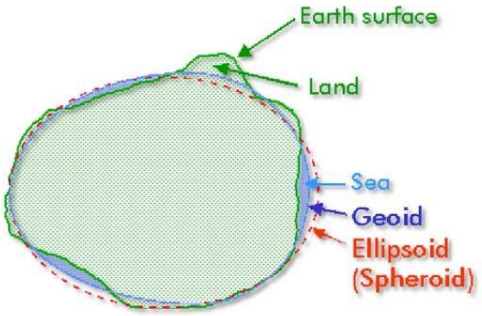
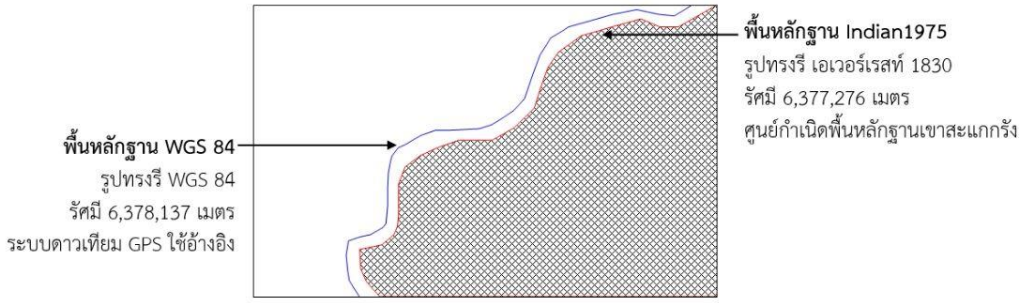
แผนที่และการสำรวจภูมิประเทศ
MAP AND GEOGRAPHIC SURVEY





พื้นหลักฐานและเส้นโครงแผนที่
DATUM AND PROJECTION

NATTHAWUT TANANTHAISONG

GEOGRAPHY AND GEO-INFORMATION

พื้นหลักฐานและเส้นโครงแผนที่
Datum and Projection

การผลิตแผนที่ เป็นการจำลองลักษณะพื้นผิวของโลกและสิ่งที่ปรากฏบนผิวโลก รวมทั้งสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ลงบนแผ่นแบนราบให้อยู่ตามมาตราส่วนที่ต้องการ ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรก คือ สัณฐานของโลกว่ามีรูปร่างลักษณะแบบใดเสียก่อนที่เหมาะสมกับงานแผนที่ เช่น โลกสัณฐานทรงกลม โลกสัณฐานทรงรีและโลกสัณฐานยีออยด์ เป็นต้น จึงจะสามารถจำลองเอาลักษณะพื้นผิวของโลกลงสู่แผ่นแบนราบ โดยอาศัยพื้นหลักฐานทางราบและทางดิ่งที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล รวมถึงเส้นโครงแผนที่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการของผู้ผลิตแผนที่ เช่น คุณสมบัติคงรูป คุณสมบัติคงพื้นที่และคุณสมบัติคงระยะทาง เป็นต้น ในแผนที่หนึ่งฉบับไม่สามารถรวมเอาคุณสมบัติทั้ง 3 เข้าไว้ด้วยกันได้ จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกเพียงคุณสมบัติเดียวที่สามารถถ่ายทอดลักษณะภูมิประเทศทรงกลมลงสู่แผ่นแบนราบได้ตามวัตถุประสงค์ การสร้างเส้นโครงแผนที่เป็นการถ่ายทอดเส้นเมริเดียนและเส้นขนานลงบนแผ่นแบนราบให้เป็นเส้นโครงแผนที่นั้น ทำได้โดยการสร้างรูปเชิงเรขาคณิต อาศัยหลักการฉายแสงเส้นเมริเดียนและเส้นขนานจากผิวโลกลงบนแผ่นแบนราบ ซึ่งสมมติให้เป็นพื้นในการรองรับการฉายแสง คือ ระนาบ กรวย กระบอก

สัณฐานของโลก

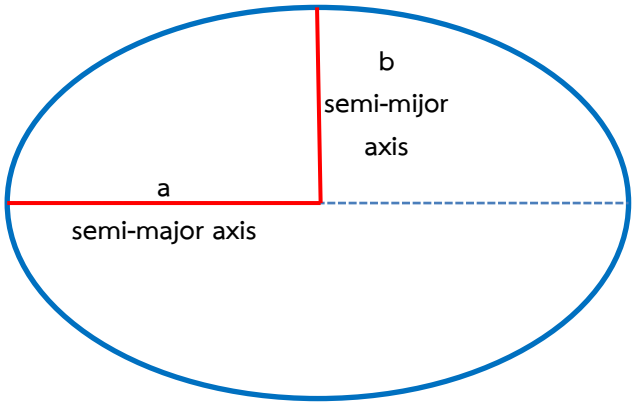
พื้นผิวโลกที่แท้จริงมีลักษณะสูงๆ ต่ำๆ ไม่ราบเรียบและความลาดชันไม่สม่ำเสมอ ล้วนมีสภาพแตกต่างกันไปตลอดทั่วพื้นผิวโลก พื้นผิวโลกจะมีพื้นที่ประมาณ 509,450,00 ตารางกิโลเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ศูนย์สูตรยาว 12,757 กิโลเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางจากขั้วโลกเหนือถึงขั้วโลกใต้ 12,714 กิโลเมตร ลักษณะที่กล่าวนี้ทำให้ไม่สามารถใช้รูปทรงเรขาคณิตอย่างง่ายแสดงขนาดและรูปร่างของโลกได้อย่างถูกต้อง เพื่อความสะดวกต่อการพิจารณาขนาดและสัณฐานของโลกจึงไม่นำเอาความขรุขระ สูงๆ ต่ำๆ มาพิจารณา ให้สมมติว่าโลกมีพื้นผิวเรียบในแบบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ทรงกลม ทรงรีและยีออยด์ สัณฐานสามแบบนี้มีความแนบสนิทกับผิวโลกแตกต่างกันไป ก่อนเลือกใช้สัณฐานใดควรพิจารณาก่อนว่าสัณฐานนั้นจะใช้ความละเอียดถูกต้องเพียงพอแก่ความต้องการหรือไม่ และควรเลือกสัณฐานอย่างง่ายเสมอ ลำดับความซับซ้อนของสัณฐานดังกล่าว มีทรงกลมเป็นรูปทรงที่ง่ายที่สุด จึงเหมาะเป็นสัณฐานโลกโดยประมาณ ทรงรี หรือเอลลิปซอยด์ จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัณฐานจริงของโลกมาก สำหรับใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิงในการรังวัดและการทำแผนที่ ที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง ส่วนยีออยด์ เป็นพื้นผิวของระดับน้ำทะเลปานกลางที่แผ่ครอบคลุมทั่วโลก เป็นรูปทรงที่มีความ

ใกล้เคียงกับสัณฐานจริงมากที่สุด ยีออยด์มีบทบาทในงาน ยีออเดซี ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างและขนาดของโลก คำนวณตำแหน่งของจุดต่าง ๆ บนผิวโลกและศึกษาสนามแม่เหล็กโลก แต่ยีออยด์ไม่มีบทบาทโดยตรงในวิชาแผนที่ สัณฐานที่ใช้แทนโลกในกระบวนการฉายแผนที่จึงได้แก่ ทรงกลม ทรงรี สัณฐานทรงกลมใช้ในการฉายแผนที่มาตราส่วนเล็กที่มีขอบเขตกว้างขวาง เช่น แผนที่โลก แผนที่ทวีป รวมทั้งแผนที่ทั่วไปที่ไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง ส่วนสัณฐานทรงรีเหมาะสำหรับแผนที่ที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง เช่น แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่ แผนที่นำร่อง และแผนที่เดินอากาศ (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535)

1. โลกสัณฐานทรงกลม (Globe Morphology)

โลกสัณฐานทรงกลม มีรัศมีของโลกยาวประมาณ 6,370 กิโลเมตร พื้นผิวโลกมีเนื้อที่ 509,900,000 ตารางกิโลเมตร ทรงกลมจะเป็นสัณฐานอย่างง่ายที่ใช้แทนโลกซึ่งมีพื้นผิวขรุขระ ความแตกต่างระหว่างทรงกลมกับสัณฐานของโลกที่แท้จริงมีค่าน้อยมาก เมื่อคำนึงถึงขนาดที่แท้จริงของโลก เช่น เราสามารถสร้างทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 50 ซม. และสัณฐานของโลกจริงที่ย่อส่วนให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน แล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ จะพบว่าผู้สังเกตไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของรูปทรงและความขรุขระที่มีอยู่ได้ แสดงให้เห็นว่าความขรุขระของผิวโลก เมื่อเปรียบเทียบกับสัณฐานของโลกแล้วไม่ปรากฏลักษณะที่เด่นชัด ล้วนกลมกลืนไปกับผิวโค้งของโลกทั้งสิ้น ดังนั้น หากต้องการสัณฐานโลกสำหรับการทำแผนที่มาตราส่วนเล็ก ที่ไม่ต้องการความละเอียดจนเกินความจำเป็น สามารถใช้ทรงกลมแทนสัณฐานของโลกได้ (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535)

2. โลกสัณฐานทรงรี (Ellipsoid)



ภาพประกอบ 1.1 โลกสัณฐานทรงรี

ที่มา : ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, (ม.ป.ป.)

ข้อมูลจากการรังวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกบ่งชี้อย่างสอดคล้องกันว่าความโค้งของพื้นผิวโลกตามแนวเมริเดียน (แนวเหนือใต้) มีการแปรผันตามค่าละติจูด ณ ตำแหน่งละติจูดสูงรัศมีความโค้งจะยาวกว่าละติจูดต่ำ หลักฐานนี้แสดงว่าสัณฐานโลกไม่เป็นทรงกลมอย่างแท้จริง เพราะทรงกลมมีรัศมีความโค้งยาวเท่ากันทุกตำแหน่ง ทรงรีเป็นสัณฐานอ้างอิงสำหรับการรังวัด และการแผนที่อย่างละเอียด ในปัจจุบันทรงรีที่ใช้อยู่มีหลายสัณฐาน แต่ละสัณฐานก็มีที่ใช้เฉพาะภายในพื้นที่แต่ละส่วนของโลก การวิเคราะห์เพื่อหาขนาด รูปร่าง และการกำหนดตำแหน่งจุดกำเนิดของทรงรีเหล่านี้ เพื่อใช้เป็นพื้นผิวอ้างอิง อาศัยข้อมูลจากการรังวัดภายในพื้นที่ที่เจาะจงจะนำทรงรีไปใช้งาน วิธีการดังกล่าวทำให้พื้นผิวอ้างอิงมีความแนบชิดกับพื้นผิวโลกได้ดีภายในขอบเขตพื้นที่นั้นๆ และบริเวณใกล้เคียง การหาทรงรีพื้นผิวอ้างอิงให้เหมาะสมกับแต่ละประเทศหรือกลุ่มประเทศทำให้เกิดมีทรงรีขึ้นหลายสัณฐาน แต่ละสัณฐานก็มีความเหมาะสมในกิจการรังวัดและแผนที่ของประเทศผู้ที่จัดทำขึ้น (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535) ดังตารางที่ 1.1

ตาราง 1.1 แสดงทรงรีที่ใช้กำหนดเป็นพื้นผิวอ้างอิงสำหรับการรังวัด และการแผนที่ของกลุ่มประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก

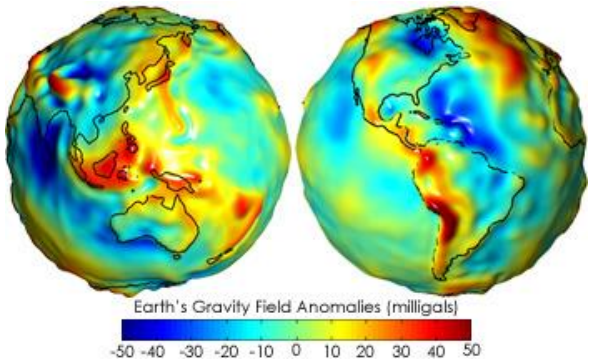
ลำดับ	ชื่อ	ค.ศ.	รัศมีแกน a m.	รัศมีแกน b m.	ส่วนกลับอัตรายุบ(f)	พื้นที่การใช้งาน
1	Everest	1830	6,377,276	3,656,079	300.80	อินเดีย ปากีสถาน พม่า ไทย
2	Bessel	1841	6,377,397	6,356,079	299.15	ทวีปยุโรปตองกลาง ชิลี
3	Clark	1866	6,378,206	6,356,584	294.98	อเมริกาเหนือ ฟิลิปปินส์
4	Clark	1880	6,378,388	6,356,515	297.00	แอฟริกา ฝรั่งเศส
5	Hayford	1909	6,378,388	6,356,912	297.00	หลายพื้นที่ทั่วโลก
6	Krasovssky	1940	6,378,245	6,356,863	298.30	รัสเซีย ยุโรปตะวันออก
7	GRS-1980	1980	6,378,137	6,356,752	298.26	อเมริกาเหนือ
8	WGS84	1984	6,378,137	6,356,752	298.26	ทั่วโลก

ที่มา : UNGEGN-ICA webcourse on Toponymy, (2012)

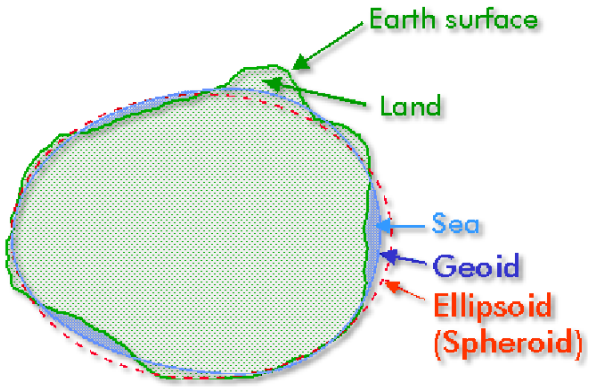
3. โลกสัณฐานยีออยด์ (Geoid)

หากเนื้อมวลสารทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นโลกมีคุณลักษณะเหมือนๆ กันหมดทุกแห่งหนตั้งแต่การกำเนิดของโลก และไม่มีสิ่งอื่นมารบกวนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ สัณฐานของโลกจะเป็นทรงรีที่สมบูรณ์ แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้น นอกจากมวลสารของโลกจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ยังมีความไม่สม่ำเสมอของแรงดึงดูดพิภพ มีแรงดึงดูดจากนอกพิภพ สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดสัณฐานโลก

ผิดเพี้ยนไปจากลักษณะทรงรีที่สมบูรณ์ สัณฐานที่กล่าวถึงนี้ เราจะพิจารณาว่าเป็นสัณฐานทางทฤษฎี ซึ่งมีพื้นผิวโค้งขึ้นๆ ลงๆ แต่จุดทุกจุดบนพื้นผิวนี้มีค่าศักย์ของแรงดูดพิภพ เราเรียกสัณฐานนี้ว่า ยีออยด์ คือ เป็นสัณฐานที่ประกอบด้วยพื้นผิวของระดับน้ำทะเลปานกลางที่ต่อเนื่องครอบคลุมจนทั่วโลก แนวดิ่งจะตั้งฉากกับผิวยีออยด์ทุกตำแหน่ง และแนวระนาบบนผิวโลกเป็นระนาบที่ขนานกับผิวยีออยด์บริเวณนั้น ลักษณะของยีออยด์ไม่สามารถแสดงให้เข้าใจได้ด้วยรูปทรงเรขาคณิตง่ายๆ แต่เป็นผิวโค้งเรียบที่มีความต่อเนื่อง ไม่มีเหลี่ยมหรือสัน การหาขนาดและสัณฐานของยีออยด์เป็นงานที่ยาก ต้องใช้วิธีการรังวัดทางยีออเดซี การวัดแรงดูดพิภพ และการวัดหาระดับน้ำทะเลปานกลางประกอบกัน โดยการวัดให้ได้ข้อมูลครอบคลุมทั่วโลก ข้อมูลจึงจะเพียงพอสำหรับการคำนวณหาสัณฐานของยีออยด์ได้ ยีออยด์มีสัณฐานที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงของโลกมากที่สุด จึงมีบทบาทเกี่ยวข้องในการรังวัดเป็นอย่างมาก (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535)



ภาพประกอบ 1.2 รูปทรงของยีออยด์ใช้ระดับศักย์ของแรงดึงดูดของโลก
ที่มา : Geospatial Article, (2557)



ภาพประกอบ 1.3 พื้นผิวภูมิประเทศ ยีออยด์ และทรงรี
ที่มา : กรมอุทกศาสตร์, (2555)

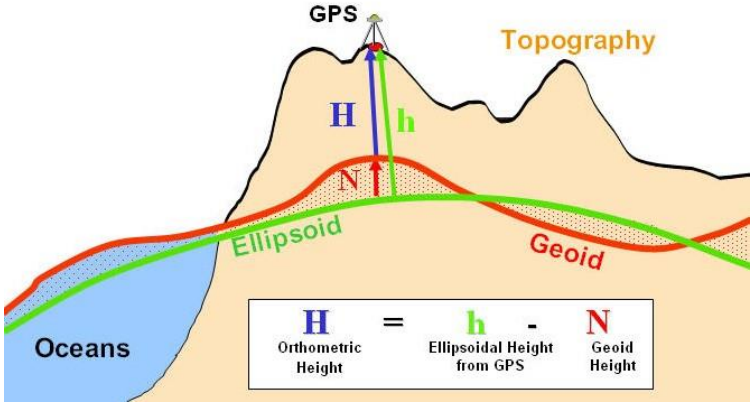
ความสัมพันธ์ระหว่างยีออยด์และทรงรี ค่าความสูงที่ต้องการทราบค่าจะอยู่บนยีออยด์ แต่ค่าความสูงที่ได้จากรังวัดเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียมแบบ Fast Static และ Static จะอยู่บนทรงรี ซึ่งแต่ละสถานที่ความต่าง เนื่องรูปทรงที่ไม่แน่นอนของยีออยด์ จึงทำให้แต่ละสถานทีค่าความสูงต่างจากทรงรีและยีออยด์ไม่เท่ากัน

ค่าความสูง H = h - N

h = ความสูงบนทรงรี ได้จากเครื่องกำหนดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม

N = ค่าความสูงยีออยด์

จากสูตรความสูงของจุดที่ต้องทราบค่าจะอยู่บนภูมิประเทศ หากหาค่าความสูงจากเครื่องกำหนดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียมจะได้ค่า h ออกมา ถ้าสามารถคำนวณหา N ได้จากค่าพิกัดภูมิศาสตร์ก็สามารถหาค่า H ได้ จากภาพประกอบ 1.4 จะสังเกตเห็นว่าแนวคำนวณหา H จะเป็นแนวตั้งฉากกับยีออยด์ ซึ่งจะเป็นแนวไปตามแรงโน้มถ่วงเสมอ แต่แนว h จะเป็นแนวตั้งฉากกับทรงรี ดังภาพประกอบ 1.4



ภาพประกอบ 1.4 ภาพตัดขวางแสดงพื้นผิวภูมิประเทศ ยีออยด์ และทรงรี
ที่มา : Prajuab Riabroy, (2017)

พื้นหลักฐาน (Datum)

พื้นหลักฐานเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการอ้างอิงพิกัด ตำแหน่งในการทำแผนที่ ณ ตำแหน่งใดบนพื้นผิวโลกจะสัมพันธ์กับรูปทรง ศูนย์กลางของโลก ในตำแหน่งเดิมบนพื้นผิวโลกมีพิกัดประจำตำแหน่ง แต่พิกัดจะเปลี่ยนไปหากยึดพื้นหลักฐานต่างกัน ประเทศต่าง ๆ บนโลกเลือกใช้พื้นหลักฐานที่ประจำท้องถิ่นที่แตกต่างกัน โดยเลือกใช้รูปทรงรีที่มีตำแหน่งอ้างอิงที่ทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีที่เข้า

กันได้ดีกับพื้นผิวของโลกในแต่ละภูมิภาคหรือประเทศนั้น ๆ พื้นหลักฐานจะยึดตำแหน่งที่แน่นอนบนพื้นผิวของโลกทรงรีกับตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวยีออยด์ และพื้นผิวบริเวณอื่น ๆ จะได้รับการคำนวณพิกัดตำแหน่งโดยยึดจุดพื้นหลักฐานเป็นจุดอ้างอิง (กรมแผนที่ทหาร. ม.ป.ป.)

1. พื้นหลักฐานทางราบ (Horizontal Datum)

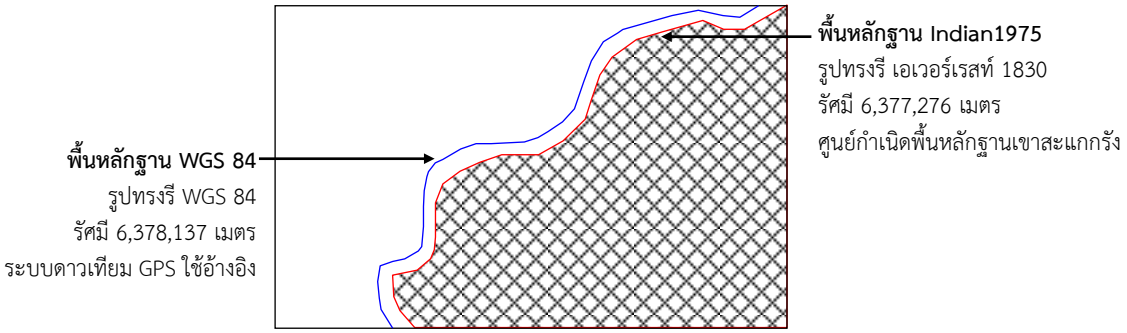
วิวัฒนาการของงานสำรวจของไทย มีจุดเริ่มต้นจากการที่กรมแผนที่ประเทศอินเดีย ได้กำหนดให้จุดกำเนิดของรูปทรงรีเอเวอร์เรสท์ อยู่ที่ภูเขากะเลียนเปอร์ และได้ให้กองสนามสามเหลี่ยมจากชุดเขตแดนด้านตะวันออกของการสำรวจประเทศอินเดีย สาขาตรีโกณมิติ มาดำเนินการวางโครงข่ายสามเหลี่ยมจากอินเดีย ผ่านพม่าเข้ามาถึงเขตแดนไทย ทางด่านเจดีย์สามองค์ เมื่อ พ.ศ.2423 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการสำรวจให้บรรจบกับแผนที่ทะเล ทางปากน้ำเจ้าพระยา โดยมี ร้อยเอก เอช. ฮิลล์ (CAPT. H. HILL) เป็นหัวหน้า และมิสเตอร์ เจมส์ แมกคาธี (MR. JAMES McCARTHY) เป็นผู้ช่วย ปี พ.ศ.2450 กรมแผนที่ของประเทศไทยในสมัยนั้น ได้รังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เชื่อมโยงกับหมุดหลักฐานที่เขาหลวง ทำการวัดเส้นฐานราชบุรีและวัดอาซิมุทดาราศาสตร์จากเขาแง้มไปยังเขางู หลังจากนั้นได้รังวัดขยายโครงข่ายไปทั่วประเทศ พร้อมกับคำนวณปรับแก้โครงข่ายต่อเนื่องกันไป ซึ่งผลการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทำให้ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานในโครงข่ายอยู่บนพื้นหลักฐานราชบุรี ต่อมาในปี พ.ศ.2458 หน่วยบริการแผนที่กองทัพบกสหรัฐอเมริกา ได้มอบหมายให้หน่วยงาน US COAST AND GEODETIC SURVEY ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมในประเทศอินเดีย และพม่า โดยใช้ข้อมูลเดิมและข้อมูลใหม่ที่ได้จากการวัดดาราศาสตร์และเส้นฐานเพิ่มเติม รวมถึงกำหนดให้ภูเขากะเลียนเปอร์เป็นจุดกำเนิด โดยให้ถือว่าผลจากการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้อยู่บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1916 (2459) และเมื่อปี พ.ศ.2459 รัฐบาลไทยกับรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ได้ทำสัญญาความตกลงร่วมกันในโครงการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 จากภาพถ่ายทางอากาศ ดังนั้นหน่วยงานบริการแผนที่กองทัพบกสหรัฐอเมริกา จึงได้ดำเนินการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ในประเทศ ใหม่ทั้งหมด โดยใช้หมุดหลักฐานวิธีการสามเหลี่ยมบริเวณชายแดนไทยพม่า จำนวน 10 หมุด เป็นค่าคงที่ในการคำนวณปรับแก้ และให้ถือว่าผลจากการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้ อยู่บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1954 (กรมแผนที่ทหาร. ม.ป.ป.)

1.1 พื้นหลักฐาน Indian1975 (Indian Datum 2518) ปี พ.ศ.2518 องค์การแผนที่กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center : DMAHTC) ได้ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 โดยรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ของโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้งของประเทศไทยและพม่า มาทำการคำนวณปรับแก้พร้อมกันอีกครั้งหนึ่ง เช่น ค่าที่ได้ภายหลังจากการคำนวณปรับแก้ปี พ.ศ.2497 และข้อมูลจากการรังวัดดาวเทียมด้วยวิธีดอปเปลอร์ (DOPPLER) ที่ทำการรังวัดระหว่าง พ.ศ.2514– 2516 จำนวน 9 สถานี จาก 12 สถานี มาร่วมในการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้ด้วย รวมถึงกำหนดให้หมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หมายเลข 91

“เขาสะแกกรัง” จังหวัดอุทัยธานี เป็นหมุดหลักฐานค่าพิกัดคงที่ และเป็นจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐาน ซึ่งผลจากการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้ ให้ถือว่าอยู่บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 (2518) โดยองค์ประกอบของพื้นหลักฐานนี้ ใช้อิลลิปซอยด์ที่ชื่อเอเวอร์เรส มีจุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่หมุดสามเหลี่ยมเขาสะแกกรัง จังหวัดอุทัยธานี พิกัดละติจูดที่ 15 องศา 22 ลิบดา 56.0487 ฟิลิบดา เหนือ ลองจิจูดที่ 100 องศา 00 ลิบดา 59.1906 ฟิลิบดา ตะวันออก และความสูงยีออยด์ (N) มีค่า –22.46 เมตร และที่สำคัญพื้นหลักฐานนี้ยังใช้เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงทางราบในแผนที่ลำดับชุด L7017 อีกด้วย (กรมแผนที่ทหาร. ม.ป.ป.)

1.2 พื้นหลักฐาน WGS 84 (World Geodetic System 1984) ใช้ระบบดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System) สามารถรังวัดสัญญาณได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกจุดบนพื้นโลก พื้นหลักฐานนี้เรียกได้ว่าเป็นระบบพื้นหลักฐานสากล เนื่องจากเป็นพื้นหลักฐานที่อ้างอิงทั้งโลก ซึ่งพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอาศัยข้อมูลทางกราวิตีครอบคลุมทั่วโลก ประกอบกับข้อมูลจากการรังวัดดาวเทียมดอปเปลอร์ที่มีสถานีครอบคลุมทั่วโลก ประโยชน์ของพื้นหลักฐานนี้เพื่อใช้ในการพัฒนากิจการด้านอวกาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมพื้นหลักฐานนี้ใช้จุดศูนย์กลางของโลกเป็นจุดศูนย์กำเนิดคล้ายกับระบบ GRS (Geocentric Reference System) และพื้นหลักฐาน WGS84 นี้ยังมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับ ITRS (International Terrestrial Reference System) และที่สำคัญจุดศูนย์กลางของโลกและจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานยังเป็นจุดศูนย์กลางของวงโคจรดาวเทียม GPS อีกด้วย พื้นหลักฐานนี้ปัจจุบันได้รับการยอมรับว่าเป็นพื้นหลักฐานที่มีความละเอียดถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูง (ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโลกประมาณ ±1 เมตร) หมุดหลักฐานการสามเหลี่ยม หมายเลข 91 ที่เขาสะแกกรัง ใช้รูปทรงรี WGS 84 มีค่าพิกัดที่ละติจูด 15 องศา 23 ลิปดา 01.54761 ฟิลิปดา เหนือ ลองจิจูดที่ 100 องศา 00 ลิปดา 57.50649 ฟิลิปดา ตะวันออก ความสูง 111.6470 เมตร และประเทศไทยใช้เป็นพื้นหลักฐานในการจัดทำแผนที่ลำดับชุด L7018

ในการผลิตแผนที่จำเป็นจะต้องใช้พื้นหลักฐานเดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลมีจุดอ้างอิงจากพื้นหลักฐานเดียวกัน หากแผนที่อยู่คนละพื้นหลักฐานข้อมูลบนแผนที่จะเกิดความคลาดเคลื่อน ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เช่น แผนที่ระวางหนึ่งมีพื้นหลักฐาน พื้นหลักฐาน Indian1975 และแผนที่ระวางหนึ่งมีพื้นหลักฐาน พื้นหลักฐาน WGS 84 แผนที่ทั้งสองระวางนี้จะไม่สามารถซ้อนทับกัน ทำให้รายละเอียดแตกต่างกัน 300 -500 เมตร (กรมแผนที่ทหาร, 2542) ดังภาพประกอบ 1.5



ภาพประกอบ 1.5 ความแตกต่างของพื้นหลักฐานทางราบ Indian 1975 และ WGS 1984

2. พื้นหลักฐานทางดิ่ง

พื้นหลักฐานที่ใช้ในการอ้างอิงระดับสูง (Elevation) ซึ่งในการสำรวจและการทำแผนที่ชั้นสูงจะเป็นค่า Orthometric Height ซึ่งในทางทฤษฎีอ้างอิงกับพื้นผิวศักย์สมดุล(Equipotential Surface) หรือพื้นผิวระดับ (Level Surface) ที่เรียกว่า ยีออยด์ โดยที่ยีออยด์ถือว่าเป็นสัณฐานของโลกอย่างแท้จริง อันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ อาทิ สนามความถ่วงพิภพ เป็นสำคัญ อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติ เนื่องจากการหายีออยด์ให้มีความละเอียดถูกต้องสูง กระทำได้ยากและสลับซับซ้อน ต่อมาในสมัยรัชกาลที่ 6 ระหว่างปี 2453 – 2458 ได้มีการรังวัดระดับน้ำทะเล เป็นเวลา 5 ปี ณ สถานีวัดน้ำ กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ ตำบลเกาะหลัก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดย Mr. S W Masterman รังวัดด้วยเครื่อง The Lord Kevin Vertical Type บันทึกการขึ้นลงของระดับทะเลแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าระดับทะเลปานกลาง จากนั้นจึงได้โยงค่า ระดับทะเลปานกลางมายังบริเวณโขดหินชายฝั่ง แล้วกำหนดให้เป็นหมุดหลักอ้างอิงทางดิ่งหมุดแรกหรือเป็นจุดศูนย์กำเนิด มีชื่อว่า “BMA.” ได้ค่า 1.4477 เมตร และเรียกระดับทะเลปานกลางนี้ว่า “พื้นหลักฐานทางดิ่งเกาะหลัก 2458” จึงนิยมใช้ระดับทะเลปานกลางเป็นพื้นผิวระดับที่มีค่าระดับเป็นศูนย์ เพื่อใช้ในการอ้างอิงในการหาค่าระดับสูง เป็นพื้นหลักฐานทางดิ่ง ของประเทศไทย มาจนกระทั่งทุกวัน (กรมแผนที่ทหาร. ม.ป.ป.)

เส้นโครงแผนที่ (Map projection)

เส้นโครงแผนที่ คือ เป็นระบบของโครงข่ายละติจูดและลองจิจูดที่แสดงอยู่บนผิวทรงกลมของโลก และถูกถ่ายทอดไปสู่พื้นแบนราบ เพื่อการทำแผนที่บนวัสดุที่แบนราบ เช่น แผ่นกระดาษ ซึ่งทำได้โดยการสร้างรูปทางเรขาคณิตทรงต่าง ๆ หรือการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

1. คุณสมบัติเส้นโครงแผนที่

ในการถ่ายทอดรายละเอียดต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกอันเป็นพื้นโค้งลงสู่แผ่นราบโดยมิให้ผิดรูปและให้ระยะทาง ทิศทาง ถูกต้องเหมือนกับที่เป็นจริงตามพื้นผิวโลกย่อมทำไม่ได้ อย่างไรก็ตาม เราพยายามหาวิธีการแสดงรายละเอียดบนพื้นโลกสู่แผ่นแบนราบ โดยยอมสละคุณสมบัติบางประการด้วยการสร้างเส้นโครงแผนที่ขึ้นให้มีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1.1 คุณสมบัติคงรูป หมายถึง การทำแผนที่สำหรับรักษารูปร่างนี้ ส่วนใหญ่ใช้กับบริเวณเนื้อที่เล็ก ๆ เพราะได้รูปร่างดีกว่าบริเวณเนื้อที่กว้าง ๆ ภูมิประเทศขนาดใหญ่มักมีลักษณะการบิดเบี้ยวมาก มาตราส่วนก็ไม่คงที่เหมือนกัน ส่วนทิศทางนั้นจะมีความถูกต้อง ในแผนที่ประเภทนี้เส้นขนานกับเส้นเมริเดียนตัดกันเป็นมุมฉาก เส้นโครงแผนที่ที่มีลักษณะเด่นในการรักษารูปร่าง ได้แก่ เส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอกและแบบกรวย ซึ่งรักษารูปร่างบริเวณพื้นที่ที่สัมผัสกับทรงกระบอกหรือแบบกรวย ตัวอย่างเช่น บริเวณเส้นระนาบศูนย์สูตรในเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ ในแนวเส้นเมริเดียนในเส้นโครงแผนที่แบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ สำหรับประเทศไทยได้ใช้เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ในการทำแผนที่ฐานของประเทศ เนื่องจากคุณสมบัติที่รักษารูปร่างในแนวเหนือ-ใต้ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานของระบบตารางพิกัดฉากแบบยูนิเวอร์แซลทรานสเวิร์สเมอร์เคเตอร์ (Universal Transverse Mercator : UTM) นิยมใช้กันเกือบทั่วโลกเพราะนอกจากคุณสมบัติในการรักษารูปร่างแล้วยังคงทิศทางอีกด้วย (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

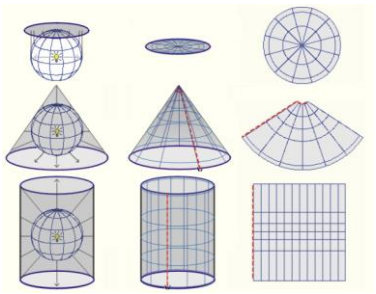
1.2 คุณสมบัติคงพื้นที่ หมายถึง การทำแผนที่ลักษณะนี้ อาจต้องเสียลักษณะของรูปร่างจริง อัตราส่วนของเนื้อที่บนแผนที่จะเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับอัตราส่วนของเนื้อที่บนพื้นโลก คุณสมบัติคงพื้นที่ ได้แก่ เส้นโครงแผนที่แบบกรวย โดยเฉพาะบริเวณเส้นขนานมาตรฐานซึ่งเป็นบริเวณที่กรวยสัมผัสกับลูกโลก โดยมีความแตกต่างกันตามรูปแบบการสัมผัส เช่น แบบกรวยสัมผัส มีคุณสมบัติในการแสดงรายละเอียดของพื้นที่ที่มีรูปร่างยาวไปทางตะวันออก-ตะวันตกได้ดี เช่น แถบประเทศบริเวณคาบสมุทรสแกนดิเนเวีย แต่มีการบิดเบี้ยวมากขึ้นเมื่ออยู่ไกลจากเส้นขนานมาตรฐาน ส่วนแบบกรวยตัดแสดงรายละเอียดในส่วนของพื้นที่ถูกตัดได้ดี ซึ่งมีอยู่ 2 แหล่ง ตามเส้นขนานมาตรฐานที่ตัด 2 เส้น และแบบหลายกรวย ที่มีความถูกต้องในบริเวณเส้นเมริเดียนและเส้นระนาบศูนย์สูตรมาก แต่จะบิดเบี้ยวเมื่อห่างไกลออกไป (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

1.3 คุณสมบัติคงทิศทาง หมายถึง เป็นแผนที่ซึ่งมีลักษณะคงทิศทางตรงกันกับภูมิประเทศจริง เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นแผนที่เส้นทางการเดินเรือ เครื่องบิน แผนที่ดาราศาสตร์ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีคุณสมบุติคงพื้นที่และรักษารูปร่าง แต่ยังสามารถทราบถึงทิศทางของวัตถุได้ตรงตามจุดประสงค์ เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ ได้แก่ เส้นโครงแผนที่ที่ใช้ระนาบสัมผัส เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟิก เส้นโครงแผนที่แบบสเตริโอกราฟิก เส้นโครงแผนที่แบบโนโมนิก นอกจากเส้นโครงแผนที่แบบระนาบสัมผัสแล้ว ยังมีเส้นโครงแผนที่แบบทรงกระบอกที่มีคุณสมบัติใน

การคงทิศทาง ไม่ว่าจะเป็นแบบเมอร์เคเตอร์ที่คงทิศทางตามแนวตะวันออกตะวันตก ที่เหมาะแก่การทำแผนที่การบินและทรานสเวอร์เมอร์เคเตอร์ที่คงทิศทางตามแนวเส้นเมริเดียนย่านกลาง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

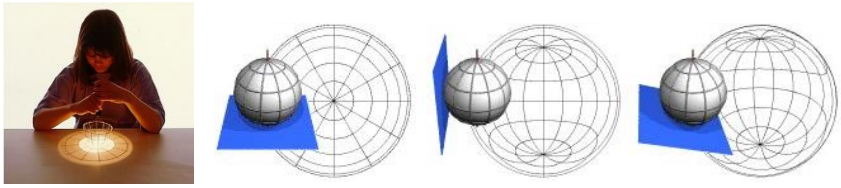
2. การสร้างเส้นโครงแผนที่

การถ่ายทอดเส้นเมริเดียนและเส้นขนานลงบนแผ่นแบนราบให้เป็นเส้นโครงแผนที่นั้น อาจกระทำได้โดยการสร้างรูปเชิงเรขาคณิต หรือการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ก็ได้ แต่ในบทนี้จะกล่าวเฉพาะเส้นโครงแผนที่จากการสร้างรูปเชิงเรขาคณิตเท่านั้น การสร้างเส้นโครงแผนที่ อาศัยหลักการฉายแสงเส้นเมริเดียนและเส้นขนานจากผิวโลกลงบนแผ่นแบนราบ ซึ่งสมมติให้เป็นพื้นในการรองรับการฉายแสง พื้นรองรับการฉายแสงมีอยู่ 3 ชนิด คือ ระนาบ (Plane) กรวย (Cone) กระบอก (Cylinder) ดังภาพประกอบ 1.6



ภาพประกอบ 1.6 รูปเชิงเรขาคณิตที่รองรับการฉายแสง 3 ชนิด คือ ระนาบ กรวย กระบอก
ที่มา : Geosphere, (2001)

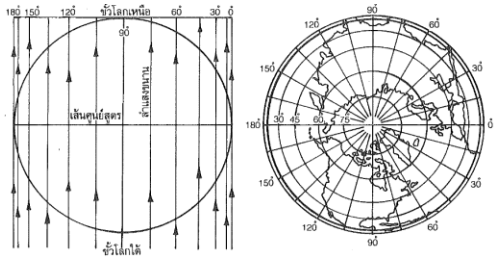
2.1 เส้นโครงแผนที่อาศัยระนาบ (Zenithal or Azimuthal projection) เส้นโครงแผนที่ประเภทนี้ได้จากการฉายแสงเส้นขนานและเส้นเมริเดียนลงบนระนาบ ซึ่งกำหนดให้สัมผัสผิวโลก ณ จุดใดจุดหนึ่ง ลักษณะและคุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่ประเภทนี้ขึ้นอยู่กับการกำหนดจุดที่ระนาบสัมผัสผิวโลกและแหล่งที่ใช้งาน (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.7



ภาพประกอบ 1.7 รูปทรงเรขาคณิตของฉากรับแบบระนาบ วางสัมผัสในตำแหน่งที่แตกต่างกัน
ที่มา : Carlos A. Furuti, (2002)

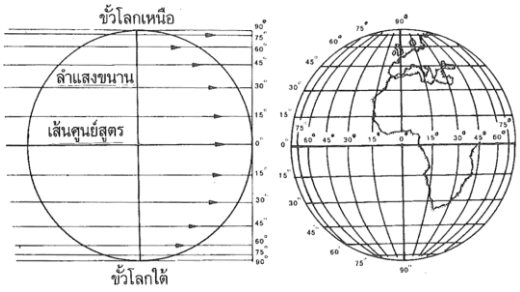
2.1.1 เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟิก (Orthographic projection) เส้นโครงแบบนี้มีแหล่งที่ใช้ในการฉายแสงอยู่ที่ระยะอนันต์ (Infinity) ส่วนแผ่นระนาบที่รองรับในการฉายแสงอาจจะสัมผัสลูกโลกตามตำแหน่งต่าง ๆ 3 ตำแหน่งดังนี้

2.1.1.1 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (Polar position) หรือเรียกว่า เส้นโครงแบบโพลาร์ออร์โทกราฟิก (Polar orthographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงแยกเป็นรัศมีออกจากจุดสัมผัสคล้ายกับซี่ล้อรถ ส่วนเส้นขนานเป็นวงกลมที่มีจุดสัมผัสเป็นจุดศูนย์กลางร่วม โดยที่ช่วงระหว่างเส้นขนานในแถบขั้วโลกจะห่างกว่าแถบศูนย์สูตร (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.8



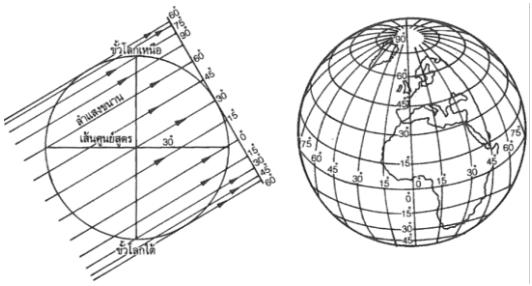
ภาพประกอบ 1.8 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (โพลาร์สเตริโอกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

2.1.1.2 ระนาบสัมผัสที่จุดบนศูนย์สูตร (Equatorial Position) หรือเรียกว่าเส้นโครงแบบอิเควทอเรียลออร์โทกราฟิก (Equatorial orthographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสเป็นเส้นตรง นอกนั้นเป็นส่วนโค้งของวงรีและมีช่วงที่ชิดกันมากในแถบที่ห่างจากจุดสัมผัสออกไป ส่วนเส้นขนานเป็นเส้นตรงทุกเส้นและมีช่วงชิดกันมากในแถบขั้วโลก (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.9



ภาพประกอบ 1.9 ระนาบสัมผัสที่ศูนย์สูตร (อิเควทอเรียลออร์โทกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

2.1.1.3ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ที่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (Oblique position) หรือเรียกว่า เส้นโครงแบบออบบลีกออร์โทกราฟิก (Oblique orthographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสเป็นเส้นตรง นอกนั้นเป็นส่วนโค้งของวงรี และมีช่วงชิดมากเมื่ออยู่ห่างจากบริเวณที่สัมผัสออกไป ส่วนเส้นขนานเป็นส่วนโค้งวงกลม (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.10

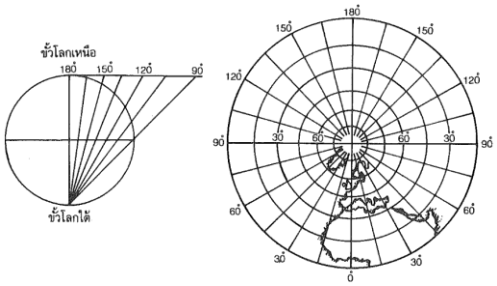


ภาพประกอบ 1.10 ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (ออบบลีกออร์โทกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

เส้นโครงแผนที่แบบออร์โทกราฟิกนี้สามารถแสดงรายละเอียดได้มากที่สุดเพียงซีกโลกเดียวเท่านั้น นอกจากจะไม่มีคุณสมบัติคงรูปแล้วยังไม่มีคุณสมบัติคงพื้นที่อีกด้วย เมื่อพิจารณาถึงมาตราส่วนของแผนที่แล้ว มาตราส่วนบริเวณศูนย์กลางของแผนที่จะใหญ่กว่าบริเวณขอบของแผนที่ ดังนั้น การใช้ประโยชน์ของเส้นโครงแบบนี้ค่อนข้างจำกัด เส้นโครงแบบนี้ให้ประโยชน์เพียงแสดงภาพของลูกโลกในลักษณะสามมิติ เหมือนภาพถ่ายของโลกซึ่งถ่ายจากภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยเหตุนี้เส้นโครงนี้จึงปรากฏเป็นแผนที่ประกอบในบทความหรือในหนังสือต่าง ๆ

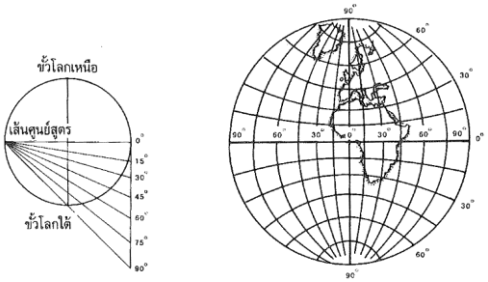
2.1.2 เส้นโครงแผนที่แบบสเตริโอกราฟิก (Stereographic projection) เส้นโครงแบบนี้มีแหล่งที่ใช้ในการฉายแสงอยู่ ณ ตำแหน่งตรงกันข้ามกับจุดระนาบสัมผัส ส่วนระนาบที่รองรับในการฉายแสง จะสัมผัสลูกโลกตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

2.1.2.1 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (Polar position) หรือเรียกว่า เส้นโครงแบบโพลาร์สเตริโอกราฟิก (Polar stereographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงแยกออกเป็นรัศมีออกจากจุดสัมผัสคล้ายล้อรถ ส่วนเส้นขนานเป็นวงกลมที่มีวงกลมที่มีจุดสัมผัสเป็นจุดศูนย์กลางร่วม โดยที่ช่วงระหว่างเส้นขนานบริเวณศูนย์สูตรจะห่างกว่าบริเวณขั้วโลก (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535) ดังภาพประกอบ 1.11



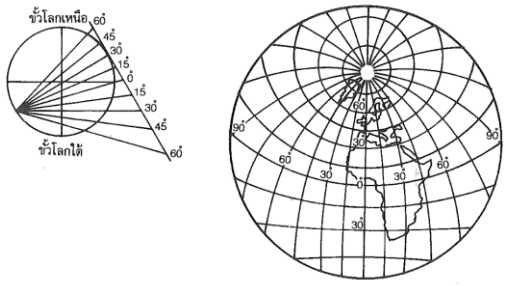
ภาพประกอบ 1.11 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (โพลาร์สเตริโอกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

2.1.2.2 ระนาบสัมผัสที่จุดบนศูนย์สูตร (Equatorial Position) หรือเรียกว่า เส้นโครงแบบอิเควทอเรียลสเตริโอกราฟิก (Equatorial stereographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสเป็นเส้นตรง นอกนั้นเป็นส่วนโค้งของวงกลมและมีช่วงห่างมากเมื่ออยู่ห่างจากจุดสัมผัสออกไป ส่วนเส้นขนานเฉพาะศูนย์สูตรเป็นเส้นตรง เส้นขนานอื่นๆ เป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีช่วงห่างกันมากในแถบขั้วโลก (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535) ดังภาพประกอบ 1.12



ภาพประกอบ 1.12 ระนาบสัมผัสที่ศูนย์สูตร (อิเควทอเรียลสเตริโอกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

2.1.2.3 ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ที่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (Oblique position) หรือเรียกว่า เส้นโครงแบบออบลีกสเตริโอกราฟิก (Oblique stereographic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสเป็นเส้นตรง นอกนั้นเป็นส่วนโค้งของวงกลมโดยช่วงของเส้นเมริเดียนห่างมากเมื่ออยู่ไกลจุดสัมผัส ส่วนเส้นขนานเป็นส่วนโค้งวงกลมที่มีช่วงห่างกันมากในบริเวณขั้วโลก (สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร, 2535) ดังภาพประกอบ 1.13

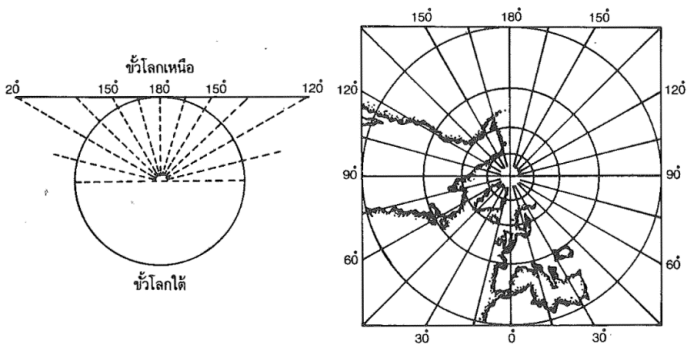


ภาพประกอบ 1.13 ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ที่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (ออบบลีกสเตริโอกราฟิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

เส้นโครงแผนที่แบบสเตริโอกราฟิก สามารถแสดงรายละเอียดได้เกินกว่าซีกโลก คุณสมบัติที่สำคัญของเส้นโครงนี้คือ มีภาวะคงรูปอย่างแท้จริง เมื่อพิจารณาถึงมาตราส่วนแล้ว มาตราส่วนบริเวณขอบของแผนที่ซึ่งอยู่ไกลจากจุดสัมผัส จะมีมาตราส่วนใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เส้นโครงนี้มีความสำคัญในการทำแผนที่บริเวณขั้วโลก เพื่อกิจการต่าง ๆ เช่น แผนที่การบิน การใช้ขีปนาวุธระยะไกล

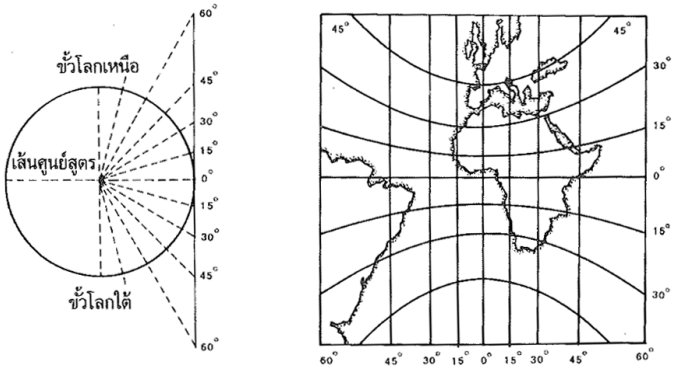
2.1.3 เส้นโครงแผนที่แบบโนโมนิก (Gnomonic projection) เส้นโครงแบบนี้มีแหล่งที่ใช้ในการฉายแสงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก ส่วนแผ่นระนาบที่ใช้รองรับในการฉายแสงจะสัมผัสลูกโลกตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

2.1.3.1 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (Polar position) เรียกว่า เส้นโครงแบบโพลาร์โนโมนิค (Polar gnomonic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงแยกออกเป็นรัศมีออกจากจุดสัมผัส ส่วนเส้นขนานเป็นวงกลมที่มีจุดสัมผัสเป็นจุดศูนย์กลางร่วม โดยที่ช่วงระหว่างเส้นขนานบริเวณศูนย์สูตรจะห่างกว่าบริเวณขั้วโลก ดังภาพประกอบ 1.14



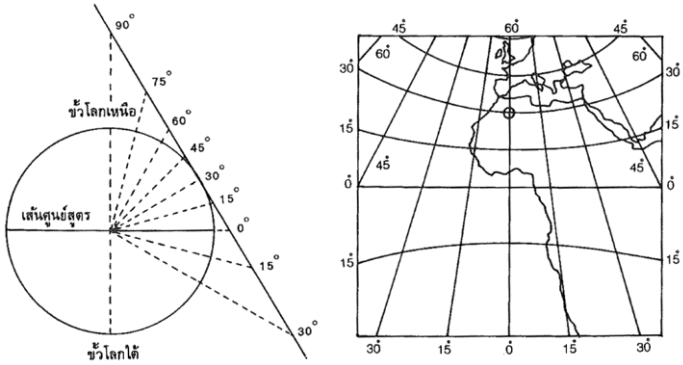
ภาพประกอบ 1.14 ระนาบสัมผัสที่ขั้วโลก (โพลาร์โนโมนิค)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

2.1.3.2 ระนาบสัมผัสที่จุดบนศูนย์สูตร (Equatorial Position) เรียกว่า เส้นโครงแบบอิเควทอเรียลโนโมนิค (Equatorial gnomonic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงทุกเส้น โดยที่ช่วงของเส้นเมริเดียนห่างเป็นลำดับเมื่ออยู่ห่างจากจุดสัมผัสออกไป ส่วนเส้นขนานเฉพาะศูนย์สูตรเป็นเส้นตรง เส้นขนานอื่นๆ เป็นส่วนโค้ง ซึ่งยิ่งห่างจากศูนย์สูตรออกไปจะมีความโค้งแตกต่างกันมาก และมีช่วงห่างเพิ่มมากขึ้นจนสังเกตได้ชัดเจน ดังภาพประกอบ 1.15



ภาพประกอบ 1.15 ระนาบสัมผัสที่ศูนย์สูตร (อิเควทอเรียลโนโมนิค)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

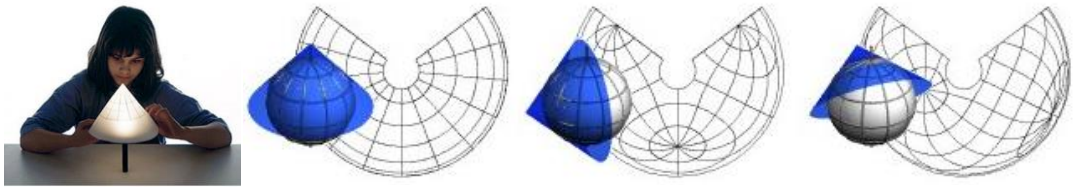
2.1.3.3 ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ที่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (Oblique position) เรียกว่า เส้นโครงแบบออบบลีกโนโมนิก (Oblique gnomonic projection) มีลักษณะเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงทุกเส้น ส่วนเส้นขนานเฉพาะศูนย์สูตรเท่านั้นที่เป็นเส้นตรง เส้นขนานอื่น ๆ เป็นส่วนโค้งมีช่วงห่างกันมากในบริเวณที่อยู่ห่างจากจุดสัมผัสออกไป (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.16



ภาพประกอบ 1.16 ระนาบสัมผัส ณ จุดซึ่งมิได้อยู่ที่ขั้วโลกและศูนย์สูตร (ออบบลีกโนโมนิก)
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

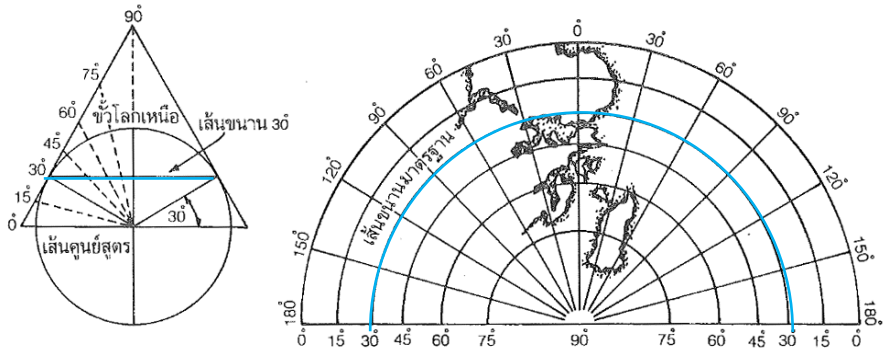
เส้นโครงแบบโนโมนิก สามารถแสดงรายละเอียดได้ไม่เต็มซีกโลก ไม่มีคุณสมบัติคงรูปอย่างแท้จริง เพราะบริเวณที่อยู่ห่างจากจุดสัมผัสจะมีรูปร่างบิดเบี้ยว มาตราส่วนบริเวณที่ห่างจากจุดสัมผัสมีมาตราส่วนใหญ่ขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม บริเวณที่มาตราส่วนไม่ขยาย เส้นโครงยังคงรักษาคุณสมบัติการคงรูปไว้ได้ ส่วนดีของเส้นโครงแผนที่แบบโนโมนิก คือ ส่วนโค้งส่วนหนึ่งของวงกลมใหญ่ จะปรากฏบนเส้นโครงแผนที่เป็นเส้นตรง และเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดสองจุดในแผนที่ประเภทนี้จะเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด ดังนั้น เส้นโครงแผนที่ประเภทนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำแผนที่เดินเรือ

2.2 เส้นโครงแผนที่อาศัยกรวย (Conic projection) เส้นโครงประเภทนี้สร้างขึ้นโดยสมมติให้ฉายแสงจากจุดศูนย์กลางของโลก โดยให้เส้นขนานและเส้นเมริเดียนไปปรากฏบนแผ่นรองรับรูปกรวยซึ่งสัมผัสโลก ณ เส้นขนานใดๆ เส้นหนึ่ง แผนที่จากเส้นโครงประเภทนี้จะแสดงรายละเอียดอยู่ภายในขอบเขตส่วนหนึ่งของวงกลมเท่านั้น ซึ่งต่างจากแผนที่ที่ได้จากเส้นโครงอาศัยระนาบ เส้นโครงแผนที่แบบอาศัยกรวยมีหลายชนิดได้แก่ ดังภาพประกอบ 1.17



ภาพประกอบ 1.17 รูปทรงเรขาคณิตของฉากรับแบบกรวย วางสัมผัสในตำแหน่งที่แตกต่างกัน
ที่มา : Carlos A. Furuti, (2002)

2.2.1 เส้นโครงแบบเปอร์สเปคทีฟโคนิก (Perspective conic projection) เส้นโครงแบบนี้มีหลักการว่า ให้กรวยครอบบนลูกโลก ให้จุดยอดของกรวยอยู่ในแนวแกนของโลก โดยที่ผิวของกรวยสัมผัสกับผิวลูกโลก ณ เส้นขนานใดๆ เส้นหนึ่ง แล้วทำการฉายแสง เมื่อคลี่กรวยออกเป็นแผ่นแบนราบจะได้เส้นโครงแผนที่ (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531) ดังภาพประกอบ 1.18

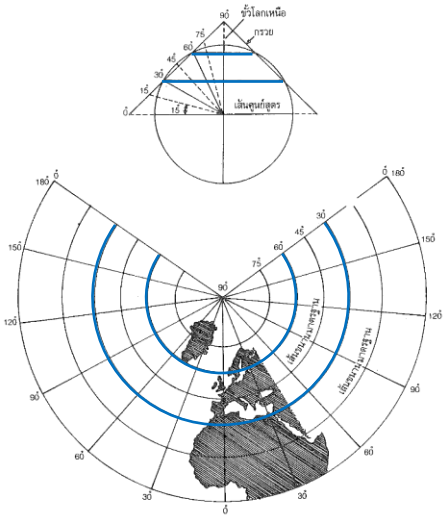


ภาพประกอบ 1.18 เส้นโครงแผนที่แบบเปอร์สเปคทีฟโคนิก
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

ลักษณะของเส้นโครงแผนที่แบบนี้ คือ เส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงเป็นรัศมีจากขั้วโลก ส่วนเส้นขนานเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีขั้วโลกเป็นจุดศูนย์กลางร่วม เส้นขนานที่กรวยสัมผัสลูกโลก เรียกว่า เส้นขนานมาตรฐาน (Standard parallel) ช่วงระยะเส้นขนานในแถบที่ห่างจากเส้นขนานมาตรฐานออกไปจะเพิ่มมากขึ้น คุณสมบัติของเส้นโครงนี้คือ รักษาระยะตามเส้นขนานมาตรฐาน และมาตราส่วนตามเส้นขนานมาตรฐานจะเหมือนกับมาตราส่วนบนโลก แต่บริเวณที่ห่างจากเส้นขนานมาตรฐานมากเท่าใด มาตราส่วนยิ่งใหญ่เพิ่มมากขึ้น

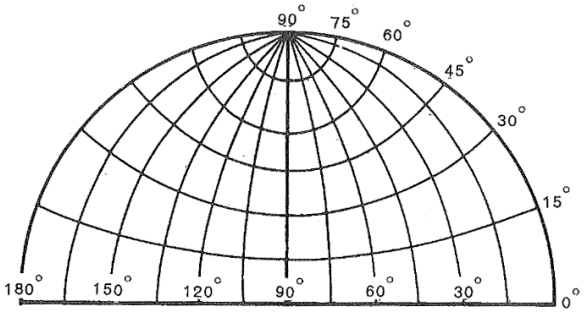
จากที่กล่าวแล้วจะเห็นว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีจะปรากฏตามเส้นขนานมาตรฐานทั้งสิ้น จึงได้คิดดัดแปลงเส้นมาตรฐานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เส้น ด้วยการสมมติให้กรวยตัดผ่านลูกโลก ณ เส้นขนาน 2 เส้น เส้นขนาน 2 เส้นนี้จะเป็นเส้นขนานมาตรฐาน การเพิ่มเส้นมาตรฐานเป็น 2 เส้นทำให้คุณสมบัติของภาวะคงระยะตามเส้นมาตรฐานเพิ่มขึ้น รวมทั้งมาตราส่วนบริเวณที่อยู่ห่างจากเส้นขนานมาตรฐานทั้งสองเส้นออกไปด้านนอก จะไม่ใหญ่กว่ามาตราส่วนตามเส้นขนานมาตรฐานมากนัก ส่วนบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นมาตรฐานทั้งสอง จะมีมาตราส่วนที่เล็กกว่ามาตราส่วนตามเส้นขนานมาตรฐาน ในการที่จะใช้เส้นโครงแผนที่ที่มีเส้นขนานมาตรฐาน 2 เส้น ต้องคำนึงถึงรูปร่างและตำแหน่งของพื้นที่ประเทศที่ต้องการทำแผนที่ด้วย คือ เส้นโครงแบบนี้เหมาะสำหรับประเทศที่อยู่ในเขตเส้นขนาน 30 - 60 องศา และมีรูปร่างของพื้นที่เป็นแถบยาวขนานกับเส้นขนาน (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531)

2.2.2 เส้นโครงแผนที่คงรูปอาศัยกรวยแบบแลมเบิร์ต (Lambert conformal conic projection) เป็นเส้นโครงอาศัยกรวยซึ่งมีเส้นขนาน 2 เส้นอีกชนิดหนึ่ง แต่ได้รับการดัดแปลงให้มีคุณสมบัติดีขึ้น ลักษณะของเส้นโครงแผนที่เหมือนกับลักษณะของเส้นโครงแผนที่แบบอาศัยกรวยทั่วไป แต่ช่วงห่างระหว่างเส้นขนานจะใกล้เคียงกันทุกช่วงจนไม่สามารถสังเกตความแตกต่างได้ ดังภาพประกอบ 1.19



ภาพประกอบ 1.19 เส้นโครงแผนที่แบบอาศัยกรวย ซึ่งมีเส้นขนานมาตรฐาน 2 เส้น
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

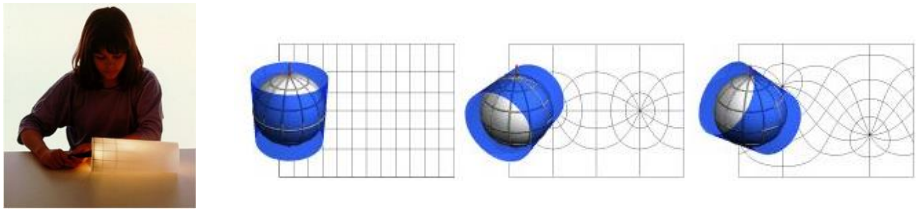
2.2.3 เส้นโครงแผนที่แบบโพลิโคนิก (Polyconic projection) จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า เส้นโครงแผนที่ที่มีเส้นขนานมาตรฐาน 2 เส้น ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าเส้นโครงแผนที่ที่มีเส้นขนานมาตรฐานเส้นเดียว ดังนั้น ถ้าเพิ่มเส้นขนานมาตรฐานให้มากขึ้นไปอีก คุณสมบัติของเส้นโครงแผนที่ย่อมจะดีขึ้น แต่เราไม่สามารถทำให้กรวยตัดผ่านผิวโลกตามเส้นขนานมากเกินมากกว่า 2 เส้นได้ จึงได้ดัดแปลงให้กรวยหลายๆ กรวยครอบครอบลงบนลูกโลก และสัมผัสผิวโลกตามเส้นขนานต่าง ๆ แล้วใช้บริเวณในแถบใกล้ๆ เส้นขนานแต่ละเส้นเท่านั้นเป็นพื้นรองรับการฉายแสง ด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้เส้นโครงแผนที่แบบนี้มีเส้นขนานมาตรฐานได้หลายเส้น ดังภาพประกอบ 1.20



ภาพประกอบ 1.20 เส้นโครงแผนที่แบบโพลิโคนิก
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

ลักษณะของเส้นโครงแผนที่แบบนี้ มีลักษณะเส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสจะเป็นเส้นตรง ส่วนเส้นเมริเดียนอื่น ๆ จะเป็นเส้นโค้งเข้าหาขั้วโลกและตัดผ่านเส้นขนานแต่ละเส้นด้วยช่วงห่างที่เท่ากัน ส่วนเส้นขนานจะเป็นส่วนโค้งของวงกลม ยกเว้นศูนย์สูตรที่เป็นเส้นตรง คุณสมบัติของเส้นโครงนี้คือ ไม่คงรูปและไม่คงพื้นที่ แต่ในบริเวณใกล้ๆ เส้นเมริเดียนของจุดสัมผัสจะมีความบิดเบี้ยวน้อยมาก

2.3 เส้นโครงแผนที่อาศัยกระบอก (Cylindrical projection) เส้นโครงประเภทนี้ได้จากการฉายแสงเส้นขนานและเส้นเมริเดียนลงบนผิวของกระบอกที่สัมผัสผิวลูกโลก โดยที่แกนของกระบอกอาจจะทับหรือตั้งฉาก หรือเอียงทำมุมกับแกนของโลกก็ได้ ดังภาพประกอบ 1.21

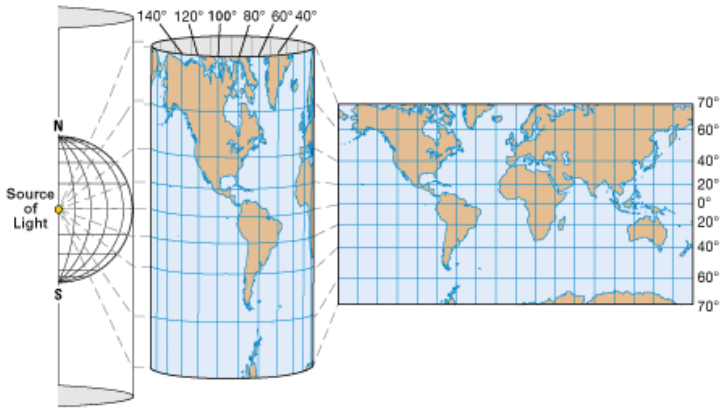


ภาพประกอบ 1.21 รูปทรงเรขาคณิตของฉากรับแบบกระบอก วางสัมผัสในตำแหน่งที่แตกต่างกัน
ที่มา : Carlos A. Furuti, (2002)

2.3.1 เส้นโครงแบบเมอร์เคเตอร์ (Mercator projection) เมอร์เคเตอร์ได้ประดิษฐ์เส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ขึ้นในศตวรรษที่ 16 และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน หลักการสร้างเส้นโครงแผนที่ชนิดนี้ใช้รูปทรงกระบอกสัมผัสผิวโลกที่ระนาบศูนย์สูตร แล้วฉายแสงให้เส้นเมริเดียนและเส้นขนานปรากฏบนพื้นทรงกระบอก ลักษณะเส้นโครงแผนที่จะมีเส้นเมริเดียนเป็นเส้นตรงขนานกัน มีช่วงเท่ากันทุกเส้นส่วนเส้นขนานเป็นเส้นตรงขนานกัน ซึ่งช่วงห่างจะมากขึ้นเมื่อขึ้นไปยังขั้วโลกทั้งสองบริเวณจุดสัมผัสจะมีความถูกต้องมากในการรักษารูปร่าง แต่มีการบิดเบี้ยวมากบริเวณใกล้ขั้วโลกจึงไม่นิยมใช้ทำแผนที่ในบริเวณพื้นที่เหนือเส้นขนาน 80 องศาเหนือ-ใต้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) ดังภาพประกอบ 1.22

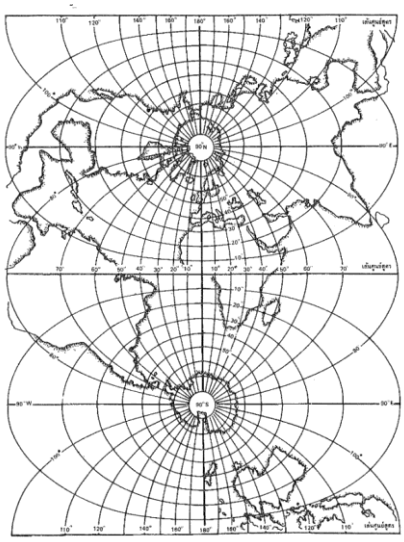
คุณสมบัติที่สำคัญของเส้นโครงแบบนี้ คือ คงรูป เกาะหรือประเทศจะมีรูปร่างเหมือนจริงบนผิวโลก แต่อย่างไรก็ตาม มาตราส่วนของแผนที่จะใหญ่ขึ้นมากเมื่อเข้าใกล้ขั้วโลก คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เส้นตรงที่ขีดลงบนแผนที่ชนิดนี้จะเป็นแนวบนผิวโลกที่มีทิศทางคงที่ตลอดทั้งเส้น เส้นตรงที่มีลักษณะนี้เรียกว่า เส้นเกลียว หรือ รัมบ์ไลน์ (Rhumb line) ดังนั้น จึงเป็นแผนที่ที่เหมาะสำหรับใช้ในการเดินเรือและอากาศยาน ในการเดินเรือและอากาศยาน ซึ่งต้องการทั้งระยะทางที่สั้นที่สุดและรักษาทิศทางได้ดี จึงต้องอาศัยส่วนดีของวงกลมใหญ่และรัมบ์ไลน์ประกอบกล่าวคือ ในทางปฏิบัติจะกำหนดเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทางตามวงกลมใหญ่ จากแผนที่ที่ใช้เส้นโครงแบบโนโมนิกซึ่งวงกลมใหญ่เป็นเส้นตรง แล้วโอนเส้นทางตามวงกลมใหญ่มาลงบนแผนที่แบบ

เมอร์เคเตอร์เป็นช่วงสั้นๆ และใช้ทิศทางของเส้นทางช่วงสั้นๆ ในแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ในการเดินทาง เมื่อหมดช่วงหนึ่งก็เปลี่ยนเป็นทิศทางของช่วงต่อไปตามลำดับ



ภาพประกอบ 1.22 การฉายแสงลงบนกระบอกที่จัดให้สัมผัสผิวโลกตามศูนย์สูตร
ที่มา : Britannica, (2010)

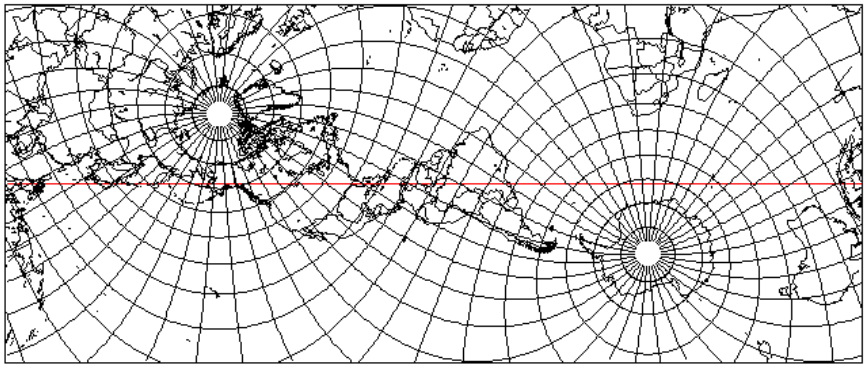
2.3.2 เส้นโครงแผนที่ทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ (Transverse Mercator projection) เส้นโครงแผนที่แบบนี้จัดให้กระบอกสัมผัสผิวโลกตามเส้นเมริเดียนคู่หนึ่งที่อยู่ตรงข้ามคนละซีกโลก ดังนั้น แกนของทรงกระบอกตั้งฉากกับแกนโลก ซึ่งจัดให้กระบอกสัมผัสลูกโลกที่เส้นเมริเดียน 0 และ 180 องศา ดังภาพประกอบ 1.23



ภาพประกอบ 1.23 เส้นโครงแผนที่ทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์
ที่มา : สรรค์ใจ กลิ่นดาว, (2531)

คุณสมบัติของเส้นโครงแบบนี้คือ มีภาวะคงระยะตามเมริเดียนของจุดสัมผัส หรือที่เรียกว่า เมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) มาตราส่วนตามเมริเดียนย่านกลางคงที่ตลอดเส้น แต่มาตราส่วนจะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออยู่ห่างจากเมริเดียนย่านกลางออกไป ดังนั้นจึงนิยมใช้เส้นโครงแบบนี้กับพื้นที่ที่ยาวไปตามเมริเดียนย่านกลาง (สรรค์ใจ กลิ่นดาว, 2531)

2.3.3 เส้นโครงแผนที่แบบออฟลิคเมอร์เคเตอร์ (Oblique Mercator Projection) เป็นเส้นโครงแผนที่อีกแบบหนึ่งที่ใช้ทรงกระบอกสัมผัสลูกโลก ณ บริเวณที่ใดที่หนึ่งตามที่กำหนดได้โดยแกนของทรงกระบอกไม่ได้ขนานกับแกนของลูกโลก หรือตั้งฉากกับแกนลูกโลก คือ เอียงไปได้รอบลูกโลก เมื่อคลี่ทรงกระบอกออกมา จะได้เส้นเมริเดียนและเส้นขนานมีลักษณะเป็นเส้นโครงตัดกันเป็นมุมฉาก บริเวณที่ถูกต้องไม่บิดเบี้ยว และรักษารูปร่างได้ดี ประโยชน์มักจะใช้ทำแผนที่การบินแสดงเกี่ยวกับระยะทาง ดังภาพประกอบ 1.24



ภาพประกอบ 1.24 เส้นโครงแผนที่แบบออฟลิคเมอร์เคเตอร์
ที่มา : John Savard, (2000)

สรุป

ในการผลิตแผนที่ควรมีการพิจารณาสัณฐานโลก พื้นหลักฐานและเส้นโครงแผนที่ โดยพื้นหลักฐานจะสัมพันธ์กับสัณฐานของโลก โดยสัณฐานของโลกมีการจำลองออกเป็น 3 แบบคือ สัณฐานทรงกลมเหมาะสำหรับแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก สัณฐานทรงรีเหมาะสำหรับการทำแผนที่แบบละเอียดและสัณฐานแบบยีออยด์ที่ใกล้เคียงกับโลกมากที่สุดจึงเหมาะสำหรับงานรังวัดที่ต้องการความถูกต้องมาก บนโลกเลือกใช้พื้นหลักฐานที่ประจำท้องถิ่นที่แตกต่างกัน โดยเลือกใช้รูปทรงรีที่มีตำแหน่งอ้างอิงที่ทำให้พื้นผิวของรูปทรงรีที่เข้ากันได้ดีกับพื้นผิวของโลกในแต่ละภูมิภาคหรือประเทศนั้น ๆ พื้นหลักฐานจะยึดตำแหน่งที่แน่นอนบนพื้นผิวของโลกทรงรีกับตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวยีออยด์ ปัจจุบัน ในการผลิตแผนที่จำเป็นจะต้องใช้พื้นหลักฐานเดียวกัน เพื่อให้ข้อมูลมีจุดอ้างอิงจากพื้นหลักฐานเดียวกัน คือ พื้นหลักฐาน WGS 84 เส้นโครงแผนที่มีสมบัติหลัก 3 ประการ คือ คุณสมบัติคงรูป ได้แก่ เส้น

โครงแผนที่แบบทรงกระบอกและแบบกรวย คุณสมบัติคงพื้นที่ ได้แก่ เส้นโครงแผนที่แบบกรวย คุณสมบัติคงทิศทาง ได้แก่ เส้นโครงแผนที่ที่ใช้ระนาบสัมผัส และเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ ดังนั้น บนตำแหน่งต่าง ๆ บนโลกที่มีภูมิประเทศที่แตกต่างกันประกอบกับการผลิตแผนที่ในวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน จึงมีการเลือกใช้พื้นหลักฐานและเส้นโครงแผนที่ที่แตกต่างกันตามไปด้วย