มาตรฐาน
ข้อกำหนดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS)
ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

GISTDA©2013

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ 9-1
2. ภาพรวม (Overview) ของมาตรฐานข้อกำหนดชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ 9-1
   2.1 ข้อสนเทศเกี่ยวกับข้อกำหนดชั้นข้อมูล FGDS นี้ 9-1
   2.2 คำนิยามศัพท์ 9-1
   2.3 อักษรย่อ 9-2
   2.4 บทคัดย่อของเอกสารข้อกำหนดฯ 9-2
3. ขอบเขตของข้อกำหนด (Specification scopes) 9-3
4. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้อมูล (Data product identification) 9-3
5. เนื้อหาและโครงสร้างของข้อมูล (Data content and structure) 9-4
   5.1 ความหมายในภาพรวม 9-4
   5.2 รายการรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (Geographic feature) 9-6
   5.3 ผังเค้าร่างการประยุกต์ใช้ (Application schema) ของชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ 9-9
   5.4 พจนานุกรมข้อมูล (Data dictionary) ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ 9-10
   5.5 Feature Catalogue ของรายการข้อมูลในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ 9-12
6. ระบบพิกัดอ้างอิง (Coordinate reference system) 9-17
   6.1 พื้นหลักฐานทางยีออเดซี (Geodetic datum) 9-17
   6.2 รูปแบบระบบพิกัด 9-18
   6.3 ความสูง 9-18
7. ข้อกำหนดด้านคุณภาพข้อมูล (Data quality) 9-19
   7.1 ข้อกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง 9-19
   7.2 ข้อกำหนดความครบถ้วนของข้อมูล 9-22
      7.2.1 ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ 9-22
      7.2.2 ความครบถ้วนของข้อมูลลักษณะประจำ 9-22
   7.3 ข้อกำหนดความถูกต้องของข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute Data) 9-23
   7.4 ข้อกำหนดความสอดคล้องทางตรรกะของข้อมูล 9-24
      7.4.1 ข้อกำหนดความสอดคล้องกับค่าโดเมนของข้อมูล 9-25
   7.5 ข้อกำหนดความถูกต้องของข้อมูลเชิงเวลา 9-25
8. การส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูล (Data product delivery) 9-25
   8.1 รูปแบบฟอร์แมตของข้อมูล 9-25
   8.2 สื่อบันทึกข้อมูล 9-28
9. ข้อกำหนดด้านคำอธิบายข้อมูล (Metadata) 9-28

GISTDA©2013

สารบัญ

หน้า

10. การสำรวจนำเข้าข้อมูล (Data capture) 9-31
10.1 การออกแบบโครงข่ายหมุดหลักฐาน 9-31
10.2 เครื่องมือในงานรังวัดดาวเทียม 9-33
10.2.1 ชนิดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส 9-33
10.2.2 เสาอากาศหรือจานรับสัญญาณดาวเทียม 9-33
10.3 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential or relative GPS positioning) 9-34
10.3.1 การรังวัดแบบสถิต (Static survey) 9-34
10.3.2 การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic survey) 9-35
10.3.3 การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid static survey) 9-35
10.3.4 การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real-time kinematic survey) 9-35
10.4 เครื่องมือในงานรังวัดภาคพื้นดิน 9-38
10.5 เทคนิคในการทำงานวงรอบ 9-38
10.6 เครื่องมือและเทคนิคในการทำงานระดับ 9-39
10.7 การหาค่าระดับด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS Leveling) 9-40
10.7.1 หลักการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส 9-40
10.7.2 แนวทางการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสในประเทศไทย 9-42
11. การบำรุงรักษาข้อมูล (Data maintenance) 9-43
12. การนำเสนอถ่ายทอดข้อมูล (Portrayal) 9-43
13. รายการเอกสารอ้างอิง 9-43
ภาคผนวก ก ระบบพิกัดอ้างอิง (Reference coordinate system) 9-45
ก.1 พื้นหลักฐานทางยีออเดซี 9-45
ก.2 ระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดทางยีออเดซี 9-46
ก.3 ระบบพิกัด UTM 9-47

GISTDA©2013

1. บทนำ

มาตรฐานข้อกำหนดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ฉบับนี้ เป็นหนึ่งในชุดมาตรฐานข้อกำหนดชุดข้อมูล FGDS ของประเทศไทย ซึ่งได้ถูกจัดทำขึ้นภายใต้โครงการจัดทำข้อกำหนดของมาตรฐานโครงสร้าง เนื้อหา คุณลักษณะ คุณภาพของชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยมีศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นที่ปรึกษาดำเนินงาน

โครงสร้างเนื้อหาของมาตรฐานฉบับนี้ ประกอบด้วยข้อกำหนดลักษณะเฉพาะ (characteristics) ด้านต่าง ๆ ของชั้นข้อมูล FGDS หมุดหลักฐานแผนที่ ตามกรอบหลักการของเอกสารข้อกำหนดข้อมูลที่กำหนดในมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO19131 Geographic information – Data product specifications

2. ภาพรวม (Overview) ของมาตรฐานข้อกำหนดชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

2.1 ข้อสนเทศเกี่ยวกับข้อกำหนดชั้นข้อมูล FGDS นี้

ชื่อข้อกำหนด : ข้อกำหนดของมาตรฐานข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

วันที่จัดทำและเผยแพร่ข้อกำหนดนี้ : วันที่รายงานฉบับสมบูรณ์และร่างมาตรฐานได้รับการตรวจรับจาก สทอภ. / วันที่มีการนำไปประกาศใช้เป็นมาตรฐานฯ

ผู้รับผิดชอบในการจัดทำข้อกำหนดฉบับนี้ : คณะที่ปรึกษาฯ คณะทำงานกลุ่มย่อยประสานงานการจัดทำมาตรฐานฯ กลุ่มพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานภูมิสารสนเทศแห่งชาติ สทอภ.

หัวข้อของชั้นข้อมูลภูมิศาสตร์ในมาตรฐานนี้ : Location

2.2 คำนิยามศัพท์

คำศัพท์สำคัญ ที่ใช้ในมาตรฐานของชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ แสดงรายการนิยามศัพท์ไว้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คำนิยามศัพท์ข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ที่	คำศัพท์	นิยามศัพท์
1	หมุดหลักฐานแผนที่	หมุดที่จัดสร้างขึ้นอย่างมั่นคง แข็งแรง และมีการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง
2	หมุดหลักฐานทางราบ	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้เฉพาะค่าพิกัดทางราบในรูปพิกัดทางยีออเดซี และ/หรือในรูปพิกัดแผนที่ระบบยูทีเอ็ม (UTM)
3	หมุดหลักฐานทางดิ่ง	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้เฉพาะค่าพิกัดทางดิ่งในรูป ความสูงเหนือทรงรี (ellipsoidal height) หรือความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) หรือค่าระดับ (elevation) อย่างน้อยอย่างใดอย่างหนึ่ง
4	หมุดหลักฐานสามมิติ	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้ค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่ง ตามที่อธิบายไว้ข้างต้น
5	จุดบังคับภาพถ่าย	จุดที่มองเห็นได้อย่างเด่นชัดบนภาพถ่าย และสามารถระบุตำแหน่งได้ใน

GISTDA©2013

ตารางที่ 1 คำนิยามศัพท์ข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ที่	คำศัพท์	นิยามศัพท์
		ภูมิประเทศ เป็นจุดที่มีการหาค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่งมาเพื่อใช้ในงานควบคุมการประมวลผลเชิงตำแหน่งของข้อมูลภาพ และปกติเป็นการหาค่าพิกัดจากกระบวนการทำงานงานรังวัดภาพถ่าย (photogrammetry)

2.3 อักษรย่อ

ความหมายของอักษรย่อที่สำคัญ ซึ่งมีการใช้ในมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ แสดงไว้ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ความหมายของอักษรย่อในมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ที่	อักษรย่อ	ความหมาย
1	DMA	(U.S.) Defense Mapping Agency
2	EGM	Earth Gravitational Model
3	GPS	Global Positioning System
4	GLONASS	GLObal NAvigation Satellite System
5	IGS	International GNSS Services
6	MSL	Mean Sea Level
7	NIMA	National Imagery and Mapping Agency
8	UTM	Universal Transverse Mercator
9	WGS 84	World Geodetic System 1984

2.4 บทคัดย่อของเอกสารข้อกำหนดฯ

เอกสารฉบับนี้เป็นข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ซึ่งเป็นหนึ่งใน 13 ชั้นข้อมูลของชุดข้อมูล FGDS ของประเทศไทย มาตรฐานฉบับนี้กำหนดข้อกำหนดสมบัติเฉพาะ (characteristics) ที่สำคัญของข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ในฐานะข้อมูล FGDS เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นกรอบแนวทางในการจัดทำข้อกำหนดการจ้าง หรือการปฏิบัติงานสำรวจจัดสร้างและปรับปรุงบำรุงรักษาข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ให้มีคุณสมบัติ และคุณภาพที่เหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการสำรวจจัดสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศอื่น ๆ ต่อไป

โครงสร้างเนื้อหาของเอกสารข้อกำหนดมาตรฐานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ฉบับนี้เป็นไปตามกรอบแนวทางที่กำหนดในมาตรฐาน ISO19131 Geographic information – Data product spcecifications โดยมีเนื้อหาหลักได้แก่ รายการเนื้อหาข้อมูลในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ระบบพิกัดอ้างอิง ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของข้อมูลในระดับมาตราส่วนหลักของประเทศ ข้อกำหนดการจัดทำคำอธิบายข้อมูล ข้อกำหนดเกี่ยวกับการส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูล และแนวทางการสำรวจจัดทำข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ข้อมูล FGDS หมุดหลักฐานแผนที่ประกอบด้วยรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (geographic feature) 4 รายการได้แก่ หมุดหลักฐานทางราบ หมุดหลักฐานทางดิ่ง หมุดหลักฐานสามมิติ และจุดบังคับภาพถ่าย โดยมีข้อมูลลักษณะประจำที่สำคัญคือรหัสหมายเลขประจำหมุดฯ คำอธิบายและภาพแผนที่ที่ตั้งของหมุด ค่าพิกัดของ

GISTDA © 2013

หมุดฯ หน่วยงานที่รับผิดชอบ ระดับความถูกต้องของค่าพิกัดหมุดฯ และระดับชั้นงานของการสำรวจรังวัดหมุดฯ นั้น

หมุดหลักฐานแผนที่ มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการจัดทำแผนที่และเป็นขั้นตอนแรกที่ต้องจัดสร้างขึ้นหรือจัดหามา เพราะค่าพิกัดของรายละเอียดแผนที่หรือชั้นข้อมูลอื่น ๆ ต้องอ้างอิงมาจากค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่นี้ วิธีการรังวัดเพื่อให้มาซึ่งค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่อาจเป็นวิธีการรังวัดภาคพื้นดินหรือการรังวัดดาวเทียม วิธีการรังวัดภาคพื้นดินเน้นความถูกต้องเฉพาะค่าพิกัดทางราบเท่านั้น สำหรับงานรังวัดดาวเทียมเป็นวิธีการรังวัดสมัยใหม่ที่ถูกนำมาใช้ทำงานแทนงานรังวัดภาคพื้นดิน ให้ค่าพิกัดเป็นแบบสามมิติ ความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดหลักฐานแผนที่ แบ่งเป็น 6 ชั้นงานคือ ชั้น AA ชั้น A ชั้น B ชั้น 1 ชั้น 2 และ ชั้น 3

ค่าพิกัดของจุดบังคับภาพถ่ายได้มาจากงานรังวัดภาพถ่าย มีความถูกต้องทางตำแหน่งที่ค่อนข้างต่ำ (ระดับเป็นเมตร) ไม่จัดว่าเป็นหมุดหลักฐานแผนที่ แต่ได้นำมารวมไว้ในชั้นข้อมูลนี้ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้บางกลุ่มที่ต้องการประหยัดงบประมาณ หรือ ไม่มีเวลาที่จะดำเนินการตามขั้นตอนการสร้างข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (aerial triangulation) ของการทำงานรังวัดภาพถ่าย

3. ขอบเขตของข้อกำหนด (Specification scopes)

มาตรฐานข้อกำหนดสมบัติเฉพาะของข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ฉบับนี้ จะอธิบายสมบัติเฉพาะที่สำคัญของข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ในฐานะชั้นข้อมูลหนึ่งในชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ของประเทศ โดยเฉพาะรายละเอียดรายการและนิยามที่ชัดเจนของรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลลักษณะประจำในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ รวมทั้งเกณฑ์คุณภาพของข้อมูล ในขณะที่ข้อกำหนดวิธีการในการสำรวจจัดทำข้อมูลนั้น จะมีระบุหรืออธิบายไว้ในลักษณะของแนวทางหรือข้อแนะนำสำหรับวิธีการหลัก ๆ เท่านั้น

มาตรฐานข้อกำหนดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ อธิบายข้อกำหนดสำหรับข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ที่จัดสร้างขึ้นทั้งโดยวิธีการรังวัดภาคพื้นดินและวิธีการรังวัดดาวเทียม โดยวิธีการรังวัดภาคพื้นดินเพื่อสร้างหมุดหลักฐานแผนที่จะเป็นวิธีทำวงรอบ (traversing) เท่านั้น ส่วนการรังวัดดาวเทียมเป็นการรังวัดจากระบบดาวเทียม GPS เพียงระบบเดียว ความถูกต้องของหมุดหลักฐานแผนที่ขึ้นอยู่กับชั้นงาน (order) ที่ทำงานรังวัดมา ชั้นงานในมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่เป็นงานชั้น 3 หรือสูงกว่าเท่านั้น หมุดหลักฐานแผนที่ที่จัดสร้างขึ้นโดยวิธีการรังวัดที่ต่ำกว่างานชั้น 3 จึงไม่จัดเป็นข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ของประเทศไทย

4. ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้อมูล (Data product identification)

ส่วนนี้เป็นข้อสนเทศพื้นฐานที่ระบุจำแนกข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ ซึ่งประกอบด้วยรายการสมบัติเฉพาะพื้นฐานของชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ดังตารางที่ 3 ต่อไปนี้

GISTDA © 2013

ตารางที่ 3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ชื่อ (Title)	ข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่
บทคัดย่อ (Abstract)	ชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานในเอกสารชุดนี้ เรียกว่า **ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่** ซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดกรอบพิกัดอ้างอิงของชั้นข้อมูลอื่น ๆ ข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ประกอบด้วยหมุดหลักฐานทางราบ หมุดหลักฐานทางดิ่ง หมุดหลักฐานสามมิติ และจุดบังคับภาพถ่าย โดยมีข้อมูลลักษณะประจำที่สำคัญคือรหัสหมายเลขประจำหมุดฯ คำอธิบายและภาพแผนที่ที่ตั้งของหมุด ค่าพิกัดของหมุดฯ หน่วยงานที่รับผิดชอบ ระดับความถูกต้องของค่าพิกัดหมุดฯ และระดับชั้นงานของการสำรวจรังวัดหมุดฯนั้น ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่อาจได้จากวิธีการรังวัดภาคพื้นดินหรือวิธีการรังวัดดาวเทียม ความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดหลักฐานแบ่งเป็น 6 ชั้นงานคือ ชั้น AA ชั้นA ชั้น B ชั้น 1 ชั้น 2 และ ชั้น 3 ในหลักการนั้นค่าพิกัดของจุดบังคับภาพถ่ายซึ่งได้มาจากงานรังวัดภาพถ่าย มีความถูกต้องทางตำแหน่งที่ค่อนข้างต่ำและไม่จัดว่าเป็นหมุดหลักฐานแผนที่ แต่ได้นำมารวมไว้ในชั้นข้อมูลนี้ เนื่องจากเห็นว่ามีการจัดทำไว้แล้วเป็นจำนวนมากและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานบางประเภท
กลุ่มประเภทของข้อมูล (Topic Category)	Location[1]
คำอธิบายขอบเขตทางภูมิศาสตร์ (Geographic Description)	ข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด
วัตถุประสงค์ (purpose)	ชุดข้อมูล FGDS เป็นชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของ โครงสร้างพื้นฐานภูมิสารสนเทศแห่งชาติ (NSDI) ข้อมูล FGDS จะถูกเผยแพร่ให้ผู้ใช้งานในหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสำรวจจัดสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศอื่น ๆ
ชนิดของการนำเสนอเชิงปริภูมิ (Spatial Representation Type)	ข้อมูลเชิงเส้น (Vector)[2]

5. เนื้อหาและโครงสร้างของข้อมูล (Data content and structure)

5.1 ความหมายในภาพรวม

ชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานในเอกสารชุดนี้ เรียกว่า **ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่** ซึ่งข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการจัดทำแผนที่และเป็นขั้นตอนแรกที่ต้องจัดสร้างขึ้นหรือ

[1] ค่าตามโดเมนของ Topic Category ที่กำหนดในมาตรฐาน ISO19115 Metadata

GISTDA 2013

จัดหามา เพราะค่าพิกัดของรายละเอียดแผนที่หรือชั้นข้อมูลอื่น ๆ ต้องอ้างอิงมาจากค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่นี้ วิธีการรังวัดเพื่อให้มาซึ่งค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่ อาจเป็นวิธีการรังวัดภาคพื้นดินหรือการรังวัดดาวเทียม วิธีการรังวัดภาคพื้นดินหรือวิธีการรังวัดแบบดั้งเดิมได้แก่ งานข่ายสามเหลี่ยม (triangulation) งานวงรอบ (traversing) และงานข่ายสามเหลี่ยมเชิงด้าน (trilateration) เป็นต้น ในปัจจุบันมีเพียงงานวงรอบเท่านั้นที่ยังใช้เป็นวิธีการรังวัดภาคพื้นดิน ค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการทางภาคพื้นดินมุ่งเน้นความถูกต้องเฉพาะค่าพิกัดทางราบเท่านั้น สำหรับงานรังวัดดาวเทียม เป็นวิธีการรังวัดสมัยใหม่ที่ถูกนำมาใช้ทำงานแทนงานรังวัดภาคพื้นดินยกเว้นบางพื้นที่ที่ไม่อาจใช้งานรังวัดดาวเทียมได้ ระบบดาวเทียมที่มีบทบาทในการทำงานปัจจุบัน คือ ระบบดาวเทียม Navstar GPS ของสหรัฐอเมริกา หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า ระบบดาวเทียม GPS ดาวเทียมอีกระบบหนึ่งคือ GLONASS ของรัสเซีย ส่วนระบบดาวเทียมของกลุ่มประชาคมยุโรปและของจีนยังไม่อยู่ในสถานภาพที่ใช้ประโยชน์ได้ ค่าพิกัดที่ได้จากวิธีการทางดาวเทียม จะเป็นค่าพิกัดสามมิติ

ตามปกติการจัดสร้างหมุดหลักฐานแผนที่แบ่งเป็นชั้นงาน (order) ตามระดับความถูกต้องทางตำแหน่งที่รังวัดมา การรังวัดภาคพื้นดินแบ่งเป็นงานชั้นหนึ่ง (ดีที่สุด) งานชั้นสอง และงานชั้นสาม ตามลำดับ สำหรับงานรังวัดดาวเทียมใช้ทำงานได้สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีรังวัดภาคพื้นดิน และที่สำคัญคือให้ความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่ามาก จึงได้เพิ่มชั้นของงานขึ้นมาอีก 3 ชั้น คือ ชั้น AA ชั้น A และชั้น B ในการสร้างหมุดหลักฐานแผนที่ใหม่นั้น ความถูกต้องทางตำแหน่งหมุดหลักฐานแผนที่ใหม่ที่ได้จะอยู่ในชั้นเดียวกัน หรือต่ำกว่าความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดหลักฐานแผนที่ที่นำมาใช้ตรึงโครงข่ายใหม่ หมุดหลักฐานแผนที่ที่อยู่ในชั้นที่ต่ำกว่าไม่สามารถนำมาใช้ควบคุมหรือตรึงโครงข่ายที่อยู่ในชั้นที่สูงกว่าได้

หมุดหลักฐานแผนที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทยจัดสร้างโดยกรมแผนที่ทหาร ซึ่งได้เปลี่ยนวิธีการรังวัดจากวิธีภาคพื้นดินมาเป็นวิธีการทางดาวเทียมระบบ GPS มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 กรมแผนที่ทหารเรียกโครงข่ายหมุดหลักฐานแผนที่ที่มีความถูกต้องสูงสุดว่า โครงข่ายอ้างอิง ประกอบด้วยหมุด 8 หมุด ดำเนินการรังวัดตามข้อกำหนดการทำงานชั้น AA เรียกโครงข่ายชั้นรองลงมาว่า โครงข่ายหลักประกอบด้วยหมุด 19 หมุด ดำเนินการรังวัดตามข้อกำหนดการทำงานชั้น A โครงข่ายชั้นถัดมาเรียก โครงข่ายรองประกอบด้วยหมุด 94 หมุด ดำเนินการรังวัดตามข้อกำหนดการทำงานชั้น B

นอกจากกรมแผนที่ทหารแล้ว กรมที่ดินเป็นอีกหน่วยงานราชการที่ได้จัดสร้างหมุดหลักฐานแผนที่จำนวนมากที่กระจายครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ

หมุดหลักฐานทางดิ่ง วิธีการรังวัดภาคพื้นดินแยกการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบและทางดิ่งออกจากกันอย่างอิสระ กล่าวคือ ตำแหน่งของหมุดไม่จำเป็นต้องอยู่ที่เดียวกัน ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่แตกต่างกันทำงานคำนวณและปรับแก้โครงข่ายที่เป็นอิสระต่อกัน ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จะเป็นค่าระดับเหนือทะเลปานกลาง สำหรับประเทศไทย หมุดระดับอ้างอิงของค่าระดับทะเลปานกลาง คือ หมุด BMA ที่เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ความถูกต้องของงานระดับแบ่งออกเป็น งานชั้นหนึ่ง คลาส (class) 1 และ 2 งานชั้นสอง คลาส (class) 1 และ 2 และงานชั้นสาม

จุดบังคับภาพถ่ายที่ค่าพิกัดได้มาจากงานรังวัดภาพถ่าย ตามปกติจะมีความถูกต้องทางตำแหน่งที่ค่อนข้างต่ำ (ระดับเป็นเมตร) โดยหลักการทั่วไปแล้วไม่จัดว่าเป็นหมุดหลักฐานแผนที่ เพราะไม่ได้จัดสร้างหมุดไว้เป็นการถาวร และมีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ด้อยกว่าหมุดหลักฐานชั้นสาม แต่ได้นำมารวมไว้ในชั้นข้อมูล FGDS นี้ เนื่องจากเห็นว่าปัจจุบันได้มีการจัดทำจุดบังคับภาพถ่ายไว้แล้วเป็นจำนวนมากและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานบางประเภท

วัตถุประสงค์การจัดทำชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ให้เป็นชั้นข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน เพื่อเป็นสื่อกลางสำหรับการแลกเปลี่ยนและใช้ประโยชน์ร่วมกันในงานรังวัดและทำแผนที่ ทั้งนี้เพื่อให้มีระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นเอกภาพและขจัดความซ้ำซ้อนในการปฏิบัติงาน

5.2 รายการรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (Geographic feature)

รายการรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (geographic feature) ในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ประกอบด้วยรูปลักษณ์ตามตารางที่ 4

GISTDA© 2013

ตารางที่ 4 รายการรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (geographic feature) ในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

รหัสข้อมูล	รายการข้อมูล	นิยาม (Definition)	ประเภทรูปลักษณ์ (Feature type) <จุด, เส้น, พื้นที่,กริด>					เงื่อนไขการจัดเก็บข้อมูล	นิยามของตำแหน่งจุดหรือแนวเส้นหรือแนวขอบเขตพื้นที่
			1:4,000	1:10,000	1:25,000	1:50,000	1:250,000		
90		**ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่**							
90000	หมุดหลักฐานแผนที่ (controlPoint)	หมุดที่จัดสร้างขึ้นอย่างมั่นคง แข็งแรง และมีการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	เฉพาะหมุดหลักฐานที่ถูกจัดสร้างขึ้นโดยมีลักษณะทางกายภาพที่มั่นคงถาวร และดำเนินการรังวัดด้วยวิธีการที่ไม่ต่ำกว่างานชั้น 3	หมายเหตุ: เป็น Abstract feature class
90001	หมุดหลักฐานทางราบ	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้ค่าพิกัดทางราบที่อ้างอิงจากโครงข่ายทางยีออเดซีของประเทศ โดยอาจมีค่าพิกัดในรูปพิกัดทางยีออเดซี (geodetic coordinates) และ/หรือ ในรูปพิกัดแผนที่ระบบยูทีเอ็ม (UTM map coordinates)	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	เป็นหมุดหลักฐานแผนที่ที่มีการโยงยึดค่าพิกัดมาจากหมุดหลักฐานแผนที่ในโครงข่ายทางยีออเดซีของประเทศ	เครื่องหมายที่จุดกึ่งกลางของหัวหมุด
90002	หมุดหลักฐานทางดิ่ง	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้ค่าพิกัดทางดิ่งที่อ้างอิงจากโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ โดยอาจมีค่าพิกัดในรูป ความสูงเหนือทรงรี (ellipsoidal height) และ/หรือ ความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) และ/หรือ ค่าระดับ (elevation)	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	เป็นหมุดหลักฐานแผนที่ที่มีการถ่ายค่าพิกัดทางดิ่งมาจากหมุดหลักฐานทางดิ่งในโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ	พื้นผิวด้านบนของจุดกึ่งกลางหัวหมุด
90003	หมุดหลักฐานสามมิติ	หมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้ค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่งที่อ้างอิงจากโครงข่ายทางยีออเดซี และโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	เป็นหมุดหลักฐานแผนที่ที่อ้างอิงค่าพิกัดมาจากหมุดหลักฐาน ในโครงข่ายทางยีออเดซีและโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ	เครื่องหมายที่จุดกึ่งกลางของหัวหมุด

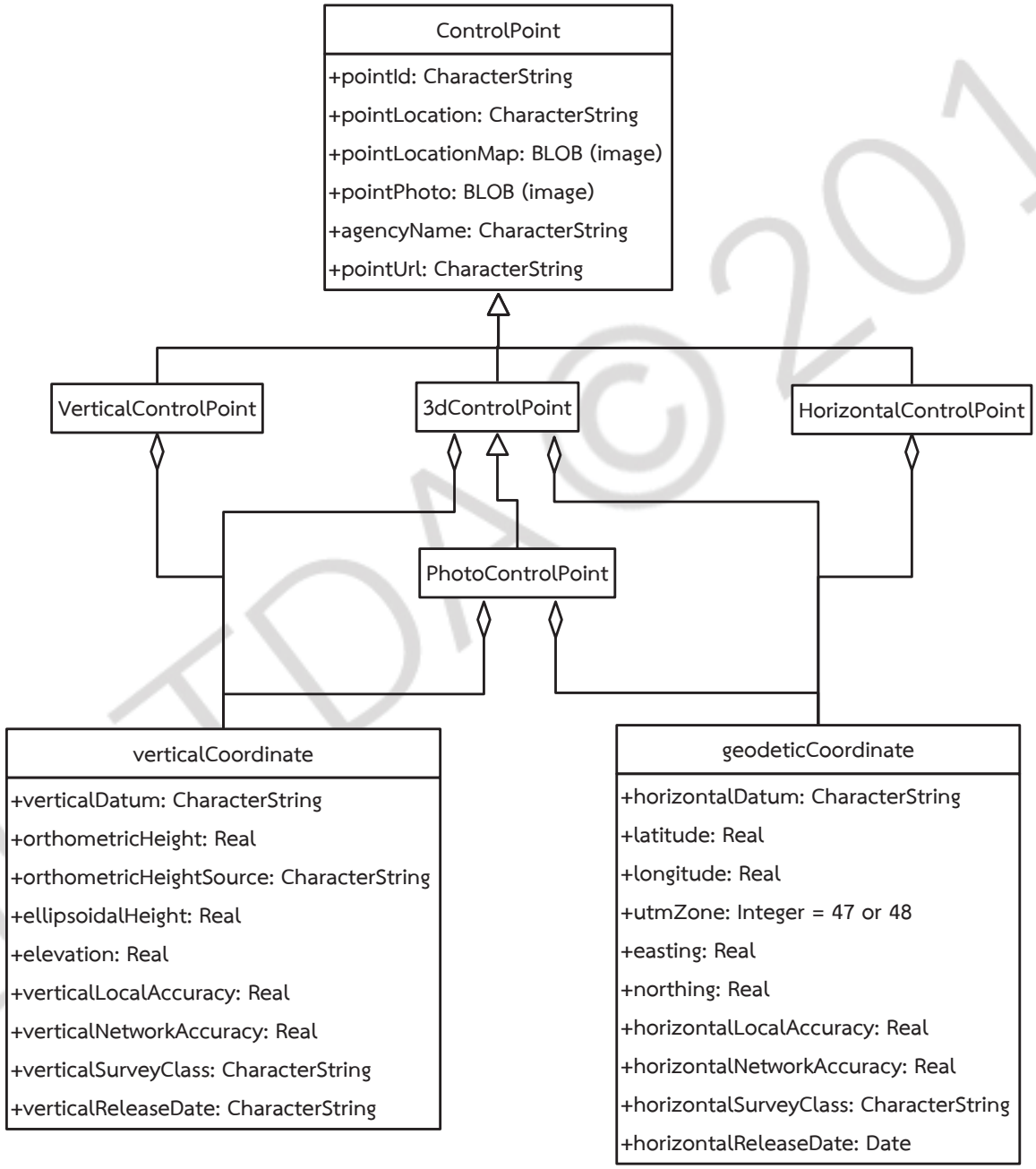
GISTDA ©

รหัสข้อมูล	รายการข้อมูล	นิยาม (Definition)	ประเภทรูปลักษณ์ (Feature type) <จุด, เส้น, พื้นที่,กริด>					เงื่อนไขการจัดเก็บข้อมูล	นิยามของตำแหน่งจุดหรือแนวเส้นหรือแนวขอบเขตพื้นที่
			1:4,000	1:10,000	1:25,000	1:50,000	1:250,000		
90		ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่							
90004	จุดบังคับภาพถ่าย	จุดที่มองเห็นได้อย่างเด่นชัด (well-defined point) บนภาพถ่าย และสามารถพิสูจน์ตำแหน่งของจุดเดียวกันนี้ได้ในภูมิประเทศ ตามปกติค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่งของจุดบังคับภาพถ่ายได้มาจากกระบวนการทำงานงานรังวัดภาพถ่าย (photogrammetry)	จุด	จุด	จุด	จุด	จุด	จุดเชื่อมโยง (tie point) ที่ค่าพิกัดได้จากงานข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ และมีค่าพิกัดทางราบและค่าพิกัดทางดิ่งที่อ้างอิงจากโครงข่ายทางยีออเดซี และโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งของประเทศ	จุดที่มองเห็นได้อย่างเด่นชัดบนภาพถ่าย ส่วนใหญ่ไม่มีหมุดฝังไว้

GISTDA © 25

5.3 ผังเค้าร่างการประยุกต์ใช้ (Application schema) ของชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

โครงสร้างเนื้อหาของข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ สามารถถูกอธิบายในลักษณะของผังเค้าร่างการประยุกต์ใช้ (application schema) ตามมาตรฐาน ISO19109 ได้ โดยนำเสนอในรูปแบบ Universal Modelling Langiage (UML) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังเค้าร่างการประยุกต์ใช้ (application schema) ของข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

โดยหมุดหลักฐานแผนที่จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ หมุดหลักฐานสามมิติ (3dControlPoint) หมุดหลักฐานทางราบ (HorizontalControlPoint) และหมุดหลักฐานทางดิ่ง (VertialControlPoint)

GISTDA©2013

สำหรับจุดบังคับภาพถ่าย (PhotoControlPoint) ในที่นี้ถือว่าเป็นประเภทย่อยประเภทหนึ่งของหมุดหลักฐานแผนที่ จึงมีรายการข้อมูลลักษณะประจำต่าง ๆ เหมือนกันทุกประการ

5.4 พจนานุกรมข้อมูล (Data dictionary) ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

โครงสร้างข้อมูลในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ สามารถอธิบายในรูปแบบของพจนานุกรม (data dictionary) ซึ่งประกอบด้วยตารางโครงสร้างรายการและลักษณะเฉพาะของข้อมูลลักษณะประจำสำหรับรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (geographic feature)

ของหมุดหลักฐานแผนที่ ประกอบด้วยรายการข้อมูลตามตารางที่ 5-1 ถึง 5-3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5-1 ข้อมูลลักษณะประจำของ หมุดหลักฐานแผนที่ (ControlPoint)

ชื่อ	คำอธิบาย	ชนิด	หมายเหตุ/ค่าโดเมน	การบังคับ
pointId	หมายเลขหมุดหลักฐานที่ไม่ซ้ำกับหมุดอื่น	Character String		Mandatory
pointLocation	คำอธิบายสถานที่ตั้งและวิธีการเข้าถึงหมุดหลักฐานแผนที่	Character String		Mandatory
PointLocationMap	ภาพร่างแผนที่แสดงที่ตั้งหมุดหลักฐานแผนที่	BLOB	กรณีไฟล์ฐานข้อมูลไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลภาพได้ให้จัดเก็บเป็นชื่อไฟล์หรือ URL	Mandatory
PointPhoto	ภาพถ่ายหมุด และสภาพแวดล้อมโดยรอบที่ช่วยในการเข้าถึงหมุดฯ	BLOB		Optional
agencyName	หน่วยงานผู้รับผิดชอบหมุดหลักฐาน	Character String		Mandatory
pointURL	URL เชื่อมโยงข้อมูลหมุดหลักฐานกับผู้ใช้ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต	Character String		Optional

ตารางที่ 5-2 ข้อมูลลักษณะประจำของ ค่าพิกัดทางยีออเดซี (GeodeticCoordinate)

ชื่อ	คำอธิบาย	ชนิด	หมายเหตุ	การบังคับ
horizontalDatum	รหัสพื้นหลักฐานทางราบ	Integer	1 = WGS 84 2 = Indian 1975	Mandatory
lattitude	ค่าพิกัดละติจูด (องศาทศนิยม)	Real	หากไม่มีค่าพิกัด UTM	Conditional
longitude	ค่าพิกัดลองจิจูด (องศาทศนิยม)	Real	หากไม่มีค่าพิกัด UTM	Conditional
utmZone	ค่าหมายเลขประจำโซน UTM	Integer	- หากมีการบันทึกค่าพิกัด UTM - ค่าเป็น 47 หรือ 48	Conditional
easting	ค่าพิกัดตะวันออกในระบบพิกัด UTM (เมตร)	Real	หากไม่มีค่าพิกัด Geodetic	Conditional
northing	ค่าพิกัดเหนือในระบบพิกัด UTM (เมตร)	Real	หากไม่มีค่าพิกัด Geodetic	Conditional
horizontalLocalAccuracy	ค่าความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางราบ (RMSE) ของหมุดหลักฐานแผนที่จากการปรับแก้โครงข่ายท้องถิ่น โดยเป็นค่าความละเอียด	Real		Mandatory

ตารางที่ 5-2 ข้อมูลลักษณะประจำของ ค่าพิกัดทางยีออเดซี (GeodeticCoordinate)

ชื่อ	คำอธิบาย	ชนิด	หมายเหตุ	การบังคับ
	ถูกต้องแบบเปรียบเทียบกับหมุดหลักฐานอื่นในโครงข่ายการปรับแก้เดียวกัน (เมตร)			
horizontalNetwork Accuracy	ค่าความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางราบ (RMSE) ของหมุดหลักฐานแผนที่เมื่อเทียบกับโครงข่ายหมุดหลักฐานหลักของประเทศ (เมตร)	Real		Mandatory
horizontalSurveyClass	ชั้นงานสำรวจทางราบ	Character String	นิยามตามข้อกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่งในหัวข้อ 7.1 ของมาตรฐานฉบับนี้	Mandatory
horizontalReleaseDate	วันที่ประกาศใช้ข้อมูลค่าพิกัดทางราบ	Date		Mandatory

ตารางที่ 5-3 ข้อมูลลักษณะประจำค่าพิกัดทางดิ่ง (VerticalCoordinate)

ชื่อ	คำอธิบาย	ชนิด	หมายเหตุ	การบังคับ
verticalDatum	พื้นหลักฐานทางดิ่ง	Character String		Mandatory
orthometricHeight	ค่าความสูงออร์โทเมตริก (เมตร)	Real	หากไม่มีค่าความสูงเหนือรูปทรงรี หรือค่าระดับ	Conditional
orthometricHeightSource	ที่มาของค่าความสูงออร์โทเมตริก	Character String	หากมีการบันทึกค่าความสูงออร์โทเมตริก	Conditional
ellipsoidalHeight	ค่าความสูงเหนือรูปทรงรี (เมตร)	Real	หากไม่มีค่าความสูงออร์โทเมตริก หรือค่าระดับ	Conditional
elevation	ค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร)	Real	หากไม่มีค่าความสูงเหนือรูปทรงรี หรือค่าความสูงออร์โทเมตริก	Conditional
verticalLocalAccuracy	ค่าความละเอียดถูกต้องของค่าพิกัดทางดิ่งของหมุดหลักฐานแผนที่ (เมตร)	Real		Mandatory
verticalNetworkAccuracy	ค่าความละเอียดถูกต้องของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง (เมตร)	Real		Mandatory
verticalSurveyClass	ชั้นงานสำรวจทางดิ่ง	Character String	นิยามตามข้อกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่งในหัวข้อ 7.1 ของมาตรฐานฉบับนี้	Mandatory
verticalReleaseDate	วันที่ประกาศใช้ข้อมูลทางดิ่ง	Date		Mandatory

GISTDA © 2013

5.5 Feature Catalogue ของรายการข้อมูลในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

รายละเอียดเนื้อหาของข้อมูลภูมิศาสตร์ในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ สามารถถูกอธิบายในลักษณะของ Feature Catalogue ตามมาตรฐาน ISO19110 ได้ดังนี้

Name:	ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่
Scope:	ข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน
Field of application:	การอ้างอิงตำแหน่งเพื่อการสำรวจและการทำแผนที่
Version Number:	1
Version Date:	23-ก.ย.-54
Definition source:	
Definition Type:	
Producer:	
Functional Language:	XML
Feature Type	
Name:	controlPoint
Definition:	หมุดหลักฐานแผนที่
Code:	90000
Aliases:	
Feature Operation Names:	
Feature Attribute Names:	pointId, pointLocation, pointLocationMap, pointPhoto, agencyName, pointUrl
Feature Association Names:	
Feature Attribute	
Name:	pointId
Definition:	หมายเลขหมุดหลักฐานที่ไม่ซ้ำใคร
Code:	
Value Data Type:	TEXT
Value Measurement Unit:	
Value Domain Type:	0 ("not enumerated")
Value Domain:	Free text
Feature Attribute	
Name:	pointLocation
Definition:	คำอธิบายสถานที่ตั้งหมุดหลักฐาน
Code:	
Value Data Type:	TEXT
Value Measurement Unit:	
Value Domain Type:	0 ("not enumerated")
Value Domain:	Free text
Feature Attribute	
Name:	agencyName
Definition:	หน่วยงานผู้รับผิดชอบหมุดหลักฐาน
Code:	
Value Data Type:	TEXT
Value Measurement Unit:	
Value Domain Type:	0 ("not enumerated")
Value Domain:	Free text
Feature Attribute	
Name:	pointUrl
Definition:	URL เชื่อมโยงข้อมูลหมุดหลักฐานกับผู้ใช้ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต
Code:	

GISTDA©2013

Value Data Type: TEXT
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain: Free text

Feature Type
Name: HorizontalControlPoint
Definition: หมุดหลักฐานทางราบ คือหมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้เฉพาะค่าพิกัดทางราบ
Code: 90001
Aliases:
Feature Operation Names:
Feature Attribute Names: pointId, pointLocation, pointLocationMap, pointPhoto, agencyName, pointUrl, horizontalDatum, latitude, longitude, utmZone, easting, northing, horizontalLocalAccuracy, horizontalNetwork Accuracy, horizontalSurveyClass, horizontalReleaseDate,
Feature Association Names:
Subtype Of: controlPoint

Feature Attribute
Name: horizontalDatum
Definition: พื้นหลักฐานทางราบ
Code:
Value Data Type: TEXT
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute
Name: lattitude
Definition: ค่าพิกัดละติจูด
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute
Name: longitude
Definition: ค่าพิกัดลองจิจูด
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute
Name: horizontalLocalAccuracy
Definition: ค่าความถูกต้องทางราบของหมุดหลักฐาน
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute
Name: horizontalNetwork Accuracy
Definition: ความละเอียดถูกต้องของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ

GISTDA©2013

Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: horizontalSurveyClass
Definition: ชั้นงานสำรวจทางราบ
Code:
Value Data Type: TEXT
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 1 ("enumerated")
Value Domain: AA, A, B, 1, 2, และ 3

Feature Attribute

Name: horizontalReleaseDate
Definition: วันที่ประกาศใช้ข้อมูลทางราบ
Code:
Value Data Type: Date
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: utmZone
Definition: ค่าโซน UTM
Code:
Value Data Type: Integer
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 1 ("enumerated")
Value Domain: 47, 48

Feature Attribute

Name: easting
Definition: ค่าพิกัดตะวันออก
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: northing
Definition: ค่าพิกัดเหนือ
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Type

Name: VerticalControlPoint
Definition: หมุดหลักฐานทางดิ่ง คือหมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้เฉพาะค่าพิกัดทางดิ่ง
Code: 90002
Aliases:
Feature Operation Names:

GISTDA© 2013

Feature Attribute Names: pointId, pointLocation, pointLocationMap, pointPhoto, agencyName, pointUrl, verticalDatum, orthometricHeight, ellipsoidalHeight, elevation, verticalLocalAccuracy, verticalNetworkAccuracy, verticalSurveyClass, verticalReleaseDate

Feature Association Names:

Subtype Of: controlPoint

Feature Attribute

Name: verticalDatum
Definition: พื้นหลักฐานทางดิ่ง
Code:
Value Data Type: TEXT
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain: Free Text

Feature Attribute

Name: orthometricHeight
Definition: ค่าความสูงออร์โทเมตริก
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: orthometricHeightSource
Definition: ที่มาของค่าความสูงออร์โทเมตริก
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: ellipsoidalHeight
Definition: ค่าความสูงเหนือรูปทรงรี
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: elevation
Definition: ค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: verticalLocalAccuracy
Definition: ค่าความถูกต้องแบบท้องถิ่นของหมุดหลักฐานทางดิ่ง
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:

GISTDA©2013

Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: verticalNetworkAccuracy
Definition: ค่าความละเอียดถูกต้องของโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง
Code:
Value Data Type: REAL
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Attribute

Name: verticalSurveyClass
Definition: ชั้นงานสำรวจทางดิ่ง
Code:
Value Data Type: TEXT
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 1 ("enumerated")
Value Domain: ชั้นงานที่ 1, ชั้นงานที่ 2, ชั้นงานที่ 3

Feature Attribute

Name: verticalReleaseDate
Definition: วันที่ประกาศใช้ข้อมูลทางดิ่ง
Code:
Value Data Type: Date
Value Measurement Unit:
Value Domain Type: 0 ("not enumerated")
Value Domain:

Feature Type

Name: 3dControlPoint
Definition: หมุดหลักฐานสามมิติ คือหมุดหลักฐานแผนที่ที่ให้ค่าพิกัดทั้งทางราบและทางดิ่ง
Code: 90003
Aliases:
Feature Operation Names:
Feature Attribute Names: pointId, pointLocation, pointLocationMap, pointPhoto, agencyName, pointUrl, horizontalDatum, latitude, longitude, utmZone, easting, northing, horizontalLocalAccuracy, horizontalNetwork Accuracy, horizontalSurveyClass, horizontalReleaseDate, verticalDatum, orthometricHeight, ellipsoidalHeight, elevation, verticalLocalAccuracy, verticalNetworkAccuracy, verticalSurveyClass, verticalReleaseDate
Feature Association Names:
Subtype Of: controlPoint

Feature Type

Name: PhotoControlPoint
Definition: จุดบังคับภาพถ่าย คือจุดที่มองเห็นได้อย่างเด่นชัดในภาพ และสามารถระบุตำแหน่งได้ในสนาม มีค่าพิกัดเพื่อใช้อ้างอิงในการประมวลผลภาพ
Code: 90004
Aliases:
Feature Operation Names:
Feature Attribute Names: pointId, pointLocation, pointLocationMap, pointPhoto, agencyName, pointUrl, horizontalDatum, latitude, longitude, utmZone, easting, northing, horizontalLocalAccuracy, horizontalNetwork Accuracy, horizontalSurveyClass, horizontalReleaseDate, verticalDatum, orthometricHeight, ellipsoidalHeight, elevation, verticalLocalAccuracy, verticalNetworkAccuracy, verticalSurveyClass, verticalReleaseDate

GISTDA © 2013

Feature Association Names:
Subtype Of: controlPoint

6. ระบบพิกัดอ้างอิง (Coordinate reference system)

ระบบอ้างอิงเชิงพื้นที่ (spatial reference system) ของข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานของประเทศไทยนั้น ให้ใช้เป็น ระบบพิกัดอ้างอิง (coordinate reference system) โดยระบบพิกัดอ้างอิงแต่ละระบบจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ

- พื้นหลักฐานทางยีออเดซี (geodetic datum) ซึ่งเป็นพื้นผิวอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณงานรังวัด
- รูปแบบระบบพิกัด ซึ่งเป็นรายละเอียดของการนิยามระบบแกนพิกัดอ้างอิง รายละเอียดนิยามค่าพิกัด และระบบการฉายแผนที่ (map projection) ที่ใช้

การเลือกใช้ระบบพิกัดอ้างอิงจึงขึ้นกับพื้นหลักฐานฯ และรูปแบบของค่าพิกัด และระบบพิกัดอ้างอิงสำหรับชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ของประเทศไทยทุกชั้นข้อมูล รวมถึงชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ สามารถเลือกกำหนดขึ้นจากพื้นหลักฐานทางยีออเดซี และรูปแบบระบบพิกัด ดังต่อไปนี้

6.1 พื้นหลักฐานทางยีออเดซี (Geodetic datum)

พื้นหลักฐานทางยีออเดซี (geodetic datum) หรือพื้นหลักฐานแผนที่ ที่ใช้อ้างอิงสำหรับชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ประเทศไทย กำหนดให้เลือกใช้ได้ 2 พื้นหลักฐาน คือ WGS 84 และ พื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 (Indian 1975)

1) WGS 84 เป็นพื้นหลักฐานสากลที่จัดทำขึ้นโดย Defense Mapping Agency (DMA) หรือปัจจุบันคือ National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้เป็นพื้นหลักฐานของดาวเทียมระบบ GPS เป็นพื้นหลักฐานรูปทรงรีซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

   Ellipsoid : "WGS 84"
   Semi-major axis (a) = 6378137.0 m.
   Flattening (f) = 1/298.257223563
   EPSG : 4326

2) พื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 (Indian 1975) เป็นพื้นหลักฐานท้องถิ่นของประเทศไทย ที่จัดทำโดยการทำงานรังวัดภาคพื้นดินด้วยวิธีข่ายสามเหลี่ยมและงานวงรอบ เป็นพื้นหลักฐานรูปทรงรีซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

   SPHEROID : "Everest 1830 (1937 Adjustment)"
   Semi-major axis (a) = 6377276.345 m.
   Flattening (f) = 1/300.8017
   EPSG : 4240

และการแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS 84 กับพื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 ให้ใช้สมการต่อไปนี้

GISTDA 2013

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{Indian1975} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{WGS\,84} + \begin{bmatrix} -204.5 \\ -837.9 \\ -294.8 \end{bmatrix}$$ หน่วยเป็นเมตร

โดยที่ค่าพิกัดฉาก (x, y, z) เป็นค่าพิกัดในรูปแบบระบบพิกัดฉากยึดติดโลก ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อต่อไป

อนึ่ง สมการแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS 84 กับพื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 ข้างต้นกำหนดให้สำหรับใช้ในการแปลงค่าพิกัดที่ยังมิได้ผ่านการแปลงพื้นหลักฐานด้วยวิธีการหรือสมการอื่นมาแล้วเท่านั้น หากค่าพิกัดได้ผ่านการแปลงพื้นหลักฐานมาด้วยวิธีการหรือสมการแบบอื่นมา ก็จะต้องทำการแปลงกลับไปที่พื้นหลักฐานตั้งต้นด้วยวิธีการหรือสมการแบบเดิมก่อน โดยรายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางการแปลงพื้นหลักฐานสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากผลการศึกษาของชูเกียรติ วิเชียรเจริญ (2555)

6.2 รูปแบบระบบพิกัด

รูปแบบระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงในการบอกตำแหน่งพิกัดของข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐานของประเทศไทย ให้เลือกใช้ได้ 3 รูปแบบ คือ พิกัดฉากยึดติดโลก (Earth-fixed coordinates) พิกัดทางยีออเดซีหรือระบบพิกัดรูปทรงรี (geodetic or ellipsoidal coordinates) และพิกัดแผนที่ UTM (UTM map coordinates)

1) **ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก** เป็นกรอบของแกนพิกัดฉาก ที่ผูกติดอยู่กับพื้นผิวโลก แกนพิกัดของระบบยึดติดโลกจึงหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับอัตราการหมุนรอบตัวเองของโลก ระบบพิกัดฉากยึดติดโลกบอกค่าพิกัดเป็น (x, y, z) มีนิยามดังนี้ คือ จุดกำเนิดของระบบอยู่ที่จุดมวลสารของโลก แกน z อยู่ในแนวแกนหมุนเฉลี่ยโลก โดยผ่านจุด CIO (Conventional International Origin) ระนาบศูนย์สูตร xy ตั้งฉากกับแกน z โดยมีแกน x อยู่ในแนวเมอริเดียนกรีนิช ส่วนแกน y ตั้งฉากกับแกน x และแกน z ทำให้เกิดเป็นระบบพิกัดมือขวา
2) **ระบบพิกัดทางยีออเดซี** บอกค่าพิกัดเป็น (ϕ, λ, h) ระบบนี้ใช้รูปทรงรีที่เป็นตัวแทนสัณฐานของโลกและเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณ ดังนั้นรูปทรงรีนี้คือส่วนหนึ่งของพื้นหลักฐานทางยีออเดซีในข้อ 6.1 มุมที่เส้นตั้งฉากกับพื้นผิวรูปทรงรีที่จุดใด ๆ P กระทำกับระนาบศูนย์สูตร*คือค่าละติจูด* ϕ ของจุด P มุมระหว่างระนาบเมอริเดียนที่ผ่าน P กับระนาบเมอริเดียนกรีนิช คือ*ค่าลองจิจูด* λ ของจุด P ส่วนระยะตามแนวเส้นตั้งฉากจากจุด P จนถึงพื้นผิวรูปทรงรี คือ *ความสูงเหนือรูปทรงรี* h
3) **ระบบพิกัดแผนที่ UTM** – UTM เป็นตัวย่อของ Universal Transverse Mercator เป็นวิธีการฉายแผนที่ (map projection) บอกค่าพิกัดแผนที่เป็น (N, E) โดยค่า N คือค่าพิกัดเหนือ (northing) และ ค่า E คือค่าพิกัดตะวันออก (easting) ค่าทั้งสองคือพิกัดตำแหน่งทางราบคำนวณมาจากค่า (ϕ, λ) ของค่าพิกัดทางยีออเดซี

6.3 ความสูง

ระบบอ้างอิงค่าความสูงของข้อมูลภูมิสารสนเทศมี 3 ระบบ คือ ค่าระดับ (elevation) ความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) ซึ่งบางครั้งเรียกความสูงเหนือยีออยด์ และความสูงเหนือทรงรี (ellipsoidal height) ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้กับชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศพื้นฐาน (FGDS) ของประเทศไทย ตามความ

GISTDA©2013

เหมาะสม แต่ต้องอธิบายระบบอ้างอิงค่าความสูงที่ใช้ไว้ในคำอธิบายข้อมูล (metadata) ของชุดข้อมูลนั้นให้ชัดเจน

1) ค่าระดับ (elevation) เป็นความสูงที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในงานรังวัด เป็นความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level, MSL) อาจใช้เป็นตัวแทนของความสูงออร์โทเมตริกเหนือยีออยด์ H หรือความสูงออร์โทเมตริกได้ หากระดับทะเลปานกลางที่สร้างขึ้นมาเป็นตัวแทนของยีออยด์อย่างถูกต้อง
2) ความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) เป็นความสูงวัดจากผิวยีออยด์ ณ จุดใด ๆ
3) ความสูงเหนือทรงรี (ellipsoidal height) เป็นความสูงวัดจากผิวพื้นทรงรีที่ใช้เป็นหลักฐานทางยีออเดซี ณ จุดใด ๆ

ในการคำนวณค่าพิกัดที่ใช้รูปทรงรีเป็นพื้นผิวอ้างอิงได้ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบเป็นละติจูดและลองจิจูดทางยีออเดซี (ϕ, λ) และมีความสูงของจุดนั้นเป็นความสูงเหนือรูปทรงรี h ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โทเมตริกและความสูงเหนือทรงรี คือ

$h = H + N$

ค่า N ในสมการข้างบนเรียกว่า ความสูงยีออยด์ (geoidal height) ค่าความสูงยีออยด์นี้คำนวณได้จากรูปจำลองยีออยด์ เช่น EGM2008

รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบพิกัดอ้างอิงข้างต้น มีอธิบายเพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก ก ของเอกสารมาตรฐานข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ฉบับนี้

7. ข้อกำหนดด้านคุณภาพข้อมูล (Data quality)

หมุดหลักฐานแผนที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งตามชั้นงาน (order) ที่ได้ดำเนินการรังวัดมาโดยมีความถูกต้องสูงจนถึงต่ำสุดดังนี้

งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น AA
งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น A
งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น B
งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น 1
งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น 2
งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น 3

จากการวิเคราะห์เกณฑ์ความละเอียดถูกต้องของข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ที่รังวัดด้วยเกณฑ์งานรังวัดหมุดหลักฐานชั้น 3 ก็มีความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้เป็นหมุดอ้างอิงในการสำรวจจัดทำข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลอื่น ๆ ในมาตราส่วนที่ใหญ่ที่สุดคือ 1:4,000 ได้

7.1 ข้อกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

ในการสำรวจรังวัดค่าพิกัดของหมุดหลักฐานแผนที่นั้น ปัจจุบันใช้วิธีงานรังวัดดาวเทียมเป็นหลัก และการแบ่งชั้นระดับความถูกต้องของงานรังวัดดาวเทียมนั้นมีการแบ่งที่ละเอียดและครอบคลุมระดับความ

GISTDA © 2013

ละเอียดถูกต้องที่กว้างกว่าระบบการแบ่งชั้นงานของงานรังวัดภาคพื้นดิน ดังนั้น ข้อกำหนดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ จึงจะกำหนดบนพื้นฐานของงานรังวัดดาวเทียม

งานรังวัดดาวเทียม ในที่นี้หมายถึงงานรังวัดที่รับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น งานรังวัดดาวเทียมเป็นวิธีการวัดสมัยใหม่ที่ให้ค่าพิกัดเป็นสามมิติ ปกติในการประมวลผลข้อมูลจากการรับสัญญาณ ใช้ค่าพิกัดฉาก ($x,\ y,\ z$) แต่สามารถแปลงค่าพิกัดเป็นพิกัดทางยีออเดซี (geodetic coordinates) นั่นคือ มีค่าพิกัดทางราบเป็น ละติจูด ϕ ลองจิจูด λ และค่าพิกัดทางดิ่งเป็นความสูงเหนือทรงรี h ซึ่งเป็นค่าระดับที่ใช้ในการทำงานโดยทั่วไป

วิธีการกำหนดตำแหน่งจากงานรังวัดดาวเทียม ทำได้ 2 วิธีคือ การหาตำแหน่งสัมบูรณ์ (absolute positioning) หรือการหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (single point positioning) และการหาตำแหน่งสัมพัทธ์ (relative positioning) การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวใช้เครื่องรับแบบนำหนเพียงหนึ่งเครื่องในการทำงานให้ความถูกต้องทางตำแหน่งระดับ 10-15 เมตร การหาตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ใช้เครื่องรับแบบนำหนสองเครื่องในการทำงานเรียกว่า Differential GPS หรือ DGPS ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งระดับ 1-3 เมตร การกำหนดตำแหน่งที่ใช้เครื่องรับแบบนำหนทั้งสองวิธีนี้ไม่ได้กล่าวถึงในมาตรฐานนี้เพราะ ความถูกต้องทางตำแหน่งไม่ดีเพียงพอสำหรับการสร้างหมุดหลักฐาน งานรังวัดดาวเทียมในมาตรฐานนี้จึงเป็นการกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ที่ใช้เครื่องรับแบบรังวัดเท่านั้น เครื่องรับนี้อาจจะวัดคลื่นส่ง L1 เพียงความถี่เดียว หรือวัดคลื่นส่งทั้งสองความถี่หรือทั้ง L1 และ L2 เทคนิคในการวัดด้วยเครื่องรับแบบรังวัดทำได้ 4 วิธี คือ การรังวัดแบบสถิต (static survey) การรังวัดแบบจลน์ (kinematic survey) การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (rapid static survey) และการรังวัดแบบจลน์ในทันที (real-time kinematic survey, RTK) การรังวัดแบบสถิตเป็นวิธีกำหนดตำแหน่งที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุด จึงเป็นวิธีการทำงานที่อ้างอิงถึงในมาตรฐานนี้

มาตรฐานความถูกต้องของหมุดหลักฐานแผนที่จากงานรังวัดดาวเทียมจัดแบ่งเป็น 6 ชั้นงาน (order) คือ ชั้นงาน AA A B 1 2 และ 3 ตามลำดับจากความถูกต้องสูงสุดจนถึงต่ำสุด ชั้นงาน 1 2 และ 3 จะสอดคล้องกับการทำงานรังวัดภาคพื้นดิน การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ให้ผลการวัดเป็นเวคเตอร์เส้นฐาน (เส้นที่มีองค์ประกอบในปริภูมิสามมิติ) ความถูกต้องของเส้นฐานจากงานรังวัดดาวเทียมตามชั้นงาน สรุปไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 มาตรฐานความถูกต้องของหมุดหลักฐานแผนที่จากงานรังวัด (อ้างอิงตามมาตรฐานของ FGCC, 1989)

ประเภทงานรังวัด	ชั้นงาน	ความเชื่อมั่นระดับ 95 %		
		มาตรฐานความถูกต้องขั้นต่ำสุด		
		ความคลาดเคลื่อนฐาน	ความคลาดเคลื่อนแปรผันกับระยะเส้นฐาน	
		e (มม.)	p (ppm, ต่อล้านส่วน)	a $(1{:}a)$
วัดการเคลื่อนตัวเปลือกโลกระดับภูมิภาค วัดการบิดเบี้ยวโครงสร้างขนาดใหญ่	AA	3	0.01	100 ล้าน
สร้างโครงข่ายหลักของหมุดหลักฐานของประเทศ วัดการเคลื่อนตัวเปลือกโลกระดับภูมิภาคถึงระดับท้องถิ่น วัดการบิดเบี้ยวโครงสร้างทั่วไป	A	5	0.1	10 ล้าน

ตารางที่ 6 มาตรฐานความถูกต้องของหมุดหลักฐานแผนที่จากงานรังวัด (อ้างอิงตามมาตรฐานของ FGCC, 1989)

ประเภทงานรังวัด	ชั้นงาน	ความเชื่อมั่นระดับ 95 %		
		มาตรฐานความถูกต้องขั้นต่ำสุด		
		ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	ความคลาดเคลื่อนแปรผันกับระยะเส้นฐาน	
		e (มม.)	p (ppm, ต่อล้านส่วน)	a (1:a)
สร้างโครงข่ายรองของหมุดหลักฐานของประเทศ วัดการเคลื่อนตัวเปลือกโลกระดับท้องถิ่น วัดการบิดเบี้ยวโครงสร้าง รังวัดทางวิศวกรรมที่มีความถูกต้องสูง	B	8	1	1 ล้าน
สร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานเป็นกรอบพิกัดอ้างอิงสำหรับการทำงานรังวัดภาคพื้นดิน	1	10	10	100,000
	2	30	50	20,000
	3	50	200	5,000
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละองค์ประกอบของเวคเตอร์เส้นฐานของชั้นงานต่าง ๆ คำนวณจาก $$\sigma = \pm \sqrt{e^2 + (0.1d \cdot p)^2} \,/ 1.96$$ เมื่อ d เป็นระยะเส้นฐานในหน่วยกิโลเมตร				

อนึ่ง เกณฑ์ข้อกำหนดการทำงานรังวัดดาวเทียมอื่นที่กำลังจะมีการประกาศใช้ในประเทศไทยคือ เกณฑ์ข้อกำหนดการทำงานรังวัดดาวเทียมของสภาวิศวกร ซึ่งอ้างอิงกับเกณฑ์การกำหนดชั้นของงาน (class/order) ตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย (ICSM, 2007) โดยสามารถเทียบเคียงกับมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ในมาตรฐานนี้ได้ดังตารางที่ 7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 7 การเทียบเคียงระหว่างเกณฑ์การกำหนดชั้นของงาน (class/order) ตามมาตรฐานออสเตรเลียกับข้อกำหนดชั้นงานสำหรับความถูกต้องทางตำแหน่งของมาตรฐานฉบับนี้

เกณฑ์การกำหนดตามมาตรฐาน ICSM ออสเตรเลีย		**ชั้นงานในมาตรฐานนี้**
คลาส	**ประเภทของงานรังวัด**	
3A	งานรังวัดที่ต้องการความละเอียดสูงเป็นพิเศษ	AA
2A	งานรังวัดยีออเดติคของประเทศที่มีความละเอียดสูง	A
A	งานรังวัดยีออเดติคของประเทศหรือของรัฐ	B
B	งานรังวัดยีออเดติคที่เป็นการขยายความหนาแน่นหมุด	1
C	งานสำรวจและรังวัดด้วยค่าพิกัด	2
D	งานอื่นๆที่ต่ำชั้น	3
E	งานอื่นๆที่ต่ำชั้น	-

GISTDA © 2013

7.2 ข้อกำหนดความครบถ้วนของข้อมูล

7.2.1 ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์

ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ในข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ นั้นจะกำหนดเฉพาะสำหรับหมุดหลักฐานแผนที่ทั้งสามชนิดเท่านั้น ไม่รวมถึงจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศเนื่องจากไม่มีการสร้างเป็นหมุดถาวรไว้ในสนาม ทั้งนี้ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์หมุดหลักฐานแผนที่นั้นหมายถึงการที่ข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ทั้งหมดตามขอบเขตงานของโครงการ หรือขอบเขตงานจ้างดำเนินการ จะต้องมีบันทึกอยู่ในชุดข้อมูลที่ส่งมอบอย่างครบถ้วนไม่มากและไม่น้อยกว่าความเป็นจริง

ตัวชี้วัดคุณภาพข้อมูล (data quality measure) ที่ใช้สำหรับการวัดความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์หมุดหลักฐานแผนที่นั้น ให้ใช้ค่าร้อยละของจำนวนข้อมูลที่เกินมา และค่าร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ขาดไป

การกำหนดเกณฑ์ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ หมุดหลักฐานแผนที่นั้น อาจพิจารณาแยกเป็น 2 กรณีคือ

- กรณีจ้างสำรวจจัดทำหมุดหลักฐานแผนที่และต้องส่งมอบข้อมูลหมุดฯเหล่านั้น กรณีนี้เกณฑ์ความครบถ้วนกำหนดเป็น 100% คือข้อมูลที่ส่งมอบต้องครบถ้วนตรงกับหมุดหลักฐานฯที่ได้ถูกสำรวจจัดสร้างไว้จริง นั่นคือร้อยละของจำนวนข้อมูลที่ขาดหายไปหรือที่เกินมาต้องเป็นศูนย์
- กรณีที่จ้างทำการสำรวจรวบรวมข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่เดิมที่ได้ถูกสำรวจจัดสร้างไว้แล้ว กรณีนี้กำหนดเกณฑ์ความครบถ้วนเป็น 95% นั่นคือจำนวนข้อมูลที่ขาดหายไปต้องไม่มากกว่าร้อยละ 5 ของจำนวนหมุดในขอบเขตงานของโครงการ เช่นเดียวกับจำนวนข้อมูลที่เกินมาก็ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 5

เกณฑ์ความครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์หมุดหลักฐานแผนที่ กำหนดดังตารางที่ 8 ต่อไปนี้

ตารางที่ 8 เกณฑ์ความครบถ้วนของรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ ในชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

ที่	รายการรูปลักษณ์ข้อมูล	กรณีข้อมูลหมุดหลักฐานฯใหม่ที่จ้างสำรวจจัดสร้างขึ้น		กรณีข้อมูลหมุดหลักฐานฯเดิมที่จ้างสำรวจรวบรวม	
		ร้อยละจำนวนข้อมูลที่เกินมา	ร้อยละจำนวนข้อมูลที่ขาดไป	ร้อยละจำนวนข้อมูลที่เกินมา	ร้อยละจำนวนข้อมูลที่ขาดไป
1	หมุดหลักฐานแผนที่ (ทางราบ, ทางดิ่ง, สามมิติ)	0	0	≤ 5	≤ 5

7.2.2 ความครบถ้วนของข้อมูลลักษณะประจำ

ความครบถ้วนของของข้อมูลลักษณะประจำ หมายถึงการที่ข้อมูลลักษณะประจำรายการต่าง ๆ ของแต่ละรูปลักษณ์หมุดหลักฐานแผนที่ และจุดบังคับภาพถ่าย จะต้องมีค่าบันทึกไว้ครบถ้วนในชุดข้อมูลที่ส่งมอบ โดยตัวชี้วัดคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการวัดความครบถ้วนของข้อมูลลักษณะประจำแต่ละรายการ คือค่าร้อยละของจำนวนรูปข้อมูลที่ขาดหายไป ซึ่งก็คือร้อยละของจำนวนรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ที่ข้อมูลลักษณะประจำรายการดังกล่าวขาดหายไปเมื่อเทียบกับจำนวนรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (ประเภทเดียวกัน) ทั้งหมดในชุดข้อมูลที่ส่งมอบ

เกณฑ์ความครบถ้วนของข้อมูลลักษณะประจำในข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ กำหนดเฉพาะตามระดับความสำคัญของข้อมูลลักษณะประจำนั้น และแยกเป็น 2 กรณีเช่นเดียวกับเกณฑ์ความ

GISTDA © 2013

ครบถ้วนของข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ในหัวข้อ 7.2.1 ข้างต้น คือแยกระหว่างกรณีส่งมอบข้อมูลหมุดหลักฐานที่สำรวจจัดสร้างขึ้นใหม่ กับกรณีการสำรวจรวบรวมข้อมูลของหมุดหลักฐานแผนที่เดิมที่มีอยู่แล้ว ดังตารางที่ 9 ต่อไปนี้

ตารางที่ 9 เกณฑ์ความครบถ้วนของข้อมูลลักษณะประจำในชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

	รายการข้อมูลลักษณะประจำ	ร้อยละข้อมูลลักษณะประจำที่ขาดหายไป	
		กรณีข้อมูลหมุดหลักฐานที่สำรวจจัดสร้างขึ้นใหม่	กรณีสำรวจรวบรวมข้อมูลของหมุดหลักฐานเดิมที่มีอยู่
1	pointId	0	0
2	pointLocation	0	0
3	pointLocationMap	0	0
4	pointPhoto	0	0
5	agencyName	0	≤ 5
6	pointURL	N.A.	N.A.
7	horizontalDatum	0	≤ 5
8	latitude (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	0
9	longitude (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	0
10	horizontalLocalAccuracy	0	N.A.
11	horizontalNetwork Accuracy	0	N.A.
12	horizontalSurveyClass	0	N.A.
13	horizontalReleaseDate	0	N.A.
14	utmZone (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	0
15	easting (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	0
16	northing (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	0
17	verticalDatum	0	0
18	orthometricHeight	0	0
19	orthometricHeightSource	0	≤ 5
20	ellipsoidalHeight	0	0
21	Elevation	0	0
22	verticalLocalAccuracy	0	N.A.
23	verticalNetworkAccuracy	0	N.A.
24	verticalSurveyClass	0	N.A.
25	verticalReleaseDate	0	N.A.

7.3 ข้อกำหนดความถูกต้องของข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute Data)

ข้อมูลลักษณะประจำในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นั้น มี 2 ชนิดคือข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative attribute) และข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงปริมาณ (non-quantitative attribute) ซึ่งสำหรับข้อมูลลักษณะประจำแบบเชิงปริมาณนั้นจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นที่ความเชื่อมั่น 95% (LE95) เป็นตัวชี้วัด

คุณภาพข้อมูล และสำหรับข้อมูลลักษณะประจำแบบที่ไม่เป็นเชิงปริมาณนั้นจะใช้ค่าร้อยละจำนวนข้อมูลลักษณะประจำที่ผิด (rate of incorrect values) เป็นตัวชี้วัดฯ

เกณฑ์ความถูกต้องของข้อมูลลักษณะประจำในชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นั้น แยกเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับเกณฑ์ความครบถ้วนของข้อมูล และกำหนดค่าตามระดับความสำคัญของข้อมูลลักษณะประจำแต่ละรายการ ดังตารางที่ 10 ต่อไปนี้

ตารางที่ 10 เกณฑ์ความถูกต้องของข้อมูลลักษณะประจำในชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่

	รายการข้อมูลลักษณะประจำ	LE95	rate of incorrect attribute values	หมายเหตุ
1	pointId	N.A.	≤ 5 %	
2	pointLocation	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
3	pointLocationMap	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
4	pointPhoto	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
5	agencyName	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
6	pointURL	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
7	horizontalDatum	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
8	latitude (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	N.A.	N.A.	ใช้เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง
9	longitude (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	N.A.	N.A.	
10	horizontalLocalAccuracy	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
11	horizontalNetwork Accuracy	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
12	horizontalSurveyClass	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
13	horizontalReleaseDate	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
14	utmZone (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	0	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
15	easting (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	N.A.	N.A.	ใช้เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง
16	northing (กรณีที่เข้าเงื่อนไขบังคับ)	N.A.	N.A.	
17	verticalDatum	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
18	orthometricHeight	N.A.	N.A.	ใช้เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง
19	orthometricHeightSource	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
20	ellipsoidalHeight	N.A.	N.A.	ใช้เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง
21	Elevation	N.A.	N.A.	
22	verticalLocalAccuracy	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
23	verticalNetworkAccuracy	N.A.	N.A.	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
24	verticalSurveyClass	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata
25	verticalReleaseDate	N.A.	≤ 3 %	เป็นข้อมูลลักษณะ metadata

7.4 ข้อกำหนดความสอดคล้องทางตรรกะของข้อมูล

ความสอดคล้องเชิงตรรกะของข้อมูล ในชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ประกอบด้วยเพียงองค์ประกอบย่อยเดียวคือ ข้อกำหนดความสอดคล้องกับค่าโดเมนของข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.4.1 ข้อกำหนดความสอดคล้องกับค่าโดเมนของข้อมูล

เกณฑ์ความสอดคล้องกับค่าโดเมน ของข้อมูลในชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นั้น ใช้กับรายการข้อมูลลักษณะประจำที่มีการกำหนดค่าโดเมนเท่านั้น โดยใช้ค่าอัตราความไม่สอดคล้องกับค่าโดเมน (value domain non-conformance rate) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพ (quality measure) ดังตารางที่ 11 ต่อไปนี้

ตารางที่ 11 เกณฑ์ความสอดคล้องกับค่าโดเมน ของข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข

	รายการข้อมูลลักษณะประจำที่มีการกำหนดค่าโดเมน	value domain non-conformance rate
1	horizontalSurveyClass	0
2	utmZone	0
3	verticalSurveyClass	0

7.5 ข้อกำหนดความถูกต้องของข้อมูลเชิงเวลา

ไม่มีข้อกำหนดความถูกต้องเชิงเวลาสำหรับข้อมูลในชั้นข้อมูลหลักฐานแผนที่

8. การส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูล (Data product delivery)

ข้อกำหนดการส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูล FGDS ในที่นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นกรอบแนวทางในการกำหนดรูปแบบวิธีการในการที่หน่วยงานที่ได้รับมอบหมายหรือได้รับจ้าง จะทำการส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูล FGDS ให้กับหน่วยงานผู้มอบหมาย หรือผู้ว่าจ้าง ทั้งนี้จะไม่รวมถึงรูปแบบวิธีการเผยแพร่ข้อมูล FGDS ไปสู่ผู้ใช้งานเนื่องจากจะมีความหลากหลายอย่างมาก

ข้อกำหนดการส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูลนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือข้อกำหนดรูปแบบฟอร์แมตของข้อมูล และข้อกำหนดสื่อบันทึกข้อมูล

8.1 รูปแบบฟอร์แมตของข้อมูล

การส่งมอบผลิตภัณฑ์ข้อมูลชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ตามมาตรฐานฉบับนี้ ในส่วนข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์และข้อมูลลักษณะประจำรายการต่าง ๆ กำหนดให้ส่งมอบเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบข้อมูล GIS แบบเวกเตอร์ (Vector File) โดยให้อยู่ในรูปแบบฟอร์แมตข้อมูลหนึ่งในรายการต่อไปนี้

1. ARC/INFO Coverage คือ ฟอร์แมตข้อมูลที่ใช้บันทึกข้อมูลดิจิทัลแบบเวคเตอร์ซึ่งพัฒนาขึ้นสำหรับโปรแกรม ARC/INFO และใช้ในซอฟต์แวร์ ARC/INFO, ArcView, ArcGIS และซอฟต์แวร์ GIS อื่น ๆ หลายตัว
2. Shapefile คือรูปแบบไฟล์ข้อมูล GIS ที่พัฒนาโดยบริษัท ESRI เพื่อเป็นฟอร์แมตเปิดสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูล GIS กันระหว่างซอฟต์แวร์ต่าง ๆ และเป็นฟอร์แมตที่สามารถเปิดอ่านได้โดยซอฟต์แวร์ GIS ส่วนใหญ่
3. DWG คือรูปแบบไฟล์ไบนารีที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลแบบ (drawing) 2 และ 3 มิติ พร้อมทั้ง metadata เป็นรูปแบบไฟล์ที่ใช้งานโดยโปรแกรมช่วยการเขียนแบบ (CAD) หลายโปรแกรมเช่น AutoCAD, IntelliCAD และ Caddie
4. MapInfo Map File คือรูปแบบไฟล์ที่ถูกพัฒนาและใช้งานโดยโปรแกรม MapInfo

GISTDA©2013

5. DGN คือรูปแบบไฟล์ประเภท CAD ซึ่งพัฒนาและใช้ได้กับโปรแกรม MicroStation และโปรแกรม Interactive Graphics Design System (IGDS) ของ Intergraph
6. Geodatabase คือรูปแบบไฟล์ฐานข้อมูลที่สนับสนุนการบันทึกและจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ พัฒนาและใช้งานได้กับซอฟต์แวร์ ArcGIS และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้หลากหลายชนิด ได้แก่ ข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ คลาสของรูปลักษณ์ คลาสของความสัมพันธ์ ข้อมูลเชิงโครงข่าย ข้อมูลโทโปโลยี ข้อมูลตาราง ข้อมูลราสเตอร์ ข้อมูลแคตตาล็อก รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆ ของข้อมูลภูมิสารสนเทศ
7. GML หรือ Geography Markup Language คือรูปแบบเฉพาะรูปแบบหนึ่งของไฟล์ประเภท XML ซึ่งกำหนดนิยามโดยองค์กร Open Geospatial Consortium (OGC) เพื่อใช้จัดเก็บข้อมูลรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ GML ทำหน้าที่เป็นภาษา modeling สำหรับระบบภูมิศาสตร์ รวมทั้งทำหน้าที่เป็นฟอร์แมตกลางสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลทางภูมิศาสตร์ผ่านทางอินเตอร์เน็ต โดยสามารถบันทึกได้ทั้งข้อมูลรูปลักษณ์แบบเวคเตอร์ คอเวอเรจ และข้อมูลเซ็นเซอร์ด้วย

นอกจากตัวไฟล์ข้อมูล GIS ที่บันทึกรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์และข้อมูลลักษณะประจำของชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่แล้ว ยังอาจกำหนดให้มีการส่งมอบข้อมูลรายงานทำเนียบหมุดหลักฐานแผนที่ในรูปแบบไฟล์ข้อมูลเอกสารประเภท PDF ด้วย โดยเนื้อหาและรูปแบบของรายงานฯ ควรจะมีลักษณะดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2

GISTDA © 2013

แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 0200 **สถานที่ตั้ง** ที่ว่าการอำเภอน้ำปาด **งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น** 1

ชื่อหมุด NAMPAD **อ.** น้ำปาด **จ.** อุตรดิตถ์ **แบบของหมุดหลักฐาน** หมุดหินอ่อน

โครงการ ยีออเดซี่และยีออฟิสิกส์ **ปี** 2553 **กองสนาม** สำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84

ลองจิจูด(Longitude): 100° 41′ 04.″18353 E. **ละติจูด(Latitude):** 17° 43′ 42.″38605 N. **ความสูงเหนือทรงรี(h):** 117.597 ม.

ค่าตะวันออก(Easting): 678617.163 ม. **ค่าเหนือ(Northing):** 1960941.377 ม. **Zone** 47Q

การแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975

$(X, Y, Z)_{Indian1975} = (X, Y, Z)_{WGS84} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$

ΔX = 204.5 เมตร ; ΔY = 837.9 เมตร ; ΔZ = 294.8 เมตร

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน Indian1975

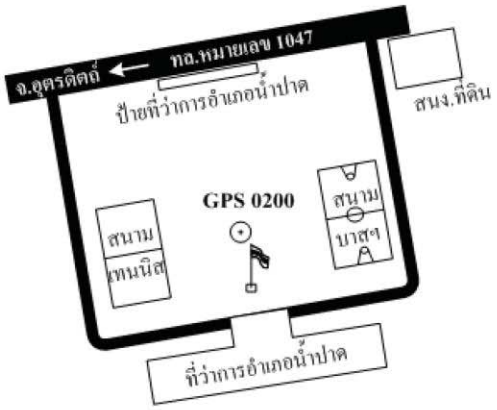
ลองจิจูด(Longitude): 100° 41′ 16.″27973 E. **ละติจูด(Latitude):** 17° 43′ 37.″57381 N. **ความสูงเหนือทรงรี(h):** 123.364 ม.

ค่าตะวันออก(Easting): 678950.241 ม. **ค่าเหนือ(Northing):** 1960638.375 ม. **Zone** 47Q

ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(H): ม. **ความสูงยีออยด์(N=h-H):** ม. **ความโน้มถ่วงพิภพ:** mgal

งานระดับชั้นที่ **แผนที่ชุด** L7018 **หมายเลขระวาง** 5144-III

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:
ใช้ ทล.1047 จาก จ.อุตรดิตถ์ถึง อ.น้ำปาด ประมาณ 75 กม. จะพบที่ว่าการอำเภอน้ำปาด หมุดอยู่บริเวณด้านทิศเหนือเสาธงชาติ

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

ลักษณะหมุด: เป็นหมุดคอนกรีต ปูด้วยหินอ่อน

หมายเหตุ:

สำรวจโดย ร.อ. ( ) _____/_____/_____

ผู้ตรวจสอบโดย พ.ท. ( ) _____/_____/_____

จัดทำโดย กองยีออเดซี่และยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร โทร. 0 2222 3045 E-mail:

รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบรายงานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ (จาก กรมแผนที่ทหาร)

การตั้งชื่อไฟล์เป็นไปตามที่หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบกำหนด โดยจะต้องมีเอกสารที่มีการอธิบายอย่างชัดเจนว่าข้อมูลที่ส่งมอบมีลักษณะเฉพาะอย่างไร โดยอย่างน้อยต้องระบุ ดังนี้

1. ชนิดของข้อมูล
2. มาตราส่วนที่ผลิตข้อมูล
3. ผู้ผลิตหรือผู้ส่งมอบ
4. ปีที่ผลิต

เอกสารที่ใช้ในการอธิบายไฟล์ดังกล่าวข้างต้น ควรเป็นแฟ้มข้อมูลดิจิทัลที่อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูล PDF file หรือแฟ้มข้อมูล TXT ที่ต้องส่งมอบไปพร้อมกับตัวข้อมูล FGDS

8.2 สื่อบันทึกข้อมูล

สื่อบันทึกข้อมูลเพื่อส่งมอบเป็นไปตามที่หน่วยงานที่รับผิดชอบกำหนด ที่นิยมโดยทั่วไป เช่น CD Rom, DVD Rom, Hard Disk เป็นต้น การเลือกว่าจะใช้สื่อบันทึกข้อมูลชนิดใด มีข้อควรพิจารณาอย่างน้อยดังนี้

1. ขนาดข้อมูล ถ้าข้อมูลมีขนาดไฟล์ใหญ่มาก อาจจำเป็นต้องใช้การแบ่งไฟล์หรือบีบอัดไฟล์ และต้องใช้สื่อบันทึกข้อมูลหลายหน่วย ดังนั้น จึงควรพิจารณาใช้สื่อบันทึกข้อมูลที่เหมาะสมกับขนาดของไฟล์ ใช้จำนวนสื่อบันทึกข้อมูลให้น้อยที่สุด และพยายามหลีกเลี่ยงการแบ่งไฟล์หรือบีบอัดไฟล์
2. ความคงทน ในกรณีที่หน่วยงานที่รับผิดชอบมีหน้าที่นำข้อมูลไปรวมฐานข้อมูลเอง อย่างน้อยควรมั่นใจว่าสื่อบันทึกข้อมูลที่ได้รับการส่งมอบมา สามารถคงทนอยู่ได้จนกว่าจะนำข้อมูลไปรวมในฐานข้อมูลกลางเป็นที่เรียบร้อย
3. การเรียกดู/การค้นคืน หน่วยงานที่รับผิดชอบต้องแน่ใจว่าจะสามารถเรียกดู/ค้นคืนข้อมูล ที่บันทึกในสื่อบันทึกข้อมูลที่รับมอบได้ กล่าวคือ มีอุปกรณ์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่มั่นใจว่าจะใช้กับสื่อบันทึกข้อมูลได้
4. สื่อบันทึกข้อมูลที่ส่งมอบ จะต้องมีข้อความบ่งชี้คุณลักษณะสำคัญข้อมูลภายใน แสดงติดไว้บนสื่อ โดยข้อความดังกล่าว อย่างน้อยต้องระบุถึง ชื่อข้อมูล หน่วยที่ของสื่อ (เช่น แผ่นที่ 3/11 เป็นต้น) และวันที่ส่งมอบ

9. ข้อกำหนดด้านคำอธิบายข้อมูล (Metadata)

คำอธิบายข้อมูล (metadata) สำหรับข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO19115 โดยต้องมีรายการ Metadata ครบตามรายการ core metadata ที่กำหนดในมาตรฐาน ISO19115 ตามรายการที่ 1-23 ในตารางที่ 12 นอกจากนั้นจะต้องมีรายการ metadata ที่อธิบายเนื้อหาของชุดข้อมูล (data content) และคุณภาพของชุดข้อมูล (data quality) ตามตารางที่ 13 และ 14 ด้วย

สำหรับรายการคำอธิบายข้อมูลที่กำหนดให้จัดทำเพิ่มเติม ในระดับแต่ละหมุดหลักฐานแผนที่นั้น กำหนดให้จัดทำเป็นข้อมูลลักษณะประจำของหมุดหลักฐานแผนที่แต่ละหมุดแล้ว

GISTDA©2013

ตารางที่ 12 รายการ Metadata ของชุดข้อมูล FGDS

ที่	รายการ Metadata	ความหมาย	การบังคับ	ชนิดข้อมูล/ค่าโดเมน
1	Dataset title	ชื่อชุดข้อมูล	Mandatory	Free Text
2	Dataset reference date	วันที่อ้างอิงของชุดข้อมูล	Mandatory	Date
3	Dataset responsible party	ผู้รับผิดชอบชุดข้อมูล	Optional	CI_ResponsibleParty
4	Geographic location of the dataset (by four coordinates or by geographic identifier)	พื้นที่ครอบคลุมของข้อมูล (โดยค่าพิกัดมุมล่างซ้าย และค่าพิกัดมุมบนขวาของพื้นที่ครอบคลุม)	Conditional	EX_GeographicExtent
5	Dataset language	ภาษาของชุดข้อมูล	Mandatory	Char (ISO 639-2)
6	Dataset character set	รหัสอักษรของชุดข้อมูล	Conditional	MD_CharacterSetCode
7	Dataset topic category	ประเภทหัวข้อของชุดข้อมูล	Mandatory	MD_TopicCategoryCode
8	Scale of the dataset	มาตราส่วนชุดข้อมูล	Optional	MD_Resolution
9	Abstract describing the dataset	บทคัดย่อซึ่งอธิบายชุดข้อมูล	Mandatory	Char (Free text)
10	Dataset format name	ชื่อฟอร์แมตของชุดข้อมูล	Optional	Char (Free text)
11	Dataset format version	เวอร์ชั่นของฟอร์แมตของชุดข้อมูล	Optional	Char (Free text)
12	Additional extent information (vertical and temporal)	ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับขอบเขตของข้อมูล (ทางดิ่ง ทางเวลา)	Optional	EX_TemporalExtent และ/หรือ EX_VerticalExtent
13	Spatial representation type	ชนิดการบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่	Optional	MD_SpatialRepresentationTypeCode
14	Reference system	ระบบอ้างอิง (ระบบพิกัดอ้างอิง)	Optional	MD_ReferenceSystem
15	Lineage statement	ข้อความบอกความเป็นมาและกระบวนการจัดทำข้อมูล	Optional	Char (Free text)
16	On-line resource	URL ที่เชื่อมโยงไปสู่ข้อมูล	Optional	Char (Free text)
17	Metadata file identifier	รหัสหมายเลข metadata	Optional	Char (Free text)
18	Metadata standard name	ชื่อมาตรฐาน metadata	Optional	Char (Free text)
19	Metadata standard version	เวอร์ชั่นมาตรฐาน metadata	Optional	Char (Free text)
20	Metadata language	ภาษาข้อมูลใน metadata	Conditional	Char (ISO 639-2)
21	Metadata character set	รหัสตัวอักษรของข้อมูลใน metadata	Conditional	MD_CharacterSetCode

GISTDA©2013

ตารางที่ 12 รายการ Metadata ของชุดข้อมูล FGDS

ที่	รายการ Metadata	ความหมาย	การบังคับ	ชนิดข้อมูล/ค่าโดเมน
22	Metadata point of contact	การติดต่อเกี่ยวกับ metadata	Mandatory	CI_ResponsibleParty
23	Metadata date stamp	วันที่ของ metadata	Mandatory	Date
24	Data content [0..*]	เนื้อหาข้อมูล	Mandatory	MD_Content Information (ดูรายละเอียดด้านล่าง)
25	Data quality [0..*]	คุณภาพข้อมูล (สามารถรายงานได้หลายค่าสำหรับ scope และ quality element ที่แตกต่างกัน)	Mandatory	DQ_DataQuality (ดูรายละเอียดด้านล่าง)

ตารางที่ 13 รายการ metadata สำหรับอธิบายเนื้อหาข้อมูล (MD_ContentInformation)

	รายการ Metadata	ความหมาย	การบังคับ	ชนิดข้อมูล
1	MD_FeatureCatalogue Description	ข้อมูลอธิบายสารบัญแฟ้มของรูปลักษณ์ (กรณีข้อมูลแบบเวคเตอร์)	Conditional	รายการที่ 1.1 ถึง 1.5
1.1	complianceCode [0..1]	รหัสที่บอกถึงการได้ตาม ISO19110 ของสารบัญแฟ้มฯ	Optional	Boolean
1.2	language [0..*]	ภาษาที่ใช้ในสารบัญแฟ้มฯ	Optional	CharacterString
1.3	includeWithDataset	รหัสที่บอกว่าสารบัญแฟ้มฯ ได้ถูกใส่รวมไว้ในชุดข้อมูล	Mandatory	Boolean
1.4	featureTypes [0..*]	รายการรูปลักษณ์ข้อมูลในสารบัญแฟ้มฯ ที่ปรากฏในชุดข้อมูล	Optional	GenericName
1.5	featureCatalogueCitation [1..*]	ข้อมูลอ้างอิงของสารบัญแฟ้มฯ ภายนอก	Mandatory	CI_Citation

ตารางที่ 14 รายการ metadata สำหรับอธิบายคุณภาพข้อมูล (DQ_DataQuality)

ที่	รายการ Metadata	ความหมาย	การบังคับ*	ชนิดข้อมูล
1	Data Quality Scope	ขอบเขตของคุณภาพ	Mandatory	DQ_Scope
2	DQ_Element [0..*]	องค์ประกอบคุณภาพข้อมูล (รายงานได้หลายองค์ประกอบฯ)	Mandatory	รายการที่ 2.1 – 2.7
2.1	nameOfMeasure [0..*]	ชื่อตัวชี้วัดคุณภาพข้อมูล	Optional	Char (Free text)

GISTDA 2013

ตารางที่ 14 รายการ metadata สำหรับอธิบายคุณภาพข้อมูล (DQ_DataQuality)

ที่	รายการ Metadata	ความหมาย	การบังคับ*	ชนิดข้อมูล
2.2	measuredIdentification [0..1]	ข้อมูลบ่งชี้ตัวชี้วัดฯ	Optional	MD_Identifier
2.3	measureDescription [0..1]	คำอธิบายตัวชี้วัดฯ	Optional	Char (Free text)
2.4	evaluationMethodType [0..1]	ชนิดของวิธีการประเมินคุณภาพข้อมูล	Optional	DQ_Evaluation MethodTypeCode
2.5	evaluationProcedure [0..1]	กระบวนการประเมินคุณภาพฯ	Optional	CI_Citation
2.6	dateTime [0..*]	วันที่ของคุณภาพข้อมูล	Optional	DateTime
2.7	result [1..2]	ผลการประเมินคุณภาพข้อมูล	Mandatory	DQ_Result

คำอธิบายข้อมูล (metadata) สำหรับข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่นี้ให้จัดทำขึ้นในรูปแบบ XML ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ISO19139

10. การสำรวจนำเข้าข้อมูล (Data capture)

การจัดสร้างหมุดหลักฐานเริ่มจากการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานที่มีความถูกต้องดีที่สุดก่อน โดยระยะห่างระหว่างหมุดมีขนาดใหญ่ จากนั้นจึงขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานให้มีความหนาแน่นมากขึ้นโดยทำงานให้มีความถูกต้องในชั้นงานเดียวกันหรือชั้นงานที่ต่ำกว่า ยกตัวอย่าง หมุดหลักฐานในงานชั้น A ใช้จุดตรึงในโครงข่ายชั้น A หรือชั้น B หรือชั้นต่ำกว่านี้ได้ แต่ไม่สามารถใช้ควบคุมงานชั้น AA ได้ เป็นต้น

10.1 การออกแบบโครงข่ายหมุดหลักฐาน

ในการสร้างหมุดหลักฐานใหม่นั้น โดยปกติแล้ว ต้องเชื่อมโยงหมุดหลักฐานเหล่านี้เป็นโครงข่าย และในงานรังวัดดาวเทียมนิยมสร้างเป็นวงบรรจบ (loop) ที่ต่อเนื่องกัน รวมทั้งต้องเชื่อมโยงกับหมุดหลักฐานเดิมที่รู้ค่าพิกัดตำแหน่งแล้ว หมุดหลักฐานเดิมจะต้องสร้างขึ้นในงานรังวัดที่มีชั้นงานในลำดับเดียวกันหรือสูงกว่างานที่กำลังดำเนินการอยู่ ตารางที่ 15 เป็นข้อแนะนำในการออกแบบโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียมในชั้นงานต่าง ๆ

การทำงานวงรอบเป็นวิธีการทำงานที่มีการวัดมุมหรือทิศทางและระยะทางต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ หมุดหลักฐานของโครงข่ายจากงานนี้ ประกอบกันเป็นรูปหลายเหลี่ยม และสถานีลาปลาสซึ่งเป็นจุดที่มีการวัดค่าอะซิมุทและลองจิจูดทางดาราศาสตร์ ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นในการควบคุมทิศทางของโครงข่ายที่สร้างขึ้นมา การทำงานวงรอบเน้นความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบมากกว่าทางด้านความสูง ความสูงจากการทำงานวงรอบคำนวณโดยใช้หลักการของงานระดับตรีโกณมิติ (trigonometric leveling) จึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น และความสูงนี้ถือว่าเป็นความสูงเหนือทรงรี ถ้าหากต้องการได้ค่าความสูงหรือค่าระดับที่ถูกต้อง ต้องทำระดับแบบค่าต่าง (differential leveling) เข้ามาที่หัวหมุด การทำงานวงรอบในมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ มี 3 ชั้นงานคือ ชั้น 1 ชั้น 2 และชั้น 3 ตามลำดับ

การทำระดับแบบค่าต่าง ใช้กล้องระดับเป็นเครื่องมือในการบอกแนวเล็งในแนวราบของกล้อง และใช้ไม้ระดับวัดความสูงจากหัวหมุดหรือจุดที่ต้องการจนถึงแนวเล็งด้วยวิธีนี้ ค่าระดับจากหมุดที่รู้ค่าแล้วจะถูกถ่ายทอดต่อเนื่องไปในการตั้งกล้องแต่ละครั้ง เช่นเดียวกับการทำงานวงรอบ การทำงานระดับแบบค่าต่างในมาตรฐานชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ มี 3 ชั้นงานคือ ชั้น 1 ชั้น 2 และชั้น 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ข้อแนะนำในการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานในงานรังวัดดาวเทียม

มาตรฐานความถูกต้อง	ชั้นงาน	AA	A	B	1 2 3
	ค่าบรรจบ (ppm)	0.01	0.1	1.0	10 50 100
	ค่าฐาน (มม.)	3	5	8	10 30 50
จำนวนหมุดหลักฐานทางราบเดิมที่ใช้ตรึงโครงข่าย (น้อยที่สุด)					
เมื่อใช้หมุดหลักฐานของชั้นงาน AA A หรือ B [3]		4	3	3	2
เมื่อใช้หมุดหลักฐานของชั้นงาน 1		N.A.	N.A.	N.A.	3
เมื่อใช้หมุดหลักฐานของชั้นงาน 2 หรือ 3		N.A.	N.A.	N.A.	4
จำนวนหมุดหลักฐานทางดิ่งเดิมที่ใช้ตรึงโครงข่าย (น้อยที่สุด)		5	5	5	4
จำนวนสถานีที่รับสัญญาณต่อเนื่อง		4	3	2	optional
ระยะห่างระหว่างหมุด (กิโลเมตร)					
ระหว่างหมุดหลักฐานเดิมกับจุดศูนย์กลางโครงการ					
ไม่มากกว่า		100d	10d	7d	5d
จำนวนครึ่งหนึ่งไม่น้อยกว่า		$\sqrt{5d}$	$\sqrt{5d}$	$\sqrt{5d}$	d/5
ระหว่างหมุดหลักฐานเดิมที่อยู่นอกขอบเขตโครงการกับเส้นขอบโครงการ ไม่มากกว่า		3000	300	100	50
ตำแหน่งหมุดหลักฐานของโครงข่ายเทียบกับจุดศูนย์กลางโครงการ อยู่ในควอแดรนท์ไม่น้อยกว่า		4	4	3	3
การรังวัดเส้นฐานระหว่างหมุด (ทั้งหมุดหลักฐานเดิมและใหม่) ควรกระทำเมื่อระยะน้อยกว่า หน่วยกิโลเมตร		30	30	10	5

หมายเหตุ d เป็นระยะทางที่มากที่สุดระหว่างจุดศูนย์กลางโครงการกับหมุดใด ๆ ที่สร้างใหม่ของโครงการ

N.A. คือ ไม่ใช้ (Not Applicable)

หมุดหลักฐานเดิมในชั้นงานที่ต่ำกว่าไม่สามารถนำมาตรึงโครงข่ายของชั้นงานที่สูงกว่าได้ ตัวอย่างเช่นต้องการสร้างโครงข่ายชั้น A หมุดหลักฐานเดิมที่นำมาตรึงโครงข่ายที่สร้างขึ้นต้องเป็นหมุดหลักฐานจากชั้นงาน AA หรือ A จำนวน 3 หมุดเท่านั้น

คำแนะนำในตารางนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยตามที่เห็นสมควร ทั้งนี้ต้องได้รับการอนุมัติจากผู้ว่าจ้างในการทำงาน

[3] การเลือกใช้หมุดหลักฐานฯ ที่ใช้ตรึงโครงข่ายต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 10.1

GISTDA©2013

10.2 เครื่องมือในงานรังวัดดาวเทียม

10.2.1 ชนิดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบนำหนหรือพกพา (navigation or handheld receiver) และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรังวัด (surveying or geodetic receiver) ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองชนิด มีรายละเอียด ดังนี้

10.2.1.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบนำหน

เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดที่ใกล้เคียงกับโทรศัพท์มือถือ ซึ่งสามารถพกพาได้อย่างสะดวก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกว่า Handheld โดยเครื่องรับสัญญาณชนิดนี้จะใช้หลักการของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมบูรณ์โดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์มาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดตำแหน่ง โดยจะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับ 10-20 เมตร และเครื่องรับสัญญาณชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูกและใช้งานง่าย รวมทั้งมีหลากหลายยี่ห้อสำหรับการเลือกซื้อ ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวันและงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องที่สูงมากนัก เช่น งานเก็บตัวอย่างข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (remote sensing) งานเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับฐานข้อมูล GIS และงานนำชี้ตำแหน่งแปลงที่ดิน เป็นต้น

10.2.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรังวัด

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรังวัดแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ***เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบความถี่เดียว (single frequency receiver)***

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบความถี่เดียว เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่รับสัญญาณดาวเทียม GPS โดยการวัดคลื่นส่งที่ความถี่ L_1 ได้เพียงความถี่เดียวเท่านั้น ซึ่งเครื่องรับชนิดนี้มีราคาถูกกว่าเครื่องรับแบบสองความถี่ เมื่อนำข้อมูลดาวเทียมความถี่เดียวมาประมวลผลแบบเฟสของคลื่นส่ง จะให้ค่าความถูกต้องที่น้อยกว่าการประมวลผลในแบบเดียวกันโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมแบบสองความถี่ (L_1 และ L_2)

2. ***เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบสองความถี่และหลายระบบดาวเทียมนำหน (dual-frequency receiver and multi-GNSS receiver)***

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบสองความถี่ เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่รับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ที่ความถี่ L1 และ L2 ในปัจจุบัน เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ได้ถูกพัฒนาให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสความถี่ L5 รวมทั้งสามารถรับสัญญาณดาวเทียมในระบบอื่น เช่น ระบบ GLONASS หรือ ระบบ GALILEO ได้อีกด้วย ดังนั้นถ้าจะให้ถูกต้องจึงควรเรียกว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส (GNSS)

10.2.2 เสาอากาศหรือจานรับสัญญาณดาวเทียม

เสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต โดยทั่วไปแล้วเสาอากาศจะแบ่งออกเป็นเสาอากาศภายในที่อยู่รวมกับเครื่องรับสัญญาณ

GISTDA©2013

ดาวเทียม และเสาอากาศแบบภายนอกที่ต้องใช้สายสัญญาณเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณ โดยปกติเสาอากาศแบบภายนอกมักจะใช้ในงานรังวัดที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง เนื่องจากเสาอากาศแบบภายนอกจะป้องกันคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ หรือเรียกว่า คลื่นสะท้อน (multi-path) ได้ดีกว่าเสาอากาศภายใน นอกจากนี้สำหรับสถานีฐานถาวรจีพีเอสซึ่งต้องการความละเอียดถูกต้องสูงในระดับมิลลิเมตร เช่น งานเฝ้าติดตามการเคลื่อนตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกหรือสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ และการให้บริการสำหรับการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน เป็นต้น มักจะใช้เสาอากาศภายนอกที่มีอุปกรณ์เสริม choke ring ติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อการขจัดคลื่นสะท้อนให้หมดไป อีกทั้งในปัจจุบันยังมีการวัดสอบการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ (calibration of antenna phase center offset and variation) เพื่อทราบค่าคลาดเคลื่อนการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศที่แน่นอน โดยมีการวัดสอบ 2 วิธี คือ การวัดสอบเสาอากาศแต่ละอันที่จะนำมาติดตั้ง (individual calibration) และการวัดสอบที่ระบุเพียงชนิดของเสาอากาศ (type calibration) โดยการวัดสอบวิธีแรกจะแม่นยำกว่าแต่จะมีค่าใช้จ่ายที่แพงกว่าวิธีที่สอง

10.3 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบสัมพัทธ์ (Differential or relative GPS positioning)

การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์เป็นการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะวางอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เช่น หมุดหลักฐานกรมแผนที่ทหาร หรือหมุดหลักฐานกรมที่ดิน เป็นต้น ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ผลที่ได้จากการทำงานในลักษณะนี้คือตำแหน่งเปรียบเทียบของจุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่ง หรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับทั้งสองไปตั้งรับสัญญาณ วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับข้อมูลซูโดเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัด การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์โดยใช้ซูโดเรนจ์เรียกว่า Differential GPS หรือ DGPS ให้ค่าความถูกต้อง 1-5 เมตร แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการวัดที่ใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเท่านั้น เนื่องจากจะให้ค่าความถูกต้องสูง (ระดับเป็น เซนติเมตรหรือ มิลลิเมตร) และซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลดังกล่าว ใช้งานง่ายและมักได้รับมาพร้อมกับชุดเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัด ซึ่งการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งมาคำนวณหาค่าพิกัดนั้นจะใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดเท่านั้น โดยมีหลักการทำงานคือ สามารถคำนวณย้อนกลับไปหาขนาดของค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลซูโดเรนจ์จากดาวเทียมแต่ละดวงได้เนื่องจากการทราบค่าพิกัดสถานีฐาน (ค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะเป็นผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรและนาฬิกาดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น) วิธีการรังวัดในสนามของเทคนิคการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ดังนี้

10.3.1 การรังวัดแบบสถิต (Static survey)

วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูกวางไว้บนหมุดที่รู้หรือสมมุติว่ารู้ค่าพิกัดแล้วเรียกว่า สถานีฐาน (base station) ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือสถานีจร (roving station) วิธีนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองสถานีจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปไม่น้อยกว่า 1-2 ชั่วโมง วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด

การใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์มาประมวลผลจะให้ค่าความถูกต้องตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร)

10.3.2 การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic survey)

การรังวัดแบบจลน์หมายถึงวิธีการหาตำแหน่งในขณะที่เครื่องรับสัญญาณเคลื่อนที่ การรังวัดแบบจลน์พัฒนามาจากการรังวัดแบบสถิต เป็นวิธีการที่ทำให้หาตำแหน่งของจุดจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วโดยมีความถูกต้องถึงเซนติเมตร ในการรังวัดแบบจลน์ เครื่องรับเครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้ที่สถานีฐานตลอดเวลา ส่วนอีกเครื่องหนึ่งซึ่งเรียกว่า เครื่องรับจร (rover) จะนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเพียงชั่วระยะเวลาสั้น ๆ (1-2 นาที) เท่านั้น แล้วก็เคลื่อนย้ายไปยังจุดถัดไป วิธีการนี้เรียกว่า "stop and go kinematic" หรืออีกวิธีหนึ่งเป็นการติดตั้งเสาอากาศไว้บนยานพาหนะแล้วเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ซึ่งเรียกว่า "continuous kinematic" วิธีการทั้งสองมีหลักการคำนวณตำแหน่งที่เหมือนกัน มีข้อแตกต่างตรงที่ "continuous kinematic" จะบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ และสามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งได้ทุก ๆ จุด ที่มีการบันทึกข้อมูลไว้ สำหรับ "stop and go kinematic" แม้ว่าจะมีการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกันแต่จะนำเอาเฉพาะข้อมูลในขณะหยุดอยู่กับที่เท่านั้นมาคำนวณตำแหน่งและนำค่ามาเฉลี่ยกัน

การรังวัดแบบจลน์แม้จะหาค่าพิกัดได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดในการทำงานที่ทำให้ยุ่งยากและลำบากต่อการทำงานได้แก่ วิธีการเริ่มงาน (initializing a survey) และต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ไม่น้อยกว่า 4 ดวงตลอดเวลาแม้แต่ในขณะที่กำลังเคลื่อนย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

10.3.3 การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid static survey)

วิธีการทำงานของวิธีนี้เหมือนกับวิธีการรังวัดแบบสถิตทุกประการ เพียงแต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณจะสั้นลงเหลือประมาณ 10-20 นาที วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องระหว่าง 1-3 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

10.3.4 การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real-time kinematic survey)

วิธีการนี้มักถูกเรียกโดยย่อว่า RTK ซึ่งหลักการทำงานของวิธีการรังวัดหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลน์ในทันทีนั้นคล้ายคลึงกับวิธีการแบบจลน์ คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด แต่กรณีของวิธีการหาค่าพิกัดแบบจลน์ในทันทีนั้นเครื่องรับสัญญาณมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับทั้งสอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่างๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง และเครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น วิธีการนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

การรังวัดแบบจลน์ในทันทีที่ใช้ระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส (network-based RTK) มีหลักในการทำงานคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที แต่แตกต่างกันที่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องขอรหัสผู้ใช้ (user name) จากผู้ให้บริการระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส (ซึ่งในประเทศไทยให้บริการโดยกรม

ที่ดิน) โดยที่ผู้ใช้งานใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวไปวางตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดภายในพื้นที่ระบบเครือข่ายสถานีฐานฯ วิธีการนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตรเช่นกัน

รายละเอียดเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบต่าง ๆ สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 16 ต่อไปนี้

ตารางที่ 16 สรุปรายละเอียดเทคนิคการรังวัดหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส

วิธีการที่ใช้	อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงาน	วิธีการทำงานในสนาม	ค่าความถูกต้องที่ได้รับ
Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 1-2 ชั่วโมง และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	5 มม. - 2.5 ซม.
Rapid Static	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	ตั้งเครื่องรับทั้งสองอยู่กับที่ 10-20 นาที และในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง	1-3 ซม.
Kinematic	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดความถี่เดียวหรือหลายความถี่	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ แต่ต้อง initialize ประมาณ 5-10 นาที และในระหว่างทำงานต้องสามารถรับดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง	1-5 ซม.
RTK	เครื่องรับแบบรังวัดชนิดหลายความถี่เท่านั้นและอุปกรณ์สื่อสาร ใช้ได้ทั้งเครื่องรับส่งวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ	สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปตามจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดได้ แต่ต้องรอจุดละประมาณ 1-2 นาที โดยในระหว่างทำงานต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 5 ดวง และต้องรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานได้	1-5 ซม.

การจัดสร้างหมุดหลักฐานแผนที่ในมาตรฐานข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ฉบับนี้ กำหนดให้ใช้การรังวัดแบบสถิตเป็นวิธีหาค่าพิกัดของหมุดหลักฐานเท่านั้น เพราะเป็นวิธีการที่ให้ความถูกต้องสูงที่สุด ข้อแนะนำในการทำงานสนามของงานรังวัดดาวเทียม GPS แสดงไว้ในตารางที่ 17 โดยรายละเอียดของวิธีการทำงานและชั้นงานโดยสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก FGCC (1989)

ตารางที่ 17 ข้อแนะนำในการทำงานภาคสนามของงานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS

มาตรฐานการทำงาน	ชั้นงาน	AA	A	B	1 2 3
	ค่าบรรจบ (ppm)	0.01	0.1	1.0	10 50 100
	ค่าฐาน (มม.)	3	5	8	10 30 50
ต้องใช้เครื่องรับแบบสองความถี่ สำหรับการทำงานตอนกลางวัน [ก]		ใช่	ใช่	ใช่	optional
จำนวนเครื่องรับที่ใช้ทำงานร่วมกัน ไม่น้อยกว่า		5	5	4	3

ตารางที่ 17 ข้อแนะนำในการทำงานภาคสนามของงานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS

มาตรฐานการทำงาน	ชั้นงาน	AA	A	B	1 2 3
	ค่าบรรจบ (ppm)	0.01	0.1	1.0	10 50 100
	ค่าฐาน (มม.)	3	5	8	10 30 50
การรับสัญญาณดาวเทียม					
เวลาการรับสัญญาณในแต่ละคาบการทำงาน ไม่น้อยกว่า (นาที)					
การทำงานโดยทั่วไป (ข)		240	240	120	30-60
รับสัญญาณต่อเนื่อง พร้อมกัน 100% ทุกเครื่อง (ค)		180	120	60	20-30
อัตราเร็วการบันทึกข้อมูล (วินาที)		15	30	30	15-30
จำนวนควอแดรนท์ที่มีดาวเทียมรับสัญญาณได้ ไม่น้อยกว่า		4	4	3	3 หรือ 2 (ง)
มุมสูงสุดเหนือเส้นขอบฟ้า ที่มีสิ่งกีดขวาง (องศา)		10	15	20	20-40
จำนวนครั้งที่ตั้งเครื่องรับซ้ำหมุดเดิม (จ)					
เมื่อตั้ง 3 ครั้งหรือมากกว่า (% ที่ทุกหมุดรับได้ไม่น้อยกว่า)		80	40	20	10
เมื่อตั้ง 2 ครั้งหรือมากกว่า (% ที่หมุดรับได้ไม่น้อยกว่า)					
- หมุดหลักฐานใหม่		100	80	50	30
- หมุดหลักฐานทางดิ่ง		100	100	100	100
- หมุดหลักฐานทางราบ		100	75	50	25
สถานีที่เป็นโครงข่าย IGS					
- ต้องมี		ใช่	ใช่	ใช่	optional
- ถ้าใช่ จำนวนสถานีน้อยที่สุด		4	3	2	-
วงบรรจบสำหรับการวิเคราะห์ผล					
- เส้นฐานจากการรังวัดต่างคาบ ไม่น้อยกว่า		3	3	2	2
- จำนวนเส้นฐานในแต่ละวงบรรจบ ไม่มากกว่า		6	8	10	10
- ความยาววงบรรจบ ไม่มากกว่า (กิโลเมตร)		2000	300	100	100
การตั้งวางเสาอากาศ					
- จำนวนครั้งของการวัดความสูงเสาอากาศ		3 (ฉ)	3 (ฉ)	2	2
การวัดภูมิอากาศ					
- จำนวนครั้งต่อคาบการทำงาน ไม่น้อยกว่า		3 (ช)	3 (ช)	2 (ช)	2 (ช) หรือ optional
- ความถี่ระหว่างการวัด ไม่มากกว่า (นาที)		30	30	60	60

หมายเหตุ

(ก) เมื่อระยะห่างระหว่างหมุดในขณะรับสัญญาณดาวเทียมมากกว่า 50 กิโลเมตร ควรใช้เครื่องรับแบบสองความถี่ในการทำงานชั้น 2 หรือสูงกว่า

(ข) เวลาในการรับสัญญาณ เป็นค่าที่ประกันว่าผลการรังวัดจะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการ

(ค) ค่าวิกฤติต่ำสุดสำหรับการรับสัญญาณในหนึ่งคาบการทำงานที่รับสัญญาณพร้อมกันและต่อเนื่อง การรับสัญญาณต่อเนื่องหมายถึงไม่มีการขาดหายของสัญญาณหรือที่เรียกว่าคลื่นหลุด (cycle slip) ของดาวเทียมทุกดวง การขาดหายของสัญญาณเพียงชั่วขณะเนื่องจากสิ่งกีดขวางที่เกิดกับดาวเทียมบาง

GISTDA © 2013

ตารางที่ 17 ข้อแนะนำในการทำงานภาคสนามของงานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS

มาตรฐานการทำงาน	**ชั้นงาน**	AA	A	B	1	2	3
	ค่าบรรจบ (ppm)	0.01	0.1	1.0	10	50	100
	ค่าฐาน (มม.)	3	5	8	10	30	50

ดวง อาจยอมรับได้ถ้ามีข้อมูลร่วมกับจุดอื่นไม่น้อยกว่า 75%

(ง) ดาวเทียมควรโคจรผ่านควอแดรนท์ตรงข้ามในแนวทะแยง

(จ) การตั้งเครื่องรับซ้ำตั้งแต่สองครั้งขึ้นไป ช่วยให้ตรวจหาความคลาดเคลื่อนส่วนบุคคลและที่เกิดจากเครื่องมือได้ (personal and instrumental errors)

การตั้งเครื่องรับซ้ำในคาบการทำงานที่ต่อเนื่องกัน ผู้รังวัดจะต้องจัดวางสามขา (tripod) และเสาอากาศใหม่

(ฉ) การวัดกระทำตอนเริ่มรับสัญญาณ กลางคาบการทำงาน และตอนท้ายของการรับสัญญาณ

(ช) วัดความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิอากาศ เมื่อเริ่มรับสัญญาณ กลางคาบการทำงาน และตอนท้ายของการรับสัญญาณ หรือขึ้นกับระยะเวลาในการรับสัญญาณ

(ซ) รายงานเฉพาะ เมื่อสภาพอากาศไม่ปกติ เช่น มีพายุพัดผ่าน ค่าที่ต้องวัดคือ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิอากาศ

10.4 เครื่องมือในงานรังวัดภาคพื้นดิน

วิธีการรังวัดภาคพื้นดินที่ใช้จัดทำหมุดหลักฐานแผนที่ (ทางราบ) ในปัจจุบันมีเพียงวิธีเดียว คือ งานวงรอบ (traversing) เป็นงานรังวัดควบคุม (control survey) ที่ประกอบด้วยเส้นที่มีการวัดทั้งระยะทางและทิศทางต่อเนื่องกันไป เครื่องมือที่ใช้ในการวัดทิศทางหรือวัดมุม คือกล้องวัดมุม (theodolite) ปัจจุบันจะเป็นกล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic theodolite) ส่วนการวัดระยะจะใช้เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (electronic distance measuring instrument) เครื่องมือที่รวมกล้องวัดมุมแบบอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ไว้ในเครื่องเดียวกันรู้จักกันในชื่อของ กล้องแบบสถานีรวม (total station)

10.5 เทคนิคในการทำงานวงรอบ

ความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดหลักฐานแผนที่ ที่ได้จากการทำงานวงรอบจัดอยู่ในงานชั้น 1, 2 และ 3 เท่านั้น ข้อแนะนำในการทำงานภาคสนามตามวิธีการทำงานวงรอบให้ไว้ในตารางที่ 18

GISTDA©2013

ตารางที่ 18 ข้อแนะนำในการทำงานสนามของงานวงรอบ

มาตรฐานการทำงาน	งานชั้น 1	งานชั้น 2	งานชั้น 3
ระยะห่างระหว่างหมุด (กิโลเมตร)	10-15	2-4	0.1 หรือ มากกว่า
การวัดทิศทางหรือมุมราบ			
- ความละเอียดของกล้องวัดมุม (พิลิปดา)	0.2	0.2 1	1
- จำนวนชุด (วัดทั้งหน้าซ้ายและหน้าขวา)	16	6-8 8-12	2-4
- ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ไม่เกิน (พิลิปดา)	0.4	0.5 0.8	2.0
- คัดทิ้งเมื่อต่างจากค่าเฉลี่ย มากกว่า (พิลิปดา)	4	4 5	5
การวัดระยะ			
- ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	1:600,000	1:120,000	1:30,000
การวัดมุมดิ่งแบบสอบกลับ (reciprocal)			
- จำนวนชุดและการกระจายค่าระหว่างค่าวัด	3 ชุด 10"	2 ชุด 10"	2 ชุด 20"
- จำนวนหมุดระหว่างหมุดระดับที่รู้ค่า	4-6	6-10	10-20
การวัดอะซิมุททางดาราศาสตร์			
- จำนวนเส้นวงรอบระหว่างเส้นตรวจสอบอะซิมุท	5-6	10-20	20-40
- จำนวนชุดต่อคืน	16	12-16	4-8
- จำนวนคืน	2	1-2	1
- ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (พิลิปดา)	0.45	0.45-1.5	3-8
- ค่าบรรจบของอะซิมุทตรวจสอบ ไม่เกิน	1" ต่อหมุด หรือ $2"\sqrt{N}$	2" ต่อหมุด หรือ $8"\sqrt{N}$	8" ต่อหมุด หรือ $30"\sqrt{N}$
การบรรจบของตำแหน่งหลังการปรับแก้อะซิมุท	$0.04m\sqrt{K}$ หรือ 1:100,000 หรือ 10 ppm	$0.2m\sqrt{K}$ หรือ 1:20,000 หรือ 50 ppm	$0.8m\sqrt{K}$ หรือ 1:5,000 หรือ 200 ppm

หมายเหตุ
(ก) N เป็นจำนวนเส้นวงรอบ และ K เป็นความยาวเส้นวงรอบทั้งหมดหน่วยเป็นกิโลเมตร
(ข) การตรวจสอบการบรรจบที่มีอยู่ 2 สูตรนั้น ให้ค่าที่น้อยกว่าเป็นค่าตรวจสอบ

10.6 เครื่องมือและเทคนิคในการทำงานระดับ

งานระดับแบบค่าต่าง (differential leveling) เป็นวิธีการวัดค่าต่างระดับระหว่างจุดที่วางไม้ระดับใกล้เคียงกันสองจุด ใช้สำหรับการสร้างหมุดระดับ การสร้างหมุดระดับในโครงการใหม่จะต้องโยงยึดโครงข่ายใหม่กับหมุดระดับเดิมทั้งตอนเริ่มงานและเสร็จงานแล้ว ในการทำงานชั้น 1 ต้องเชื่อมโยงกับหมุดระดับเดิมข้างละ 3 หมุดรวมเป็น 6 หมุด ในงานชั้นสองและต่ำกว่าจะเชื่อมโยงกับหมุดระดับเดิมข้างละ 2 หมุดรวมเป็น 4 หมุด ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าค่าต่างระดับที่วัดได้สอดคล้องกับค่าหมุดระดับของโครงข่ายที่ปรับแก้ไว้เดิม ข้อแนะนำในการทำงานสนามตามวิธีการทำงานระดับแบบค่าต่าง ให้ไว้ในตารางที่ 19

GISTDA©2013

ตารางที่ 19 ข้อแนะนำในการทำงานสนามของงานระดับแบบค่าต่าง (differential leveling)

มาตรฐานการทำงาน	งานชั้น 1	งานชั้น 2	งานชั้น 3
ระยะห่างระหว่างหมุดระดับ ไม่มากกว่า (กิโลเมตร)	100-300	50	25
กล้องระดับ			
มีไมโครมิเตอร์และสายใยสามสาย	ใช่	ใช่	มีสามสายใย
ไม้ระดับแบบอินวาร์	ใช่	ใช่	ไม้หรือโลหะ
ความละเอียดในการวัด (มิลลิเมตร)	0.1	0.5-1.0	1.0
วิธีการวัด			
ความยาวตอนระดับ (section) (กิโลเมตร)	1-2	1-3	ไม่เกิน 3
ระยะเล็งสูงสุด (เมตร)	60	70	90
ค่าต่างระยะเล็งไม้หลังและไม้หน้า สูงสุด (เมตร)			
สำหรับการตั้งกล้องแต่ละครั้ง	5	10	10
สำหรับตอนการระดับ	10	10	10
ความคลาดเคลื่อนการบรรจบสูงสุด			
ตอนระดับ (ไป-กลับ)	$\pm 4mm\sqrt{K}$	$\pm 8mm\sqrt{K}$	$\pm 12mm\sqrt{K}$
เส้นระดับระหว่างหมุด	$\pm 5mm\sqrt{K}$	$\pm 8mm\sqrt{K}$	$\pm 12mm\sqrt{K}$

หมายเหตุ

(ก) การตรวจสอบการบรรจบของการทำงานระดับที่เป็นเส้นระหว่างจุด เช่นการแบ่งเป็นตอนระดับนั้น จะต้องมีการเดินระดับขาไปและขากลับมาเปรียบเทียบกัน

(ข) ค่า K เป็นความยาวของตอนระดับ หรือ เส้นระดับ (ขาเดียว) หน่วยเป็นกิโลเมตร

10.7 การหาค่าระดับด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS Leveling)

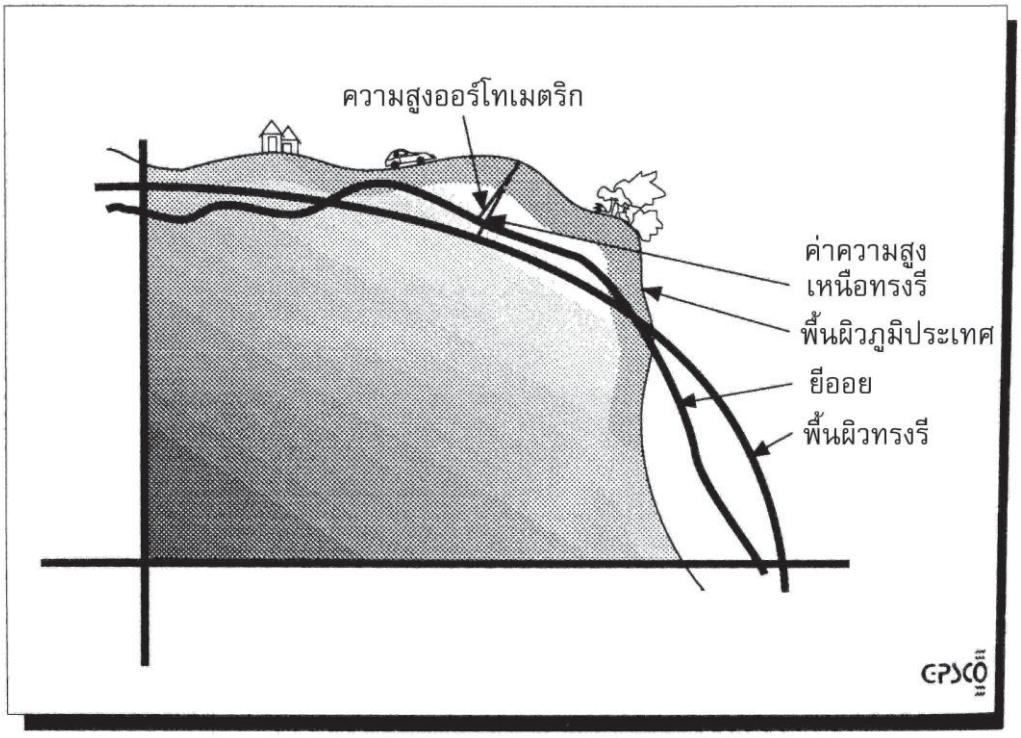
งานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันโดยเฉพาะงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูง เนื่องจากงานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสมีข้อได้เปรียบงานรังวัดภาคพื้นดินอยู่หลายประการ เช่น สามารถทำงานได้ในทุกสภาพอากาศและตลอด 24 ชั่วโมง สะดวกรวดเร็ว ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องการมองเห็นกันระหว่างสถานี เป็นต้น นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังเป็นค่าพิกัดในสามมิติ ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จึงถือเป็นผลพลอยได้จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีผลงานวิจัยหลายเรื่องที่ประยุกต์ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในการหาค่าระดับ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเอาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสมาใช้ในการหาค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางที่มีความถูกต้องระดับเซนติเมตรได้

10.7.1 หลักการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการแบบสถิตในงานรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสนั้นให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูงมาก วิธีการดังกล่าวจึงเป็นที่นิยมแพร่หลายในงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่สูง โดยทั่วไปค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจะดีกว่าทางดิ่งประมาณ 2-3 เท่า (Rizos, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานรังวัดดาวเทียมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในงานสำรวจรังวัดเพื่อสร้างควบคุมทาง

GISTDA©2013

ราบ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการแบบสถิตด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยทั่วไปสามารถให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบอยู่ที่ระดับ 1 part per million (ppm) และทางดิ่งอยู่ที่ระดับประมาณ 1-2 ppm (Ayhan, 1993) ถึงแม้จะดูเหมือนว่าการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสจะสามารถให้ค่าความถูกต้องของพิกัดทางดิ่งสูง แต่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้ก็ยังไม่ใช่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้กันในงานทางวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป ทั้งนี้เนื่องจากค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จากจีพีเอสนั้นยังเป็นค่าพิกัดทางดิ่งที่อ้างอิงอยู่กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิงหรือที่เรียกโดยย่อว่าความสูงเหนือทรงรี (ellipsoidal height) ในขณะที่ค่าความสูงที่ใช้กันในงานทางวิศวกรรมนั้นอ้างอิงอยู่กับระดับน้ำทะเลปานกลางหรือพื้นผิวยีออยด์ซึ่งเรียกโดยย่อว่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (height above mean sea level) หรือความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงทั้งสองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรงรีและความสูงออร์โทเมตริก
(เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการที่จะแปลงค่าความสูงเหนือทรงรีมาเป็นค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางหรือความสูงออร์โทเมตริกนั้นจำเป็นจะต้องทราบค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรงรีและพื้นผิวยีออยด์ (Geoid-ellipsoid separation) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกโดยย่อว่า ‘N’ ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับว่าความสูงเหนือทรงรีและความสูงออร์โทเมตริกสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$h = H+N$$

โดยที่ h คือ ค่าความสูงเหนือผิวทรงรี, H คือ ค่าความสูงออร์โทเมตริก และ N คือ ค่าต่างระหว่างพื้นผิวทรงรีและพื้นผิวยีออยด์

จากสมการข้างต้นจะพบว่าค่าความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกนั้นขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของค่าความสูงเหนือทรงรีที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสและค่าความถูกต้องของการหาค่า N จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะหาค่าความสูงเหนือทรงรีที่ถูกต้องในระดับ 1-2 ppm จากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ดังนั้นค่าความถูกต้องของค่า N จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส

10.7.2 แนวทางการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสในประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการนำเอาข้อมูลความถ่วงมาใช้ในการสร้างแบบจำลองยีออยด์ของท้องถิ่น (Local geoid model) ดังนั้นการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสในประเทศไทยจึงต้องอาศัยการใช้แบบจำลองยีออยด์ของพิภพ (Global geoid model) มาช่วย ปัจจุบันมีแบบจำลองยีออยด์ของพิภพที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ EGM1996 และ EGM2008 อย่างไรก็ดีแบบจำลองดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์อยู่ในระดับเมตรและเดซิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความถูกต้องในระดับเซนติเมตร ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องที่ดีขึ้นจำเป็นต้องประยุกต์ใช้แบบจำลองยีออยด์ของพิภพมาหาค่า N เชิงสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการหาค่าระดับจากงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองยีออยด์ของพิภพมาหาค่า N เชิงสัมพัทธ์ ได้เป็น 2 ลักษณะคือ วิธีการคำนวณแบบโครงข่าย และวิธีการคำนวณแบบเส้นฐาน แต่ละลักษณะมีรายละเอียดดังนี้

<u>วิธีการคำนวณแบบโครงข่าย</u>

หลักการของวิธีการนี้จะทำการคำนวณเส้นฐานจีพีเอสแล้วนำมาประกอบกันเป็นโครงข่าย โดยที่จะต้องมีหมุดในโครงข่ายจำนวนหนึ่งที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

- คำนวณค่า N ของหมุดในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยแบบจำลองยีออยด์ของพิภพ
- คำนวณค่าความสูงเหนือทรงรีของหมุดในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยนำค่า N ที่คำนวณได้มาบวกกับค่าความสูงออร์โทเมตริก
- ทำการปรับแก้โครงข่ายโดยกำหนดให้หมุดในโครงข่ายที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก (แต่ให้ใช้ค่าความสูงเหนือทรงรีที่คำนวณได้เป็นค่าโยงยึด) เป็นจุดโยงยึดทางดิ่ง (Fixed point only in height component) ซึ่งผลจากการปรับแก้โครงข่ายจะทำให้ค่าพิกัดทางดิ่งของหมุดทุกหมุดในโครงข่ายมีค่าความสูงเหนือทรงรี
- คำนวณค่า N ของหมุดทุกหมุดในโครงข่ายด้วยแบบจำลองยีออยด์ของพิภพแล้วนำค่า N ที่ได้มาทอนค่าความสูงเหนือทรงรีของทุกหมุดเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก

<u>วิธีการคำนวณแบบเส้นฐาน</u>

หลักการของวิธีการนี้จะทำการคำนวณเส้นฐานจีพีเอสทีละเส้น โดยที่จะต้องทราบค่าความสูงออร์โทเมตริกที่จุดปลายของเส้นฐาน 1 จุด ซึ่งวิธีการนี้เหมือนกับการทำระดับด้วยกล้องระดับ ขั้นตอนการคำนวณนั้นคล้ายคลึงกับวิธีการคำนวณแบบโครงข่ายมาก โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- คำนวณค่า N ของจุดปลายของเส้นฐานที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก ด้วยแบบจำลองยีออยด์ของพิภพ

GISTDA©2013

- คำนวณค่าความสูงเหนือทรงรีของจุดปลายของเส้นฐานที่ทราบค่าความสูงออร์โทเมตริก โดยนำค่า N ที่คำนวณได้มาบวกกับค่าความสูงออร์โทเมตริก
- ทำการคำนวณค่าความสูงเหนือทรงรีของจุดปลายเส้นฐานอีกจุดหนึ่งโดยนำค่าต่างพิกัดทางดิ่งที่คำนวณได้ (Δh) (ผลจากการประมวลผลเส้นฐานจะได้ค่าต่างพิกัดทั้งสามมิติ คือ $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ และ Δh) มาบวกกับค่าความสูงเหนือทรงรีของจุดที่ทราบค่า
- คำนวณค่า N ของจุดปลายเส้นฐานทั้งสองด้วยแบบจำลอง EGM96 แล้วนำค่า N ที่ได้มาทอนค่าความสูงเหนือทรงรีของจุดปลายเส้นฐานทั้งสองเป็นค่าความสูงออร์โทเมตริก

11. การบำรุงรักษาข้อมูล (Data maintenance)

ข้อพิจารณา และแนวทางในการบำรุงรักษาชุดข้อมูล FGDS ชั้นข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่สามารถสรุปได้ดังนี้

- เพิ่มเติมข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ที่ได้มีการสำรวจจัดทำขึ้นใหม่
- ลบข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ที่ถูกรื้อถอนทำลายไป
- ปรับปรุงแก้ไขข้อมูลหมุดหลักฐานแผนที่ที่มีการย้ายตำแหน่ง หรือเปลี่ยนแปลงสภาพของหมุดที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลลักษณะประจำของหมุดนั้น
- ปรับปรุงค่าพิกัดเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของระบบพิกัดอ้างอิง หรือในกรณีที่มีการปรับปรุงระบบหมุดหลักฐานแผนที่ระดับประเทศ

12. การนำเสนอถ่ายทอดข้อมูล (Portrayal)

หมุดหลักฐานแผนที่เป็นข้อมูลจุด การนำเสนอบนแผนที่ใช้สัญลักษณ์ ดังนี้

- หมุดหลักฐานทางราบ □
- หมุดหลักฐานทางดิ่ง ○
- หมุดหลักฐานสามมิติ △

13. รายการเอกสารอ้างอิง

Ayhan, M.E., 1993. **Geoid determination in Turkey (TG-91)**, Bulletin Geodesique, 67, 10-22.

Federal Geodetic Control Committee (FGCC), 1989. **Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques**.

GISTDA © 2013

Inter-Governmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), 2007. **Standards and Practices for Control Surveys (SP1) Version 1.7** ICSM Publication No. 1

Rizos, C., 1997. **Principles and Practice of GPS Surveying**, Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 555pp.

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2537. **ยีออเดซี** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2555. **ความสำคัญของการใช้ชุดพารามิเตอร์การแปลงพื้นหลักฐานที่สอดคล้องกับชุดของค่าพิกัดอ้างอิง** บทความอยู่ในระหว่างการเสนอตีพิมพ์ วารสารวารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546. **การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น (แปลและเรียบเรียง)**, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 156 หน้า.

พุทธิพล ดำรงชัย และ ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2554. “โครงการสร้างแบบจำลองยีออยด์ท้องถิ่นสำหรับประเทศไทย” รายงานความก้าวหน้าโครงการ สำนักงานคณะกรรมกรรมการอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร

GISTDA © 2013

ภาคผนวก ก
ระบบพิกัดอ้างอิง (Reference coordinate system)

ระบบพิกัดอ้างอิงขึ้นอยู่กับพื้นผิวอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณงานรังวัด ซึ่งเรียกว่า พื้นหลักฐานทางยีออเดซี นอกจากนี้รูปแบบของค่าพิกัดยังแตกต่างกันได้อีกสามรูปแบบ การเลือกใช้ระบบพิกัดอ้างอิงจึงขึ้นกับพื้นหลักฐานและรูปแบบของค่าพิกัด ดังต่อไปนี้

ก.1 พื้นหลักฐานทางยีออเดซี

พื้นหลักฐานทางยีออเดซี หรือ เรียกอีกชื่อหนึ่ง พื้นหลักฐานแผนที่ เกิดขึ้นจากการคำนวณหรือการกำหนดตำแหน่งที่ได้จากการทำงานรังวัดจำเป็นต้องมีพื้นผิวอ้างอิงสำหรับการคำนวณ และเพื่อให้ตำแหน่งที่คำนวณได้มีความถูกต้อง พื้นผิวอ้างอิงที่ใช้ ต้องเป็นสัณฐานของโลก สัณฐานที่แท้จริงของโลกเรียกว่า ยีออยด์ (geoid) พื้นผิวของยีออยด์ตะปุ่มตะป่ำจึงยากที่จะนำมาใช้อ้างอิง ในทางปฏิบัติจึงใช้รูปทรงรี (ellipsoid) ที่มีรูปทรงทางเรขาคณิตอย่างง่ายแต่มีพื้นผิวใกล้เคียงกับยีออยด์มาใช้แทน ในอดีตการรังวัดภาคพื้นดินแบบดั้งเดิมทำงานกันอยู่เฉพาะภายในประเทศหรือภูมิภาคหนึ่ง ๆ เท่านั้น ไม่ได้ยึดโยงต่อเนื่องกันจนครอบคลุมทั่วทั้งพื้นผิวโลก ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้รูปทรงรีที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันอย่างมากมายในภูมิภาคและประเทศต่าง ๆทั่วทั้งโลก รูปทรงรีเหล่านี้เป็นพื้นผิวอ้างอิงของการคำนวณที่เรียกว่าพื้นหลักฐานท้องถิ่น (local datum) และใช้งานได้ดีเฉพาะถิ่นที่นำข้อมูลการรังวัดมาสร้างรูปทรงรีนั้น ๆ เท่านั้น ต่อมาเมื่อเริ่มยุคอวกาศในทศวรรษ 1960 ดาวเทียมที่ส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ค่าพิกัดตำแหน่งคำนวณมาจากวงโคจรของดาวเทียมทำให้มีค่าอยู่ในระบบพิกัดเดียวกันทั่วทั้งโลก รูปทรงรีที่ใช้ในการคำนวณวงโคจรของดาวเทียมจึงถูกเรียกว่าเป็นพื้นหลักฐานดาวเทียมซึ่งเป็นพื้นหลักฐานสากล (global datum) เพราะพื้นผิวของรูปทรงรีชนิดนี้จะซ้อนทับได้ใกล้เคียงกับพื้นผิวของยีออยด์ได้ทั่วทั้งพื้นผิวโลก

พื้นหลักฐานทางยีออเดซี (Geodetic Datum) หรือพื้นหลักฐานแผนที่ ที่ใช้อ้างอิงสำหรับประเทศไทยมี 2 พื้นหลักฐาน คือ WGS 84 และ พื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 (Indian 1975)

WGS 84 เป็นพื้นหลักฐานสากลที่จัดทำขึ้นโดย Defense Mapping Agency (DMA) หรือปัจจุบันคือ National Imagery and Mapping Agency (NIMA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้เป็นพื้นหลักฐานของดาวเทียมระบบ GPS ใช้รูปทรงรีที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

Ellipsoid : "WGS 84"
Semi-major axis (a) = 6378137.0 m.
Flattening (f) = 1/298.257223563
EPSG : 4326

พื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ. 2518 (Indian 1975) เป็นพื้นหลักฐานท้องถิ่นของประเทศไทย ที่จัดทำโดยการทำงานรังวัดภาคพื้นดินด้วยวิธีข่ายสามเหลี่ยมและงานวงรอบ

SPHEROID : "Everest 1830 (1937 Adjustment)"
Semi-major axis (a) = 6377276.345 m.
Flattening (f) = 1/300.8017
EPSG : 4240

เมื่อมีความจำเป็นต้องแปลงค่าพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน จะใช้รูปจำลองการแปลงที่ชื่อว่า Bursa-Wolf ประกอบด้วยพารามิเตอร์การแปลง 7 ตัว เป็นค่าเลื่อนหรือระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีในแนวแกน x, y และ z รวม 3 ตัว ค่ามุมหมุนรอบแกน x, y และ z ที่ทำให้แกนพิกัดไม่ขนานกันรวมอีก 3 ตัว และมีค่าต่างมาตราส่วนระหว่างพื้นหลักฐานอีก 1 ตัว สำหรับพารามิเตอร์การแปลงจากพื้นหลักฐาน WGS 84 ไปเป็นพื้นหลักฐาน Indian 1975 มีเฉพาะค่าเลื่อน 3 ตัวคือ

Δx = -204.5 เมตร
Δy = -837.9 เมตร (ก.1)
Δz = -294.8 เมตร

ในกรณีที่ต้องการแปลงจากพื้นหลักฐาน Indian 1975 ไปเป็นพื้นหลักฐาน WGS 84 ให้เปลี่ยนเครื่องหมายของพารามิเตอร์การแปลงเป็นเครื่องหมายตรงกันข้าม

ก.2 ระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดทางยีออเดซี

การบอกตำแหน่งสัมบูรณ์ (absolute positioning) เป็นการบอกค่าพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก ได้แก่ ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (earth-fixed coordinate system) และระบบพิกัดทางยีออเดซีหรือระบบพิกัดรูปทรงรี

ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (earth fixed coordinate system) เป็นกรอบของแกนพิกัดฉาก ที่ผูกติดอยู่กับพื้นผิวโลก แกนพิกัดของระบบยึดติดโลกจึงหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับอัตราการหมุนรอบตัวเองของโลก ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (x,y,z) ที่ใช้เป็นกรอบอ้างอิงร่วมกันเป็นสากลมีนิยามดังนี้ คือ จุดกำเนิดของระบบอยู่ที่จุดมวลสารของโลก แกน z อยู่ในแนวแกนหมุนเฉลี่ยโลก โดยผ่านจุด CIO (Conventional International Origin) ระนาบศูนย์สูตร xy ตั้งฉากกับแกน z โดยมีแกน x อยู่ในแนวเมอริเดียนกรีนิช ส่วนแกน y ตั้งฉากกับแกน x และแกน z ทำให้เกิดเป็นระบบพิกัดมือขวา

ระบบพิกัดทางยีออเดซีเลือกรูปทรงรีที่ใช้แทนสัณฐานของโลกเพื่อเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณ มุมที่เส้นตั้งฉากกับพื้นผิวรูปทรงรีที่จุดใด ๆ P กระทำกับระนาบศูนย์สูตร*คือค่าละติจูด* ϕ ของจุด P มุมระหว่างระนาบเมอริเดียนที่ผ่าน P กับระนาบเมอริเดียนกรีนิช คือ*ค่าลองจิจูด* λ ของจุด P ส่วนระยะตามแนวเส้นตั้งฉากจากจุด P จนถึงพื้นผิวรูปทรงรี คือ *ความสูงเหนือรูปทรงรี h ค่าพิกัดรูปทรงรี* (ϕ , λ , *h*) ใช้บอกตำแหน่งสัมบูรณ์ของ จุด P ด้วยเช่นเดียวกัน ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก และระบบพิกัดรูปทรงรีแสดงไว้ในรูป ก.1

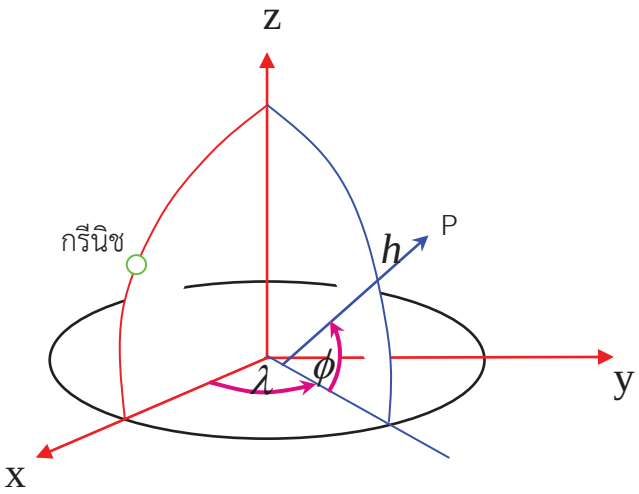
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดฉาก (x, y, z) และค่าพิกัดทางยีออเดซี (ϕ, λ, *h*) คือ

$$\begin{aligned} x &= (N_\phi + h)\cos\phi\cos\lambda \\ y &= (N_\phi + h)\cos\phi\sin\lambda \\ z &= (N_\phi(1-e^2) + h)\sin\phi \end{aligned} \qquad \text{(ก.2)}$$

ในสมการข้างบนนี้ N_ϕ คือรัศมีความโค้งของรูปทรงรีในแนวดิ่งหลัก ซึ่งคำนวณได้จาก

$$N_{\phi} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi}} \qquad \text{(ก.3)}$$

โดยมี a เป็นค่าครึ่งแกนยาว และ e เป็นค่าเยื้องศูนย์ ของรูปทรงรีอ้างอิง จากความสัมพันธ์ข้างต้นนี้ ถ้ารู้ค่าพิกัดในรูปใดรูปหนึ่งก็จะหาค่าพิกัดของจุดเดียวกันในอีกรูปหนึ่งได้ ดูรายละเอียดใน ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ (พศ. 2537)



รูป ก.1 ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก (x, y, z) และระบบพิกัดรูปทรงรี (ϕ, λ, h)

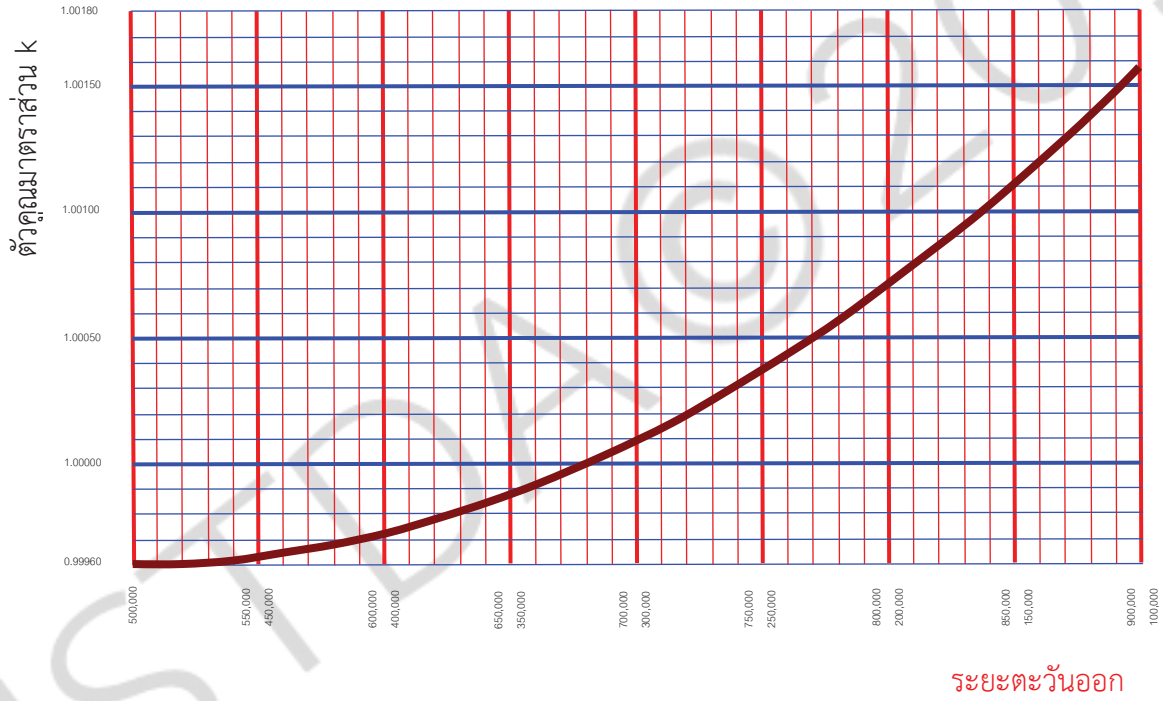
ก.3 ระบบพิกัด UTM

UTM เป็นตัวย่อของ Universal Transverse Mercator เป็นวิธีการฉายแผนที่แบบหนึ่งที่ใช้รูปทรงกระบอกวางในแนวขวางเป็นพื้นผิวรองรับการฉาย ถ้าใช้สัณฐานของโลกเป็นรูปทรงกลมและเลือกใช้รูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของโลก ในการฉายแบบเมอร์เคเตอร์แนวขวาง (Transverse Mercator) นี้ รูปทรงกระบอกจะสัมผัสกับลูกโลกตามแนวของเส้นเมอริเดียน เรียกแนวที่สัมผัสนี้ว่า แนวเมอริเดียนกลาง มาตราส่วนของแผนที่ตามแนวเมอริเดียนกลางจะถูกต้อง บริเวณที่อยู่ห่างจากแนวเมอริเดียนกลางจะขยายใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จึงเห็นได้ว่าการฉายแบบนี้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแถบลองจิจูดแคบๆ ดังเช่นประเทศไทย

เพื่อให้การฉายแบบเมอร์เคเตอร์แนวขวางมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นสากลหรือใช้ได้กับทุก ๆ ส่วนของโลก โดยมีการบิดเบี้ยวเกิดขึ้นในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงได้กำหนดให้การฉาย UTM ใช้กับพื้นที่ที่ขนาดกว้างของแถบลองจิจูดเท่ากับ 6° เท่านั้น จากนั้น จึงทำการหมุนทรงกระบอกไป 6° เพื่อสร้างแถบของแผนที่อันใหม่ แต่ละแถบมีหมายเลขกำกับ เริ่มจากแถบที่ 1 ที่อยู่ระหว่างแนวเมอริเดียน 180° กับแนวเมอริเดียน 174° ตะวันตก โดยมีแนวเมอริเดียน 177° ตะวันตกเป็นแนวเมอริเดียนกลาง แล้วนับเรียงทีละ 6° มาทางตะวันออกจนถึงแถบที่ 60 ซึ่งอยู่ระหว่าง แนวเมอริเดียน 174° ตะวันออกและแนวเมอริเดียน 180° ประเทศไทยนั้นมี

ความกว้างในแนวตะวันออกตะวันตกราว 7.5° จึงมีพื้นที่คาบเกี่ยวอยู่ในแถบที่ 47 และ 48 ซึ่งมีแนวเมอริเดียนกลางอยู่ที่ 99° และ 105° ตะวันออก

ขนาดของทรงกระบอกที่ใช้ในการฉายแบบ UTM เล็กกว่าขนาดของลูกโลกอยู่เล็กน้อยพื้นผิวทรงกระบอกจึงตัดกับลูกโลกเป็น 2 แนว แนวทั้งสองนี้จะมีมาตราส่วนแผนที่ที่ถูกต้อง แนวเมอริเดียนกลางจะอยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างแนวเมอริเดียนทั้งสอง และมีมาตราส่วนของแผนที่ที่เล็กกว่าแนวมาตราส่วนที่ถูกต้องอยู่เท่ากับ 1:2,500 นั่นคือ ระยะทางที่วัดได้บนแผนที่จะสั้นกว่าระยะบนลูกโลก เมื่อห่างออกจากแนวเมอริเดียนกลางไปทั้งสองข้าง มาตราส่วนแผนที่จะใหญ่ขึ้น จนกระทั่งเลยแนวตัดที่มีมาตราส่วนถูกต้องออกไประยะทางที่วัดได้บนแผนที่จะยาวกว่าระยะบนลูกโลก อัตราส่วนของระยะทางบนแผนที่กับระยะทางที่ถูกต้องเรียกว่า *ตัวคูณมาตราส่วน (scale factor)* รูป ก.2 แสดงค่าตัวคูณมาตราส่วนในเทอมของระยะทางจากแนวเมอริเดียนกลาง ระยะทางจากแนวเมอริเดียนแสดงไว้ด้วย*ระยะตะวันออก (easting)* ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป



รูป ก.2 ตัวคูณมาตราส่วนของแผนที่ UTM

พิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานที่อยู่ในระบบพิกัดรูปทรงรี เมื่อต้องการนำมาใช้อ้างอิงบนแผนที่และใช้ประโยชน์ในการรังวัดบนพื้นระนาบ จะทอนค่าพิกัดรูปทรงรีเป็นพิกัดฉาก UTM ค่าพิกัดฉากของระบบ UTM มีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดตัดของแนวเมอริเดียนกลางและเส้นศูนย์สูตร จุดกำเนิดนี้มีค่าพิกัดสมมุติเป็น (0 ม. N, 500,000ม.E) สำหรับซีกโลกเหนือ และเป็น (10,000,000 ม. N, 500,000 ม. E) สำหรับซีกโลกใต้ การที่จุดกำเนิดมีค่าพิกัดสมมุติดังกล่าวจะทำให้ทุก ๆ จุดบนแผนที่ UTM ที่สร้างขึ้นมาไม่มีค่าเป็นลบ สำหรับการใช้แผนที่ที่มีระบบการฉายแผนที่ จะต้องมีการแปลงค่าปริมาณที่วัดได้จากแผนที่เป็นปริมาณจริงบนพื้นผิวโลก เราจึงจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

ก. ระยะทางที่วัดได้เป็นระยะที่วัดไปตามพื้นผิวภูมิประเทศที่มีความลาดเอียง จะต้องทอนให้เป็นระยะราบที่ความสูงเฉลี่ยของเส้นรังวัด แล้วทอนต่อไปเป็นระยะทางบนผิวรูปทรงรี แล้วใช้ตัวคูณมาตราส่วนทอนต่อไปเป็นระยะทางบนแผนที่

ข. อะซิมุทที่รังวัดได้จากงานรังวัดเป็นอะซิมุททางยีออเดซีซึ่งเป็นทิศทางอ้างอิงกับรูปทรงรี สำหรับอะซิมุทจากแผนที่เป็นค่าที่วัดจากแนวเมอริเดียนที่ขนานกับแนวเมอริเดียนกลางของโซนนั้น ๆ หรือเรียกว่า อะซิมุทกริดซึ่งต่างจากอะซิมุททางยีออเดซีด้วยขนาดมุมของการลู่เข้าของแนวเมอริเดียนที่จุดนั้น

อะซิมุทกริด = อะซิมุททางยีออเดซี - C (ก.4)

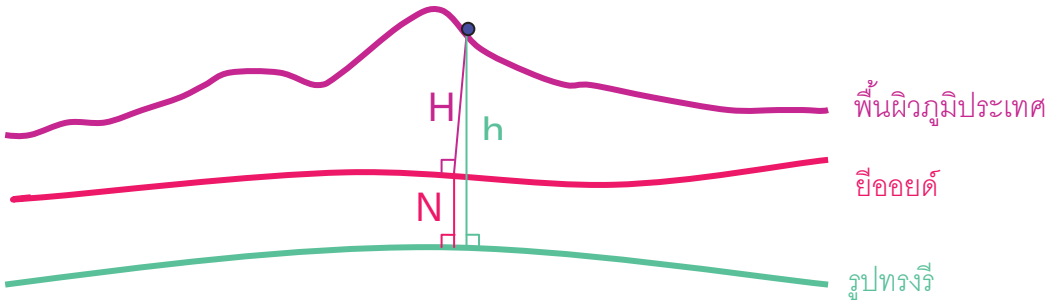
ค่ามุมของการลู่เข้า C มีเครื่องหมายเป็นบวก สำหรับจุดที่อยู่ทางตะวันออกของแนวเมอริเดียนกลาง และมีเครื่องหมายเป็นลบเมื่ออยู่ทางตะวันตก

ก.4 ความสูง

ความสูงหรือค่าระดับที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในงานรังวัดคือ ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level, MSL) ถือได้ว่าเป็นตัวแทนของความสูงเหนือยีออยด์ H หรือความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) โดยเหตุที่ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบใช้รูปทรงรีเป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณ ดังนั้น ถ้าจะบอกพิกัดตำแหน่งสามมิติของจุดจุดหนึ่ง ค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและความสูงของจุดนั้นก็จะต้องอ้างอิงอยู่กับพื้นผิวอันเดียวกัน ในกรณีของการใช้ค่าละติจูดและลองจิจูดทางยีออเดซี (ϕ, λ) ซึ่งอ้างอิงอยู่กับรูปทรงรี ความสูงที่ใช้ต้องเป็นความสูงเหนือรูปทรงรี (ellipsoidal height) h โดยนิยามที่ถูกต้องความสูงเหนือรูปทรงรีเป็นระยะที่วัดตามแนวเส้นตั้งฉากกับรูปทรงรี ส่วนความสูงเหนือยีออยด์เป็นระยะที่วัดตามแนวสายดิ่งหรือเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวของยีออยด์ ดูรูป ก.3 แม้ว่าแนวที่วัดความสูงจะเป็นคนละแนวกันที่แตกต่างกันด้วยค่าเบี่ยงเบนของสายดิ่ง แต่ค่าต่างของแนวทั้งสองนี้มีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 12 ลิปดา) ซึ่งไม่มีผลต่อค่าความสูงไม่ว่าจะใช้แนวไหนเป็นหลัก ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า

$$h = \mathrm{H} + \mathrm{N} \qquad \text{(ก.5)}$$

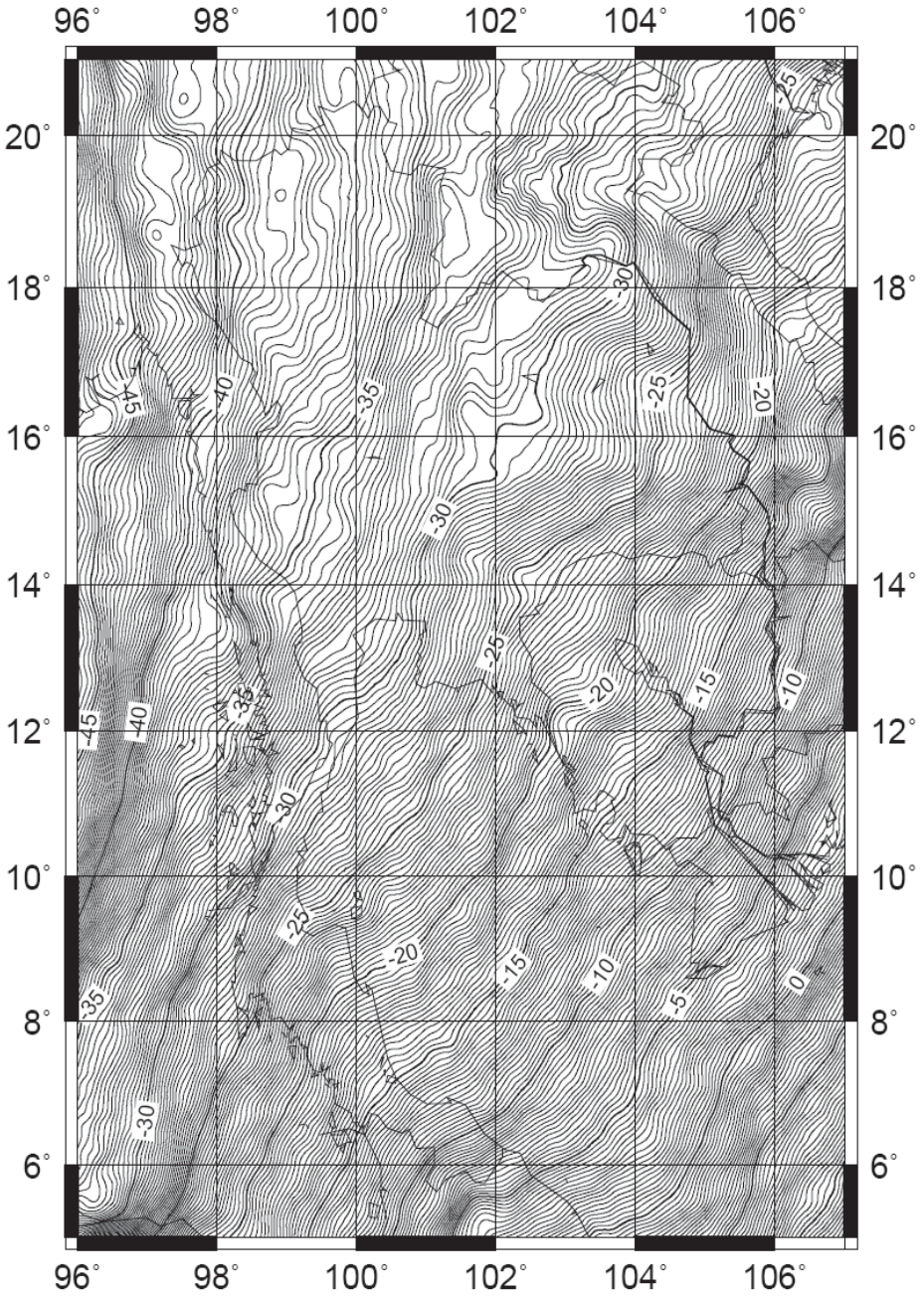
ค่า N ในสมการข้างบนเรียกว่า ความสูงยีออยด์ (geoidal height) ขอให้สังเกตความแตกต่างของคำว่า "ความสูงยีออยด์" N และ "ความสูงเหนือยีออยด์" H ความจริงแล้วความสูงเหนือยีออยด์ H มีชื่อที่เรียกได้อีกอย่างหนึ่งคือ ความสูงออร์โทเมตริก (orthometric height) ส่วนความสูงยีออยด์ N นั้น ในภาษาอังกฤษก็มีชื่อเรียกอย่างอื่นได้แก่ geoid undulation และ geoid anomaly เป็นต้น ความสูงยีออยด์นี้มีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบ ถ้ามีค่าเป็นบวกหมายความว่า พื้นผิวยีออยด์อยู่สูงกว่าพื้นผิวรูปทรงรี ถ้ามีค่าเป็นลบหมายความว่าพื้นผิวยีออยด์อยู่ต่ำกว่า



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือยีออยด์และความสูงเหนือรูปทรงรี

รูปที่ ก.4 แสดงค่าความสูงยีออยด์ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ค่าความสูงยีออยด์นี้คำนวณมาจากอนุกรมฮาร์มอนิกของสนามความถ่วงโลกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปจำลองยีออยด์ EGM2008 จนถึงดีกรี 2160 รูปทรงรีที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณเป็นรูปทรงรีของพื้นหลักฐานพิภพที่มีค่าพารามิเตอร์ :

a = 6,378,137 เมตร และค่า e^2 = 0.006 694 380 02290



รูปที่ ก.4 ความสูงของยีออยด์คำนวณจาก EGM2008 โดยใช้ spherical harmonic coefficients ถึง degree และ order 2160 โดยมีช่วงของเส้นชั้นความสูง 0.5 ม. (จาก พุทธิพล ดำรงชัย และ ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2554)