บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

หลักการและทฤษฎีในส่วนของรายงานฉบับนี้ได้อ้างอิงมาจากหนังสือ วิชาการสำรวจ ของ ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย ซึ่งสามารถสรุปหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับงานวงรอบไว้ดังนี้

2.1 การสำรวจเพื่อการสร้างหมุดบังคับ (Control point)

หมุดบังคับทางการสำรวจจะมีหลายชนิด เช่นหมุดวงรอบ หมุดการสามเหลี่ยม หมุดอาซิมุท หมุดดาวเทียม หมุดหลักฐานการระดับ ฯลฯ

การสำรวจเพื่อสร้างหมุดบังคับ จึงเป็นการสำรวจเพื่อสร้างโครงงานของหมุดสำรวจ ที่มีความสัมพันธ์กันในระบบ 2 มิติ หรือ 3มิติ หมุดต่างๆ จะต้องกำหนดชั้นของความละเอียด อาจจะโยงยึดพิกัดและระดับมาจากโครงข่ายของชาติ ในประเทศไทยผู้รับผิดชอบคือกรมแผนที่ทหาร

สำหรับงานทางวิศวกรรม การสร้างหมุดบังคับเพื่อการก่อสร้างที่สำคัญ จะต้องทำด้วยความละเอียด เกณฑ์การตรวจรับงาน(Specification) จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์

หมุดบังคับเพื่องานวิศวกรรม จะใช้กับงานดังนี้

1. การสำรวจเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วนใหญ่
2. ใช้เป็นหมุดควบคุมมิติของงานก่อสร้าง
3. ใช้เป็นหมุดตรวจสอบการเคลื่อนตัวของสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน ทั้งเก่าและใหม่
4. เป็นหมุดหลักฐานเพื่อการขยายโครงข่ายหรือเพิ่มปริมาณหมุดบังคับไปยัง ตำแหน่งก่อสร้างอื่นๆ

วิธีการที่ใช้ในการสำรวจเพื่อสร้างหมุดบังคับทางราบ จะมีดังนี้

1. การทำวงรอบ (Traversing)
2. การทำสามเหลี่ยมมุม (Triangulation)
3. การทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration)
4. Triangulateration (รวมข้อ 2 และ 3)
5. การกำหนดหมุดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GPS Reciever)
6. การกำหนดหมุดโดยใช้ระบบความเฉื่อย (Intertial position fixing)

2.2 จุดประสงค์ของการทำวงรอบ

การทำวงรอบเป็นวิธีการกำหนดหมุดบังคับทางราบที่สะดวกที่สุด และจะทำได้ง่ายเมื่อมีรายละเอียดน้อย เพราะอุปสรรคน้อย แต่ถ้าพื้นที่ที่มีรายละเอียดมากหรือเป็นป่าการทำจะทำได้ยาก เพราะฉะนั้นการสำรวจจะใช้วิธีอื่น เช่น การสามเหลี่ยมและ Trilateration จุดประสงค์การทำวงรอบ มีดังนี้

1. ทำหมุดบังคับแผนที่เพื่อการสำรวจกรรมสิทธิ์ที่ดิน

2. ทำหมุดบังคับทางราบ เพื่อการสำรวจและทำแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map)

3. ใช้เพื่อการสำรวจเพื่อการออกแบบและก่อสร้าง ทางหลวง ทางรถไฟ แนวท่อต่างๆ และงานทั่วไป

4. ใช้ในการทำจุดบังคับ (Ground control) เพื่อการทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ (ปัจจุบันใช้เครื่องรับดาวเทียมแทน)

และนอกจากนี้การวงรอบยังใช้เชื่อมโยงหมุดของการสามเหลี่ยมเพื่อให้ค่าพิกัดต่อเชื่อมกันได้

ปัจจุบันการเชื่อมโยงหมุดหรือการโยงค่าทำได้สะดวกขึ้นเพราะมีเครื่องมือวัดระยะอิเล็คทรอนิคส์ซึ่งวัดระยะได้ไกลมากหรือการโยงค่าโดยใช้เครื่อง GPS Reciever

2.3 วิธีการทำวงรอบ

การทำวงรอบนี้มีหลายวิธี ซึ่งแล้วแต่จุดประสงค์และความละเอียดที่ต้องการ รวมทั้งเวลาที่กำหนดให้ในงานสำรวจเวลาน้อยก็จะต้องใช้วิธีที่ง่ายและรวดเร็ว การทำวงรอบนี้เครื่องมือและวิธีการจะแตกต่างกันไป แต่หลักการแล้วเหมือนกันวิธีการมีดังนี้

1. การทำวงรอบด้วยเข็มทิศ (Compass traverse) เครื่องมือที่ใช้จะเป็นเข็มทิศ หรือ Compass Theodolite เช่น WILD To การรังวัดมุมจะอาศัยทิศเหนือแม่เหล็ก ค่าที่ได้ออกมาจะเป็น Azimuth แม่เหล็ก (การคำนวณดูได้จากเรื่องการสำรวจด้วยเข็มทิศ)

2. การทำวงรอบด้วยกล้อง Theodolite วิธีนี้จะใช้กล้อง Theodolite วัดง่ามมุมต่อเนื่องกันไป จะเป็นมุมภายนอกหรือภายในก็แล้วแต่ทิศทางการทำวงรอบ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ้าผู้สำรวจเดินไปข้างหน้า มุมที่จะต้องวัดคือมุมทางซ้ายมือนั่นเอง ส่วนระยะจะวัดด้วยเทป หรือวัดด้วย EDM ก็ได้

3. การทำวงรอบด้วยวิธี Tacheometry วิธีนี้จะใช้กล้อง Theodolite ธรรมดาก็จะใช้วิธี Stadia หรือถ้าใช้กล้อง Tacheometer เช่น กล้อง WILD RDS ผลก็จะได้เหมือนกัน นอกจากนี้ยังมี Invar bar การใช้วิธีนี้ก็เพื่อที่จะได้ผลสำรวจได้เสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การทำ Site survey งานเกษตรกรรม ฟาร์ม แผนที่ภูมิประเทศ

4. การทำวงรอบโดยใช้ Electronic tacheometer วิธีนี้จะให้ความละเอียดมาก เพราะเครื่องมือที่ใช้นั้นเขาสร้างให้ระบบการวัดระยะรวมกับ Digital theodolite สามารถอ่านระยะดิ่ง ระยะราบและค่ามุมออกมาเป็นตัวเลขเลย

5. การทำวงรอบโดยระบบ Electronic total station เครื่องมือที่ใช้นี้จะคล้ายกับแบบที่ 4 แต่ตัวกล้องมีระบบ Microprocessor และเครื่องวัดระยะมีทั้งชนิดติดตายและถอดออกได้ เครื่องสามารถต่อ Electronic field book หรือ Card ได้ ซึ่งสามารถเก็บได้เป็น 1,000 หมุด รวมทั้งสามารถเก็บรายละเอียดได้ด้วย ผลงานสามารถ On line กับ Computer ได้เลยหรือจะส่งข้อมูลทางโทรศัพท์ก็ได้

6. การทำวงรอบโดยระบบ Inertial position systems เครื่องมือจะติดตั้งบนรถยนต์ หรือเฮลิคอปเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะทราบทั้งพิกัดในแนวราบและค่าระดับ สามารถนำมาออกแบบได้ เช่น การสำรวจการวางแนวท่อ สายไฟฟ้าแรงสูง

7. การทำวงรอบโดยวิธี Deflection angle วิธีนี้ใช้ในการสำรวจแนวทางด่างๆ การรังวัดมุมแบบมุมเห

2.4 ลักษณะของวงรอบ

วงรอบจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. วงรอบปิด (Closed Traverse) หรือวงรอบปิดตัวเอง (Closed Loop Traverse) เป็นวงที่ทำเป็นวงจร หมุดเริ่มต้นและบรรจบจะเป็นหมุดเดียวกัน และจุดออกจะต้องเป็นหมุดหลักฐานคู่หรือหมุดที่มีค่าพิกัดและมีหมุดอ้างอิง (Azimuth mark) วงรอบปิดสามารถจะตรวจสอบมุมที่ทำการรังวัดได้ และคำนวณพิกัดฉากตรวจสอบความผิดของการรังวัดมุมและระยะได้ การส่องกล้องจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวัดมุมภายนอก และการวัดมุมภายใน หรือการรังวัดมุมซ้ายมือ

2. วงรอบเปิด (Open Traverse) เป็นการทำวงรอบออกจากหมุดหลักฐานคู่ซึ่งเป็นวงรอบเดิมที่รู้ค่าพิกัดทั้งสองหมุด แล้วทำไปเข้าบรรจบกับหมุดหลักฐานอีกคู่หนึ่งที่ทราบค่าพิกัดเช่นเดียวกัน จากการตรวจสอบมุมและคำนวณพิกัดจะสามารถตรวจสอบความผิดที่เกิดขึ้นได้

3. วงรอบลอย (Swinging Traverse) เป็นวงรอบเปิดหรือวงรอบปิดที่ไม่ได้บรรจบหมุดที่ทราบค่าพิกัด เป็นการทำวงลอยๆ ออกไปเฉยๆ ไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งได้ ในทางสำรวจถือว่าจะเอาเป็นหลักฐานแน่นอนไม่ได้ ตามกฎหมายที่ดินจะจะใช้สำรวจที่ดินเพื่อออกโฉนดไม่ได้

4. โครงข่ายวงรอบ (Traverse net) จากรูปที่ 3 (a) จะประกอบวงรอบปิด เช่น 1 2 3 4 5 6 และมีวงรอบเปิด 6 7 8 9 4 (ในเยอรมันเรียก Closed Traverse) สมัยก่อนเราจะเรียกว่าเส้นแบ่ง ส่วน วงรอบ 2 10 11 8 จะเป็นวงรอบเปิดเรียกว่าเส้นซอย ส่วนหมุดที่ 12

(เราเรียกว่าโด่ 1 จาก 5) ส่วนหมุดที่ 13 (เราเรียกว่าโด่ 2 จากโด่ 1 จาก 5) การทำโครงข่ายวงรอบก็เพื่อให้สามารถเก็บรายละเอียดได้มากและละเอียดขึ้น

โครงข่ายวงรอบในประเทศไทย กรมที่ดินจะทำกระจายไปทั่วประเทศเพื่อการออกเอกสารสิทธิ์ สำหรับในกรุงเทพมหานครนั้นกรุงเทพมหานครจะเป็นผู้ดำเนินการ แต่จุดประสงค์จะทำเพื่อทำแผนที่มูลฐาน (Base map) และเพื่องาน วิศวกรรม

2.5 ชนิดของวงรอบเพื่องานวิศวกรรม

ในงานวิศวกรรมข้อกำหนดวงรอบจะคล้ายงานสำรวจทำแผนที่ (Surveying and mapping) การทำการสำรวจด้วยวงรอบนั้นจะมีความละเอียดต่างกันทั้งความละเอียดของเครื่องมือ วิธีการสำรวจ งานสำรวจเพื่อการก่อสร้าง และวิศวกรรมนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ

1. วงรอบธรรมดา **(Ordinary Traverse)** เกณฑ์ความผิดจะอยู่ในงาน ชั้นที่ 3 (Class 2 และ Class 1) เช่น กล้องที่ใช้จะต้องอ่านได้ละเอียด 1 พิลิปดา (Direct reading) วัดมุม 2-4 ศูนย์ ความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย (Mean) ไม่เกิน 5" Standard error ในการวัดระยะ 1 : 30000 - 1 : 60000 ความผิดของมุมวงรอบ 3" - 8" $\sqrt{N}$ ความผิดของการบรรจบ (คำนวณจากพิกัด) 1 : 5000 - 1 : 10000 การวัดระยะวัดด้วย EDM ค่าพิกัดของหมุดแรกออกและเข้าบรรจบอาจจะหาจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GPS Reciever) การสำรวจชั้นนี้จะใช้กับการรังวัดเพื่อการก่อสร้างทั่วไปที่ต้องการความถูกต้องแน่นอน เช่น การสร้างถนน เขื่อนดิน การทำ Site Survey ที่ต้องการความละเอียด อาจจะทำต่อจากวงรอบพิเศษ (Percise Traverse)

2. วงรอบพิเศษ **(Precise Traverse)** เป็นวงรอบเพื่อสร้างหมุดบังคับ (Control point) เพื่องานวิศวกรรมขนาดใหญ่ เช่น งานเขื่อนขนาดใหญ่ งานอุโมงค์ต่างๆ ที่ต้องการความละเอียดมากๆ งานสนามบินขนาดใหญ่เทียบชั้นกับงานสำรวจทำแผนที่ก็คืองานชั้น 2 Class 1 หรืองานชั้น 1 กล้องที่ใช้จะต้องอ่านได้ละเอียด 1" หรือ 0.2" หรือ Electronic Theodolite เพื่องาน Control point โดยเฉพาะการวัดระยะจะวัดด้วยเครื่อง EDM ระยะจะต้องได้รับการคำนวณปรับแก้ Standard error 1 : 300000-1 : 600000 ในต่างประเทศนิยมทำการสามเหลี่ยม (Triangulation) ขนาดเล็กเพราะสามารถตรวจสอบได้จากทุกหมุดของสามเหลี่ยม ไม่ว่าจะเป็นมุม ระยะและพิกัด

วงรอบนี้สามารถทำเป็นวงรอบภูมิศาสตร์หรือวงรอบ UTM (คือคำนวณพิกัดในระบบ Universal Tranverse Mercayor) โดยค่า Scale factor อาจจะใช้ Local scale factor โดยกำหนดค่า K ตามความต้องการเช่น ถ้า $k_o = 0.9996$ จะเป็นอัตราส่วนของความผิด 1 : 2500 แต่ความผิดจะน้อยลง เมื่อห่างจากเส้นเมอริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) ในอเมริกาบางรัฐกำหนดให้อัตราส่วนของความผิดเท่ากับ 1 : 200,000

2.6 การแบ่งชั้นงานวงรอบของกรมที่ดิน

ความละเอียดถูกต้องของงานวงรอบขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ บุคคล ผู้ทำการรังวัด วิธีการวัด และสภาพดินฟ้าอากาศ งานแต่ละโครงการย่อมต้องการความละเอียดถูกต้องต่างกันตามแต่วัตถุประสงค์ของงานนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งชั้นของงานวงรอบ มีเกณฑ์กำหนดของงาน เพื่อให้ได้ความละเอียดถูกต้องตามจุดประสงค์

1. งานวงรอบชั้นที่ 1 (First order traverse) หมุดหลักฐานแผนที่หลัก ซึ่งกรมที่ดินจะนำไปใช้เป็นหมุดออกและเข้าบรรจบในการวางเส้นโครงงานหลักฐานแผนที่ชั้น 1 นั้น จะต้องเป็นหมุดหลักฐานแผนที่ที่ได้มาจากการรังวัดอาซิมุท (Azimoth) ให้ทำการรังวัดอาซิมุททุกๆ 20 หมุด และต้องไม่เกิน 10 กิโลเมตร

2. งานวงรอบชั้นที่ 2 (Second order traverse) ให้วางอกและเข้าบรรจบกับหมุดหลักฐานแผนที่ชั้นที่ 1 จุดประสงค์ในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้น 2 ก็เพื่อใช้เป็นหลักในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานในแผนที่ชั้น 3 ระยะระหว่างหมุดหลักฐานของเส้นโครงงานแผนที่ชั้น 2 ไม่ควรยาวเกิน 12.5 เส้น และความยาวทั้งหมดของเส้นโครงงานไม่ควรเกิน 5 กิโลเมตร แต่ถ้ามีความจำเป็นในกรณีไม่อาจหาหมุดเข้าบรรจบได้ ก็ให้ยาวเกินกว่านี้ได้แต่ต้องไม่เกิน 10 กิโลเมตร และให้สร้างหมุดหลักฐานถาวร เช่น งานวงรอบชั้น 1

การวัดมุมราบให้ใช้กล้องวัดมุมชนิดที่อ่านได้โดยตรงไม่ต่ำกว่า 1 ลิปดา ให้ทำการวัดอย่างน้อย 3 ชุด การวัด 1 ชุด หมายถึงการวัดด้วยหน้ากล้องซ้ายและหน้าขวาอย่างละ 1 ครั้ง ความแตกต่างของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวาต้องไม่เกิน 1 ลิปดา ความแตกต่างของมุมแต่ละชุดที่จะนำมาเฉลี่ยต้องไม่เกิน 1 ลิปดา ในการวัดมุมแต่ละชุดให้เปลี่ยนมุมจากองศาราบไปประมาณ 180 องศา หารด้วยจำนวนชุดที่ทำการรังวัด และควรทำการวัดมุมโดยวิธีใช้ขากล้อง 3 ชุด (Method of Three Tripods Centering)

การรังวัดอาซิมุท (Azimuth) ให้ทำการรังวัดอาซิมุททุกๆช่วง ไม่เกิน 40 หมุด

3. งานวงรอบชั้นที่ 3 (Third order traverse) ให้วางระหว่างหมุดหลักฐานแผนที่ของเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า จุดประสงค์ในการสร้างเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ชั้น 3 ก็เพื่อจะสร้างหมุดหลักฐานแผนที่สำหรับเก็บรายละเอียดในบริเวณพื้นที่ดิน ระยะระหว่างหมุดหลักฐานแผนที่ไม่ควรเกิน 5 เส้น และความยาวทั้งหมดของเส้นโครงงานไม่ควรเกิน 2 กิโลเมตร ถ้ามีความจำเป็นในกรณีไม่อาจหาหมุดเข้าบรรจบได้ ก็ให้ยาวเกินกว่านี้ได้ แต่ต้องไม่เกิน 4 กิโลเมตร

การวัดมุมราบให้ใช้กล้องวัดมุมชนิดที่อ่านได้โดยตรงไม่ต่ำกว่า 1 ลิปดา ให้ทำการวัดอย่างน้อย 2 ชุด การวัด 1 ชุด หมายถึง การวัดด้วยกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวาอย่างละ 1 ครั้ง ความแตกต่างของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา ต้องไม่เกิน 1 ลิปดา ความแตกต่างของมุมแต่ละชุดที่จะนำมาเฉลี่ยต้องไม่เกิน 1 ลิปดา ในการวัดมุมแต่ละชุดให้เปลี่ยนมุมจากองศา

หมุดที่ใช้เป็นหมุดออกหรือเข้าบรรจบ

1. หมุดหลักฐานแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งมีค่าพิกัดภูมิศาสตร์จากงานโครงข่ายสามเหลี่ยม หรืองานวงรอบชั้น 1

2. หมุดหลักฐานแผนที่ชั้น 1 ของกรมที่ดินที่ได้มาจากการวัดระยะอิเล็คทรอนิคส์ ซึ่งรังวัดออกและเข้าบรรจบจากหมุดหลักฐานจากกรมแผนที่ทหารที่มีความละเอียดสูง

ส่วนการวางโครงหมุดหลักฐานแผนที่จะเป็นชนิดและวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง สภาพบริเวณ และตำแหน่งของหมุดหลักฐานแผนที่บริเวณพื้นที่นั้น ความยาวทั้งหมดของเส้นโครงงานไม่เกิน 20 กิโลเมตร ระยะระหว่างหมุดที่ทำการรังวัดด้วยโซ่ไม่ควรยาวเกิน 12.5 เส้น ระยะที่ยาวกว่านี้อาจทำการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็คทรอนิคส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งแวดล้อม ความยาวระหว่างหมุดหลักฐานแผนที่ ควรมีระยะเท่ากัน และให้สร้างหมุดหลักฐานแผนที่ถาวร 1 คู่ ทุกหมู่บ้าน ทุกแยกทางหลวง หรือทุกระยะประมาณ 5 กิโลเมตร โดยให้หล่อหมุดในที่มั่นคงถาวรใกล้กับหลักพยานที่ค้นหาง่าย เช่น หลักกิโลเมตร

ถ้าแนวเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ไม่เป็นไปตามนี้ ให้รังวัดด้วยวิธี จุดร่วม (Nodal Point) คือเป็นจุดซึ่งเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ซึ่งมีความยาวมาก มาบรรจบกันอย่างน้อย 3 เส้น เพื่อใช้ในการประกอบการบังคับเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่ เส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่แต่ละเส้นมาบรรจบกันที่จุดร่วมจะต้องมีลักษณะคล้ายคลึงกันและออกมา จากหมุดหลักฐานแผนที่ชั้นเดียวกันเพื่อให้ผลของการคำนวณอยู่ในเกณฑ์เดียวกันและที่จุดร่วมจะต้องทำการรังวัดอาซิมุท (Azimuth) กรณีหมุดหลักฐานแผนที่ไม่เพียงพอหรือไม่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมหรือสภาพภูมิประเทศไม่อำนวย อันจะทำให้เส้นโครงงานหลักฐานแผนที่แต่ละเส้นมีลักษณะไม่คล้ายคลึงกันก็ให้ทำได้โดยวิธีนี้

วงรอบทั่วไปใช้กล้องวัดมุมชนิดที่อ่านได้โดยตรงไม่ต่ำกว่า 1 พิลิปดา ให้ทำการวัดอย่างน้อย 3 ชุด หมายถึงการวัดด้วยกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา อย่างละ 1 ครั้ง ความแตกต่างของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวาต้องไม่เกิน 10 พิลิปดา ความต่างของมุมแต่ละชุดที่จะนำมาเฉลี่ยใช้คำนวณต้องไม่เกิน 10 พิลิปดา ในการวัดมุมแต่ละชุดให้เปลี่ยนมุมจากองศาไปประมาณ 180 องศาหารด้วยจำนวนชุดที่ทำการรังวัด และควรทำการวัดมุมโดยวิธีใช้ขากล้อง 3 ชุด (Method of Three Tripods Centering)

2.7 ข้อกำหนดงานวงรอบ National Geodetic Survy (NGS) ปี ค.ศ. 1984

ได้แบ่งข้อกำหนดรูปร่าง การรังวัดข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ ตลอดเกณฑ์การตรวจรับผลงานในสำนักงาน ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รูปแบบโครงข่ายวงรอบทางเรขาคณิต (Network Geometry)

ตารางที่1 ข้อกำหนดงานวงรอบ National Geodetic Survy (NGS) ปี ค.ศ. 1984

ข้อกำหนด	งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2		งานชั้นที่ 3	
		Class I	Class II	Class I	Class II
1. ระยะห่างของหมุดวงรอบ (กม.)	10	4	2	0.5	0.5
2. การเบี่ยงหักเหของเส้นวงรอบจากแนวตรงไม่เกิน	20°	20°	25°	30°	40°
3. จำนวนหมุด BM น้อยที่สุด	2	2	2	2	2
4. จำนวนด้านวงรอบต่อBM 1หมุด	6	8	10	15	20
5. ต้องรังวัดภาคของทิศทางดาราศาสตร์ 1 หมุดต่อด้านวงรอบ	6	12	20	25	40
6. ต้องมีหมุดหลักฐานที่ทราบค่าพิกัดอย่างน้อย	4	3	2	2	2
7. ความละเอียดของกล้องวัดมุม (พิลิปดา)	0.2″	1.0″	1.0″	1.0″	1.0″

2. ความละเอียดของกล้องวัดมุม (Instrumentation)

ใช้ในการวัดมุมและรังวัดภาคของทิศทางดาราศาสตร์โดยเฉพาะการวัดดาว ความละเอียดของกล้องตามข้อ 7 ตารางที่อยู่ข้างบน

3. การตรวจสอบปรับแก้เครื่องมือ (Calibration procedures)

กล้องจะต้องตรวจสอบ Collimation เป็นประจำทุกวัน ส่วนเครื่องวัดระยะทางอิเล็คทรอนิคส์ ควรจะตรวจสอบทุกๆ 1 อาทิตย์

4. วิธีการปฏิบัติในสนาม (Field Procedures)

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดงานวงรอบ การปฏิบัติในสนาม

ข้อกำหนด	งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2		งานชั้นที่ 3	
		Class I	Class II	Class I	Class II
ก. การวัดทิศทาง (Direction)					
1. จำนวนศูนย์กล้อง	16	8/12	6/8	4	2
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก ค่าเฉลี่ย ไม่เกิน (พิลิปดา)	0.4	0.5	0.8	1.2	2.0
ข. การส่องมุมสูงแบบย้อนกลับ					
1. จำนวนการวัดหน้าซ้าย/ขวา(ชุด)	3	3	2	2	2
2. ผลต่างของมุมแต่ละชุดไม่เกิน	10''	10''	10''	10''	10''
3. ระยะเวลาที่ใช้ส่องย้อนกลับ(ชม)	1	1	1	1	1
ค. การรังวัดภาคของทิศ(Astro.Az.)					
1. จำนวนชุดต่อคืน	16	16	12	8	4
2. จำนวนคืนที่ส่อง	2	2	1	1	1
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย ต้องไม่เกิน (พิลิปดา)	0.45	0.45	0.6	1.0	1.7
4. เกณฑ์ตัดทิ้งเมื่อมากหรือน้อย กว่าค่า Mean (พิลิปดา)	5	5	5	6	6
ง. การวัดระยะด้วยเครื่องใช้แสง (Electro-optical Distances)					
1. จำนวนการวัด (ครั้ง) น้อยที่สุด	1	1	1	1	1
2. จำนวนการอ่านต่อครั้ง	10	10	10	10	10
3. ผลต่างจากค่าเฉลี่ย(Mean) เป็น มม.	60	60	-	-	-
จ. การวัดระยะด้วย Infrared					
1. จำนวนการวัด (ครั้ง) น้อยที่สุด	1	1	1	1	1
2. จำนวนการอ่านต่อครั้ง	10	10	10	10	10
3. ผลต่างค่าเฉลี่ย (มม.) ไม่เกิน	10	10	10	-	-
ฉ. การวัดด้วยเครื่อง Microwave					
1. จำนวนการวัด (ครั้ง) น้อยที่สุด	-	1	1	1	1
2. จำนวนการอ่านต่อครั้ง		20	20	20	20
3. ผลต่างจากค่าเฉลี่ย ไม่เกิน (มม.)		150	150	150	150

5. เกณฑ์การตรวจรับงานในสำนักงาน

ตารางที่ 3 เกณฑ์การตรวจรับงานในสำนักงาน

ข้อกำหนด	งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2		งานชั้นที่ 3	
		Class I	Class II	Class I	Class II
1. ภาคของทิศเข้าบรรจบ จะต้องไม่เกิน(พิลิปดา)	$1.7\sqrt{N}$	$3\sqrt{N}$	$4.5\sqrt{N}$	$10\sqrt{N}$	$12\sqrt{N}$
2. ความผิดทางระยะ	$0.04\sqrt{K}$	$0.08\sqrt{K}$	$0.2\sqrt{K}$	$0.4\sqrt{K}$	$0.8\sqrt{K}$
หรือ	1:100 000	1:50000	1:20000	1: 10000	1: 5000

N = จำนวนหมุด

K = ระยะเป็นกม.

2.8 หลักการของการวงรอบ

1. ต้องออกจากจุดหนึ่งจุดใดที่ทราบพิกัดฉาก หรือภูมิศาสตร์ และค่าระดับ

2. ต้องทราบภาคของทิศ (Azimuth) ณ จุดที่ตั้งกล้อง ไปยังอีกจุดหนึ่งและจะทำการรังวัดออกจากจุดเดียวไม่ได้

3. ถ้า Azimuth เดิมไม่มีต้องทำการรังวัด Azimuth ขึ้นมา โดยอาศัยวิชาดาราศาสตร์

4. ต้องรังวัดมุมตรงหมุดแรกออกและเป็นหมุดที่เราทราบพิกัดแล้วเสมอ

5. ตรงจุดต่อระหว่างเส้นตรงนั้น ต้องทำการวัดมุม และชุดของเส้นตรงเหล่านั้น ก็ต้องวัดระยะมาด้วย

2.9 สาเหตุของความผิดในการทำวงรอบ

Error เป็นความผิดที่เกิดขึ้นจากเหตุต่างๆดังนี้

1. วัดมุมและระยะผิด
2. กำหนดหมุดตั้งกล้องไม่ดี เช่น
   2.1 ตั้งกล้องแล้วส่องทวนแสงอาทิตย์
   2.2 มองเห็นธงหน้า ธงหลังไม่ชัดเจน
   2.3 แนวเล็งของกล้องอยู่ใกล้ผิวดินเกินไป ทำให้เกิดการหักเหของแสง
   2.4 เส้นวงรอบไกลหรือใกล้เกินไป
3. ส่องกล้องหน้าเดียว

Mistake เป็นความผิดที่เกิดจากความประมาท เลินเล่อ ไม่รู้จริง เป็นความผิดที่เกิดจากบุคคล

1. ส่องผิดหมุด
2. การปรับกล้องไม่ดี
3. ไม่เข้าใจวิธีการวัดมุมที่จะให้ค่าถูกต้อง
4. ใช้เครื่องมือไม่ถูกกับงาน
5. ส่องกล้องดัดเป้าหมายไม่ถูกต้อง
6. ตั้งเป้าหมายไม่อยู่ในแนวดิ่ง
7. อ่านค่ามุมผิด
8. จดผิด