กมร. 202-2569

มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

1. ขอบข่าย

มาตรฐานฉบับนี้กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และข้อกำหนดด้านคุณภาพสำหรับการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) เพื่อให้ผลการรังวัดจากงานสำรวจและทำแผนที่ของภาครัฐ และเอกชน มีความถูกต้องเที่ยงตรง ตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างสอดคล้องกับแนวปฏิบัติระดับสากล โดยครอบคลุมในเรื่อง ดังนี้

1) การกำหนดเกณฑ์ความถูกต้อง
2) วิธีการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS)
3) คุณสมบัติเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS)
4) การรายงานผลการรังวัด

2. นิยามและคำย่อ

1) GNSS (Global Navigation Satellite System) หมายถึง ระบบดาวเทียมนำทางทุกชนิดที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในรูปแบบคลื่นรหัส (Code Phase) หรือคลื่นพาห์ (Carrier Phase) เพื่อใช้ในการรังวัดระบุตำแหน่ง และเวลา ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก
2) CORS Network หรือ RTK GNSS Network หมายถึง โครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงที่ติดตั้งถาวร ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดแน่นอน และสามารถให้บริการผู้ใช้งานในรูปแบบ Network RTK โดยการประมวลผลผ่าน Control Center ของหน่วยงานที่ให้บริการสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง
3) Static หมายถึง การรังวัดแบบสถิต เป็นเทคนิคการรังวัดโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง ทำการรังวัดพร้อมกันเป็นระยะเวลานานกว่า 30 นาที เพื่อกำจัดค่าความคลาดเคลื่อนและให้ได้ตำแหน่งค่าพิกัดความละเอียดถูกต้องสูง
4) Fast Static หรือ Rapid Static หมายถึง การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว โดยวางเครื่องรับสัญญาณไว้บนสถานีฐานหรือตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัดแน่นอน เป็นระยะเวลาไม่เกิน 30 นาที เพื่อใช้ในการคำนวณและกำจัดค่าความคลาดเคลื่อน
5) RTK (Real-Time Kinematic) หมายถึง การรังวัดแบบจลน์ที่ได้ค่าพิกัดทันที ณ เวลาทำการรังวัด ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้เฟสของคลื่นพาห์ (Carrier Phase) มาคำนวณร่วมกับค่าปรับแก้จากสถานีฐาน
6) Network RTK (NRTK) หมายถึง การรังวัดแบบจลน์ด้วยโครงข่าย ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้ข้อมูลจากโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS Network) เพื่อใช้ในการคำนวณและกำจัดค่าความคลาดเคลื่อน
7) DGNSS (Differential GNSS) หมายถึง การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบส่วนต่าง โดยใช้ค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากสถานีฐาน เพื่อปรับแก้ค่าพิกัดจากคลื่นรหัส (Code Phase)
8) RMSE (Root Mean Square Error) หมายถึง ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแม่นยำทางสถิติที่ใช้ในมาตรฐานนี้
9) $RMSE_H$ (Horizontal RMSE) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนแนวราบที่คำนวณจากพิกัด X และ Y หรือ N และ E
10) $RMSE_V$ (Vertical RMSE) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนแนวดิ่งที่คำนวณจากค่าความสูง (Height)

/ 3. การกำหนด ...

3. การกำหนดเกณฑ์ความถูกต้อง

กำหนดผลการรังวัดให้มีความถูกต้องตามหลักวิชาการ และรองรับการใช้งานที่หลากหลาย ตามชั้นความถูกต้อง (Accuracy Class) โดยอ้างอิงค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ดังนี้

ตารางเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งในการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS)

*ชั้นความถูกต้อง (Accuracy Class)	ความคลาดเคลื่อนแนวราบ ($RMSE_H$)	ความคลาดเคลื่อนแนวดิ่ง ($RMSE_V$)	ลักษณะงาน
Class 1	≤ 1 cm	≤ 2 cm	งานรังวัดควบคุมและตรวจติดตาม : เช่น หมุดควบคุมหลักของประเทศ งานตรวจวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง งานตรวจวัดการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก
Class 2	≤ 5 cm	≤ 10 cm	งานรังวัดที่ดินและวิศวกรรมโยธา : เช่น หมุดควบคุม หมุดหลักฐานแผนที่ หลักเขตที่ดิน งานก่อสร้างอาคารและถนน งานทำแผนที่เส้นชั้นความสูง
Class 3	≤ 10 cm	≤ 20 cm	งานแผนที่ภูมิประเทศและงานเก็บข้อมูลรายละเอียดพื้นที่ : เช่น งานรังวัดทำแผนที่ภูมิประเทศ งานผังเมืองและสาธารณูปโภค งานแผนที่ภาษีและทรัพย์สิน
Class 4	≤ 50 cm	≤ 100 cm	งานสำรวจทรัพยากรและเก็บชั้นข้อมูลแผนที่ภูมิสารสนเทศ : เช่น งานจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน งานสำรวจพื้นที่ป่าไม้ งานบริหารจัดการภาคเกษตร งานสำรวจเบื้องต้น

หมายเหตุ: *อ้างอิงและปรับปรุงจาก ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data Edition 2

4. วิธีการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS)

การเลือกวิธีการรังวัดต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ระดับความถูกต้อง และข้อจำกัดของพื้นที่ โดยสามารถแบ่งวิธีการรังวัดหลักได้ดังต่อไปนี้

4.1 การรังวัดแบบสถิต (Static) เป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุด เหมาะสำหรับงานควบคุมและงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมาก ใช้สำหรับงาน Class 1 หรือสำหรับงาน Class 2 ที่ต้องการความถูกต้องสูง โดยมีแนวทางการรังวัดดังนี้

1) ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) อย่างน้อย 2 เครื่อง ทำการรังวัดพร้อมกัน
2) ระยะเวลาการรังวัดขึ้นกับระยะเส้นฐาน (Baseline Length) โดยทั่วไปตั้งแต่ 30 นาที ถึงหลายชั่วโมง
3) กำหนดคาบการบันทึกสัญญาณดาวเทียม (Epoch Rate) ไม่เกิน 15 วินาที
4) ค่ามุมตัดสัญญาณดาวเทียม (Mask Angle) ไม่ต่ำกว่า 15 องศา
5) ผลการคำนวณเส้นฐาน (Baseline) ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้
    5.1) ต้องได้สถานะ Fixed Solution
    5.2) ค่า RMS แนวราบ ไม่เกิน 5 mm + 1 ppm ของระยะเส้นฐาน
    5.3) ต้องมีข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลไม่น้อยกว่า 6 ดวง ตลอดเวลา

/ 6) เกณฑ์การ...

6) เกณฑ์การตรวจสอบซ้ำ (Redundancy & Repeatability) เพื่อยืนยันความถูกต้อง ต้องดำเนินการอย่างน้อยหนึ่งวิธีดังต่อไปนี้
   6.1) รังวัดซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง ในคนละช่วงเวลา
   6.2) ใช้เส้นฐานอิสระ (Independent Baseline)
   6.3) เปรียบเทียบกับจุดควบคุมอ้างอิงที่ทราบพิกัด

4.2 การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Fast Static หรือ Rapid Static) เป็นวิธีที่ลดระยะเวลาการรังวัดลงเมื่อเทียบกับการรังวัดแบบสถิต (Static) แต่ยังคงความถูกต้องในระดับสูง เหมาะสำหรับงาน Class 2 และงาน Class 3 โดยมีแนวทางการรังวัดดังนี้

1) ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) อย่างน้อย 2 เครื่อง ทำการรังวัดพร้อมกัน
2) ระยะเวลาการรังวัดขึ้นกับระยะเส้นฐาน (Baseline Length) โดยทั่วไปตั้งแต่ 10 - 30 นาที
3) กำหนดคาบการบันทึกสัญญาณดาวเทียม (Epoch Rate) ไม่เกิน 15 วินาที
4) ค่ามุมตัดสัญญาณดาวเทียม (Mask Angle) ไม่ต่ำกว่า 15 องศา
5) ผลการคำนวณเส้นฐาน (Baseline) ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้
   5.1) ต้องได้สถานะ Fixed Solution
   5.2) ค่า RMS แนวราบ ไม่เกิน 10 mm + 1 ppm ของระยะเส้นฐาน
   5.3) ต้องมีข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผลไม่น้อยกว่า 6 ดวง ตลอดเวลา
6) เกณฑ์การตรวจสอบซ้ำ (Redundancy & Repeatability) เพื่อยืนยันความถูกต้อง ต้องดำเนินการอย่างน้อยหนึ่งวิธีดังต่อไปนี้
   6.1) รังวัดซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้งในคนละช่วงเวลา
   6.2) ใช้เส้นฐานอิสระ (Independent Baseline)
   6.3) เปรียบเทียบกับจุดควบคุมอ้างอิงที่ทราบพิกัด

4.3 การรังวัดแบบจลน์ได้ค่าพิกัดทันที (RTK) หรือ การรังวัดแบบจลน์ด้วยโครงข่าย (Network RTK) เป็นการรังวัดที่ให้ผลลัพธ์ค่าพิกัดในทันที ณ ขณะเวลาที่ทำการรังวัด จึงเหมาะสำหรับงาน Class 2 - 4 ที่ต้องการความถูกต้องและรวดเร็ว สามารถตรวจสอบและทราบผลทันทีในภาคสนาม โดยมีแนวทางการรังวัดดังนี้

1) ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) อย่างน้อย 2 เครื่อง ทำการรังวัดพร้อมกัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสถานีฐาน (Base Station หรือ CORS Network) และสถานีจร (Rover)
2) ระยะเวลาการรังวัด แบ่งเป็น
   - ไม่น้อยกว่า 60 วินาที สำหรับงาน Class 2 และ Class 3
   - ไม่น้อยกว่า 30 วินาที สำหรับงาน Class 4
3) กำหนดคาบการรับสัญญาณดาวเทียม (Epoch Rate) ไม่เกิน 1 วินาที
4) ค่ามุมตัดสัญญาณดาวเทียม (Mask Angle) ไม่ต่ำกว่า 15 องศา
5) PDOP ไม่เกิน 5
6) จำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 5 ดวง
7) สถานะการรังวัด (Solution Status) แบ่งเป็น
   - ผลการรังวัด Fixed Solution สำหรับงาน Class 2 และ Class 3
   - ผลการรังวัด Fixed หรือ Float Solution สำหรับงาน Class 4

/ 8) ค่าความ...

8) ค่าความคลาดเคลื่อนที่แสดงบนหน้าจอเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (RMS/Precision : Estimated Errors) แบ่งเป็น
   - แนวราบ (Horizontal) ไม่เกิน 3 cm และ แนวดิ่ง (Vertical) ไม่เกิน 5 cm สำหรับงาน Class 2 และ Class 3
   - แนวราบ (Horizontal) ไม่เกิน 30 cm และ แนวดิ่ง (Vertical) ไม่เกิน 50 cm สำหรับงาน Class 4
9) เกณฑ์การตรวจสอบซ้ำ (Redundancy & Repeatability) เพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยทำการรังวัดซ้ำ ซึ่งแต่ละครั้งต้องเริ่มรับสัญญาณดาวเทียมและเชื่อมต่อกับสถานีฐานหรือ CORS Network ใหม่ ผลต่างของค่าพิกัดต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดตามชั้นงาน แบ่งเป็น
   - รังวัดซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง สำหรับงาน Class 2 และ Class 3
   - รังวัดซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง สำหรับงาน Class 4

4.4 การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบส่วนต่าง (DGNSS) เป็นการรังวัดที่ให้ผลลัพธ์ค่าพิกัดในทันที ณ ขณะเวลาที่ทำการรังวัดเช่นเดียวกับ RTK แต่ให้ความถูกต้องที่น้อยกว่า จึงเหมาะสำหรับงาน class 4 ที่เน้นความรวดเร็วและพื้นที่กว้างขวาง โดยมีแนวทางการรังวัดดังนี้

1) ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) อย่างน้อย 2 เครื่อง ทำการรังวัดพร้อมกัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสถานีฐาน (Base Station หรือ CORS Network) และสถานีจร (Rover)
2) ระยะเวลาการรังวัด ไม่น้อยกว่า 30 วินาที
3) กำหนดคาบการรับสัญญาณดาวเทียม (Epoch Rate) ไม่เกิน 1 วินาที
4) ค่ามุมตัดสัญญาณดาวเทียม (Mask Angle) ไม่ต่ำกว่า 15 องศา
5) PDOP ไม่เกิน 5
6) จำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 5 ดวง
7) สถานะการรังวัด (Solution Status) เป็นแบบ DGNSS
8) ค่าความคลาดเคลื่อนที่แสดงบนหน้าจอเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (RMS/Precision : Estimated Errors) แบ่งเป็น
   - แนวราบ (Horizontal) ไม่เกิน 30 cm
   - แนวดิ่ง (Vertical) ไม่เกิน 50 cm
9) เกณฑ์การตรวจสอบซ้ำ (Redundancy & Repeatability) เพื่อยืนยันความถูกต้อง โดยทำการรังวัดซ้ำอย่างน้อย 1 ครั้ง แต่ละครั้งต้องเริ่มรับสัญญาณดาวเทียมและเชื่อมต่อกับสถานีฐาน หรือ CORS Network ใหม่ ผลต่างของค่าพิกัดต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดตามชั้นงาน

5. คุณสมบัติเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS)

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้องมีคุณสมบัติทางเทคนิคสอดคล้องกับชั้นความถูกต้องของงาน (Accuracy Class) เพื่อให้ผลการรังวัดเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยจำแนกคุณสมบัติขั้นต่ำไว้ดังนี้

5.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับงาน Class 1 (Geodetic Grade) เหมาะสำหรับงานหมุดควบคุมหลัก งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และงานที่ต้องการความละเอียดสูงสุดถึงระดับมิลลิเมตร โดยเน้นการรังวัดแบบ Static หรือ PPP (Precise Point Positioning) ควรมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

/ 1) รองรับระบบ...

1) รองรับระบบดาวเทียมนำทาง (GNSS) ได้หลายระบบ (Multi - constellation) ได้แก่ GPS, GLONASS, Galileo และ BeiDou
2) รองรับสัญญาณแบบหลายความถี่ (Multi - Frequency) อย่างน้อย 3 ความถี่ (L1, L2, L5 หรือเทียบเท่า)
3) จำนวนช่องสัญญาณ (Channels) ไม่น้อยกว่า 200 ช่อง
4) รองรับอัตราการบันทึกข้อมูลอย่างน้อย 1 Hz
5) เสาอากาศแยกภายนอก (External Antenna) แบบ Geodetic Grade หรือ Choke Ring Antenna เพื่อลดสัญญาณสะท้อน (Multipath)
6) รองรับการบันทึกข้อมูลดิบ (Raw Data) ในรูปแบบสากล (RINEX)
7) ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Static Precision)
   - แนวราบ (Horizontal) ไม่เกิน 3 mm + 0.1 ppm
   - แนวดิ่ง (Vertical) ไม่เกิน 3.5 mm + 0.4 ppm

5.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับงาน Class 2 และ Class 3 (Survey Grade) เหมาะสำหรับงานหมุดควบคุมรอง งานรังวัดแปลงที่ดิน และงานวิศวกรรมก่อสร้าง เป็นต้น โดยเน้นการรังวัดแบบ Fast Static หรือ RTK หรือ Network RTK ควรมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

1) รองรับระบบดาวเทียมนำทาง (GNSS) ได้หลายระบบ (Multi - constellation) อย่างน้อย 2 ระบบ ได้แก่ GPS และ GLONASS
2) รองรับสัญญาณแบบหลายความถี่ (Multi-Frequency) อย่างน้อย 2 ความถี่ (L1, L2 หรือเทียบเท่า)
3) จำนวนช่องสัญญาณ (Channels) ไม่น้อยกว่า 120 ช่อง
4) รองรับอัตราการบันทึกข้อมูลอย่างน้อย 1 Hz
5) รองรับการทำงานแบบ RTK และ Network RTK
6) รองรับรูปแบบข้อมูลปรับแก้มาตรฐาน (RTCM 3.x)
7) รองรับการบันทึกข้อมูลดิบ (Raw Data)
8) ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (RTK Precision)
   - แนวราบ (Horizontal) ไม่เกิน 10 mm + 1 ppm
   - แนวดิ่ง (Vertical) ไม่เกิน 20 mm + 1 ppm

5.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับงาน Class 4 (Mapping/GIS Grade) เหมาะสำหรับงานแผนที่ภูมิประเทศ งานจัดเก็บข้อมูลทรัพย์สิน งานป่าไม้ งานแผนที่ภาพรวม และงานนำทาง เป็นต้น ควรมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

1) รองรับระบบดาวเทียมนำทาง (GNSS) ได้อย่างน้อย 1 ระบบ เช่น GPS
2) รองรับสัญญาณดาวเทียมความถี่ L1 ได้เป็นอย่างน้อย
3) จำนวนช่องสัญญาณ (Channels) ไม่น้อยกว่า 72 ช่อง
4) รองรับอัตราการบันทึกข้อมูลอย่างน้อย 1 Hz
5) รองรับการทำงานแบบ RTK หรือ Network RTK หรือ DGNSS
6) ความถูกต้องเชิงตำแหน่งในทางราบไม่เกิน 50 cm (RMS)

/ ตาราง ...

ตารางแสดงคุณสมบัติเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS) จำแนกตามชั้นความถูกต้อง (Accuracy Class)

คุณสมบัติ	Class 1 (Geodetic Grade)	Class 2-3 (Survey Grade)	Class 4 (Mapping/GIS Grade)
ระบบดาวเทียมที่รองรับ	หลายระบบ (Multi-constellation) เช่น GPS, GLONASS, Galileo, BDS	อย่างน้อย 2 ระบบ เช่น GPS และ GLONASS	อย่างน้อย 1 ระบบ เช่น GPS
ความถี่สัญญาณ	อย่างน้อย 3 ความถี่ (L1, L2, L5 หรือเทียบเท่า)	อย่างน้อย 2 ความถี่ (L1, L2 หรือเทียบเท่า)	อย่างน้อย 1 ความถี่ (L1)
จำนวนช่องสัญญาณ	ไม่น้อยกว่า 200 ช่อง	ไม่น้อยกว่า 120 ช่อง	ไม่น้อยกว่า 72 ช่อง
ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง	แนวราบ: ≤ 3 mm + 0.1 ppm แนวดิ่ง: ≤ 3.5 mm + 0.4 ppm	แนวราบ: ≤ 10 mm + 1 ppm แนวดิ่ง: ≤ 20 mm + 1 ppm	แนวราบ: ≤ 50 cm
อัตราการบันทึกข้อมูล	อย่างน้อย 1 Hz	อย่างน้อย 1 Hz	อย่างน้อย 1 Hz
โหมดการทำงานหลัก	Static หรือ PPP	RTK / Network RTK / Fast Static	RTK / Network RTK / DGNSS
การบันทึกข้อมูลดิบ (Raw Data)	รองรับ (อย่างน้อย RINEX)	รองรับ	-
ลักษณะเสาอากาศ	เสาอากาศแยกภายนอก (Geodetic / Choke Ring)	-	-

6. การรายงานผลการรังวัด

การจัดทำรายงานผลการรังวัดต้องกำหนดให้มีข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์เพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ ประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยดังนี้

6.1 ข้อมูลทั่วไป ได้แก่ ชื่อโครงการ ชื่อผู้สำรวจ วันที่และเวลาที่รังวัด

6.2 รายละเอียดเครื่องมือ ได้แก่ ยี่ห้อ/รุ่น/หมายเลขเครื่อง (Serial Number) ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ เช่น วิธีวัดความสูงของจานรับสัญญาณดาวเทียม

6.3 ค่าพิกัดและค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ รายงานค่าพิกัด (N, E, Z) พร้อมระบุค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ที่ได้จากการรังวัดและประมวลผล

6.4 ระบบพิกัดอ้างอิง ได้แก่ พื้นหลักฐานแผนที่ (เช่น Datum WGS84 หรือ Indian 1975) กรอบอ้างอิงสากลและขณะเวลา (เช่น ITRF 2005 ขณะเวลา 2008.11 หรือ ITRF 2019 ขณะเวลา 2021.93) ระบบพิกัดฉาก (เช่น UTM Zone 47N/48N) และแบบจำลองจีออยด์ (เช่น Geoid Model TGM2017 หรือ EGM96)

6.5 Metadata ได้แก่ ข้อมูลสภาพแวดล้อมขณะรังวัด (เช่น ค่า PDOP, จำนวนดาวเทียมเฉลี่ย) และไฟล์ข้อมูลดิบ (Raw Data) (เช่น RINEX)