69.1	52	182.5	
13	11.4	33	73.5	53	189.6	
14	13.2	34	78.0	54	196.8	
15	15.2	35	82.7	55	204.2	
16	17.3	36	87.5	56	211.7	
17	19.5	37	92.4	57	219.3	
18	21.9	38	97.5	58	227.1	
19	24.4	39	102.7	59	235.0	
20	27.0	40	108.0	60	243.0	

ตาราง 6.2

จำนวนแก้สำหรับความโค้งผิวพิภพ และการหักเหของแสง

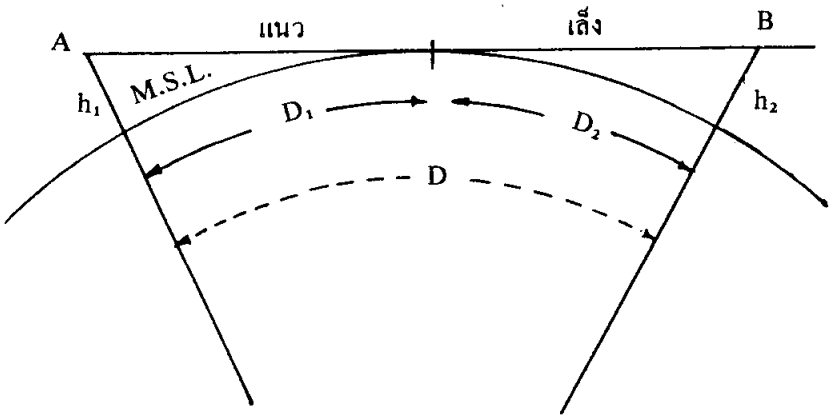
ระยะ (ไมล์)	จำนวนแก้ (ฟุต)	ระยะ (ไมล์)	จำนวนแก้ (ฟุต)	ระยะ (ไมล์)	จำนวนแก้ (ฟุต)	ระยะ (ไมล์)	จำนวนแก้ (ฟุต)	หมายเหตุ
1	0.6	21	253.1	41	964.6	61	2135.2	N.B ใน
2	2.3	22	277.7	42	1012.2	62	2205.8	Table นี้
3	5.2	23	303.6	43	1061.0	63	2277.5	ใช้ R รัศมี
4	9.2	24	330.5	44	1110.9	64	2350.4	ปานกลาง
5	14.3	25	358.6	45	1162.0	65	2424.4	พิภพเป็น
6	20.7	26	387.9	46	1214.2	66	2499.6	3959 ไมล์
7	28.1	27	418.3	47	1267.6	67	2575.9	
8	36.7	28	449.9	48	1322.1	68	2653.4	
9	46.5	29	482.6	49	1377.8	69	2732.0	
10	57.4	30	516.4	50	1434.6	70	2811.7	
11	69.4	31	551.4	51	1492.5	71	2892.6	
12	82.6	32	587.6	52	1551.6	72	2974.7	
13	97.0	33	624.9	53	1611.9	73	3057.9	
14	112.5	34	663.3	54	1673.3	74	3142.2	
15	129.1	35	702.9	55	1735.8	75	3227.8	
16	146.9	36	743.7	56	1799.5	76	3314.4	
17	165.8	37	785.6	57	1864.4	77	3402.2	
18	185.9	38	828.6	58	1930.4	78	3491.2	
19	207.2	39	872.8	59	1997.5	79	3581.3	
20	229.5	40	818.1	60	2065.8	80	3672.5	

ในตารางข้างต้นนี้ตัวเลขแสดงกำหนดสูงเหนือพื้นหลักฐานการระดับของหมุดที่หมายเล็ง ซึ่งมีระยะต่าง ๆ กันที่สามารถแลเห็นที่หมายได้จากพื้นหลักฐานการระดับ หากพื้นดินอยู่ในระหว่างแนวเล็งไม่มีอะไรกีดขวางเลยแล้ว และในทางกลับกันระยะจากพื้นขอบฟ้าที่แลเห็นได้จากสถานีที่ทราบกำหนดสูงเหนือพื้นระดับทะเลปานกลาง

ระดับสูงเชิงสัมพันธ์ของสถานีต่าง ๆ (Relative Elevation of Stations)

เมื่อพื้นดินอยู่ต่ำกว่าแนวเล็งนั้นราบเรียบ ตารางข้างต้นอาจนำไปใช้เพื่อให้ระดับสูงที่จำเป็นของสถานีที่ทราบระยะ ฉะนั้นจึงอาจแลเห็นได้จากจุดอื่นที่ทราบระดับสูงแล้วดูในรูป ให้ h_1 เป็นกำหนดสูงที่ทราบแล้วของสถานี A ซึ่งอยู่เหนือพื้นดินที่ได้ระดับ หรือ ราบเรียบ ระยะ D_1 เป็นระยะที่แนวเล็งเฉียดพื้นดิน ค่านี้ได้จากเทียบส่วนสัมพันธ์จากตาราง

$$D_2 = (D - D_1)$$



รูป 6.1

ระดับ h_2ตามระยะ D_2 ก็หาได้ และระดับดินของตำบล B เราทราบไม่ว่าจะเป็นอย่างไรสามารถหาความสูงกระโจมได้ จึงเห็นว่าจำเป็นหรือไม่ที่จะยกสถานีให้สูงขึ้นเหนือพื้นดิน และถ้าจำเป็นก็สามารถจะทราบความสูงของกระโจม

แนวเล็งจะต้องไม่เฉียดพื้นผิวดิน ณ จุดสัมผัสดังในรูป แต่ควรจะผ่านเหนือชั้นอากาศที่ถูกรบกวน ในการกำหนดความสูงของสถานีนั้นมีการยินยอม หรือข้ออนุญาตให้ว่าแนวเล็งไม่ควรให้ผ่านพื้นผิวดินทุกแห่งในแนวเล็งไม่น้อยกว่า 6 ฟุต สำหรับงานชั้นที่ 1 นิยมให้ต่ำกว่า 10 ฟุต

ตัวอย่าง (Example)

A มีกำหนดสูง 812 ฟุต

B มีกำหนดสูง 857 ฟุต

ระยะห่างจาก A ถึง B = 30.5 ไมล์ พื้นดินระหว่างแนวเล็งอาจสมมติให้เป็นพื้นระดับมีกำหนดสูง 709 ฟุต จงหาความสูงอย่างต่ำสุดของกระโจมโดยสัญญาณที่ต้องการ ณ จุด B เพื่อมิให้แนวเล็งไม่ผ่านพื้นผิวดินต่ำกว่า 6 ฟุต

วิธีทำ (Solution)

แนวเล็งที่จะต้องผ่านพื้นดินในแนวอย่างต่ำสุด = 709 + 6 = 715 ฟุต สมมติให้ 715 ฟุตนี้ต่างเป็นพื้นหลักฐานเสียเลยเพื่อจะได้ทราบว่าจุด A สูงเท่าไรจากพื้นหลักฐาน

$\therefore$ ระดับสูงของ A จากระดับสมมุติในแนวเล็ง = 812-715=97=h_1 ฟุต นำค่า 97 ฟุตไปดูใน Table จะพบระยะ D_1 คือ

$$D_1 = 13 \text{ ไมล์}$$

$\therefore$ ระยะ $D_2 = (D - D_1) = 30.5\text{-}13.0 = 17.5$ ไมล์

ซึ่งระยะนี้ดูใน Table ก็ทำการ Interpolate ได้คือ

ระยะ 18-17 ไมล์ C & R = 185.9 − 165.8 = 20.1 ฟุต

ในระยะ 17.5-17 ไมล์ C & R = 20.1 × 0.5 = 10.05 ฟุต

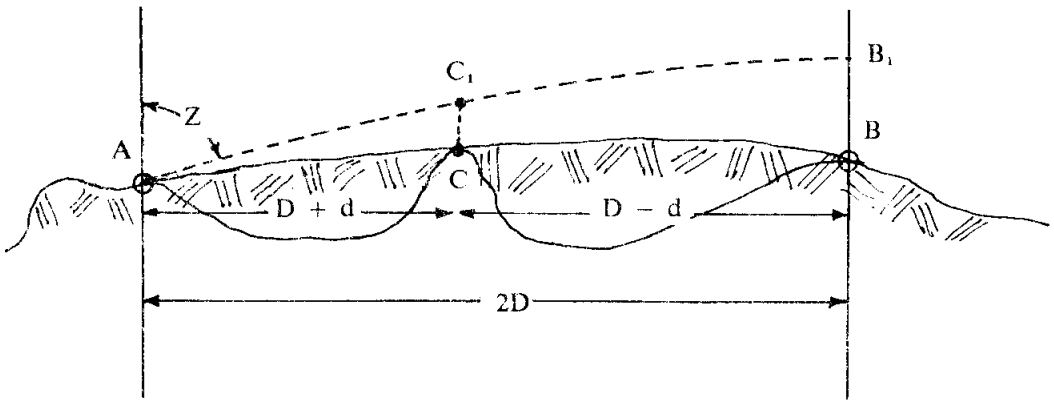
ฉะนั้น $h_2 = 165.8 + 10.05 = 175.85$

∴ ความสูงของกระโจมโคมสัญญาณอย่างต่ำสุดเหนือพื้นดินที่ B จึงเป็น

$= 175.85 + 715 - 857 = 33.85$ ฟุต

หรือ $= 34$ ฟุต เป็นต้น

การแสดงหน้าตัดทางข้างของพื้นดินระหว่างแนวเล็ง (profile of Intervening Ground)



รูป 6.2

ระดับสูง และตำแหน่งของยอดเขาซึ่งอาจทำให้กีดขวางแนวเล็ง ต้องสืบให้รู้แน่ และแล้วจะต้องเปรียบเทียบดูกับแนวเล็งที่ได้กำหนดไว้ในระยะเดียวกัน จะทำให้ทราบได้ว่าแนวเล็งนั้นใช้การได้หรือไม่

Captain G.T. McCaw ได้ให้สูตรง่าย ๆ ในการแก้ปัญหานี้ดังต่อไปนี้

ให้ A มีความสูง = h_1

B มีความสูง = h_2

ระยะ AB = 2D

และให้จุดที่ขวางแนวเล็งอยู่ที่ระยะ = D + d จาก A

และให้จุดที่ขวางแนวเล็งอยู่ที่ระยะ = D - d จาก B

หากเราทราบระยะเซนิธจาก A → B = Z

h คือ ความสูงของแนวเล็งที่จุด C จะได้จากสูตร

$$h = \frac{1}{2}(h_2 + h_1) + \frac{1}{2}(h_2 - h_1).\frac{d}{D} - (D^2 - d^2).\operatorname{cosec}^2 Z\,(\frac{1}{2} - k)/R,\ K = 0.07$$

ค่าของ $\operatorname{cosec}^2 Z$ โดยปกติมักตัดทิ้งเนื่องจากมันมีค่าโดยประมาณใกล้กับ 1 หากจำเป็นก็อาจคำนวณได้จากต่อไปนี้ ซึ่งจะให้ความละเอียดอย่างเพียงพอ K คือสัมประสิทธิ์การหักเห

$$\operatorname{cosec}_2 Z = 1 + \frac{(h_2 - h_1)^2}{4D^2}$$

เทอม $(D^2 - d_2).(\frac{1}{2} - k)/R$ อาจหาได้จากตารางข้างต้นโดยใช้ระยะเป็นไมล์ต่างอาร์กิวเมนท์ (Argument) ซึ่งได้จาก $S = (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}}$

ตัวอย่าง (Example)

ระดับสูงที่กำหนดไว้ของตำบล A และ B ซึ่งอยู่ห่างกัน 70 ไมล์ ดังนี้

A มีระดับสูง = 516 ฟุต

B มีระดับสูง = 1428 ฟุต

สูงจากระดับทะเลปานกลาง สิ่งกีดขวางได้เกิดขึ้นที่จุด C ห่างจาก B 20 ไมล์ และ C มีระดับสูง 598 ฟุต

จงกำหนดให้รู้แน่ว่าควรจะยกจุด B ขึ้นสูงเท่าไรจึงจะทำให้แนวเล็งผ่านพ้นจุด C เท่ากับ 10 ฟุต

วิธีทำ (Solution)

หา 2D ซึ่งเท่ากับ 70 ไมล์, D – d = 20 ไมล์

$\therefore$ 2D = 70, D = 35 ไมล์ และ d = 35 – 20 = 15 ไมล์

$h_1 + h_2 = 516 + 1428$ 1944 ฟุต

$h_2 - h_1 = 1428 - 516$ 912 ฟุต

นำค่าที่ได้ใส่ในสูตร

$$h = \frac{1}{2}(h_2+h_1) = \frac{1}{2} \times 1944 = 972, \frac{1}{2}(h_2-h_1).\frac{d}{D} = \frac{1}{2} \times 912 \times \frac{15}{35} = +195.4$$

$$D^2 - d^2 = \frac{2}{35} - \frac{2}{15} = 1{,}000$$

$$\therefore S = (D^2 - d^2)^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{35} - \frac{2}{15}} = \sqrt{1225\text{-}225}$$

$$= \sqrt{1000} = 31.6 \text{ ไมล์}$$

ซึ่งค่า $(\frac{1}{2} - k) \cdot \frac{D^2}{R} = (1-2k) \cdot \frac{D^2}{2R}$ ดูใน Table เอา 31.6 ไมล์ ไปหาจะได้

$(1-2k) \cdot \frac{D^2}{2R} = 573.1$ (ใช้ Interpolate เอา)

ฉะนั้น หากให้ $\text{cosec}^2 Z = 1$ จะได้

$h = 972 + 195.4 - 573.1 = 594.3$ ฟุต (ที่จุด C)

ดังนั้นแนวเล็งที่จุด C จะต้องสูงขึ้นไปเป็น

$= 598 - 594.3 = 3.7$ ฟุต

หากให้แนวเล็งผ่านจุด C สูงขึ้นไป 10 ฟุต จุด C จะต้องยก C ให้สูงถึง 10+3.7 = 13.7 ฟุต

ดูในรูป Δ คล้าย $\frac{BB_1}{CC_1} = \frac{AB}{AC}$

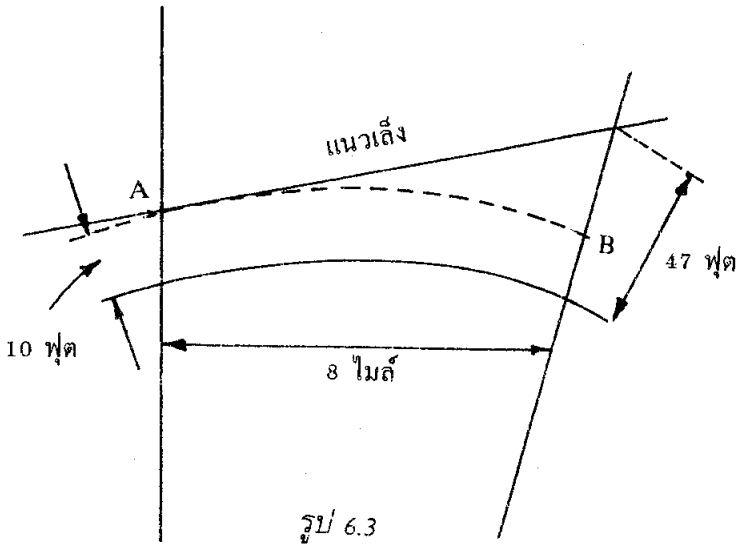
$$BB_1 = \frac{AB}{AC} \cdot CC_1 = \frac{70}{35+15}\ 13.7 = \frac{7}{5}\ 13.7$$

$$= 19.18 \text{ ฟุต}$$

ซึ่งระยะสูงของ BB_1 จากจุด B ขึ้นไปต้องสร้างกระโจมสูงอย่างน้อย 19 ฟุต

ความสูงต่อเนื่องของกระโจม 2 กระโจม สำหรับความสูงที่จะต้องหาทั้งหมดอย่างมีความสูงที่อย่างน้อยที่สุดก็ให้แลเห็นกันได้นั้น จะให้ได้ผลดีที่สุดก็โดยการคำนวณทดลอง ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางเพียงอันเดียวความสูงขนาดต่ำสุดหาได้ โดยสร้างกระโจมขึ้นกระโจมเดียวใกล้กับสิ่งกีดขวางนั้น

ในกรณีที่ 2 สถานีอยู่ที่ระดับน้ำฝั่งตรงข้ามกันของทะเลสาบซึ่งกว้าง 8 ไมล์ แนวเล็งควรอยู่สูงจากระดับน้ำอย่างน้อย 10 ฟุต



รูป 6.3

จากสูตร $h = 0.574\ K^2$

$K = 8$ ไมล์

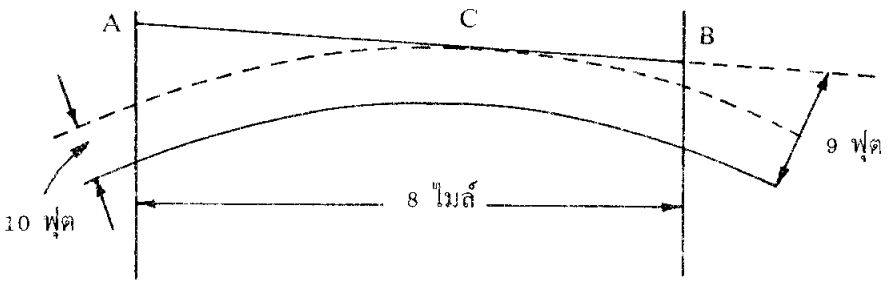
$h = 0.574 \times 8^2$

$= 36.7$ ฟุต

ฉะนั้นสามขาตั้งกล้องที่ A สูง = 10 ฟุต

ที่ B สร้างกระโจมสูงจาก B ขึ้นไป = 10 + 36.7 = 47 ฟุต

หรือในกรณีที่ต้องการสร้างกระโจมให้มีความสูงเท่ากัน และแนวเล็งสูงจากผิวน้ำ 10 ฟุต ตรงกึ่งกลางระหว่างระยะจาก A ถึง B ดังในรูป



รูป 6.4

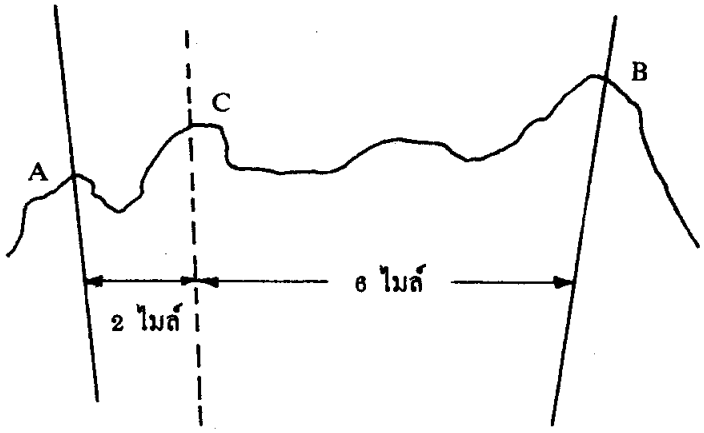
จะเห็นว่าจุด C อยู่กึ่งกลาง AB , AC = BC = 4 ไมล์

$$h = 0.574 \times (\frac{8}{2}) \times (\frac{8}{2}) = \frac{36.7}{4} = 9.2 \text{ ฟุต}$$

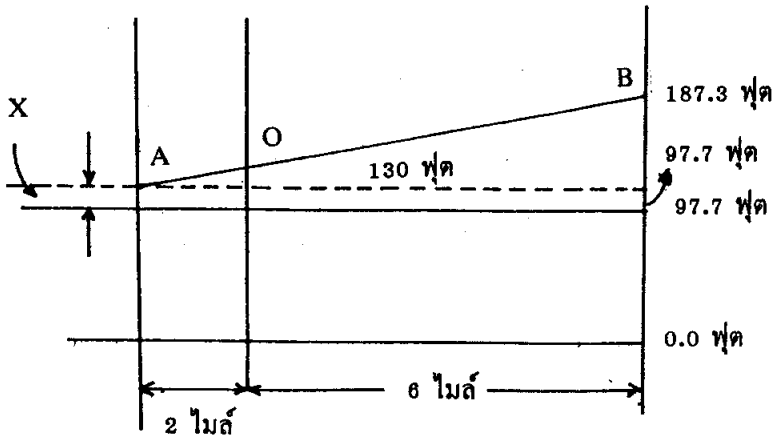
ฉะนั้นที่ A และ B ต้องสร้างกระโจมสูง = 10 + 9.2 = 19.2 ฟุต จึงจะทำให้แนวเล็งแลเห็นกันได้ และแนวเล็งจะผ่านไปเหนือน้ำ 10 ฟุต

หากจุด A และ B มีระดับสูง 100 และ 200 ฟุตตามลำดับ ระยะห่างจากกัน 8 ไมล์ สมมุติมีสันเขาที่ไม่มีต้นไม้ใด ๆ อยู่ในทิศทางแนวเล็งมีระดับสูง 120 ฟุต ห่างจากจุด A ในแนว AB 2 ไมล์ ถามว่าหากที่หมายเล็งที่จุดใดจุดหนึ่งสูง 8 ฟุต อีกจุดหนึ่งจะต้องตั้งกระโจมสูงอย่างน้อยที่สุดเท่าไร

ในรูปจุด C ห่างจาก A 2 ไมล์ ระดับสูงที่จุด A อย่างแท้จริงที่ถูกลดลงด้วยความโค้งของผิวพิภพกับการหักเหของแสง คือ = $100 - 0.574 \times 2 \times 2 = 100 - 2.3 = 97.7$ ฟุต โดยทำนองเดียวกันที่จุด B ก็จะได้ = $200 - 0.574 \times 6 \times 6 = 200 - 20.7 = 179.3$ ฟุต



รูป 6.5



รูป 6.6

ที่จุด C สูง 120 ฟุต เมื่อบวก 10 ฟุตเข้าไปเพื่อมิให้แนวไม่เฉียดกับสันเขาใกล้กว่า 10 ฟุต จึงได้ระดับสูงสุด C เป็น 120+10 = 130 ฟุต ในรูปด้านข้างจุด A C และ B เป็นจุด 3 จุดที่พิจารณาเหมือนระดับสูงคิดจากพื้นระดับอันหนึ่ง และระดับสูงของจุดต่าง ๆ ถูกแก้ด้วยความโค้งของผิวพิภพและการหักเหของแสง และแนวเล็งเฉียดสันเขา

ความสูงของกระโจม หรือสามขาที่จำเป็นอาจหาได้จากความสัมพันธ์เชิงอัตราส่วน

ที่ B คือ ที่หมายเล็งสูงจากผิวดิน 8 ฟุต

จึงมีระดับสูง = 8+179.3 = 187.3 ฟุต

ให้พิจารณา Δ คล้าย

$$\frac{187.3-130}{6} = \frac{187.3-(97.7+x)}{8}$$

$$x = 13.2 \text{ ฟุต}$$

ซึ่งความสูงของกระโจมที่จำเป็น ณ จุด A จะต้องสูง = 13.2 ฟุต เมื่อพิจารณาดูรูปนี้แล้วแสดงว่าที่จุด B มีความต้องการต้องสร้างกระโจมสูงขึ้น 8 ฟุต

สำหรับการคำนวณโดยใช้สูตรที่มีหน่วยเป็นเมตรก็คงมีการคำนวณได้โดยง่าย เช่น ปัญหาทั่วไปสำหรับการจะให้แลเห็นกันได้นั้นก็เพื่อกำหนดแนวเล็งเราจะกำหนดมากน้อยแค่ไหนระหว่างสถานี 2 สถานีว่าจะแลเห็นได้ หรือแลไม่เห็น เพื่อจะได้จัดการถากถางสิ่งกีดขวางแนวเล็งนั้นออกไป สูตรที่ใช้อาจใช้สูตรดังนี้

$$h = h_1+(h_2-h_1)\cdot\frac{d_1}{d_1+d_2} - 0.0676.d_1d_2$$

ซึ่ง h = ระดับสูงของแนว ณ จุดที่ขวางแนวเล็งเป็นเมตร

h_1 = ระดับสูงของสถานีที่ต่ำกว่าเป็นเมตร

h_2 = ระดับสูงของสถานีที่สูงกว่าเป็นเมตร

d_1 = ระยะจากสถานีต่ำกว่าจุดขวางในแนวเล็งเป็นกิโลเมตร

d_2 = ระยะจากสถานีสูงกว่าจุดขวางในแนวเล็งเป็นกิโลเมตร

เฉพาะ 2 เทอมแรกในสูตรเป็นผลคำนวณที่ได้มาจากรูปสามเหลี่ยมคล้าย และเทอมสุดท้ายเป็นจำนวนแก้ความโค้งของพื้นธรณี และการหักเหของแสง หาก 2 สถานีมีระดับสูงเท่ากัน แนวเล็งจะเห็นกันได้หากใช้ความสูงของที่หมายเล็งทั้ง 2 เท่ากัน ข้างบนก็จะกลายเป็น

$$h = h_{1,2} - 0.0676.d_1d_2$$

และความสูงของที่หมายเล็งกับที่ตั้งกล้อง

$$h_{1,2} = h + 0.0676.d_1d_2$$

สำหรับระยะระหว่าง 2 สถานี เช่น K ระดับสูงที่ต้องการ ณ สถานีหนึ่งเพื่อให้เห็นอีกสถานีหนึ่งผ่านข้ามพื้นผิวที่ราบเรียบอันหนึ่ง เช่น พื้นผิวน้ำ เป็นต้น คือ

$$= K^2.0.0676$$

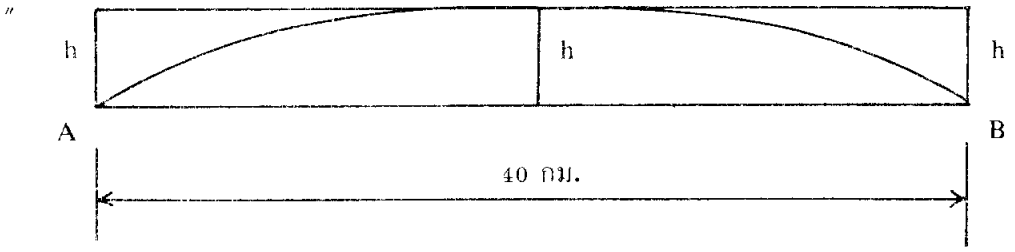
หากสถานีทั้ง 2 ยกขึ้นมาให้มีระดับสูงเท่ากัน ความสูง $h_{1,2}$ ก็ต้องการให้มีเพียง $(K/2)^2 \times 0.0676$ หรือ $\frac{1}{4}$ ของความสูงของสถานีปลายข้างหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปงานสนามเรามักนิยมประมาณให้ 2 สถานีมีความสูงเท่า ๆ กัน เพื่อกำจัดการกีดขวาง หรือกำบังของสิ่งกีดขวางแนวเล็ง

ความสูงของที่หมายเล็งมักจะคำนวณด้วยวิธีนี้เสมอ บางทีที่หมายเล็งที่สูงกว่ามักระบุไว้ ณ ที่สถานีหนึ่งเพื่อแนวเล็งอื่น ๆ มากกว่าจะระบุถึงสถานีที่เราพิจารณา การระบุไว้เช่นนี้จะทำให้ที่หมายเล็งซึ่งต่ำกว่าอยู่ที่ปลายแนวเล็งอันหนึ่งนั้นแลเห็นได้ การขยับขึ้นลงของที่หมายเล็งอาจกระทำให้สัมพันธ์กับอันอื่นได้ เช่น ลดความสูงของที่หมายเล็งอันหนึ่งก็ไปเพิ่มอีกอันหนึ่งให้สัมพันธ์ตามระยะจาก 2 สถานีนี้กับจุดที่กีดขวาง

บางทีอาจมีสิ่งกีดขวางแนวเล็งอยู่หลายแห่ง เราไม่อาจจะเลือกได้ว่าอันใดบังอันใดไม่บัง ในกรณีนี้สิ่งกีดขวางอันต่ำกว่าที่อยู่ใกล้ ๆ ระยะกึ่งกลางแนวเล็งอาจจำเป็นต้องใช้ที่หมายเล็งสูงขึ้นกว่าสิ่งกีดขวางที่สูงกว่าแต่อยู่ไกลออกไปทางอีกข้างหนึ่ง วิธีง่ายที่สุดที่จะกำหนดหาสิ่งกีดขวางสำคัญคือ คำนวณความสูงของที่หมายเล็งแต่ละอันแทนการไปตรวจภูมิประเทศ ต่อไปนี้จะได้แสดงตัวอย่างการแก้ปัญหานี้

สมมุติมีสถานีอยู่ 2 สถานีอยู่คนละฝั่งอ่าว และ 2 สถานีนี้มีกำหนดสูงอยู่เสมอกับระดับผิวน้ำ มีระยะห่างจากกัน 40 กิโลเมตร จะต้องสร้างกระโจม ณ 2 สถานีสูงเท่าไร จึงจะทำให้แนวเล็งผ่านพื้นผิวน้ำพอดี

วิธีทำ (Solution) ดูในรูป



รูป 6.7

จากสูตร $h = (K/2)^2 \times 0.0676$

$= (40/2)^2 \times 0.0676$

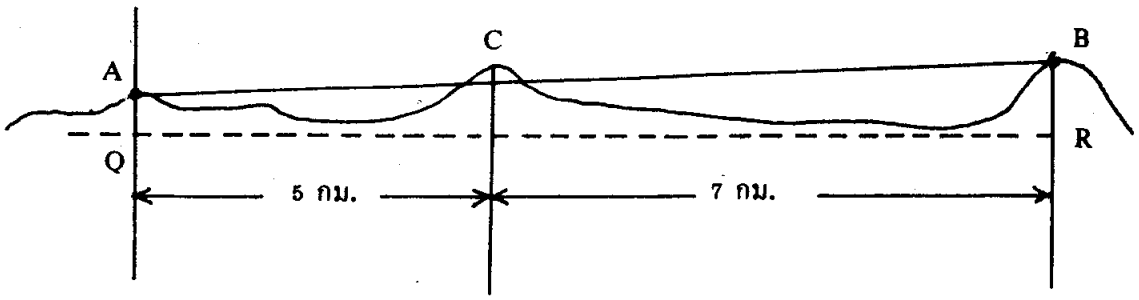
$= 27.04$ เมตร

จะเห็นว่าระยะจากจุด A ถึง B เป็นระยะในแนวที่ผ่านไปได้ผิวน้ำ โดยที่จุดที่ผิวน้ำสูงสุด คือ อยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างระยะ AB ฉะนั้น h คือ ความสูงของที่หมายเล็งจะต้องสร้างให้มีความสูงเท่ากันจึงจะทำให้แลเห็นกันได้ ในทางปฏิบัติจริงโดยทั่วไปมักจำเป็นต้องหาจำนวนที่แน่นอนอันหนึ่งที่จะต้องถากถาง หรือสร้างกระโจมให้สูงแลเห็นกันได้อย่างแน่นอน เพื่อหลีกเลี่ยงการหักเหทางระดับดังจะได้อธิบายต่อไปนี้

หาก 2 สถานีมีระดับสูงไม่เท่ากัน และสิ่งกีดขวางก็มิได้อยู่ ณ จุดกึ่งกลางระหว่างระยะจาก 2 สถานีนั้น ในการใช้สูตรเรามีวิธีกระทำดังนี้ คือ

1) ประการแรกหาจำนวนความโค้งของพื้นผิวพิภพที่ขวางจุด C

2) บวกค่าที่ได้กับระดับสูงของ C เหนือชยา QR



รูป 6.8

จากสูตร $h = 0.0676 \times d_1 d_2$

ซึ่ง $d_1 = 5$ กม. และ $d_2 = 7$ กม. นำแทนสูตร

$h = 0.0676 \times 5 \times 7 = 2.366$ เมตร

ฉะนั้นระดับสูงของจุด C ที่ทำให้เกิดผลจริง ๆ จะต้องนำมาพิจารณา = ระดับสูงของจุด C + 2.366 เมตร

ต่อไปให้คำนวณระดับสูงของเส้นแสดงจาก AB จากจุด A ถึง B ผ่านจุด C จากผลของสามเหลี่ยมคล้ายจะได้

$$h = h_1 + (h_2 - h_1) \cdot \frac{d_1}{d + d_2}$$

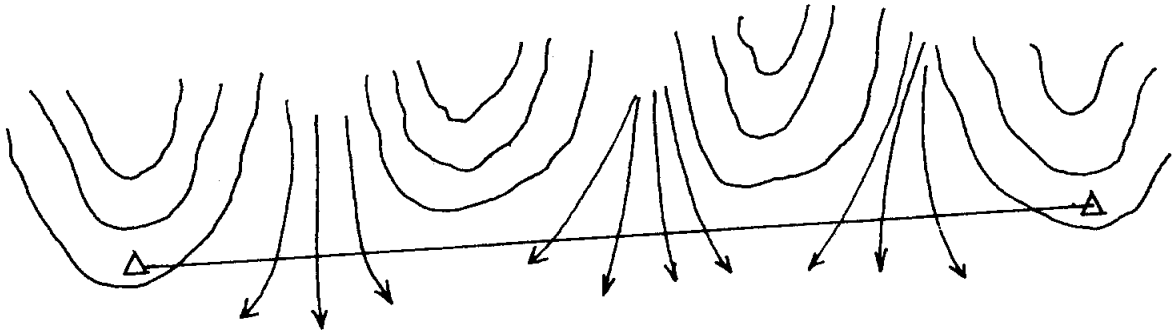
เมื่อนำระดับสูงของ A จุด B และค่า d_1 , d_2 แทนเรียบร้อยแล้ว จะได้ค่าของ h ฉะนั้นจำนวนความสูงที่บังของจุด C คือ

= ระดับสูงของจุด C + 2.366 − h

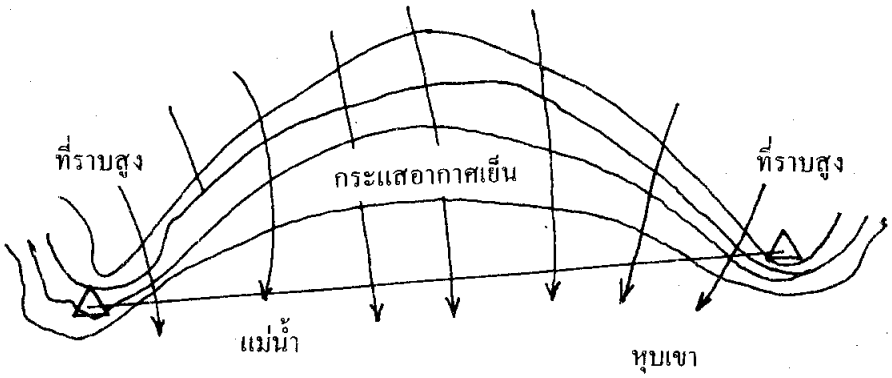
บางแนวเล็งมักได้รับความกระทบกระเทือนจากการหักเหของแสงทางระดับที่ผิดปกติ ในกรณีเช่นนี้หากมิได้ไปทำการสำรวจดูขั้นต้นเสียก่อนจะทำให้สูญเสียเวลาในเมื่อทำการรังวัดมุมมา Closures ไม่อยู่ในเกณฑ์ หรือทำการรังวัดด้านมาด้วยเครื่องมืออีเล็คทรอนิกส์แต่ Closures ไม่ได้ ทำให้เสียทั้งเวลา และสิ้นเปลืองเงินโดยใช่เหตุ โดยเหตุนี้ผู้ทำการสำรวจเบื้องต้นพยายามหลีกเลี่ยงการหักเหของแสงทางระดับ

การหักเหของแสงทางระดับเกิดจากชั้น หรือกระแส (Layers or Currents) ของบรรยากาศที่ได้รับความร้อนไม่เท่ากันในแนวเล็ง ความแน่นของอากาศที่แตกต่าง และแปรเปลี่ยนไป เช่นนี้จะก่อให้เกิดสภาวะคล้ายคลึงกับภาวะของลำแสงที่ผ่านทะเล ชุดแห่งปริซึมชุดหนึ่งที่มีพื้นผิวราบเรียบมาก ๆ แนวเล็งที่ผ่านใกล้ฐานเทือกเขา หรือแนวเล็งที่ผ่านด้านของเขาที่สูงเป็นแผ่นคล้ายหน้ากระดาน อันนี้จะทำให้เกิดกระทบกระเทือนจากกระแสอากาศที่ไหลถ่ายเทลงไปยังหุบเขา และลงไปยังลำธาร ชนิดของสิ่งปกคลุม หรือพืชพันธุ์ไม้ พิสัยของอุณหภูมิระหว่างกลางวันกับกลางคืน, ทิศทาง และความเร็วของลม ตลอดจนกระทั่งความชื้น นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง

ตัวอย่างอีกอันหนึ่งเกี่ยวกับการหักเหทางระดับอันร้ายแรง คือ ที่ราบระหว่างเขาผ่านพื้นราบโล่งแจ้ง และถูกกันแนวด้วยเขาสูงเป็นแผ่นหน้ากระดานด้านใดด้านหนึ่ง เมื่อจำเป็นจะหลีกเลี่ยงสภาวะเช่นนี้ไม่ได้ ต้องเลือกสถานีให้แนวเล็งผ่านขึ้นไปยังที่ราบสูงเท่าที่จะทำได้



รูป 6.9 การหักเหของแสงทางระดับเนื่องจากกระแสอากาศจากลำธาร



รูป 6.10 การหักเหของแสงทางระดับเนื่องจากกระแสอากาศพุ่งลงตามลาดเขา

แนวเล็งระหว่างหัวแหลม และขนานไปกับที่ราบระหว่างเขาจะทำให้ได้ผลที่มีความละเอียดต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงด้วยการยอมเสียเวลา และเงินสร้างกระโจมและสถานีเพิ่มขึ้นดีกว่า

การหักเหของแสงทางระดับยิ่งมีมากในภูมิประเทศที่ปราศจากพืชพันธุ์ หรือโล่งแจ้งมากกว่าในพื้นที่มีการก่อสร้าง เหนือป่าไม้สักที่หนาแน่นนั้นผลได้รับจากกระแสอากาศมีไม่มาก ผู้ทำการสำรวจเบื้องต้นอาจไม่สนใจกับผลจะได้รับจากการหักเหของแสงทางระดับในพื้นที่เช่นนั้นเสียได้

ในคืนที่สงบบรรยากาศมีทางโน้มจะแยกตัวเป็นชั้น ๆ ซึ่งมีอุณหภูมิ และความแน่นแตกต่างจากกัน สัมประสิทธิ์ของการหักเหในทางดิ่งมีมากกว่าปกติ ซึ่งจะยกเอาวัตถุที่แลเห็นไกล ๆ ให้สูงขึ้นไปจากความเป็นจริง หรือสูงขึ้นไปจากพื้นขอบฟ้าจริง การหักเหของแสงเวลากลางคืนอันผิดปกตินี้อาจแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 ลิบดา แนวหักเห คือ แนวซึ่งโดยปกติจะถูกขวางกั้นให้ไม่สามารถแลเห็นวัตถุ แต่ตอนกลางคืนกลับแลเห็นได้ ทิศทางที่รังวัดเหนือแนวหักเหมักไม่ถูกกระทบกระเทือนจากการหักเหทางระดับ และบางทีการปฏิบัติอาจยอมให้กระทำได้ แม้กระนั้นควรใช้เมื่อหมดหนทางจริง ๆ คืนที่มีพายุ ลมจัดอาจพัดเอา

ชั้นของบรรยากาศกระจัดกระจาย และการหักเหของแสงทางดิ่งอาจหายไปโดยสิ้นเชิงเหนือพื้นดินที่เป็นแนวลาดชั้นอากาศอาจเอียง หรือเทไปตามแนวลาดนั้น ไม่ว่าจะเป็นแนวลาดชนิดไหนย่อมจะมีองค์ประกอบทางระดับของการหักเหเกิดขึ้นได้ ฉะนั้นแนวเล็งควรรักษาให้ห่างจากพื้นดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมเสมอ

ความสูงของสิ่งกีดขวาง (Height of Obstructions)

จำเป็นอยู่เสมอที่จะสร้างหมุด หรือกำหนดสถานีให้เหมาะสมเพื่อแนวเล็งจะได้ไม่ไปติดสิ่งกีดขวางนั้น กลุ่มของต้นไม้สักสูงมักจะแลเห็นได้ในพื้นที่ที่เต็มไปด้วยป่าไม้ ให้ลงกลุ่มของต้นไม้สักนี้ไว้ในแผนที่ และต้องเชื่อว่าแนวเล็งจะผ่านพ้นกลุ่มไม้สักเหล่านี้ จุดสกัดจากถังน้ำ ส่วนมุมต่าง ๆ และสถานีที่สร้างไว้ในที่ต่าง ๆ จะเป็นสิ่งกีดขวางแนวเล็ง

ความสูงของต้นไม้ในพื้นที่เต็มไปด้วยป่าไม้นั้นควรต้องวัดหามา วิธีง่ายที่สุดก็คือขึ้นไปบนยอดไม้แล้วหย่อนโซ่ลงมา วิธีนี้เราต้องเลือกต้นไม้ขึ้นเป็นตัวแทนของกลุ่มต้นไม้ในป่านั้น ยังมีเครื่องมือ และวิธีต่าง ๆ ที่ทันสมัยสำหรับกำหนดความสูงของต้นไม้นี้ เช่น ใช้เครื่องมือ

1) ระดับมือแอบนี่ย์ (Abney Hand Level)
2) บรรทัดรูปสามเหลี่ยม (Celluloid Triangles)
3) กล้องธีโอโดไลท์ (Theodolite)

แนวเล็งซึ่งวัดด้วยเครื่องมืออีเล็คทรอนิกส์ชนิดที่ใช้ออปติค (Optical Type) จำเป็นต้องไม่มีสิ่งกีดขวางแนวเล็งเลย แต่ในกรณีที่ใช้เครื่องมืออีเล็คทรอนิกส์อาศัยคลื่นวิทยุแม่เหล็กซึ่งเป็นคลื่นสั้นอาจไม่จำเป็นนักก็ได้

แนวเล็งนิรภัย (Clearing Lines of Sight)

แนวเล็งนิรภัยหมายถึงแนวเล็งนี้ปลอดจากสิ่งกีดขวางทั้งปวง พ้นจากการหักเหของ

แสงที่มีมากเกินไป และพ้นจากการกระจายของแสง ความต้องการของแนวเล็งนิรภัยย่อมแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของ

1) พืชพันธุ์ที่ปกคลุม
2) สภาวะเชิงฟิสิกส์ในแนวเล็ง

ท้องถิ่นที่ปฏิบัติงานซึ่งประกอบด้วยพื้นผิวดินขาดการปกคลุมด้วยสิ่งก่อสร้างและพืชพันธุ์ไม้ปกคลุมซึ่งมีพิสัยของอุณหภูมิในเวลากลางวันมาก จำเป็น หรือต้องการถากถาง หรือหนีไปให้พ้นอย่างมากหลาย และพื้นที่ป่าไม้สักหนาแน่นในภูมิอากาศชุ่มชื้นนั้น การถากถาง หรือหนีไปให้พ้นไม่สู้สำคัญอย่างอันแรก

ต่อไปนี้เป็นค่าของการจะต้องให้แนวเล็งหลีกหนีพ้นอย่างต่ำที่สุดมีสิ่งต้องพิจารณาให้แนวเล็งผ่านไปนั้นผ่านพ้น หรืออยู่เหนือแนว (โดยเฉลี่ย) ดังนี้

1) ระดับผิวน้ำ 3 เมตร
2) ที่โล่งแจ้ง แดดจัดตอนกลางวัน บรรยากาศแห้งแล้ง 9-12 เมตร
3) เหนือที่เพาะปลูกประปรายด้วยพื้นที่เป็นป่า 4.5-6 เมตร
4) เหนือยอดต้นไม้ 3 เมตร

ในภาวะพิเศษอาจดัดแปลงตัวเลขข้างบนนี้ได้ ในกรณีความร้อนสูงสุด และแห้งแล้งจัดเช่นนี้ถือเป็นภาวะพิเศษ นอกจากนี้การหักเหของแสงทางดิ่งเกิดขึ้นอย่างมากที่สุดเช่นนี้แนวเล็งก็ควรจะสูงกว่าตัวเลขที่กำหนดไว้

ในการคำนวณความสูงที่หมายเล็ง หน่วยสำรวจเบื้องต้นมักจะละเลยผลที่ได้รับจากสิ่งก่อสร้าง หรือส่วนเสริมเพิ่มเติมต่าง ๆ หากได้มีการพิจารณาโดยรอบคอบถึงสิ่งเหล่านี้ก็จะเป็นตัวประกอบนิรภัย (Safety Factor) ให้กับการปฏิบัติงาน

เครื่องรังวัดใช้คลื่นวิทยุแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave Measuring Instruments) ไวต่อการสะท้อนจากดิน หรือผิวน้ำระหว่างสถานี อย่างไรก็ดีเครื่องสามารถจะให้การรังวัดที่มีความละเอียดที่ยอมรับได้แม้จะมีสิ่งกีดขวางต่ำ ๆ อยู่ตรงกับแนวเล็งก็ตาม ส่วนเครื่องวัดระยะอีเล็คทรอนิกส์ชนิดออปติคนั้นต้องไม่มีสิ่งกีดขวางแนวเล็งคล้ายกล้องธีโอโดไลท์

กระโจมถอดได้นับว่ามีประโยชน์ในการขนย้าย ไม่ว่าจะแยกกัน หรือรวมกันไปในบริเวณจะสร้าง การมีกระโจมสำเร็จรูปเช่นนี้ทำให้ผู้ทำการสำรวจเบื้องต้นตัดสินใจหรือวางแผนใช้กระโจมสูงขึ้นไป หรือลดต่ำลงได้ตามความประสงค์โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองใด ๆ และกระโจมชนิดนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้นทั้งในทางการสามเหลี่ยม และวงรอบเพื่อการกำหนดหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ที่หมายเล็ง หรือกระโจมสูงขณะนี้เรามีอยู่พร้อมแล้ว และมักจะต้องนำไปใช้บ่อย ๆ การใช้กระโจมจำเป็นต้องมีความสนใจในเรื่องการเข้าไปถึงได้ยังสถานีเพื่อเป็นการป้องกันการลาก และขนสิ่งอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นไป ทางประหยัดในการใช้กระโจมมักนิยมกำหนด หรือสร้างสถานีเสริมพิเศษขึ้นเพื่อประโยชน์ของท้องถิ่น และใช้เป็นสถานีเชื่อมโยงแก่การสำรวจของหน่วยกระทรวงทบวงกรมอื่น โดยที่เรามีกระโจม และเรารู้จักใช้วิธีสร้างสถานีเสริมนี้ ทำให้สามารถวางแผนทำให้รูปสามเหลี่ยมในโครงข่ายแข็งแรงยิ่งขึ้นกว่าเก่าอีกด้วย ซึ่งทำให้ได้จุดควบคุมในพื้นที่นั้นดียิ่งขึ้น

การให้ชื่อสถานี (Naming The Station)

การให้ชื่อสถานีเป็นการบอก หรือแจ้งให้ทราบว่าสถานีนั้นมีชื่อว่ากระไร เป็นการช่วยในการค้นหา ผู้ทำการสำรวจเบื้องต้นจะให้ชื่อหมุดหรือสถานีเหล่านี้ไว้ และหน่วยสามเหลี่ยมมีอำนาจจะเปลี่ยนชื่อเหล่านี้ได้ แต่มักจะไม่กระทำกัน การเลือกใช้นามให้แก่สถานีจะต้องกระทำอย่างรอบคอบเพื่อความเหมาะสม บางทีชื่อที่ดีที่สุดมาจากลักษณะทางภูมิศาสตร์ (Geographical Feature) หรือชื่อย่อยในเขตปกครอง ซึ่งเป็นชื่อทางการเมือง ณ ที่ หรือใกล้กับสถานีนั้น ชื่อสั้น ๆ นิยมมากกว่าชื่อยาว ๆ ไม่มีการให้ชื่อซ้ำกันในโครงข่ายสามเหลี่ยมเดียวกันมักมีบ่อย ๆ การให้ชื่อโดยเอาชื่อของผู้เป็นเจ้าของที่ดินบริเวณนั้นตั้งชื่อ ทั้งนี้เพื่อให้เป็นเกียรติ และเร่งเร้าให้เขาพอใจ และให้ความร่วมมือ ทั้งยังเป็นการหาชื่อได้เหมาะสมแทนจะต้องไปเอาชื่อซ้ำ ๆ กัน และทั้งยังช่วยให้มีความสะดวกในการค้นหาสถานีนั้น ๆ ได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย หลีกเลี่ยงการใช้ชื่อของคนในคณะปฏิบัติงาน, นามสกุล, ชื่อขาดความหมาย หรือชื่อของคนที่เกิดมีเหตุการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น การตาย, ตกเขา หรืออะไรทำนองนี้ จงเชื่อมั่นว่าการสะกดการันต์ชื่อเป็นไปโดยถูกต้อง และชัดเจน สะดวกแก่ผู้ใช้ และไม่เลือนหายไปเมื่ออยู่ไปนานปี

ชั้นของการสำรวจสัณฐานทางราบ (Classification of Horizontal Control Surveys)

หลักการแบ่งชั้นการสำรวจเพื่อหาพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดนั้น คือ คำนึงถึงความละเอียดอันเกี่ยวกับ

1) ระยะ (Length)

2) ทิศทาง (Azimuth) ของแนวของรูปสามเหลี่ยม หรือของเส้นวงรอบที่กำหนดหามา โดยที่ความเคลื่อนคลาดจะได้มาโดยตรง (Absolute Error) ของระยะ และทิศทางของด้านสามเหลี่ยม หรือด้านวงรอบนั้นเป็นการสุดวิสัยจะกระทำได้ เราจึงมีหลักเกณฑ์ที่ใช้กันดังต่อไปนี้

3) ในการสามเหลี่ยม หลักสำคัญที่ยึดถือกัน คือ ความต่างระหว่างระยะที่วัดของเส้นฐานกับระยะที่คำนวณในเส้นเดียวกันนั้น โดยการคำนวณกระทำต่อเนื่องมาจากเส้นฐานเส้นหนึ่งผ่านตลอดโครงข่ายสามเหลี่ยม หลังจากที่ได้ปรับแก้สมการ หรือเงื่อนไขอันเกิดจากมุม และด้านเรียบร้อยแล้ว จะต้องไม่เกิน 1/25,000 จากระยะของเส้นฐานที่รังวัดขึ้นนั้น **สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1**, 1/10,000 **สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 2** และ 1/5,000 **สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 3**

ความต้องการความละเอียดต่ำสุดเพียงนี้นำไปใช้กับความแตกต่างทางระยะของสามเหลี่ยมทั้งหมด รวมทั้งสามเหลี่ยมบรรจบตัวเอง (Loops) และการสามเหลี่ยมพื้นที่ (Area Triangulation) ด้วย โดยทั่วไปความเคลื่อนคลาด (Closures) ส่วนมากมักจะดีกว่าความต้องการที่กำหนดไว้นี้ เนื่องจากหลักเกณฑ์ทางระยะตามที่วางไว้ระหว่างเส้นฐานที่อยู่ในเกณฑ์ยังไม่อาจนำเอาไปใช้จนกว่าการรังวัดที่จำเป็นแสร็จเรียบร้อยแล้ว หลักเกณฑ์ต่าง ๆ อื่น ๆ จะได้กำหนดลงไว้ในตารางต่อไป เพื่อนำไปยึดถือ และปฏิบัติขณะที่การรังวัดดำเนินต่อไป เพื่อรักษาความละเอียดของงานให้เป็นเอกรูป (Uniform Accuracy) ตามโครงข่ายของสามเหลี่ยมนั้น

โครงข่ายสามเหลี่ยมที่เป็นส่วนเพิ่มเติมแก่สามเหลี่ยมหลักจะต้องทำการรังวัดด้วยเครื่องมือ และระเบียบวิธีเช่นเดียวกับความละเอียดที่กระทำโดยงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ความเคลื่อนคลาดที่ยอมให้ (Allowable Closures) ถูกดัดแปลงให้แก่สามเหลี่ยมที่เพิ่มเติมขึ้นนี้ซึ่ง

มีปรากฏอยู่ในตารางแล้วในหัวข้อ "การสามเหลี่ยมชั้นที่ 2" (Second Order) ผลของงานสามเหลี่ยมที่มีความละเอียดตกอยู่ระหว่างงานชั้นที่ 2 กับงานชั้นที่ 1 ซึ่งโดยปกติมักสูงกว่างานชั้นที่ 2 เรียกว่า "งานสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 ดัดแปลง" (Modified Second-Order Triangulation) งานชนิดนี้ส่วนใหญ่นำไปขยายคลุมพื้นที่ว่างของโครงข่ายสามเหลี่ยม

ควรสังเกตว่ามาตรการเกี่ยวกับความละเอียดของงานตามตารางนั้นใช้เฉพาะในงานสนามเท่านั้น ส่วนมาตรการอื่น ๆ ใช้สำหรับงานที่ปรับค่าแล้ว ระเบียบวิธีดำเนินการปรับค่าการรังวัดโดยวิธีอนุจัตุรัสวิธีนั้น ทำให้ผลที่ได้จากการปรับแล้วมั่นคงในโครงข่ายแต่มิได้**กำจัดความเคลื่อนคลาดให้สูญหายไป** หากความเคลื่อนคลาดในการรังวัดมีค่าเป็นจำนวนเล็กแยกไม่ได้ว่าเป็นบวก หรือลบ เช่นนั้นแล้วการแจกแจงการปรับค่าบางทีเพียงถือว่าความเคลื่อนคลาดนั้นเป็นผลจากการบวกสะสมเล็ก ๆ น้อย ๆ หรือหากการบวกสะสมของความเคลื่อนคลาดทางระยะระหว่างเส้นฐาน หรือทางทิศทาง (Azimuth) ระหว่างสถานีลาพลาสเป็นตัวคงที่มีค่าเป็นจำนวน และมุม แล้วการปรับค่าก็จะต้องแจกแจงความเคลื่อนคลาดออกไปโดยประมาณแก่สภาวะที่มันเกิดขึ้น การดำเนินวิธีปรับค่านั้น ความผิดพลาด และความเคลื่อนคลาดเป็นระเบียบที่มีเครื่องหมายต่าง ๆ มักจะแจกแจงไม่ถูกต้องนัก

ในสภาวะอันหนึ่งเมื่อสามเหลี่ยมอยู่ในเกณฑ์ของบทบัญญัติอื่น ๆ ตามชั้นของงานแล้วก็ตาม ความเคลื่อนคลาดทางระยะของแนวอันหนึ่งที่ยอมให้ไว้นั้นอาจพบว่ามีขนาดโตกว่าเกณฑ์ได้ ที่ซึ่งมีสถานี 2 สถานีอยู่ใกล้กันเมื่อเปรียบกับขนาดของรูปสามเหลี่ยมในโครงข่าย ที่ 2 สถานีนี้อยู่ ณ ที่นั้นด้วยระยะระหว่าง 2 สถานีนี้ อาจมีความเคลื่อนคลาดเกินเกณฑ์ของชั้นงานนั้น ๆ ความละเอียดของระยะที่คำนวณของแนวหนึ่งแนวใดอาจประมาณ หรือคาดคะเนได้จากการคำนวณค่าของ ΣR_i จากเส้นฐานถึงแนวนั้น

ความแตกต่าง หรือความเคลื่อนคลาดของสามเหลี่ยม (Triangulation Closure) และข้อตกลงในทางระยะมิใช่เป็นมาตรการสำหรับเพียงการสามเหลี่ยมเท่านั้น กลับยังเป็น

ประโยชน์ในทางถ่วงความเคลื่อนคลาดเพื่อความปลอดภัยของความเคลื่อนคลาดของสามเหลี่ยมเล็ก ๆ น้อย ๆ ในโครงข่ายสั้น ๆ อีกด้วย แม้การรังวัดที่ได้มาจะอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรการที่วางไว้ กับทั้งยังลดความเคลื่อนคลาดสามเหลี่ยมโดยตัดค่าที่แตกต่างไปจากผลปานกลางมาก ๆ จากการรังวัดที่คำนวณไว้นั้นได้อีกด้วย การถ่วงความเคลื่อนคลาดในการคำนวณสามเหลี่ยมอาจทำให้เกิดผลในความแตกต่างเพียงเล็กน้อยมากในทางระยะของด้านที่ปรับแล้วก็ได้ ความละเอียดของสามเหลี่ยมบางทีก็แสดงให้เห็นได้ดีที่สุดโดยใช้ความเคลื่อน-คลาดคาดคะเนของทิศทาง (Azimuth or Direction) แต่มาตรการอันนี้ยังอาจใช้ไม่ได้จนกว่าการคำนวณได้เสร็จสิ้น และทำการปรับแก้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ความเคลื่อนคลาดของสามเหลี่ยมและระยะที่สมนัยกันซึ่งได้จากการคำนวณขั้นต้นนั้น นับว่าเป็นหลักเกณฑ์ หรือบรรทัดฐานงานสนามที่มีประโยชน์ที่สุด

เพื่อเป็นการประกันให้ได้ความละเอียดของงานตามต้องการตลอดโครงข่ายสามเหลี่ยม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้การพิจารณาอย่างรอบคอบในเรื่อง

1) เครื่องมือ และอุปกรณ์
2) ระเบียบวิธีปฏิบัติงานการรังวัด

เพื่อความเคลื่อนคลาดเป็นระเบียบ และโดยบังเอิญอาจคงไว้ให้อยู่ในเกณฑ์ หรือเขตจำกัดที่ให้ไว้ และเพื่อมิให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายสามเหลี่ยมรั่ว และแสดงให้เห็นถึงความอ่อนแออันไม่ควรจะพึงมีอีกด้วย

3. จุดมุ่งหมายของงานสามเหลี่ยม

จุดมุ่งหมายใหญ่ของการสามเหลี่ยม คือ เพื่อหาจุดควบคุม หรือหมุดหลักฐานที่จำเป็นเพื่อการสำรวจทั้งหลาย หมุดหลักฐานเหล่านี้ต้องการ การกำหนดให้ทราบตำแหน่ง และกำหนดสูงของหมุด (หรือจุด) เหล่านั้นที่แยกกระจัดกระจายกันอยู่ในโครงข่ายอันกว้างใหญ่ไพศาลบนพื้นผิวพิภพ ตลอดจนกระทั่งกำหนดให้ทราบทิศทาง และระยะของแนวที่เชื่อมจาก

จุดถึงจุดของจุดยอดมุมรูปสามเหลี่ยม ตำแหน่งของจุดที่มีความละเอียดถูกต้องเหล่านี้จะต้องได้รับการปรับแก้ความเคลื่อนคลาดต่าง ๆ จากการสำรวจที่จะมีขึ้นตามปกติวิสัย มิเช่นนั้นแล้วความเคลื่อนคลาดเหล่านี้มีทางโน้มสะสมตัวเองมากขึ้น จนทำให้ตำแหน่งของจุด และข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการสามเหลี่ยมผิดไปจากที่ควรเป็น งานนี้เกี่ยวข้องกับ

ก. การสำรวจเบื้องต้น การสร้างที่หมายเล็ง และที่ตั้งกล้อง

ข. การรังวัดเส้นฐาน

ค. การรังวัดมุมราบ และมุมดิ่ง

ง. การรังวัดดาราศาสตร์ โดยรังวัดละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) และแอซิมัธ (Azimuth)

จ. ทำการตรวจสอบผลตามขั้นตอนต่าง ๆ และ

ฉ. การคำนวณกับการปรับค่า

ต่อไปนี้เป็นตารางแสดงถึงความต้องการในการกำหนดจุดควบคุมทางราบของงานสามเหลี่ยม และวงรอบ

ตาราง 6.3
การสามเหลี่ยม

เกณฑ์สำหรับงาน (Criterion for...)	ชั้นที่ 1 (First-Order)	ชั้นที่ 2 (Second-Order)	ชั้นที่ 3 (Third-Order)
กำลังยึดเหนี่ยวของโครงข่าย (Strength of Figure)			
– เขตจำกัดที่ต้องการ, ΣR_1 ระหว่างเส้นฐาน	80	100	125
– เขตจำกัดทางสูง, ΣR_1 ระหว่างเส้นฐาน	100	130	175
– เขตจำกัดที่ต้องการ, ΣR_1 ของรูปเดี่ยว	15($R_2 = 50$)..	25($R_2 = 80$)..	25($R_2 = 120$)
– เขตจำกัดทางสูง, ΣR_1 ของรูปเดี่ยว	25($R_2 = 80$)..	40($R_2 = 120$).	50($R_2 = 150$)
ความต่าง			
– ความต่างระหว่างระยะที่คำนวณ และระยะเส้นฐานที่รังวัด หรือระยะตรวจสอบที่ปรับแล้ว ต้องไม่เกิน	1 ใน 25,000	1 ใน 10,000	1 ใน 5,000
Closure สามเหลี่ยม (Triangulation Closure)			
– เฉลี่ย ต้องไม่เกิน	1 พิลิบดา	3 พิลิบดา	5 พิลิบดา
– ทางสูง ต้องไม่เกิน	3 พิลิบดา	5 พิลิบดา	10 พิลิบดา

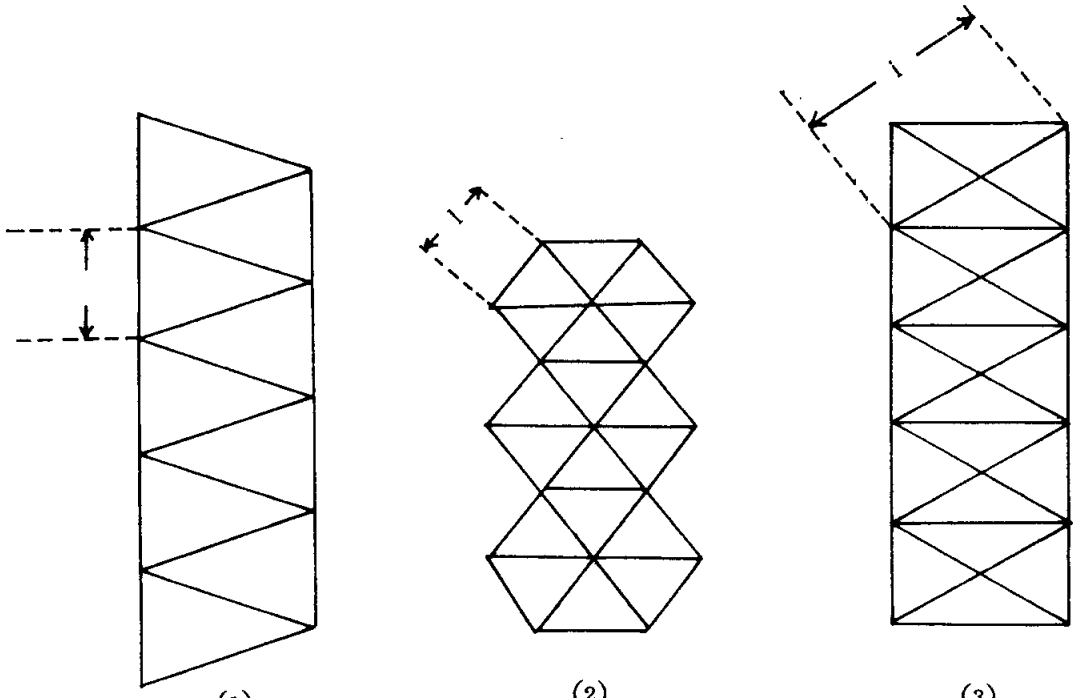
เกณฑ์สำหรับงาน (Criterion for....)	ชั้นที่ 1 (First-Order)	ชั้นที่ 2 (Second-Order)	ชั้นที่ 3 (Third-Order)
ด้านตรวจสอบ (Side Checks)			
– รูปเหลี่ยมธรรมดา ความต่างสูงสุดของด้านในหน่วยของความต่าง 1 พิลิบดา ในตำแหน่งที่ 6 ของ Log Sine ของมุมเล็กที่สุดที่เกี่ยวข้อง.....	2 เท่าของความต่าง.....	4 เท่าของความต่าง.....	
การทดสอบสมการด้าน (Side Equation Test)			
– จำนวนแก้เฉลี่ยโดยประมาณต่อทิศทางต้องไม่เกิน	0.4 พิลิบดา	0.8 พิลิบดา	
จำนวนศูนย์การรังวัด (Usual Number of Observations)			
– กล้องธีโอโดไลท์ชนิดวัดทอนขนาด 1 พิลิบดา	16	8(16 ดัดแปลง)	4
– กล้องธีโอโดไลท์ชนิดวัดทอนขนาด 2 พิลิบดา	24	12	4

เกณฑ์สำหรับงาน (Criterion for....)	ชั้นที่ 1 (First-Order)	ชั้นที่ 2 (Second-Order)	ชั้นที่ 3 (Third-Order)
- กล้องธีโอโดไลท์ชนิดวัดซ้ำขนาด 10 พิลิบดา โดยใช้จำนวนชุดการรังวัด วัดด้วยกล้องหน้าซ้าย (Direct) 6 ครั้ง กลับกล้องหน้าขวา 6 ครั้ง (เป็นชุด)	5-6	2-3	1-2
การรังวัดเส้นฐาน (Base Measurement)			
- ความเคลื่อนคลาดที่แท้จริงของเส้นฐานไม่เกิน	1 ใน 300,000	1 ใน 150,000	1 ใน 75,000
- ความเคลื่อนคลาดคะเนของเส้นฐานไม่เกิน	1 ใน 1,000,000	1 ใน 500,000	1 ใน 250,000
- ความต่างระหว่างการรังวัด 2 ครั้งของตอนหนึ่งไม่เกิน	10 มม. $\sqrt{K}$	20 มม. $\sqrt{K}$	25 มม. $\sqrt{K}$
การรังวัดดาราศาสตร์ (Astronomical Observations)			
- แอซิมัธทางดาราศาสตร์ ความเคลื่อนคลาดคะเนของผลงาน	0.5 พิลิบดา	2.0 พิลิบดา	5.0 พิลิบดา

4. การประกอบรูป หรือระบบโครงข่ายสามเหลี่ยม (Triangulation Systems)

โดยปกติรูปสามเหลี่ยมในโครงข่ายสามเหลี่ยมนั้น เรามีอุดมการณ์อยู่ว่าจะต้องเลือกรูปที่ดีที่สุด เนื่องจากความเคลื่อนคลาดของการรังวัดมีขนาดเล็กแล้วย่อมจะทำให้ความเคลื่อนคลาดของค่าที่เกิดจากการคำนวณนั้นมีน้อยที่สุด

รูปสามเหลี่ยมที่ดีที่สุดในโครงข่าย คือ รูปสามเหลี่ยมด้านเท่า และรูปเหลี่ยมที่ดีที่สุดจะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสล้วน อย่างไรก็ดีสภาพภูมิประเทศบังคับให้เราไม่สามารถจะหารูปสามเหลี่ยม และรูปเหลี่ยมที่ดีสมบูรณ์ตามแนวอุดมคตินั้นได้ เมื่อเป็นเช่นนี้เราจึงต้องใช้ความพยายามเลือกสรรรูปในโครงข่ายให้มีทางโน้มไปหาแนวอุดมคติดังกล่าวให้มากที่สุดที่จะทำได้ รูปที่แข็งแรงถือเป็นรูปที่พึงประสงค์ และนำไปใช้ในโครงข่ายซึ่งจะรักษาความละเอียดระยะของด้านต่าง ๆ ที่คำนวณในโครงข่ายจากแนวที่รังวัด หรือแนวที่ทราบค่าแล้ว



รูป 6.11

โครงข่ายสามเหลี่ยมสามชนิด

(1) โครงข่ายสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นเป็นสามเหลี่ยมเดี่ยว

(2) โครงข่ายสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นจากรูปเหลี่ยม

(3) โครงข่ายสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นจากรูปหลายเหลี่ยม

หมายเลข (1) เป็นโครงข่ายที่ประกอบขึ้นรูปสามเหลี่ยมแถวเดี่ยว โดยปกติการขยายโครงข่ายนี้สิ้นเปลืองน้อยที่สุด แต่มีที่ใช้จำกัดมากอันเนื่องจากขาดความละเอียดถูกต้องมากนั่นเอง

หมายเลข (2) เป็นโครงข่ายที่ประกอบขึ้นด้วยรูปสามเหลี่ยม 2 แถว หรือเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยม โครงข่ายชนิดนี้ให้ความละเอียดอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง และการสิ้นเปลืองในการขยายโครงข่ายอยู่ในสถานะประมาณ ไม่ถูก และแพงเกินไป

หมายเลข (3) ประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมที่ประกอบตัวอยู่ในรูปเหลี่ยม โครงข่ายชนิดนี้เป็นระบบที่ต้องใช้จ่ายสิ้นเปลืองมาก แต่ให้ความละเอียดถูกต้องสูงสุด โครงข่ายนี้เรียงตัวจากสี่สถานีพร้อมด้วยเส้นเล็งโยงถึงกันที่ทำการรังวัด ฉะนั้นสถานีคู่ถัด ๆ ไปจะมีการยึดด้วยเส้นเล็ง 6 เส้น ทุกแนวเส้นเล็ง ณ จุดปลายทั้ง 2 ของแต่ละเส้นจะต้องทำการส่องรังวัด

โดยเหตุนี้ในทางปฏิบัติในโครงข่ายที่คลุมพื้นที่อันมีช่วงระยะเท่ากัน หากประกอบโครงข่ายชนิด (2) และ (3) จะได้ตำแหน่งของจุดมากกว่าชนิด (1) เกินครึ่ง ระยะของหมุดของแนวที่ต้องถากถางสำหรับชนิด (2) นั้นมีมากกว่าถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และชนิด (3) มีมากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชนิด (1) ถ้าทำแบบใช้ระบบชนิด (3) จะคลุมพื้นที่น้อยกว่าระบบชนิด (1) และทำโดยใช้ระบบชนิด (2) จะได้พื้นที่คลอบคลุมมากกว่าชนิด (3) ถึงกึ่งตัว

แต่ระบบชนิด (3) นั้นดีกว่าชนิด (1) และ (2) ในทางให้แง่คิดทางเงื่อนไขมากกว่า (More Conditions) สำหรับปรับแก้มุมที่รังวัด เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้ หรือที่กำหนดขึ้นนั้น

เป็นเงื่อนไขทางเรขาคณิตที่ง่ายตัว (เช่น ผลรวมของมุมภายในสามเหลี่ยมย่อมเท่ากับ 180 เป็นต้น) เงื่อนไขที่ได้เพิ่มเติมขึ้นมาย่อมจะเพิ่มความละเอียดให้แก่ผลงานขั้นสุดท้าย

สามเหลี่ยมชั้น 3 หรือสามเหลี่ยมที่มีความละเอียดสูงกว่า ควรประกอบด้วยรูปสี่เหลี่ยม (Quadrilaterals) หรือรูปที่มีจุดกลาง (Central-Point Figures)

ฉะนั้นจากความเชื่อถือหลักว่า การวัดมุมต้องพยายามวัดด้วยความประณีตเมื่อความเคลื่อนคลาดในการวัดมุมมีน้อยนิดเล็กแล้วย่อมจะยังผลให้ค่าที่คำนวณได้มีความเคลื่อนคลาดต่ำสุดด้วย ในสภาพเช่นนี้จึงมีความจำเป็นต้องประกอบรูปสามเหลี่ยมขึ้นให้เป็นรูปที่ดี และมีประสิทธิภาพสูงสุด (Well-Shaped Figures) เท่าที่จะสามารถประกอบได้ในโครงข่าย รูปสามเหลี่ยมที่มีมุมเท่ากันหมดและเรียนเป็นรูปที่ดีที่สุด คือ รูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Triangles) และรูปที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด หรือดีที่สุด คือ รูปจัตุรัสล้วน (A Perfect Square) แต่รูปที่ดีที่สุดนี้มักจะมีในรูปในอุดมคติเท่านั้น ปกติลักษณะภูมิประเทศยังคับไม่อำนวยให้เราสามารถประกอบรูปขึ้นตามอุดมคตินี้ได้ อย่างไรก็ตามเราพยายามอย่างเต็มที่โดยถือเป็นคติว่าจะเลือกรูปให้มีความใกล้เคียงอุดมคติมากที่สุด

รูปที่ดี พร้อมทั้งมาตรวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงข่าย เพราะรูปเหล่านี้ยอมคงไว้ และรักษาความละเอียดถูกต้องทางระยะของด้านรูปสามเหลี่ยมที่คำนวณได้ในโครงข่ายนั้น และระยะที่ได้คำนวณโยงต่อเนื่องมาจากระยะที่ทราบแล้ว หรือระยะที่วัดขึ้น

ข้อกำหนดสำหรับการสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 (Specifications for First-Order Triangulation)

งานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เป็นงานที่ต้องการความละเอียดสูงสุด ฉะนั้นเราจะพบว่าการจะให้ได้ผลงานมาอย่างมีความละเอียดสูงสุดนั้นนอกจากต้องอาศัยการใช้เครื่องมือที่มีความละเอียด ระเบียบวิธีการปฏิบัติ บุคคล และอื่น ๆ แล้วผลงานต้องอยู่ในเกณฑ์ความละเอียดสูงที่ยอมรับกันตามชั้นของงานนั้น ๆ

1) รูปของสามเหลี่ยมในโครงข่ายจะต้องเป็นไปตามบทบัญญัติที่ได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องการสำรวจเบื้องต้น

2) ความต้องการทางระยะ การสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 นั้น ความต่างระหว่างระยะที่คำนวณได้กับระยะของเส้นฐานที่รังวัดมา หรือกับระยะของแนวตรวจสอบที่ปรับค่าแล้วจะต้องไม่โตกว่า 1 ใน 25,000 หลังจากได้ปรับค่าความเคลื่อนคลาดเชิงเงื่อนไขเกี่ยวกับทางมุม และทางด้านเรียบร้อยแล้ว

3) ความต้องการทางมุม สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 โคลสเซอร์ (Closure) หรือความเคลื่อนคลาดบรรจบของแต่ละรูปสามเหลี่ยมจะต้องไม่เกิน 3 พิลิบดา และโคลสเซอร์เฉลี่ยของรูปสามเหลี่ยมไม่ควรโตกว่า 1 พิลิบดา

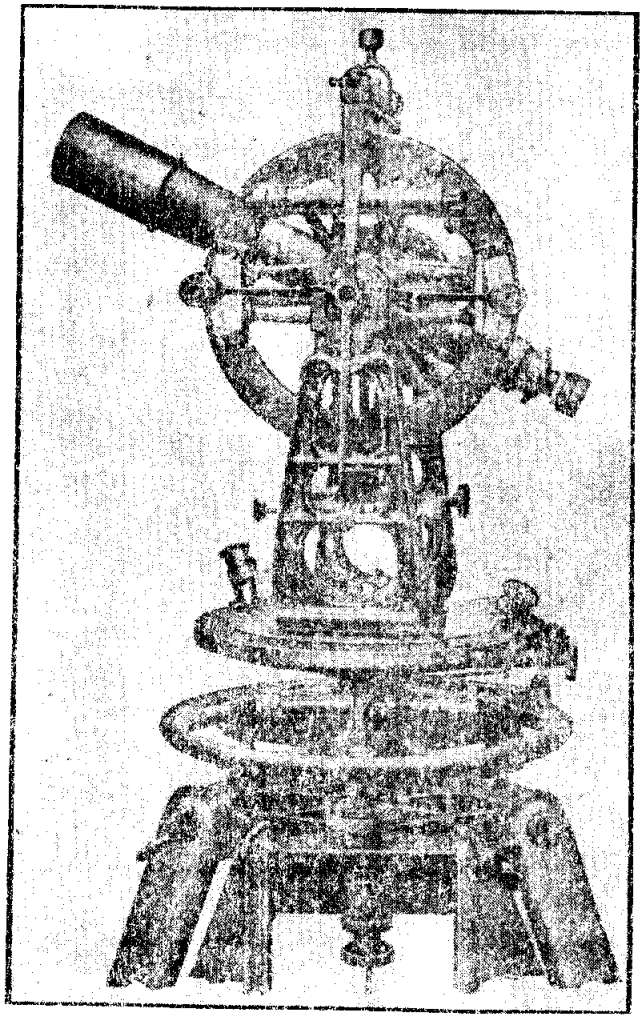
ซึ่งคำว่า "โคลสเซอร์" ของสามเหลี่ยมนั้นอาจเขียนง่าย ๆ ดังนี้ สมมุติให้ $\in$ เป็นเศษทรงกลมของรูปสามเหลี่ยมทรงกลม

โคลสเซอร์ (Closure) ของสามเหลี่ยมทรงกลม $= 180 + \in -$ มุมที่รังวัดมา ฉะนั้นโคลสเซอร์ก็คือ ระยะ หรือมุมที่รังวัดได้ผลแตกต่างไปจากค่าทางทฤษฎี

4) การตรวจสอบด้าน (Side Checks) สำหรับงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เขตจำกัดต่อไปนี้จะได้นำไปใช้ในการตรวจสอบเชิงด้านได้อย่างพึงพอใจ สำหรับรูปเหลี่ยมเรียบซึ่งรูปสามเหลี่ยมต่าง ๆ ถูกปิดด้วยการใช้ $\frac{1}{3}$ ของความเคลื่อนคลาดจาก Closure แก้ให้กับทุกมุมแล้ว ค่าพละคณิต (Logarithms) ของระยะของด้านสามเหลี่ยม เมื่อคำนวณผ่านไปตามแนวของ R_1 และ R_2 ไม่ควรโตไปกว่า 2 เท่าของความต่าง 1 พิลิบดาของ Log sine ของมุมขนาดเล็กที่สุดในสมุดสูตรที่นำเข้ามาใช้ในการคำนวณระยะนั้น

ส่วนรูปอื่นนอกเหนือจากรูปเหลี่ยมเรียบดังกล่าว ค่าขีดจำกัดของการตรวจสอบด้านเมื่อเทียบกับอันอื่น ๆ แล้วก็อาจหาได้โดยการคูณความต่าง 1 พิลิบดาของ Log side ของมุมขนาดเล็กที่สุดในสมุดสูตรที่ใช้ในการคำนวณ โดยใช้เพียงครึ่งจำนวนของรูปสามเหลี่ยมที่เกี่ยวข้องก็เพียงพอ

การทดสอบสมการด้านอาจต้องกระทำด้วยจำนวนแก้เฉลี่ยที่ให้แก่ทิศทางหนึ่งที่ได้รับโดยการหารเทอมคงที่ของสมการด้วยผลบวกของสัมประสิทธิ์ของเทอมอื่น ๆ โดยไม่คิดถึงเครื่องหมายไม่ควรมีค่าเกิน 0.4 พิลิบดา การทดสอบสมการด้านนั้นควรจะได้นำไปใช้กับทุกรูปแม้กระทั่ง Closure ของด้านที่เกินเขตจำกัด เพื่อจะได้ช่วยในการแยกความเคลื่อนคลาดและเพื่อจะใช้เป็นเครื่องชี้บอกถึงสถานีที่ต้องการกำหนดหาค่าใหม่ ด้วยการใช้แบบคำนวณยึดถือสูตรของ sine สำหรับการทดสอบสมการด้าน จำนวนแก้ปานกลางแก่มุมหนึ่ง ๆ ไม่ควรเกิน 0.7″ โดยเฉลี่ยสำหรับโครงข่ายสามเหลี่ยมที่โยงกันไปเป็นโค้งโครงข่าย หรือเป็นพื้นที่ และทุก ๆ รูปมักไม่ควรเกิน 0.7″ และไม่ควรเกิน 2.0″ ในกรณีพิเศษในเมื่อสมการนั้นใช้มุมเล็กเพียงมุมเดียว



รูป 6.12

5) เครื่องมือ โดยทั่วไปเครื่องมือวัดทวนหรือวัดทิศทาง (Direction Instruments) ที่มีความละเอียดสูงสุดควรนำมาใช้สำหรับงานโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 นี้ เครื่องมือหรือกล้องชนิดวัดซ้ำ (Repeating Theodolites) มักใช้ในกรณีที่ต้องการหาค่าจุดนั้น ๆ ที่ใช้กล้องชนิดวัดทวนยุ่งยาก หรือในเมื่อมีความไม่แน่ใจว่าฐานรับตัวกล้องจะเกิดไหวในเมื่อคนวัดเคลื่อนตัวไปรอบ ๆ กล้องซึ่งจะทำให้กระทบกระเทือนทางแอซิมัธ กรณีเช่นนี้มักจะมีขึ้นกับที่หมาย, ประภาคาร, ตึก หรือในภูมิประเทศที่ไม่ราบเรียบ มักจะนิยมใช้กล้องระบบส่องโดยตรงไปยังที่หมาย เช่น กล้องชนิด Wild เป็นต้น ทำการรังวัดมุมแต่ละมุม โดยแยกวัดเป็นคู่ ๆ และทำการปิดมุมราบด้วย

6) การเปลี่ยนศูนย์ ทุกสถานีที่นำกล้องชนิดวัดทวนขึ้นไปรังวัด ง่ามมุมระหว่างแนวเล็งไปยังสถานีต่าง ๆ ที่ส่องรังวัดนั้นหาได้จากความต่างระหว่างทิศทางสัมพัทธ์ (Relative Directions) ซึ่งนิพจน์ หรือบอกออกมาเป็นค่ารังวัดเชิงมุม ซึ่งทิศทางของแนวหนึ่งรังวัดด้วยกล้องหน้าซ้าย และขวา (ตรง และกลับกล้อง) เป็นทิศทางในแนวราบ โดยเริ่มจากสถานีแนวเล็งเริ่มที่ได้เลือกขึ้นไว้ เมื่อส่องกล้องไปยังแนวเริ่มแรกนี้แล้วก็หันกล้องไปยังสถานีถัด ๆ ไป โดยเรียนจากซ้ายไปขวา หรือเวียนตามเข็มนาฬิกาจนถึงที่หมายสุดท้ายแล้วกลับกล้อง 180° หันกล้องส่องย้อนกลับทวนเข็มนาฬิกาจนกระทั่งมาถึงยังแนวแรกเริ่มอีก เมื่อได้ทำมาแค่นี้เรียกว่าเสร็จศูนย์แรก (First Position) อาจพูดได้ว่าง่ามมุมระหว่างแนวเริ่มแรกไปยังแนวเล็งอื่นถ้าได้ทำการส่องด้วยกล้องหน้าซ้าย และกลับหน้าขวาแล้ว เช่นนี้เรียกว่าศูนย์ (Position)

ส่วนศูนย์ต่อไปดงดำเนินการวัดเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง ใช้ผลปานกลางการรังวัดจากจำนวนศูนย์ที่ได้ด้วยการตั้งจานองศาราบตามองศาต่าง ๆ เพื่อให้ใช้ส่วนแบ่งของจานองศาได้ทั่วไป

การเปลี่ยนศูนย์เราได้จัดตารางไว้สำหรับกล้องชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ตาราง 6.4

ตารางการเปลี่ยนศูนย์จานองศา

กล้องรังวัดมุมมีไมครอมเมตร 2 อัน (กล้องชนิดวัดทวน หรือ Direction Theodolite)

รังวัดใช้ 2 ศูนย์

ศูนย์ที่	ส่วนแบ่งจานองศา 1 ขีด = 4′			ส่วนแบ่งจานองศา 1 ขีด = 5′			ส่วนแบ่งจานองศา 1 ขีด = 10′		
1	0°	01'	00"	0"	01'	00"	0°	02'	30"
2	90	03	00	90	03	40	90	07	30

รังวัดได้ 4 ศูนย์

1	0		30	0	00	40	0	01	20
2	45	01	30	45	01	50	45	03	50
3	90	02	30	90	03	10	90	06	20
4	135	03	30	125	04	20	135	08	50

รังวัด 8 ศูนย์

1	0	00	30	0	00	40	0	01	20
2	22	01	30	22	01	50	22	03	50
3	45	02	30	45	03	10	45	06	20
4	67	03	30	67	04	20	67	08	50
5	90	00	30	90	00	04	90	01	20
6	112	01	30	112	01	50	112	03	50
7	135	02	30	135	03	10	135	06	20
8	157	03	30	157	04	20	157	08	50

รังวัด 12 ศูนย์ (1 ขีดบนจานองศา = 5 ลิบดา)

กล้องชนิดมีไมครอมเมตร 2 อัน		กล้องชนิดมีไมครอมเมตร 3 อัน	
ศูนย์ที่	ตั้งจานองศา	ศูนย์ที่	ตั้งจานองศา
1	0° 00′ 40″	1	0° 00′ 40″
2	15 01 50	2	15 01 50
3	30 03 10	3	30 03 10
4	40 04 20	4	45 04 20
5	60 00 40	5	65 00 40
6	75 01 50	6	80 01 50
7	90 03 10	7	95 03 10
8	105 04 20	8	110 04 20
9	120 00 40	8	130 00 40
10	135 01 50	10	145 01 50
11	150 03 10	11	160 03 10
12	165 04 20	12	175 04 20

รังวัด 16 ศูนย์

กล้องชนิดมีไมครอมเมตร 2 อัน		กล้องชนิดมีไมครอมเมตร 3 อัน	
ศูนย์ที่	ตั้งจานองศา	ศูนย์ที่	ตั้งจานองศา
1	0° 00′ 40″	1	0° 00′ 40″
2	11 01 50	2	15 01 50
3	22 03 10	3	30 03 10
4	33 04 20	4	45 04 20
5	45 00 40	5	64 00 40
6	56 01 50	6	79 01 50
7	67 03 10	7	94 03 10
8	78 04 20	8	109 04 20
9	90 00 40	9	128 00 40
10	101 01 50	10	143 01 50
11	112 03 10	11	158 03 10
12	123 04 20	12	173 04 20
13	135 00 40	13	192 00 40
14	149 01 50	14	207 01 50
15	157 03 10	15	222 03 10
16	168 04 20	16	237 04 20

การตั้งจานองศาสำหรับกล้องวัดซ้ำ (Repeating Theodolite) ซึ่งมีย่านแบ่งจาน 10 ลิบดา และมีเวอร์เนีย 10 พิลิบดา 2 อัน

รังวัด 2 ชุด ตาราง 6.5 **รังวัด 3 ชุด**

ชุดที่	ตั้งจานองศา	ชุดที่	ตั้งจานองศา
1	0° 00′ 00″	1	0° 00′ 00″
2	90 05 30	2	60 03 30
		3	120 07 00

รังวัด 4 ชุด **รังวัด 5 ชุด**

ชุดที่	ตั้งจานองศา	ชุดที่	ตั้งจานองศา
1	0° 00′ 00″	1	0° 00′ 00″
2	45 02 30	2	30 01 40
3	90 05 00	3	60 03 20
4	135 07 30	4	90 05 00
		5	120 06 40
		6	150 08 20

ตาราง 6.6

การตั้งจานองศาเมื่อเปลี่ยนศูนย์สำหรับกล้อง Wild T - 3

ศูนย์ที่	จานองศา	การอ่านค่าไมครอมเมตร
1	0° 00′	10 หน่วย
2	11 00	25 "
3	22 00	35 "
4	33 00	50 "
5	45 00	10 "
6	56 00	25 "
7	67 00	35 "
8	78 00	50 "
9	90 00	10 "
10	101 00	25 "
11	112 00	35 "
12	123 00	50 "
13	135 00	10 "
14	146 00	25 "
15	157 00	35 "
16	168 00	50 "

ในตารางการเปลี่ยนศูนย์สำหรับไมครอมเมตรที่ใช้กล้องหน้าซ้าย และกลับกล้อง นั้นต้องการเปลี่ยนค่าจานองศาไปเกือบ 180° ในขณะที่หมุนกล้องไปทุก ๆ ตำแหน่ง เมื่อทำการรังวัดในเวลากลางคืน ผลอันเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นตัดทิ้งเสียได้ ฉะนั้นตรงศูนย์ที่มีตัวเลขคู่เมื่อจะเริ่มวัดขณะกลับกล้องนั้น ยอมให้เอา 180° บวกเข้าไปได้กับองศาในตาราง ซึ่งในการทำเช่นนี้จะเปลี่ยนตำแหน่งของจานเพียง 11 องศา ทุก ๆ ศูนย์ในจำนวน 16 ศูนย์

ตัวเลขลิบดา และพิลิบดาในการตั้งมุมบนจานองศาที่จัดเป็นตารางไว้นั้นเพื่อให้การแจกแจงความเคลื่อนคลาดเล็ก ๆ น้อย ๆ ชดเชยกันเนื่องจากการใช้ไมครอมเมตร สำหรับสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ดัดแปลควรรังวัดมา 16 ศูนย์ ในกรณีพิเศษอื่น ๆ จำนวนของศูนย์ที่รังวัดกันอาจลดลงมาเป็น 12 หรือ 10 ศูนย์ ในแนว หรือทิศทางต่าง ๆ ถ้าโคลสเซอร์ของสามเหลี่ยมอยู่ในเกณฑ์ ถ้ามุมที่รังวัดมาบางมุมหายไปก็จำเป็นต้องเพิ่มวันพิเศษขึ้นทำการวัดเพิ่มเติมซ่อมเสียให้เสร็จสิ้น อย่างไรก็ดี ควรพยายามทุกวิถีทางที่จะวัดมาให้ได้ 16 ศูนย์

ทุกสถานีที่นำกล้องขึ้นตั้งทำการรังวัดมุม ถ้าเป็นการรังวัดซ้ำมุมต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างสถานีปกติวัดมาด้วยกล้องหน้าซ้าย 6 ชุด และกลับกล้องวัดมาอีก 6 ชุดในแต่ละมุม มุมที่ตั้งไว้บนจานองศาอันแรกแต่ละศูนย์ได้จัดเป็นตารางไว้แล้ว แม้ว่ามีการยกเว้น (หรือตัดทิ้งโดยไม่มีการรังวัดใหม่) ให้แก่การรังวัดในชุดใด ๆ เมื่อโคลสเซอร์ของสามเหลี่ยมอยู่ในเกณฑ์แล้วก็ตาม จะต้องทำการรังวัดมา 6 ชุด ในการสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ดัดแปลง

การตัดมุมที่รังวัดทิ้ง

ในงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 การรังวัดมุมใด ๆ ของทิศทางหนึ่งนั้นถ้าต่างไปจากผลปานกลางของการรังวัดเกิน 4" จะต้องตัดทิ้ง และทำการรังวัดซ่อมเสียใหม่ โดยใช้มุมรังวัดบนจานองศาอย่างเดียวกับศูนย์เดิมที่ตั้งไว้

จำนวนชุดไม่ครบ

ในกรณีที่โคมฉายอันหนึ่ง หรือมากกว่าแลไม่เห็นตลอดเวลา หรือเห็นบ้างไม่เห็นบ้าง ซึ่งขณะนั้นก็อาจหันกล้องไปส่องรังวัดสถานีอื่น ๆ การรังวัดควรกระทำต่อสถานีอื่นที่แลเห็นได้นั้นต่อกันไป อาจต้องใช้เวลารอคอยสถานีที่ส่องแนวเล็งไปเพื่อให้แลเห็นแสงไฟโคมฉาย เมื่อบางชุดที่ต้องวัดขึ้นใหม่ สถานีที่ไม่แลเห็นโคมจะต้องรังวัดขึ้นภายหลังโดยอาศัยแนวเล็งที่ใช้เป็นแนวเริ่มเดิมที่เลือกไว้ หรือใช้แนวเริ่มใหม่แนวใดแนวหนึ่ง และต้องใช้เพียงแนวเดียวจากสถานีที่รังวัดแล้วในชุดนั้น

จากการรังวัดตามระบบนี้ไม่จำเป็นต้องปรับค่าใด ๆ ประจำตำบลอีก เมื่อใช้แนวเริ่มแรก หรือแนวหลักใหม่ในการรังวัดไปยังสถานีหนึ่ง หรือหลายสถานีในจำนวนศูนย์ทั้งหมดของจานองศานั้น อาจต้องนำเอาจำนวนองศาที่เตรียมไว้สำหรับตั้งศูนย์มาใช้กับแนวเริ่ม เมื่อใช้แนวเริ่มแรกเพื่อทำงานให้เสร็จเป็นชุด ณ ตำบลที่ตั้งกล้องหนึ่ง ๆ มุมที่ศูนย์นั้นระหว่างแนวเก่ากับแนวเริ่มใหม่ควรบวกเข้าไปกับมุมที่ตั้งบนจานองศาทุก ๆ ศูนย์ที่ให้ไว้ในตาราง เพื่อจะได้แจกแจงการอ่าน ณ ทุกสถานีได้อย่างสมบูรณ์ตลอดโดยรอบจานองศา

ค่าของทิศทางที่กำหนดได้ในจำนวน 2 ชุด หรือมากกว่า ซึ่งรังวัดมา 12 ศูนย์ชุด หรือว่าได้จำนวนศูนย์มากกว่า 12 ศูนย์ ควรจะถือน้ำหนักอย่างเดียวกัน โดยไม่คำนึงว่าจะวัดในคืนเดียว หรือต่างคืน เมื่อค่าของ 2 ชุดทำการรังวัด 12 ศูนย์ หรือมากกว่าแตกต่างกันเกิน 1″ ให้จำนวนชุดที่ปิดสามเหลี่ยมได้ดีที่สุด ส่วนอีกชุดหนึ่งตัดทิ้ง

ในกรณีมี 3 ชุด ถ้า 2 ชุดมีค่าใกล้เคียง หรือลงเอยกันดีต้องตัดทิ้ง แล้วคงเอาอีกชุดหนึ่งไว้ ปกติชุดการรังวัดชุดหนึ่ง หรือหลายชุดที่คงไว้มักเป็นชุดที่ได้ทำการรังวัดภายใต้ภาวะการอันเกิดจากการหักเหของแสงทางราบมีน้อยจุด เมื่อมีมากกว่า 2 ชุด ชุดหนึ่งชุดใดที่ความต่างกันเอง หรือต่างจากผลปานกลางไม่เกิน 0.5″ ซึ่งนับว่าสมนัยดีที่สุดของสามเหลี่ยม ควรจะใช้ค่าผลปานกลางนั้นได้

สิ่งกีดขวางแนวเล็ง

สิ่งกีดขวางแนวเล็งของสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ที่จะทำให้ไม่สามารถหาค่าระยะได้ 2 ทาง ควรหาทางแก้ไขโดยขยายความสูงของที่หมายเล็งให้มากขึ้น หรือหาทางเปลี่ยนจุดประกอบรูปสามเหลี่ยมขึ้นใหม่ มักนิยมใช้เสริมจุดขึ้นตรงกลางซึ่งเรียกว่า Central Point Station ขึ้นใกล้ ๆ กับจุดที่กีดขวางแนวเล็งนั้น

กรณีพิเศษอาจยอมให้ใช้ความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยม R_2 ในบางครั้งได้สำหรับส่วนโค้งสั้น ๆ ในพื้นที่อันกว้างขวางที่มิได้ทำการสำรวจ สำหรับงานที่ต้องการหาระยะต่าง ๆ ควรเข้มงวดด้วยการส่องเล็งทั้งสองทาง

ส่วนโครงข่ายสามเหลี่ยมเป็นพื้นที่ในงานชั้นที่ 2 ที่ใช้เสริมงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 อาจใช้โครงข่ายสามเหลี่ยมเดี่ยวเชื่อมโยงได้ กรณีมีสิ่งกีดขวางแนวเล็ง รูปโครงข่ายโดยปกติสามารถจัดเสียใหม่ได้ ในการจัดรูปโครงข่ายใหม่ควรหลีกเลี่ยงหมุดของสามเหลี่ยมเดี่ยวที่ประกอบขึ้นด้วยสามเหลี่ยมมากกว่าหนึ่ง ซึ่งหมุดเหล่านั้นจะมีสิ่งเสริมให้มั่นคง สิ่งที่ต้องการอีกก็คือ หลีกเลี่ยงการสร้างสองสถานีใกล้กันเชิงสัมพัทธ์ถ้าหากมิได้มีการโยงยึด

โครงข่ายสามเหลี่ยมเสริม

สำหรับโครงข่ายสามเหลี่ยมเสริมแก่โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 กฎเกณฑ์ หรือบทบัญญัติสำหรับโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 จะต้องดัดแปลง และทำให้ดีขึ้นดังต่อไปนี้ คือ "ใช้กล้องธีโอโดไลท์ (Thodolite) ที่มีความละเอียดสำหรับงานชั้นที่ 1 ทำการวัด 16 ศูนย์" ตามเกณฑ์ ดังนี้

1) ตัดผลการวัดชนิดใช้ทิศทาง (Direction) ที่เบี่ยงเบนจากผลปานกลางของการวัดเกิน 5 พิลิบดา ออกแล้ววัดใหม่โดยใช้จำนวน และการตั้งศูนย์เช่นเดียวกัน และ

2) สถานีหนึ่งใดในโครงข่ายสามเหลี่ยมเสริม เฉพาะ Closure ของสามเหลี่ยมที่เกี่ยวข้องกับสถานีนั้นเกินกว่า 5 พิลิบดา จะต้องขึ้นทำการวัดใหม่ ผลปานกลาง Closure ของโครงข่ายสามเหลี่ยมมักไม่ควรเกิน 2.0 พิลิบดา และโดยปกติควรตกอยู่ต่ำกว่า 1.5 พิลิบดา

นอกจากความละเอียดถูกต้องเฉลี่ยที่ดีขึ้น โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 ดัดแปลงช่วยประหยัดการปฏิบัติหากวัดเพียง 8 ศูนย์ อาจจำเป็นต้องวัดใหม่บ่อย ๆ ด้วยการวัด 16 ศูนย์ มักจะไม่จำเป็นต้องขึ้นรังวัดใหม่ ณ สถานีต่าง ๆ เพื่อทำ Closure ให้ดีขึ้น งานที่ต้องใช้เวลามากที่สุดในการขึ้นรังวัด ณ สถานีหนึ่ง คือ การเคลื่อนย้าย และการเตรียมสถานี การวัด 16 ศูนย์อันแท้จริงที่สถานีธรรมดาปกติสามารถวัดเสร็จไม่ถึง 2 ชั่วโมง

การตรวจสอบด้าน, รูปสามเหลี่ยมเสริม

สำหรับโครงข่ายส่งเสริมที่เป็นโครงข่ายเสริม โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และไม่ใช่เพื่อการขยายหมุดหลักฐานต่อไป ควรใช้เขตจำกัดดังนี้

สำหรับรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าแบบธรรมดาซึ่งในสามเหลี่ยมเมื่อปิดแล้วโดยการใช้ $\frac{1}{3}$ ของความเคลื่อนคลาด Closure ของแต่ละมุม เขตจำกัดของการตรวจสอบด้านจะเป็น 4 เท่า ความต่างสำหรับ 1 พิลิบดาของ log sine ของมุมเล็กที่สุดจากตารางที่นำเข้าเกี่ยวข้องกับการคำนวณ สำหรับรูปสามเหลี่ยมนอกจากรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ค่าจำกัดเชิงเปรียบเทียบสำหรับการตรวจสอบด้านอาจได้รับโดยการคำนวณความต่าง 1 พิลิบดาของ log sine ของมุมเล็กที่สุดจากตารางที่ใช้ในการคำนวณโดยจำนวนของสามเหลี่ยมทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง

สำหรับรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดซึ่งการทดสอบสมการด้านที่ใช้ เขตจำกัด 0.8 พิลิบดา สำหรับจำนวนแก้เฉลี่ยต่อทิศทางจะกำหนดระบุไว้ ให้ใช้แบบทดสอบสมการด้านอย่างสั้น จำนวนแก้ปานกลางแก่มุมหนึ่ง ๆ สำหรับโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 ดัดแปลง ไม่ควรเกินค่าเฉลี่ย 1".2 สำหรับสามเหลี่ยมส่วนโค้ง หรือเป็นพื้นที่ ส่วนแต่ละรูปมักไม่ควรเกิน 1".2 และเขตจำกัดทางสูงไม่ควรเกิน 3".0 แม้ในกรณีพิเศษของสมการที่ใช้เพียงมุมขนาดเล็กมุมหนึ่งก็ตาม

สถานีสกัดตรง

แต่ละสถานีชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ดัดแปลงที่ขึ้นทำการวัดต้องวัดทิศทางไปยังวัตถุต่าง ๆ เช่น ยอดเจดีย์, โบสถ์, กระโจม, หอปั๊มน้ำ, กระโจมไฟ, ยอดเขาเด่น และปล่องสูง (ด้วยกล้องธีออดอไลท์ชั้นที่ 1 โดยวัด 4 ศูนย์) ใช้แนวเล็งของโครงข่ายที่ทราบแล้วเป็นทิศทางเริ่มแรก

รายละเอียด และบัญชีทิศทางไม่ควรมีสิ่งที่น่าสงสัยเหลือไว้ในเรื่องจุดที่เล็งอันแท้จริงของวัตถุต่าง ๆ นั้น หากวัตถุใหญ่มากไม่อาจนำสายใยเข้าแบ่งครึ่งได้อย่างแท้จริง และถูกต้องแล้วทางที่ดีที่สุดนิยมวัดด้วยการเอาสายใยเข้าสัมผัสวัตถุนั้น

นับว่าสำคัญที่จะเล็ง 3 แนวไปยังสถานีสกัดตรง เพื่อเกิดความเชื่อมั่นต่อการตรวจสอบตรงกับตำแหน่งจริง ยกเว้นแต่สถานีสกัดตรงสามารถพิสูจน์ทราบได้อย่างแท้จริง กรณีอย่างนี้เพียง 2 แนวเล็งก็อาจปลอดภัย

วัตถุเด่นซึ่งแลเห็นได้จากพื้นดินควรวัดใช้เพื่อเป็นจุดหมายแอซิมัทหรืออะซิมุทเพิ่มเติม แม้จะใช่เชิงปฏิบัติที่จะให้การวัดปลอดภัยจากสถานีอื่นก็ตาม อีกประการหนึ่งที่ได้ไม่ค่อยมีสถานีสกัดตรงควรส่องวัดไปยังวัตถุเด่นต่าง ๆ (ซึ่งแลเห็นได้จากพื้นดิน) เพื่อได้มีอะซิมุทเสริมเพิ่มเติมสมบูรณ์ขึ้นสำหรับใช้ทางโฟโตแกรมเมตรี

การโยงยึดกับโครงข่ายสามเหลี่ยมเดิม

ในการทำการโยงยึดแนวกับโครงข่ายสามเหลี่ยมเดิม การตรวจสอบมุมต่าง ๆ กับสถานีโครงข่ายที่ 3 เดิมควรกระทำจากแต่ละปลายแนว ยกเว้นเฉพาะโครงข่ายเดิมที่จะเข้าโยงยึดนั้นเพิ่งเสร็จมาภายในระยะเวลา 2 ปี ความแตกต่างขนาดใหญ่ที่ผิดปกติใด ๆ ซึ่งไม่อาจตัดทอนได้ด้วยการพิจารณาตรวจสอบในสนามก็ควรจะได้แจ้งไปยังสำนักงานให้สนใจเรื่องนั้นทันที

มุมที่รังวัดโดยปกติควรตรวจสอบกับมุมที่รังวัดไว้เก่าน้อยกว่า 3 พิลิบดา เมื่อค่ารังวัดเกิน 1.5 พิลิบดา ควรทำการวัดชุดที่ 2 จำนวน 16 ศูนย์ขึ้น หากว่างานนี้จะไม่ทำให้การดำเนินงานชักช้า หากค่าที่ได้โตกว่า 3 พิลิบดา ควรได้ตรวจสอบ และรายงานเพิ่มเติม กรณีค่าของมุมที่วัดไว้เดิมไม่สมบูรณ์ตามข้อบังคับ หรือข้อแนะนำ ทางสำนักงานจะต้องขอร้อง หรือดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง หากความแตกต่างเกิน 2 พิลิบดา จะต้องแจ้งสำนักงานทราบ

กรณีไม่สามารถค้นหาสถานีเก่าได้ ต้องสร้างหมุดขึ้นใกล้กับสถานีนั้น และหลังจากตำแหน่งของจุดในสนามนี้กำหนดขึ้นแล้วทำการคำนวณกลับ (Inverse computation) ระหว่าง 2 สถานีนั้น พยายามค้นหาหมุดเก่าให้พบต่อไป โดยใช้อะซิมุท และระยะที่คำนวณได้ เมื่อพบสถานีเก่าจงทำการเชื่อมโยงยึดกับสถานีใหม่อย่างละเอียด

หมายหมุด

แต่ละสถานีทำหมายหมุดถาวรโดยมีหมายหมุด 2 ชั้นคือ **ที่พื้นผิว** และ**ใต้พื้นผิว** ในเมื่อสภาวะท้องถิ่นอำนวย ควรมีหมายพยานหมุดอย่างน้อย 2 ที่หมายที่สถานีสามเหลี่ยมแต่ละสถานี ควรตั้งอยู่ในที่ปลอดภัยจากการคาดว่าอาจได้รับการรบกวนจากเหตุเดียวกันถ้าเป็นไปได้ควรจะตั้งอยู่ ณ จุดซึ่งมุมที่สถานีระหว่างหมายพยานหมุดใกล้ 90°

หมุดอะซิมุทควรตั้งอยู่ที่สถานีในท้องที่ซึ่งแลเห็นได้จากพื้นดินจากสถานี และมีระยะห่างไม่น้อยกว่า $\frac{1}{4}$ ไมล์ ความมุ่งหมายสำคัญของตรงหมายหมุดอะซิมุท คือ เพื่อเปิดโอกาสแก่วิศวกร และนักสำรวจซึ่งใช้ข้อมูลทางยีออเดซีได้ใช้อะซิมุทที่เข้าถึงได้เหล่านั้นบริเวณซึ่งสถานีสามเหลี่ยมอื่น ๆ มีอยู่แลเห็นกันได้จากพื้นดินระยะไม่เกิน 2 ไมล์ แล้วที่หมายหมุดอะซิมุทก็ไม่จำเป็น

เนื่องจากสถานีโครงข่ายสามเหลี่ยมบางทีใช้เป็นสถานีแม่เหล็ก สถานีไม่ควรมีเหล็กหรือวัสดุเสริมเหล็กกล้าเจือปนอยู่ด้วย

ถ้าการรังวัดกระทำบนหมุดอะซิมุทควรวัดอย่างน้อย 4 ศูนย์ด้วยเครื่องมือชั้นที่ 1 ถ้ากระทำบนที่หมายพยานควรประกอบด้วยการวัด 3 ศูนย์อย่างน้อยด้วยกล้องทิศทาง หรือกระทำด้วยกล้องทรานสิทวัดมุมทางราบ ระวังการตั้งศูนย์กล้องตรงหัวหมุด และการตั้งระดับเครื่องมือเพื่อว่ามุมต่าง ๆ ที่วัดไปยังวัตถุใกล้ ๆ จะได้วัดได้ถูกต้อง ระยะเชิงเส้นตรงจากสถานีไปยังที่หมายพยาน ควรวัดด้วยโซ่ลานเหล็กกล้าเป็นเมตรจนถึง 1 ใน 1,000 และตรวจสอบด้วยการวัดเป็นฟุตถึง 1 ใน 100 ที่ใดสามารถทำได้ก็ควรวัดระยะระหว่างที่หมายพยานไว้เสียด้วย หลักที่หมายพยานน่าจะได้สร้างไว้ที่สถานีด้วย

การโยงยึดกับการสำรวจของหน่วยองค์การอื่น

หมุดหลักฐานของหน่วยองค์การอื่นควรทำการโยงยึดไว้ด้วยความละเอียดของงานชั้นที่ 2 หมุดเหล่านี้ควรรวมเข้าไว้ในโครงข่ายถือเป็นสถานีขึ้นทำการวัด หรือโยงยึดด้วยวงรอบสั้น ๆ

รายละเอียดหมุด

ควรทำเป็นแบบฟอร์มทั้งหมดขึ้นรังวัด และหมุดสกัดตรง หมุดสกัดตรงถ้าเข้าไปถึงที่ตั้งหมุดได้ก็ควรทำเพื่อได้ข่าวสารเขียนรายละเอียด ควรตรวจค้นหาหมุดเก่าโดยตลอด และหมายไว้แจ้งชัดเมื่อพบ

การวัดมุมดิ่ง

ทำการวัดระยะซีนิท 2 ครั้ง ตรง และย้อน (Reciprocal) ณ สถานีที่ขึ้นรังวัดทั้งหมดในพื้นที่ระบุไว้ในระเบียบ หรือคำแนะนำของโครงการ การวัดระยะซีนิท 2 ครั้ง กระทำ 3 ชุด คือ ในชุดหนึ่งประกอบด้วย**ส่องตรง** และ**ส่องย้อน** หากการวัดแยกจากกันของระยะ

ซีนิทตกอยู่ภายในพิสัย 10 พิลิบดาก็เพียงพอไม่ต้องวัดใหม่ หากเกินเกณฑ์นี้ต้องวัดใหม่จนได้ตามเกณฑ์ จะต้องกลับกล้องระหว่างการส่องที่หมายเดียวกันเพื่อประกันค่าที่แยกวัด และมีอิสระต่อกันสำหรับการส่องแต่ละครั้ง หากเครื่องมือสร้างขึ้นผิดปกติควรเขียนภาพหยาบ ๆ บอกจานองศาดิ่ง และเครื่องอ่านเศษมาตร (Verniers) พร้อมกับหมายให้เห็นจานองศาดิ่งหน้าซ้ายหน้าขวา ติดไว้ในคู่มือ หรือหีบเครื่องมือ

จำนวนแก้ดัชนีของจานองศาดิ่งควรใช้ค่าต่ำโดยทั่วไปภายใน 2-3 ลิบดา เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจสอบ และคำนวณ และไม่ควรเกิน 5 ลิบดา

การวัดควรกระทำระหว่างเวลา 12.00 (เที่ยงวัน) และบ่าย 4 โมงเย็น เพราะการหักเหของแสงขณะนั้นมีน้อย และคงที่กว่าเวลาอื่น เมื่อไม่สามารถวัดได้ทุกสถานีตามเวลาดังกล่าว ที่เหลืออาจวัดกลางคืน หากวัดด้วยวิธีนี้ต้องการว่าการวัดควรกระทำที่แสงโคมฉาย ณ สถานีหนึ่ง หรือมากกว่าซึ่งสถานีเหล่านี้ได้วัดกันแล้วตอนบ่าย เมื่อโยงยึดกับหมุดระดับบ่อยครั้ง มุมดิ่งควรวัดเมื่อมีการหักเหของแสงน้อยที่สุด การส่องย้อนควรกระทำทุกสถานี ณ เวลาของวันที่ใกล้เคียงกัน ควรโยงยึดกับหมุดระดับที่ทำด้วยกล้องระดับเท่าที่จะทำได้ และโดยทั่วไปสภาวะเช่นนั้นควรกระทำทุก ๆ รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่ารูปที่ 3 โดยประมาณ

การวัดเส้นฐาน และอะซิมุท

การวัดเส้นฐาน และอะซิมุทเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของการสามเหลี่ยมทางยีออเดติค ซึ่งการวัดจะต้องเป็นไปตามบทบัญญัติ หรือระเบียบซึ่งระบุไว้สำหรับชั้นงานแต่ละชนิด

การคำนวณในสนาม

เมื่อออกปฏิบัติงานหน่วยสนามจะทำการคำนวณตำแหน่งภูมิศาสตร์ทุกสถานีรวมทั้งสถานีเสริม และสถานีสกัดตรง สมุดสนามต้นฉบับควรส่งเข้าสำนักงานโดยด่วนเท่าที่จะทำ

ได้ ตรวจสอบรายการย่อ และบัญชีทิศทาง สมุดสนาม รายละเอียดหมุด และการคำนวณจะต้องส่งสำนักงานประจำเดือนโดยส่งลงทะเบียน ไม่ควรเก็บสมุดสนามไว้ในหน่วยสนามเกิน 1 เดือน เพื่อป้องกันการสูญหายจากส่งทางเมล์ ฉะนั้น รายการย่อ, บัญชีทิศทาง และการคำนวณไม่ควรส่งเข้าสำนักงานพร้อมกับสมุดสนามในวันเดียวกัน คำนวณผลงานสนามขั้นสุดท้าย และเขียนภาพเคร่า ๆ ความก้าวหน้าของงานเสนอเข้าสำนักงานภายใน 1 เดือนหลังจากเสร็จงานสามเหลี่ยมเป็นโค้ง หรือเสร็จโครงการหนึ่ง ๆ

ภาพเขียน

ภาพเขียนขนาดใหญ่ตามมาตราส่วน เขียนขึ้นแสดงโครงการในรายละเอียดในแต่ละโครงการ หรือฤดูกาล

การรายงาน

ควรรายงานทุกครึ่งเดือน หรือทุก ๆ เดือนแล้วแต่คำสั่ง

การสำรวจเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลง

หากสภาพของท้องถิ่นทำให้แม่กองสนามอยากจะเปลี่ยนแปลงโครงข่ายสามเหลี่ยมหรืองานที่กำลังดำเนินการอยู่ ให้รายงาน และเสนอแนะไปยังสำนักงาน

สำหรับการสามเหลี่ยมชั้นที่ 2

ลักษณะรูปสามเหลี่ยม

(ให้ดูข้อแนะนำการสำรวจเบื้องต้นหน้า 1 - 17)

ความยาวของด้านที่ต้องการ

ความต่างระหว่างระยะที่คำนวณกับระยะเส้นฐานที่วัด หรือระยะที่ปรับแก้เพื่อตรวจสอบต้องไม่เกิน 1/10,000 หลังจากเงื่อนไขเชิงมุม และด้านเป็นที่พึงพอใจแล้ว

ความต้องการมุม

โคลสเซอร์ (Closures) ของสามเหลี่ยมแต่ละรูปจะต้องไม่เกิน 5 พิลิบดา และเฉลี่ยแล้วไม่เกิน 3 พิลิบดา

ตรวจสอบด้าน

(ดูข้อ 11.)

เครื่องมือ

ใช้เครื่องมือวัดทิศทาง หรือวัดซ้ำ

การตั้งจานองศา

ตั้งครั้งแรกแทนศูนย์ถัดไปเมื่อวัดด้วยกล้องวัดทิศทาง หรือวัดด้วยเครื่องมือวัดซ้ำ ควรแตกต่างด้วยจำนวนซึ่งขึ้นอยู่กับ**จำนวนศูนย์** หรือ**ชุดที่วัด** และจำนวนของไมครอมเมตรหรือเวอร์เนียในกล้อง

พิสัยเป็นองศาระหว่างการตั้งจานองศาแบบต่อเนื่องตามลำดับโดยใช้สูตรประมาณดังนี้

$$I = \frac{360}{mn}$$

ซึ่ง I คือ พิสัย

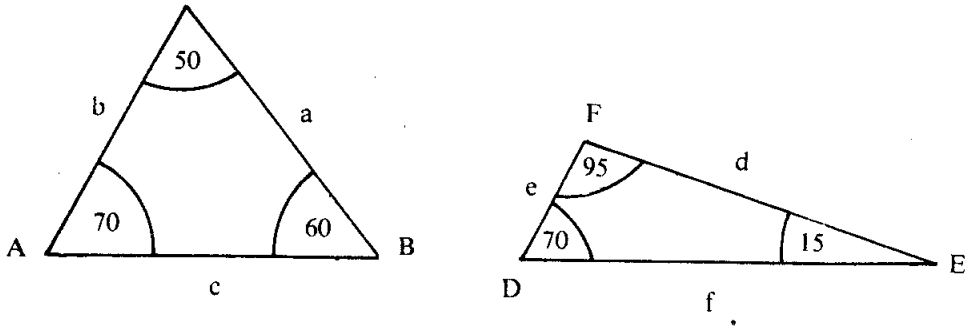
m เป็นจำนวนไมครอมเมตร หรือเวอร์เนีย

n คือ จำนวนศูนย์ หรือจำนวนชุด

การคำนวณความแข็งแรงของโครงข่ายสามเหลี่ยม

ในการตัดสินใจว่าโครงข่ายสามเหลี่ยมอันไหนที่ควรนำมาใช้นั้น สิ่งสำคัญคือต้องตรวจโครงข่ายของรูปเชิงเรขาคณิตเพื่อค้นหาโครงข่ายอันใดจะ**แข็งแรงที่สุด** นั่นคือรูปหนึ่งใดที่ให้ระยะอันสุดท้ายซึ่งคำนวณนั้นให้ความเคลื่อนคลาดน้อยที่สุดอันเนื่องจากรูปของสามเหลี่ยม และการประกอบรูปสามเหลี่ยมในโครงข่ายนั้น

ในระบบของการสามเหลี่ยมความยาวของด้านสามเหลี่ยมคำนวณได้โดยกฎของข้อมูลเริ่มแรก คือ ระยะของแนวอันหนึ่งที่วัดขึ้นเรียกว่า **เส้นฐาน** (Base - line) และวัดมุมขึ้นที่จุดยอดมุมสามเหลี่ยม เนื่องจากว่าการเปลี่ยนแปลงทางมุมค่า sines ของมุมขนาดเล็กจะเปลี่ยนเร็วมากกว่ามุมขนาดใหญ่ ปรากฏชัดว่าเปอร์เซ็นต์ความเคลื่อนคลาดในด้านของสามเหลี่ยมที่คำนวณ ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับมุมขนาดเล็กจะโตกว่าด้านที่อยู่ตรงข้ามของมุมขนาดใหญ่กว่า จะต้องสมมุติว่าความละเอียดของมุมใด ๆ ที่วัดมิได้ขึ้นอยู่กับขนาดของมุมนั้น



รูป 6.15

ในรูปสามเหลี่ยม 2 รูป ABC และ DEF ให้ c = f สมมุติว่าด้าน b และด้าน e ต้องการจะคำนวณ และอยู่ตรงข้ามกับมุม 60° และ 15° ตามลำดับ ซึ่งมุมทั้งสองนี้ วัดมาด้วยความละเอียดประณีตอย่างเดียวกัน เช่น วัดละเอียดถึง 1 ลิบดา

เนื่องจากความยาวของ b และ e เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่า sines ของมุมที่ด้านทั้งสองอยู่ตรงข้าม ปรากฏว่าความเคลื่อนคลาดเป็นร้อยละในระยะของด้านที่คำนวณจะเป็นอย่างเดียวกับความไม่แน่นอนเชิงสัมพัทธ์ใน sine ของมุมนั้น เมื่อตรวจดูว่า sine ในตารางจะแสดงว่าความเคลื่อนคลาดในระยะความยาวที่คำนวณของด้าน b ที่อยู่ตรงข้ามกับมุม 60° จะเป็นร้อยละ 0.017 ส่วนความเคลื่อนคลาดในระยะความยาวที่คำนวณด้าน e ซึ่งอยู่ตรงข้ามมุม 15° จะเป็นร้อยละ 1.10 หรือความเคลื่อนคลาดร้อยละเป็นหกเท่าในด้าน b

จากการวิเคราะห์ที่แล้วมาแสดงให้เห็นความสำคัญของสามเหลี่ยมที่มีรูปดี หรือสามเหลี่ยมรูปพึงประสงค์ในโครงข่ายสามเหลี่ยม ไม่น่าจะลงข้อยุติว่ารูปขนาดเล็กทั้งหมดเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ ในการคำนวณด้านที่กำหนดให้ในสามเหลี่ยมใด ๆ จะมี**มุมเชิงระยะสองมุม** (Distance angles) คือ มุมตรงข้ามกับด้านที่ทราบระยะกับมุมที่อยู่ตรงข้ามกับด้านยังไม่ทราบ

ในรูปสามเหลี่ยม ABC สมมุติว่าด้าน a ทราบระยะแล้ว และจะคำนวณหาด้าน b ดังนั้นมุมเชิงระยะจึงเป็น 50̊ และ 60̊ ตามลำดับ เนื่องจากสภาวะเช่นนี้จึงไม่มีมุมหนึ่งใดในสามเหลี่ยมจะมีผลต่อการคำนวณด้านที่กำหนดให้เสมอ ดังนั้นมุมที่ไม่มีผลนี้อาจเป็นมุมเล็กมาก และความละเอียดถูกต้องของระยะความยาวที่คำนวณยังจะไม่มีผลกระทบกระเทือนแต่อย่างใด เช่น ใน DEF หากด้าน f และ d เป็นด้านที่ทราบ และยังไม่ทราบตามลำดับ ครั้นแล้วมุมตรงข้ามระยะ คือ 95̊ และ 70̊ เพราะฉะนั้นมุมเล็ก 15̊ ไม่มีผลต่อผลการคำนวณใด ๆ

ในการออกแบบระบบโครงข่ายสามเหลี่ยมย่อมจะเลือกหาตำแหน่งแทนที่ตั้งตำบลต่าง ๆ ได้มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้หลักการประการของ**ความแข็งแรง**ให้แก่รูปสามเหลี่ยมที่ประกอบกันขึ้นในโครงข่ายเพื่อว่าจะได้โครงข่ายสามเหลี่ยมที่มีรูปพึงประสงค์ที่สุดมาใช้ หลักการนี้เรียกว่า "ความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยม" (The strength of figure) และใช้แทนด้วย R

สมมุติว่ามุมทั้งหมดในระบบโครงข่ายสามเหลี่ยมนั้นวัดด้วยความละเอียดอย่างเดียวกัน ความแข็งแรงของสามเหลี่ยมรูปหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่นจะขึ้นอยู่กับสามตัวประกอบดังต่อไปนี้

1) จำนวนทิศทางที่วัด
2) จำนวนเงื่อนไข หรือพฤติภาพทางเรขาคณิต และ
3) ขนาดของมุมตรงข้ามระยะ (Distance angles)

นิพจน์สำหรับการกำหนดความแข็งแรงเชิงสัมพัทธ์ของระบบของรูปสามเหลี่ยมจากสองระบบ หรือมากกว่า คือ

$$R = \frac{D - C}{D} \times \Sigma (\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)$$

D = จำนวนทิศทางที่วัดซึ่งไม่รวมด้านที่ทราบแล้วของรูปที่กำหนดให้

C = จำนวนพฤติภาพ หรือเงื่อนไขทางเรขาคณิต

δ_A = ความต่างพลคณิต sine ของมุม A สำหรับ 1 พิลิบดา ทศนิยมตัวที่หก

δ_B = เช่นเดียวกันกับ δ_A แต่ใช้สำหรับมุม B

จำนวนเงื่อนไขเชิงเรขาคณิตในแต่ละรูป คือ ผลรวมของเงื่อนไขเชิงมุม และเชิงด้าน การนิพจน์สำหรับจำนวนเงื่อนไขเชิงมุมได้แก่ $n' - S' + 1)$ และจำนวนเงินไขเชิงด้าน คือ $(n - 2S + 3)$ ดังนั้น

$$C = (n - S' + 1) + (n - 2S + 3)$$ ซึ่ง

n = จำนวนเส้นเล็งทั้งหมด (รวมทั้งเส้นเล็งที่ทราบแล้ว)

n' = จำนวนเส้นเล็งที่ส่องทั้งสองทาง (รวมทั้งเส้นเล็งที่ทราบแล้ว)

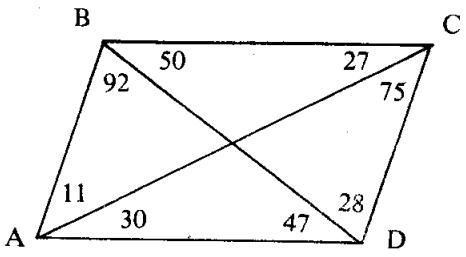
S = จำนวนสถานีทั้งหมด

S' = จำนวนสถานที่ขึ้นวัด

ผลจากขนาดของมุมตรงข้ามระยะมีต่อความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยม คือ จำนวน $(\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)$ เพื่อความสะดวกจึงได้จัดทำตารางไว้สำหรับการหาจำนวนนี้ (ตาราง 1)

ตัวอย่าง จงแสดงรูปเหลี่ยม (Quadrilateral) ซึ่ง AB เป็นด้านที่ทราบค่าแล้ว และ CD เป็นด้านที่จะต้องคำนวณระยะขึ้นทำการส่องวัดทุกสถานี และค่าของมุมโดยเฉลี่ยวัดออกมาตามตรง ต้องการคำนวณ "ความแข็งแรงของโครงข่ายสามเหลี่ยม" โดยประมาณแต่ละรูปจากการคำนวณไปได้ถึงสี่ทาง ซึ่ง CD เป็นความยาวที่กำหนดหาได้

การคำนวณจำนวน $\frac{D - C}{D}$ กระทำดังนี้



$$D = 10,\quad n = 6,\quad n' = 6,\quad S = 4,\quad S' = 4$$

ดังนั้น $$C = (n' - S' + 1) + (n - 2S + 3)$$

$$= (6 - 4 + 1) + (6 - 8 + 3) = 4$$

$$\frac{D - C}{D} = \frac{10 - 4}{10} = 0.6$$

และค่าจากตารางเพื่อคำนวณ $(\sigma_A^2 + \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2)$ สามารถหาได้โดยง่าย

ตาราง 6.7

สามเหลี่ยม	แนวทาง	มุมตรงข้ามระยะ		ค่าจากตาราง	$\frac{D-C}{D}$	R
ABC	AB สู่ BC	27	11	183		
BCD	BC " CD	28	50	$\frac{26}{209}$	0.60	$125 = R_4$
ABC	AB AC	27	142	13		
ACD	AC " CD	75	30	$\frac{16}{29}$	0.60	$17.4 = R_3$
ABC	AB " AD	47	92	4		
ACD	AD " CD	75	30	$\frac{16}{20}$	0.60	$12.0 = R_2$
ABC	AB " BD	47	41	15		
BCD	BD " CD	102	50	$\frac{3}{18}$	0.60	$10.8 = R_1$

ความแข็งแรงของรูปเหลี่ยมขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแนวทางดีที่สุดที่คำนวณผ่านไปเป็นสำคัญ แนวทางดีที่สุด คือ ทางที่ได้ค่า R น้อยที่สุด ในที่นี้ คือ R_1

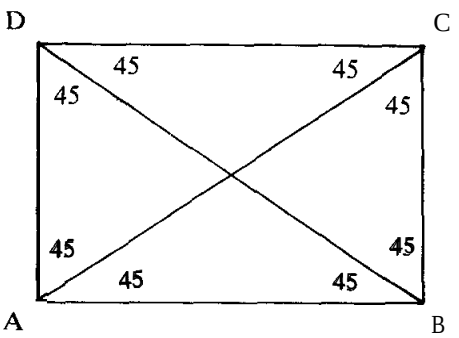
ในโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ค่า R ของรูปสามเหลี่ยมหนึ่งใด (ระหว่าง Base nets) ไม่ควรเกิน 25 ในแนวทางที่ดีที่สุดของโครงข่าย (R_1) ไม่ควรเกิน 80 ในแนวทางถัดมา (R_2) และต้องการรักษาค่าให้ต่ำกว่าเขตจำกัดนี้

ปัญหาโจทย์

1. รูปเหลี่ยมด้านไม่เท่ามีมุมทั้งหมดเท่ากับ 45° จงหาความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยม? และ

กรณีสถานีหนึ่งบนเส้นฐานมิได้นำกล้องขึ้นวัด ความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยมเป็นเท่าไร ?

กรณีสถานีหนึ่งบนเส้นฐานนำกล้องขึ้นรังวัด จงหาความแข็งแรงของรูปสามเหลี่ยม



2. มีเขา 3 เขา A, B และ C ซึ่งเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกัน ระยะจาก A ถึง B 10 ไมล์ และระยะจาก B ถึง C 15 ไมล์ กำหนดสูง A = 600 ฟุต B = 550 ฟุต และ C = 650 ฟุต ตามลำดับ จงคำนวณหาความสูงของกระโจมที่จะสร้างขึ้นที่ C ที่ทำให้จุดสูงยอดกระโจม C จะแลเห็นได้จาก A

3. เขา 4 ลูก A, B, C และ D อยู่ในแนวเดียวกัน กำหนดสูง A = 810 ฟุต, B = 775 ฟุต, C = 1,030 ฟุต และ D = 1,300 ฟุต ตามลำดับ ระยะของ B, C และ D จาก A คือ 8, 28 และ 38 ไมล์ จงหาความสูงกระโจมที่ A และ D เพื่อส่องให้แลเห็นขึ้นไปเหนือ B และ C ได้ถึง 10 ฟุต ? ซึ่งกระโจมที่ A และ D มีความสูงเท่ากัน

4. จงหา D และ C จากรูปต่อไปนี้