



# จ้ออเดซึ



พุทธิพล ดำรงชัย

จีออเดซี คือศาสตร์แห่งการทำความเข้าใจโลก  
ผ่านขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง และการเปลี่ยนแปลงของโลก

*Geodesy is the science of understanding the Earth  
through its size, shape, position, and change.*



# จีออเดซี

# Geodesy

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล ดำรงชัย  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พ.ศ. ๒๕๖๙

จีออเดซี

Geodesy

โดย พุทธิพล ดำรงชัย

๒๕๖๙

พิมพ์ครั้งที่ ๑ เมษายน ๒๕๖๙

รูปแบบ : หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (e-book)

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่สำหรับการศึกษาและการอ้างอิงทางวิชาการ โดยมีได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

ISBN 978-616-630-669-9 (ฉบับพิมพ์)

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. ๒๕๓๗

ห้ามคัดลอก ดัดแปลง พิมพ์ซ้ำ หรือเผยแพร่ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วน เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

นอกเหนือจากที่กฎหมายกำหนด โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียน

การอ้างอิงข้อความ รูป ตาราง หรือสมการบางส่วน เพื่อการศึกษา วิจัย หรือการใช้งานทางวิชาการ

สามารถกระทำได้โดยต้องแสดงที่มาอย่างถูกต้อง ตามหลักการใช้งานโดยชอบธรรม

#### ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

พุทธิพล ดำรงชัย.

จีออเดซี.-- เชียงใหม่ : [ม.ป.พ.], 2569.

416 หน้า.

1. วิศวกรรมสำรวจ. 2. ดาราศาสตร์ -- การคำนวณ. I. ชื่อเรื่อง.

526.3

ISBN 978-616-631-636-0

#### จัดทำโดย :

รองศาสตราจารย์ ดร. พุทธิพล ดำรงชัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ๕๐๒๐๐

โทรศัพท์ ๐๕๓-๙๔-๔๑๕๙

โทรสาร ๐๕๓-๘๙-๒๓๗๖

อีเมลล์ puttapol.d@cmu.ac.th, pdumrong@hotmail.com

## คำนำ

จีโอเดซี (Geodesy) หรือ ภูมิมาตรศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ (Earth and Space Sciences) ว่าด้วยการหาขนาด รูปร่าง และสนามแรงโน้มถ่วงของโลก ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี เช่น ระบบดาวเทียมนำหนหรือจีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite System, GNSS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) และการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) ได้ทำให้ศาสตร์ทางด้านจีโอเดซีมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในชีวิตประจำวัน ทั้งในงานก่อสร้าง การคมนาคม และการบริการแผนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงบทบาทในการศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติและภัยพิบัติที่มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) จากภาวะโลกร้อน (Global Warming) เช่น แผ่นดินไหว มหันตภัยน้ำท่วม ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง (Urban Heat Island) การเปลี่ยนรูปของเปลือกโลก (Crustal Deformation) การฟื้นตัวของเปลือกโลกหลังยุคน้ำแข็ง (Post-Glacial Rebound) การเพิ่มของระดับน้ำทะเล (Sea Level Rise) และการทรุดตัวของแผ่นดิน (Land Subsidence) เป็นต้น

ในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้งานจีโอเดซีได้ก้าวล้ำไปอีกขั้นด้วยการผสมผสานเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์ในพื้นที่ห่างไกลได้อย่างต่อเนื่อง และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งช่วยวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่จากระบบ GNSS และ Remote Sensing ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำยิ่งขึ้น ทำให้การเฝ้าติดตามและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของโลกเป็นไปอย่างทันท่วงทีและน่าเชื่อถือมากขึ้น การผสมผสานของเทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้จีโอเดซีมีบทบาทกว้างขวางยิ่งขึ้น จากเดิมที่มุ่งเน้นการรังวัดและคำนวณค่าพิกัด สู่การทำความเข้าใจกลไกของโลกในมิติเวลาและพื้นที่อย่างลึกซึ้งมากขึ้น ข้อมูลเชิงจีโอเดซีจึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาระบบโลก (Earth System) ทั้งในด้านกายภาพและการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมตามกาลเวลา

นอกจากนี้ จีโอเดซีเป็นรากฐานหลักของแนวคิดแบบจำลองเสมือนจริงหรือดิจิทัลทวิน (Digital Twin) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาองค์ความรู้และการประยุกต์ใช้ในศตวรรษที่ 21 โดยทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างโลกเสมือนจริงที่สอดคล้องกับโลกจริง ทั้งในด้านกรอบพิกัดอ้างอิงที่มีความเสถียร การตรวจวัดและประเมินความถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่ ตลอดจนการบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น ข้อมูลตำแหน่งจากระบบดาวเทียม GNSS, ข้อมูล Remote Sensing, การสำรวจด้วยไลดาร์ (Light Detection and Ranging, LiDAR), ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) และเซนเซอร์ภาคพื้นดินอื่น ๆ เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงลึกของระบบโลกที่สามารถจำลองและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของโลกได้อย่างแม่นยำ ดิจิทัลทวินจึงไม่เพียงเป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แต่เป็น “โลกจำลองที่มีรากฐานอยู่บนกรอบจีโอเดซี” ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์ การวางแผน และการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม โครงสร้างพื้นฐาน และภัยพิบัติของมนุษยชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

หนังสือเล่มนี้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของแนวคิดและหลักการจากตำราเกี่ยวกับจีโอเดซีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น Geodesy และ Gravimetry ของ Professor Wolfgang Torge แห่งมหาวิทยาลัยฮันโนเวอร์ ประเทศเยอรมนี, Physical Geodesy ของ Professor

Weikko A. Heiskanen, Professor Helmut Moritz และ Professor B. Hofmann-Wellenhof แห่งสถาบันจีออเดซีเชิงกายภาพ มหาวิทยาลัยเทคนิคกราซ (Institute of Physical Geodesy, Technical University, Graz, Austria) และ Geometric Reference Systems in Geodesy ของ Professor Christopher Jekeli แห่งมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยผู้เขียนได้นำแนวคิดที่สำคัญจากตำราเหล่านี้มาสังเคราะห์ร่วมกับประสบการณ์ด้านการสอนและการวิจัย เพื่อจัดทำเนื้อหาให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานด้านจีออเดซีในบริบทประเทศไทย

นอกจากนี้ยังอ้างอิงจากตำรา *จีออเดซี* ของรองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, เอกสารคำสอน *การรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง (Advanced GPS Satellite Surveying)* ของศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หนังสือ *จีออเดซีเชิงเรขาคณิตและจีออเดซีเชิงกายภาพเบื้องต้น: หลักการพื้นฐานของจีโอมेटริกส์ (Introduction to geometrical and physical geodesy: Foundations of geomatics)* ของ Professor Thomas H. Meyer แห่งมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐคอนเนตทิคัต ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมถึงเอกสารคำสอน *การปรับแก้กำลังสองน้อยสุด (Least squares adjustment)* ของ Professor Burkhard Shaffrin และเอกสารคำสอนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในช่วงที่ผู้เขียนศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐเมนน์ (University of Maine) และมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐโอไฮโอ (The Ohio State University) ประเทศสหรัฐอเมริกา อีกทั้งยังได้สอดแทรกผลงานวิจัยของผู้เขียนเองและผลงานวิจัยที่น่าสนใจของนักวิชาการท่านอื่นลงในหนังสือเล่มนี้ด้วย

หนังสือเล่มนี้รวบรวมองค์ความรู้ที่สำคัญและการประยุกต์ด้านจีออเดซี โดยครอบคลุมตั้งแต่หลักการทางเรขาคณิตและฟิสิกส์ของโลก ไปจนถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้ในงานรังวัด เช่น ระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส และการวัดความโน้มถ่วง บทนำเริ่มต้นด้วยการกล่าวถึงพัฒนาการของศาสตร์จีออเดซีและบทบาทสำคัญในยุคเทคโนโลยีดาวเทียม บทที่ 2-3 นำเสนอแนวคิดจีออเดซีเชิงเรขาคณิต เช่น พิกัดจีออเดติก พิกัดฉาก และกรอบอ้างอิงภาคพื้นดิน ส่วนบทที่ 4-5 กล่าวถึงจีออเดซีเชิงกายภาพ เช่น ผิวสมคักย์ เส้นโค้ง และระบบความสูง พร้อมทั้งแนวคิดจีออเดซีเชิงโครโนเมตริก (Chronometric Geodesy) ซึ่งใช้นาฬิกาอะตอมในการวัดค่าความสูง บทที่ 6-7 อธิบายผลกระทบจากปรากฏการณ์น้ำขึ้นลง และวิธีการวัดความโน้มถ่วงทั้งแบบสัมบูรณ์ สัมพัทธ์ และด้วยดาวเทียม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างแบบจำลองจีออยด์ที่มีความละเอียดสูง รองรับการหาค่าความสูงสมัยใหม่ร่วมกับเทคโนโลยีดาวเทียมในระบบจีเอ็นเอสเอสและการศึกษาสัณฐานของโลกอย่างลึกซึ้ง

ในบทที่ 8-12 ผู้เขียนได้นำเสนอเทคนิคและการประยุกต์ใช้งานจีออเดซี เช่น ระบบดาวเทียมจีพีเอส จีเอ็นเอสเอส และโครงข่ายหมุดควบคุมทางจีออเดซี (บทที่ 8-9), การฉายแผนที่และการวิเคราะห์ความบิดเบี้ยวของระบบพิกัด (บทที่ 10), ตลอดจนการศึกษากระบวนการทางธรณีพลศาสตร์ของโลก (Geodynamics) ผ่านการเปลี่ยนแปลงของสนามความโน้มถ่วงและการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (บทที่ 11), และปิดท้ายด้วยการปรับแก้กำลังสองน้อยสุด (Least Squares Adjustment) เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลรังวัด (บทที่ 12) ตลอดทั้งเล่มได้เชื่อมโยงแนวคิดทางทฤษฎีกับการใช้งานจริงในหลากหลายสาขา เช่น งานสำรวจ วิศวกรรมและเทคโนโลยีเชิงพื้นที่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ธรณีฟิสิกส์ และการติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลกทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

คำศัพท์ที่ปรากฏในหนังสือเล่มนี้ได้ผ่านการพิจารณาและคัดเลือกจากแหล่งอ้างอิงหลักทางวิชาการที่เชื่อถือได้ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมสำรวจ ธรณีฟิสิกส์ และภูมิสารสนเทศ โดยเฉพาะจากเอกสารอ้างอิงที่สำคัญ 2 ฉบับ ได้แก่ *ศัพท์แผนที่ อังกฤษ-ไทย ฉบับ*

ราชบัณฑิตยสถานและกรมแผนที่ทหาร (ราชบัณฑิตยสถานและกรมแผนที่ทหาร 2549) และ พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมโยธา ฉบับราชบัณฑิตยสภา (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา 2567) ทั้งนี้ ผู้เขียนได้ปรับเลือกคำศัพท์ที่มีความสอดคล้องกับบริบททางจีโอเดซีร่วมสมัย เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจความหมายได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและสอดคล้องกับการใช้งานจริงในปัจจุบัน นอกจากนี้ ยังมุ่งหวังให้หนังสือเล่มนี้เป็นแนวทางมาตรฐานในการใช้คำศัพท์ทางจีโอเดซี (ภูมิมาตรศาสตร์) ในภาษาไทย เพื่อประโยชน์ต่อการเรียนการสอนและการสื่อสารทางวิชาการในอนาคตอย่างถูกต้องและเป็นเอกภาพ

ผู้เขียนขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยเฉพาะแผนกโรงวัดเหมือง เหมืองถ่านหิน ลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง และ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย ที่กรุณาให้การอนุเคราะห์ด้านการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์สำรวจ และข้อมูลเชิงจีโอเดซีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งผู้เขียนได้นำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและประกอบเนื้อหาบางส่วนในหนังสือเล่มนี้ อันมีส่วนสำคัญต่อความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของผลงานทางวิชาการ ทั้งนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องอีกหลายแห่ง ซึ่งมีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ สำหรับการสนับสนุนและความร่วมมือในด้านต่าง ๆ อันเอื้อต่อการจัดทำหนังสือเล่มนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ จากภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ Professor Christopher Jekeli แห่งมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐโอไฮโอ สำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวคิด และแรงบันดาลใจทางวิชาการด้านจีโอเดซี ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่นำไปสู่การศึกษา การทำงาน และการเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณ อาจารย์ เขตโสภณ ภิญโญ จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับคำแนะนำเชิงวิชาการอันทรงคุณค่า รวมถึง คุณธนากร ธรรมแสง และคุณณัฐชนน มอญแสง นักศึกษาระดับปริญญาโท จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้มีส่วนร่วมในการตรวจสอบต้นฉบับและให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเนื้อหาทั้งในด้านความถูกต้องทางวิชาการและความเหมาะสมต่อผู้อ่านที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในระดับทั่วไป

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ นิสิต นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย และผู้สนใจในศาสตร์ด้านจีโอเดซีและสาขาที่เกี่ยวข้อง ทั้งในเชิงการศึกษา การอ้างอิง และการประยุกต์ใช้งาน หากมีข้อเสนอแนะประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับไว้ด้วยความเคารพ เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาหนังสือให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณและความซาบซึ้งใจอย่างยิ่งต่อ ครอบครัวดำรงชัยและบริบูรณ์ศรี ซึ่งเป็นแรงสนับสนุนและกำลังใจสำคัญตลอดระยะเวลาการจัดทำหนังสือเล่มนี้

พุทธิพล ดำรงชัย  
เชียงใหม่, กุมภาพันธ์ 2569



# สารบัญ

หน้า

คำนำ .....	ค
สารบัญ .....	ข
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญรูป .....	ฐ
รายการคำย่อ .....	พ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 คำจำกัดความ .....	1
1.2 ทำไมจึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับจีโอเดซี .....	2
1.3 ประวัติการหาสัญญาณของโลก.....	4
1.4 องค์กรด้านจีโอเดซีและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง .....	6
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1.....	10
<b>บทที่ 2 เรขาคณิตทรงรี .....</b>	<b>11</b>
2.1 บทนำ .....	11
2.2 ทรงรี.....	12
2.3 พิกัดทรงรี .....	13
2.4 รัศมีความโค้งของรูปทรงรี.....	19
2.5 อะซิมุทของรูปตัดฉาก .....	25
2.6 เส้นโค้งจีโอเดสิก .....	26
2.7 การแปลงระหว่างพิกัดจีโอเดติกและพิกัดฉาก .....	29
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2.....	33
<b>บทที่ 3 ระบบอ้างอิงทางจีโอเดซี.....</b>	<b>35</b>
3.1 บทนำ .....	35
3.2 พิกัดดาราศาสตร์.....	35
3.3 พิกัดฟ้า .....	45
3.4 ระบบเวลา .....	51
3.5 ระบบอ้างอิงภาคพื้นดิน .....	56
3.6 ระบบอ้างอิงฟ้าสากล .....	62
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3.....	63
<b>บทที่ 4 สนามความโน้มถ่วงของโลก.....</b>	<b>65</b>
4.1 บทนำ .....	65
4.2 ความดึงดูด ความโน้มถ่วง และศักย์ .....	65
4.3 สูตรอนุพันธ์และอินทิกรัลของศักย์ความดึงดูด .....	68
4.4 อนุกรมฮาร์โมนิกทรงกลม .....	69

4.5	คุณลักษณะของฮาร์มอนิกทรงกลมและสัมประสิทธิ์กรีต่ำ	71
4.6	ความโน้มถ่วงและศักย์ความโน้มถ่วงของโลก	75
4.7	ผิวระดับและเส้นดิ่ง	76
4.8	จีโออยด์	77
4.9	สนามความโน้มถ่วงของทรงรี	79
4.10	อินทิกรัลของสโตกส์	81
4.11	การแปรเปลี่ยนความโน้มถ่วงตามกาลเวลา	82
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	84
<b>บทที่ 5</b>	<b>ระบบความสูง</b>	<b>85</b>
5.1	บทนำ	85
5.2	การเดินระดับโดยใช้หลอดระดับ	85
5.3	ความสูงพลวัต	87
5.4	ความสูงออร์โทเมตริก	88
5.5	ความสูงปกติ	89
5.6	การหาค่าระดับด้วยระบบดาวเทียมนำหน	91
5.7	การเปรียบเทียบระบบความสูง	93
5.8	การหาความสูงออร์โทเมตริกด้วยนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง	94
5.9	พื้นหลักฐานทางดิ่ง	97
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	101
<b>บทที่ 6</b>	<b>ปรากฏการณ์น้ำขึ้นลงของโลก</b>	<b>103</b>
6.1	บทนำ	103
6.2	ความเร่งและศักย์จากแรงน้ำขึ้นลง	103
6.3	การยืดหดของโลกแข็ง	108
6.4	น้ำขึ้นลงในมหาสมุทร	110
6.5	ระดับน้ำของประเทศไทย	114
6.6	การทำนายระดับน้ำ	121
6.7	เทคโนโลยีทางจีโอเดซีตรวจวัดระดับน้ำขึ้นลง	123
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	126
<b>บทที่ 7</b>	<b>การวัดความโน้มถ่วงของโลก</b>	<b>127</b>
7.1	บทนำ	127
7.2	การวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์	127
7.3	การวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์	136
7.4	การรังวัดความโน้มถ่วงทางอากาศ	142
7.5	การวัดเกรเดียนของความโน้มถ่วง	150
7.6	การวัดความโน้มถ่วงด้วยการติดตามดาวเทียมต่อดาวเทียม	153
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	156

<b>บทที่ 8</b>	<b>หลักการรังวัดด้วยดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก .....</b>	<b>157</b>
8.1	บทนำ .....	157
8.2	หลักการพื้นฐานของการหาตำแหน่งจากดาวเทียม .....	158
8.3	ระบบดาวเทียมนำหนจีพีเอส .....	160
8.4	คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส .....	163
8.5	ค่าสังเกตจีพีเอส .....	165
8.6	การหาผลต่างของข้อมูล .....	168
8.7	การทำงานรังวัดภาคสนาม .....	170
8.8	ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียม .....	173
8.9	ระบบดาวเทียมนำหน .....	175
8.10	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส .....	181
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8 .....	184
<b>บทที่ 9</b>	<b>โครงข่ายหมุดควบคุมทางจีโอเดซี .....</b>	<b>185</b>
9.1	บทนำ .....	185
9.2	โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบ .....	185
9.3	โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบแห่งชาติของประเทศไทย .....	190
9.4	โครงข่ายหมุดควบคุมทางดิ่ง .....	195
9.5	โครงข่ายหมุดควบคุมทางดิ่งแห่งชาติของประเทศไทย .....	199
9.6	โครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วง .....	203
9.7	โครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วงแห่งชาติของประเทศไทย .....	206
9.8	โครงข่ายสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง .....	210
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9 .....	212
<b>บทที่ 10</b>	<b>เส้นโครงแผนที่ .....</b>	<b>213</b>
10.1	บทนำ .....	213
10.2	เส้นโครงแผนที่และคุณลักษณะ .....	213
10.3	เส้นโครงแผนที่แบบกรวยคงรูปแลมเบิร์ต .....	215
10.4	เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ .....	217
10.5	เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวาง .....	218
10.6	การลดทอนระยะทางบนพื้นดินสู่ระนาบของการฉายแผนที่ .....	221
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10 .....	229
<b>บทที่ 11</b>	<b>โครงสร้างและพลศาสตร์ของโลก .....</b>	<b>231</b>
11.1	บทนำ .....	231
11.2	แบบจำลองธรณีฟิสิกส์ของโลก .....	231
11.3	ชั้นตอนบนของโลก .....	235
11.4	จีโอเดซีและธรณีพลศาสตร์ในปัจจุบัน .....	247
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11 .....	259

<b>บทที่ 12 หลักการปรับแก้กำลังสองน้อยสุด .....</b>	<b>261</b>
12.1 บทนำ.....	261
12.2 ธรรมชาติของการวัดและความคลาดเคลื่อนในการวัด.....	262
12.3 แบบจำลองเชิงฟังก์ชันและสถิติ .....	263
12.4 แบบจำลองค่าสังเกตและเงื่อนไข .....	265
12.5 การปรับแก้ด้วยเงื่อนไข .....	275
12.6 การทดสอบสมมติฐาน .....	279
12.7 วงรีความคลาดเคลื่อน .....	282
12.8 ตัวอย่างโครงข่ายหมุดควบคุมสำหรับเฝ้าติดตามแผ่นดินถล่มบริเวณเหมืองแม่เมาะ .....	284
12.9 ตัวอย่างโครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วงแห่งชาติ .....	286
12.10 วิธีการปรับแก้ข้อมูลในรูปแบบอื่น ๆ .....	288
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12 .....	289
<b>ภาคผนวก ก Standards and Specifications for Geodetic Control Networks, .....</b>	<b>293</b>
<b>Federal Geodetic Control Committee 1984 (FGCC 1984)</b>	
<b>ภาคผนวก ข ระเบียบกรมแผนที่ทหาร ว่าด้วยการรังวัดดาวเทียม .....</b>	<b>317</b>
<b>ภาคผนวก ค ระเบียบกรมแผนที่ทหาร ว่าด้วยมาตรฐานงานระดับชั้นที่ 1 .....</b>	<b>323</b>
<b>ภาคผนวก ง ร่างระเบียบกรมแผนที่ทหาร ว่าด้วยการสำรวจความโน้มถ่วงพิภพ.....</b>	<b>327</b>
<b>ภาคผนวก จ ประกาศกรมแผนที่ทหาร เรื่อง ค่าตัวแปรในการแปลงค่าพิกัดระหว่าง .....</b>	<b>337</b>
<b>กรอบพิกัดอ้างอิงสากล</b>	
<b>ภาคผนวก ฉ แนวทางการอ้างอิงรูปภาพและการระบุแหล่งที่มาของผลงานในหนังสือจีโอเดซี .....</b>	<b>341</b>
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>345</b>
<b>ดัชนี (ไทย-อังกฤษ) .....</b>	<b>355</b>
<b>ดัชนี (อังกฤษ-ไทย) .....</b>	<b>369</b>
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>385</b>

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ทรงรีอ้างอิงชนิดต่าง ๆ ระยะกึ่งแกนเอก ( $a$ ) และส่วนกลับของอัตราส่วนยุบ ( $1/f$ )	14
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์สำหรับ ITRF ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989 ถึง 2020	61
ตารางที่ 6.1	องค์ประกอบฮาร์มอนิกน้ำขึ้นลงจากอิทธิพลของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ (ที่มา Bosboom and Stive, 2025, CC BY-NC-SA 4.0)	113
ตารางที่ 6.2	ค่ารายการน้ำขึ้นลง (กรมอุทกศาสตร์ 2567)	116
ตารางที่ 7.1	คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของเครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์รุ่น FG5 และ A10 (ที่มา <a href="https://microglacoste.com/">https://microglacoste.com/</a> )	135
ตารางที่ 8.1	ระบบดาวเทียบนำหนชนิดต่าง ๆ ในจีเอ็นเอสเอส	177
ตารางที่ 9.1	พื้นฐานทางราบของประเทศต่าง ๆ ในทวีปอเมริกา ยุโรป เอเชียและออสเตรเลีย	189
ตารางที่ 9.2	พารามิเตอร์สำหรับการแปลงพิกัดระหว่างพื้นฐานทางราบของประเทศไทย (ที่มา เอี่ยมเกียรติ เจริญสม 2549; Kriengkraiwasin et al., 2021)	193
ตารางที่ 10.1	ตัวประกอบมาตราส่วนกรีตของเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวางสากล (ตัวอักษรปกติ) และตัวประกอบมาตราส่วนรวมที่ระดับความสูงเหนือทรงรี 250 เมตร อ้างอิงพื้นฐานทางราบ WGS84 (ตัวอักษรหนา) บริเวณพื้นที่เหมืองถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีตัวประกอบมาตราส่วนความสูงเท่ากับ 0.9999607 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และ สันติพงศ์ วิถีภักดิ์ 2556)	226
ตารางที่ 10.2	ตัวประกอบมาตราส่วนกรีตของเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวางสากล (ตัวอักษรปกติ) และตัวประกอบมาตราส่วนรวมที่ระดับความสูงเหนือทรงรี 300 เมตร อ้างอิงพื้นฐานทางราบ WGS84 (ตัวอักษรหนา) บริเวณพื้นที่เหมืองถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีตัวประกอบมาตราส่วนความสูงเท่ากับ 0.9999528 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และ สันติพงศ์ วิถีภักดิ์ 2556)	227
ตารางที่ 10.3	ตัวประกอบมาตราส่วนกรีตของเส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวางสากล (ตัวอักษรปกติ) และตัวประกอบมาตราส่วนรวมที่ระดับความสูงเหนือทรงรี 350 เมตร อ้างอิงพื้นฐานทางราบ WGS84 (ตัวอักษรหนา) บริเวณพื้นที่เหมืองถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีตัวประกอบมาตราส่วนความสูงเท่ากับ 0.9999450 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และ สันติพงศ์ วิถีภักดิ์ 2556)	228
ตารางที่ 12.1	ข้อมูลพิกัดของจุดที่วัดได้	267



## สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.1	จีโอเดซีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาขนาด รูปร่าง และสนามความโน้มถ่วงของโลก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยาทั้งภายในและภายนอกโลก	1
รูปที่ 1.2	การหารัศมีโลกของเอราทอสเทนีส การหารัศมีโลกของเอราทอสเทนีส (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	4
รูปที่ 1.3	โลกมีรูปร่างคล้ายทรงรีหมุน แบบที่ขั้วโลกและนูนออกบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งเกิดจากการหมุนรอบแกนของโลก	5
รูปที่ 1.4	ผิวกายภาพของโลก จีออยด์ และทรงรี	6
รูปที่ 2.1	วงรีเป็นตัวแทนของทรงรีสมมาตร	11
รูปที่ 2.2	จุด $P$ อยู่บริเวณเหนือผิวทรงรีสมมาตรในระนาบเมริเดียนและพิกัดฉาก $(x, y, z)$ ที่มีจุดกำเนิดเป็นตำแหน่งเดียวกับศูนย์กลางของทรงรี	15
รูปที่ 2.3	ละติจูดศูนย์โลก	15
รูปที่ 2.4	ละติจูดลดทอน	16
รูปที่ 2.5	ละติจูดจีโอเดติก	16
รูปที่ 2.6	ความชันบนผิวทรงรี	18
รูปที่ 2.7	ความโค้งของโค้งระนาบ	20
รูปที่ 2.8	รูปตัดฉาก (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	22
รูปที่ 2.9	รัศมีความโค้งของรูปตัดฉากตามแนวตั้งหลัก	23
รูปที่ 2.10	ความแตกต่างระหว่าง $R_\alpha$ และ $M$ เทียบกับทิศทางของอะซิมุท $\alpha$ ที่ $\varphi = 0^\circ, 42^\circ$ และ $80^\circ$ บนทรงรีอ้างอิง WGS84	24
รูปที่ 2.11	รูปตัดฉากที่จุด $A$ และผ่านจุด $B$ (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	25
รูปที่ 2.12	รูปตัดฉากที่จุด $A$ ไปยังเป้าหมายที่มีความสูงแตกต่างกัน (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	26
รูปที่ 2.13	อนุพันธ์ของเส้นโค้งบนผิวทรงรี	27
รูปที่ 2.14	รูปตัดฉากระหว่างจุดและเส้นโค้งจีโอเดติกบนผิวทรงรี (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	29
รูปที่ 2.15	ละติจูดจีโอเดติกและพิกัดฉาก	30
รูปที่ 3.1	ระนาบเมริเดียนดาราศาสตร์และพิกัดดาราศาสตร์ (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.2 ระบบพิกัดดาราศาสตร์ท้องถิ่นและปริมาณที่วัด (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	38
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(u, v, w)$ และ $(\ x\ , \ y\ , \ z\ )$	40
รูปที่ 3.4 ระบบพิกัดจีโอเดติกท้องถิ่นและปริมาณที่วัด	41
รูปที่ 3.5 ทรงกลมฟ้าที่ตำแหน่งตั้งกล้องวัดมุม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่วัดอ้างอิงเมริเดียนดาราศาสตร์และเมริเดียนจีโอเดติก (อะซิมูทดาราศาสตร์และอะซิมูทจีโอเดติก), และ การเบนของแนวตั้ง (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	42
รูปที่ 3.6 ทรงกลมฟ้าและระบบเส้นขอบฟ้า (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	45
รูปที่ 3.7 ระนาบอีคลิปติก (หรือที่เรียกว่าสุริยวิถี) เฉลี่ย (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	46
รูปที่ 3.8 ดวงดาวหรือวัตถุฟ้าในระบบไรต์แอสเซนชัน (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	47
รูปที่ 3.9 ระบบมุมชั่วโมง (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	48
รูปที่ 3.10 สามเหลี่ยมดาราศาสตร์บนทรงกลมฟ้า	49
รูปที่ 3.11 การแปลงระหว่างระบบไรต์แอสเซนชันและระบบมุมชั่วโมง (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)	50
รูปที่ 3.12 เวลาดาราคติ	52
รูปที่ 3.13 ระบบพิกัดฉากยึดติดโลก	57
รูปที่ 3.14 การเคลื่อนของขั้วโลกระหว่างปี ค.ศ. 2021 ถึง 2025.7 และการเคลื่อนโดยเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1900 ถึง 2020 (จัดทำขึ้นใหม่จากข้อมูลใน <a href="https://datacenter.iers.org/eop.php">https://datacenter.iers.org/eop.php</a> )	58
รูปที่ 3.15 ระบบอ้างอิงภาคพื้นดินสากล ต้นกำเนิดตามสัญญานิยมสากล (CIO) ขั้วโลกอ้างอิง ไออีอาร์เอส (IRP) และขั้วไอเฟเมอร์ิสฟ้า (CEP)	59
รูปที่ 4.1 ความตึงดูด	67
รูปที่ 4.2 ระบบพิกัดทรงกลมและระบบพิกัดฉากสามมิติ	69
รูปที่ 4.3 ฮาร์มอนิกทรงกลมพื้นผิวแบบ (ก) โซน (ข) ตาหมากruk และ (ค) เซกเตอร์	72
รูปที่ 4.4 ความโน้มถ่วง $g$ ความตึงดูด $d$ และความเร่งแรงเหวี่ยง $c$ ของโลก	74

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5	ผิวศักร์เท่า (หรือผิวระดับ) และเส้นดิ่งบริเวณพื้นผิวโลก 76
รูปที่ 4.6	ความสูงจีโออยด์จากแบบจำลองจีโออยด์สากล Earth Gravity Model 2008 (EGM2008) (จัดทำขึ้นใหม่จากข้อมูลใน <a href="https://earth-info.nga.mil/">https://earth-info.nga.mil/</a> ) 78
รูปที่ 4.7	จีโออยด์ ระดับทะเลปานกลาง พื้นผิวโลก มหาสมุทร และทรรีอ้างอิง 79
รูปที่ 4.8	ประเภทของความแปรผันของความโน้มถ่วงตามช่วงเวลาและกลไกที่เกี่ยวข้อง 82
รูปที่ 5.1	การเดินทางระดับจากจุด $A$ ไป $B$ ไป $C$ โดยที่จุด $C$ อยู่บนผิวศักร์เท่าหรือจีโออยด์ $W_0$ เดียวกับจุด $A$ แต่ผลรวมของค่าต่างระดับไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องจากผิวศักร์เท่าหรือผิวระดับแต่ละผิวไม่จำเป็นต้องขนานกัน; $H_B$ คือความสูงออร์โทเมตริกที่จุด $B$ เหนือจีโออยด์ ( $W_0$ ) 86
รูปที่ 5.2	ความสูงปกติและควอซีจีโออยด์ (จุด $A$ และ $C$ อยู่บนผิวระดับหรือผิวศักร์เท่าเดียวกัน) 90
รูปที่ 5.3	การหาค่าระดับด้วยระบบดาวเทียมนำหนจีเอ็นเอสเอสร่วมกับแบบจำลองจีโออยด์ 92
รูปที่ 5.4	แสดงแผนภาพการวัดศักร์ความโน้มถ่วงด้วยการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกา โดยที่ $W_0$ คือศักร์ความโน้มถ่วงบนจีโออยด์ (เส้นโค้งทึบ) $f_i$ , $W_i$ , และ $H_i$ แทนความถี่ที่วัดได้, ศักร์ความโน้มถ่วง, และความสูงออร์โทเมตริก ที่ $i$ ( $i = A$ หรือ $B$ ) ตามลำดับ (ภาพโดย Wu et al., 2024, CC BY 4.0) 95
รูปที่ 5.5	นาฬิกาอะตอมเชิงแสง: (ก) นาฬิกาอะตอมอวกาศห้วงลึก (Deep Space Atomic Clock, DSAC) (ที่มา NASA/JPL-Caltech, Public Domain, <a href="https://www.jpl.nasa.gov/images/pia24573-deep-space-atomic-clock-hardware">https://www.jpl.nasa.gov/images/pia24573-deep-space-atomic-clock-hardware</a> ) และ (ข) นาฬิกาอะตอมขนาดเท่าเมล็ดกาแฟ (ภาพโดย Hummon/NIST, Public Domain, ที่มา <a href="https://www.nist.gov/image/18pml015clock-chip-coffee-bean2mbjpg">https://www.nist.gov/image/18pml015clock-chip-coffee-bean2mbjpg</a> ) 96
รูปที่ 5.6	พื้นหลักฐานทางดิ่ง $A$ และ $B$ เทียบกับระดับทะเลปานกลาง (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน) 97
รูปที่ 5.7	สถานีวัดระดับน้ำ ที่ ตำบลเกาะหลัก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พ.ศ. 2566 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ) 98
รูปที่ 6.1	ศูนย์ระบบมวลระหว่างโลกและดวงจันทร์ 104
รูปที่ 6.2	ความเร่งจากแรงน้ำขึ้นลง $\vec{a}_t$ , ความเร่งจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นผิวโลก $\vec{a}$ และจุดศูนย์กลางของโลก $\vec{a}_0$ 104
รูปที่ 6.3	น้ำขึ้นลงหรือการขึ้นลงตามสมดุลงจากอิทธิพลของของดวงจันทร์ 106
รูปที่ 6.4	การเคลื่อนที่ทางดิ่งของผิวระดับที่ได้รับอิทธิพลจากแรงการขึ้นลง 109

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 6.5	สถานีวัดระดับน้ำ ที่ เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เมื่อ (ก) พ.ศ. 2453 และ (ข) พ.ศ. 2566 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ)	114
รูปที่ 6.6	แผนที่สารบัญญสถานีวิัดน้ำสำหรับทำนายน้ำ (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, ที่มา กรมอุทกศาสตร์ 2567)	115
รูปที่ 6.7	ความสัมพันธ์ของค่ารายน้ำขึ้นลง (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, ที่มา กรมอุทกศาสตร์ 2550)	117
รูปที่ 6.8	ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปี (อ้างอิงระดับทะเลปานกลาง) ที่สถานีวัดระดับน้ำ (ก) เกาะหลักและ (ข) เกาะตะเกาน้อย ในช่วงปี ค.ศ. 1940 ถึง 2023 (พ.ศ. 2483 ถึง 2566) (จัดทำขึ้นใหม่โดยใช้ข้อมูลใน <a href="https://psmsl.org/data/obtaining/">https://psmsl.org/data/obtaining/</a> )	119
รูปที่ 6.9	ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือน (อ้างอิงระดับทะเลปานกลาง) ที่สถานีวัดระดับน้ำ (ก) เกาะหลักและ (ข) เกาะตะเกาน้อย ในช่วงปี ค.ศ. 2011 ถึง 2023 (พ.ศ. 2483 ถึง 2566) (จัดทำขึ้นใหม่โดยใช้ข้อมูลใน <a href="https://psmsl.org/data/obtaining/">https://psmsl.org/data/obtaining/</a> )	120
รูปที่ 6.10	ระดับน้ำเฉลี่ยรายชั่วโมงและน้ำทำนายน (อ้างอิงระดับทะเลปานกลาง) ที่สถานีวัดระดับน้ำ (ก) เกาะหลักและ (ข) เกาะตะเกาน้อย ในช่วงวันที่ 1 ถึง 2 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 (จัดทำขึ้นใหม่โดยใช้ข้อมูลใน <a href="https://www.hydro.navy.mi.th/servicestide.html">https://www.hydro.navy.mi.th/servicestide.html</a> )	121
รูปที่ 6.11	เครื่องวัดระดับน้ำ (ก) ระบบแอนะล็อกแบบลูกลอย (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมเจ้าท่า, ที่มา <a href="http://www.tide.port.co.th">http://www.tide.port.co.th</a> ), (ข) ระบบดิจิทัลแบบเซนเซอร์แรงดัน (ได้รับความอนุเคราะห์จาก ประจวบ เรียบร้อย, ที่มา <a href="https://www.priabroy.name/archives/10741">https://www.priabroy.name/archives/10741</a> ) และ (ค) ระบบดิจิทัลแบบอะคูสติค (ที่มา NOAA, Public Domain, <a href="https://oceanservice.noaa.gov/facts/tide-gauge.html">https://oceanservice.noaa.gov/facts/tide-gauge.html</a> )	123
รูปที่ 6.12	การวัดระดับน้ำจากดาวเทียม (ก) Jason-3 (ที่มา NOAA, Public Domain, <a href="https://eosps.nasa.gov/missions/jason-3">https://eosps.nasa.gov/missions/jason-3</a> ) และ (ข) Copernicus Sentinel-6 (ภาพ ©ESA, ที่มา <a href="https://www.esa.int/">https://www.esa.int/</a> )	124
รูปที่ 6.13	เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอส ถูกติดตั้งใกล้บริเวณที่ตั้งเครื่องวัดระดับน้ำ ระบบดิจิทัลแบบอะคูสติค (ภาพ © Commonwealth of Australia (Geoscience Australia), 2016, CC BY 4.0, ที่มา Woodworth et al., 2017)	125

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 7.1	หลักการหาค่าความโน้มถ่วงด้วย (ก) วิธีลูกตุ้มเชิงคณิตศาสตร์, (ข) วิธีลูกตุ้มแบบย้อนกลับ และ (ค) เครื่องวัดความโน้มถ่วงด้วยวิธีลูกตุ้มแบบย้อนกลับ (ภาพโดย Alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIT-UPM), CC BY-SA 3.0, ที่มา <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Kater%27s_pendulum">https://en.wikipedia.org/wiki/Kater%27s_pendulum</a> )	128
รูปที่ 7.2	แผนภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุในความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง-เวลา: (ก) การตกอิสระ และ (ข) การขึ้นและตกที่สมมาตร	130
รูปที่ 7.3	หลักการการทำงานของเครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ FG5 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Micro-g LaCoste ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ (ก) หลักการอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ของมิเชลสัน และ (ข) การนับจำนวนลูกคลื่นที่จุดผ่านศูนย์ (Zero Crossings) จนกระทั่งมวลทดสอบหยุดตกหรือหยุดนิ่ง	131
รูปที่ 7.4	เครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ชนิดตั้งพื้นรุ่น (ก) FG5/FG5-X และชนิดเคลื่อนย้ายได้รุ่น A10 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก Micro-g LaCoste, Inc, USA., ที่มา <a href="https://microglacoste.com/">https://microglacoste.com/</a> )	134
รูปที่ 7.5	เครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ด้วยอะตอมเย็นแบบตกอิสระ รุ่น Absolute Quantum Gravimeter (AQG) ของ บริษัท Muquans จำกัด สาธารณรัฐฝรั่งเศส (ภาพโดย Scientific Reports, CC BY 4.0, ที่มา Ménoiret et al., 2023)	136
รูปที่ 7.6	หลักการของเครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสปริงยืดหยุ่น 3 ประเภทได้แก่ (ก) สมดุลสปริงแนวตั้ง (ข) สมดุลสปริงแบบบิดตัวด้วยคาน และ (ค) สมดุลสปริงแบบคานทั่วไป	138
รูปที่ 7.7	เครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์: (ก) ชุดเครื่องมือรังวัดค่าความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ ยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G-1092 ซึ่งกรมแผนที่ทหารเคยใช้งานตั้งแต่อดีตจนถึงปี พ.ศ. 2555 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย 2555) โดยมีสปริงเกลียวที่ทำจากโลหะผสม, (ข) เครื่อง Scintrex CG-5 Autograv ที่ใช้สปริงเกลียวทำจากแร่ควอตซ์ และ (ค) เครื่อง Scintrex CG-6 Autograv (ได้รับความอนุเคราะห์จาก Micro-g LaCoste, Inc, USA.)	141
รูปที่ 7.8	ความโน้มถ่วงของโลกเกิดจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลกและแรงดึงดูดสู่ศูนย์กลาง	143
รูปที่ 7.9	คุณลักษณะของความโน้มถ่วง $g$ ที่ได้จากการรังวัดความโน้มถ่วงด้วยวิธีทางดาวเทียม ทางอากาศและทางภาคพื้นดิน	143
รูปที่ 7.10	หลักการพื้นฐานของการรังวัดความโน้มถ่วงทางอากาศ	144

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 7.11 กรอบอ้างอิง <i>i-frame</i> , <i>e-frame</i> , <i>b-frame</i> และ <i>n-frame</i> ในการรังวัดความโน้มถ่วงทางอากาศ	145
รูปที่ 7.12 เครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์บนแท่นเคลื่อนที่: (ก) Damped Platform, (ข) Schuler-tuned Platform, (ค) Strapdown INS Platform และ (ง) GNSS Multi-Antenna Platform	147
รูปที่ 7.13 เครื่องวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ทางอากาศ: (ก) TAGS-6/7 โดยบริษัท Micro-g LaCoste สหรัฐอเมริกา, (ข) GT-A2 โดยบริษัท Canadian Micro Gravity ประเทศแคนาดา และ (ค) iCORUS โดยบริษัท iMAR สหพันธรัฐเยอรมนี (ภาพโดย Fairhead, et. al., 2017, CC BY 4.0; Fang et. al., 2024, CC BY 4.0)	148
รูปที่ 7.14 หลักการทำงานของเครื่องวัดเกรเดียนต์ความโน้มถ่วงโดยมีการจัดเรียงในรูปแบบตามแกนลักษณะแนวตั้งและแนวนอน	151
รูปที่ 7.15 ดาวเทียม Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) (รูปซ้าย), ระบบเซ็นเซอร์เกรเดียนต์ความโน้มถ่วง (รูปกลาง), และผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูล (รูปขวา) (ภาพ ©ESA/AOES Medialab, ที่มา <a href="https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/GOCE/">https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/GOCE/</a> )	153
รูปที่ 7.16 ดาวเทียม GRACE-FO (Gravity Recovery And Climate Experiment Follow-on) (ที่มา NASA, Public Domain, <a href="https://grace.jpl.nasa.gov/">https://grace.jpl.nasa.gov/</a> )	154
รูปที่ 8.1 (ก) ระบบพิกัดอ้างอิงของดาวเทียม สำหรับกำหนดพิกัดของดาวเทียมสัมพัทธ์กับโลก, (ข) ระนาบวงโคจรของดาวเทียม	159
รูปที่ 8.2 หลักการพื้นฐานของการหาดำแหน่งจากดาวเทียม	160
รูปที่ 8.3 สามส่วนหลักของระบบดาวเทียมนำหนจีพีเอส ได้แก่ ส่วนอวกาศ (Space Segment), ส่วนควบคุม (Control Segment) และ ส่วนผู้ใช้ (User Segment)	161
รูปที่ 8.4 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียมนำหนจีพีเอส: (ก) หกระนาบวงโคจร และ (ข) ดาวเทียมจีพีเอสในแต่ละรุ่น (ที่มา NOAA, Public Domain, <a href="https://www.gps.gov/gps">https://www.gps.gov/gps</a> )	162
รูปที่ 8.5 ส่วนควบคุมในระบบดาวเทียมนำหนจีพีเอส (ที่มา NOAA, Public Domain, <a href="https://www.gps.gov/gps">https://www.gps.gov/gps</a> )	163
รูปที่ 8.6 องค์ประกอบของโครงสร้างสัญญาณบนคลื่น L1 และ L2 ซึ่งถูกมอดูเลตด้วย P-Code, C/A Code และข้อมูลดาวเทียม (Navigation Message)	164

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 8.7 การหาตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบนำหน (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	171
รูปที่ 8.8 การรังวัดแบบสถิต (ดัดแปลงจาก พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	172
รูปที่ 8.9 การรังวัดแบบจลนในทันที (ดัดแปลงจาก พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	173
รูปที่ 8.10 ความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	175
รูปที่ 8.11 ระบบดาวเทียมนำหน หรือ GNSS	176
รูปที่ 8.12 ระบบดาวเทียมนำหนโกนาส: (ก) ดาวเทียม GLONASS-M และ (ข) GLONASS-K2 (ภาพโดย Bin im Garten, 2011, ผ่าน Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, ที่มา <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CeBIT_2011_Samstag_PD_110.JPG">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CeBIT_2011_Samstag_PD_110.JPG</a> ; ภาพโดย Vsatinet, 2023, ผ่าน Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, ที่มา <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Глонасс-K2.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Глонасс-K2.jpg</a> )	178
รูปที่ 8.13 ระบบดาวเทียมนำหนกาลิเลโอ: (ก) ดาวเทียมกาลิเลโอดวงแรก GIOVE-A และ (ข) ดาวเทียมกาลิเลโอปัจจุบันรุ่น FOC (ภาพ ©ESA, ที่มา <a href="https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/">https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/Galileo/</a> )	179
รูปที่ 8.14 ระบบดาวเทียมนำหนเป่ยโต่ว: (ก) BeiDou-1 และ (ข) BeiDou-3 (แบบจำลองเหมือนจริง) (ภาพโดย AKAMGO yalms, ผ่าน Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, ที่มา <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126674319">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126674319</a> )	180
รูปที่ 8.15 ระบบดาวเทียมนำหนญี่ปุ่นหรือคิวแซดเอสเอส: (ก) ดาวเทียม QZSS และ (ข) วงโคจรดาวเทียมที่ครอบคลุมภูมิภาคเอเชีย-โอเชียเนีย (ได้รับความอนุเคราะห์จาก National Space Policy Secretariat, Cabinet Office, Japan, ที่มา <a href="https://qzss.go.jp/en/">https://qzss.go.jp/en/</a> )	181
รูปที่ 8.16 องค์ประกอบโดยทั่วไปของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส หรือ จีเอ็นเอสเอส (ดัดแปลงจาก พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	182
รูปที่ 8.17 เครื่องรับสัญญาณในระบบดาวเทียมนำหนจีพีเอสและจีเอ็นเอสเอส: (ก) เครื่องรับแบบนำหน (ภาพโดย Geonarva, ผ่าน Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, ที่มา <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS_Receivers_2007.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GPS_Receivers_2007.jpg</a> ; ภาพโดย Humberto Möckel, 2012, ผ่าน Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, ที่มา <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garmin_Nüvi_200.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garmin_Nüvi_200.jpg</a> ) และ (ข) เครื่องรับสัญญาณสำหรับงานรังวัดขั้นสูงแบบตั้งตรงแนวตั้ง (ซ้าย) และ แบบมีเซ็นเซอร์ปรับเอียง (ขวา)	183

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 9.1	<p>โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบ: (ก) งานข่ายสามเหลี่ยม, (ข) งานข่ายสามเหลี่ยมเชิงเส้น และ (ค) งานวงรอบ</p>	186
รูปที่ 9.2	<p>ทรงรีและจีโออยด์สำหรับการกำหนดพื้นหลักฐานทางราบ: (ก) ทรงรีที่เหมาะสมที่สุดในระดับท้องถิ่น, (ข) ทรงรีที่เหมาะสมที่สุดในระดับภูมิภาค และ (ค) ทรงรีเฉลี่ยของโลกที่อ้างอิงจุดศูนย์กลางมวลของโลก</p>	188
รูปที่ 9.3	<p>โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบของ NAD83 ซึ่งประกอบไปด้วยงานข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 และ 2 รวมถึงงานวงรอบ (ที่มา NGS, Public Domain, <a href="https://www.ngs.noaa.gov/INFO/history/triangulation.shtml">https://www.ngs.noaa.gov/INFO/history/triangulation.shtml</a>)</p>	189
รูปที่ 9.4	<p>โครงข่ายสามเหลี่ยม: (ก) การกระจายตัวของหมุดดาวเทียมดอปเปอร์, (ข) กระจังไม้ และ (ค) กระจังบิลบี้ (ที่มา กรมแผนที่ทหาร (ม.ป.ป.); กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ (ม.ป.ป.))</p>	191
รูปที่ 9.5	<p>เครื่องมือสำรวจที่ใช้สำหรับการรังวัดเพื่อสร้างโครงข่ายหมุดควบคุมทางราบของประเทศไทย: (ก) กล้องวัดมุม WILD T3, (ข) กล้องวัดมุม WILD T4, (ค) เครื่องวัดระยะทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดใช้แสงเลเซอร์ (GEODIMETER E8) (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา <a href="https://www.rtsd.mi.th/">https://www.rtsd.mi.th/</a>) และ (ง) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบแทรกนิต MAGNAVOX MX 1502 พร้อมเสารับสัญญาณ (ได้รับความอนุเคราะห์จาก Military Survey (Geographic), ที่มา <a href="https://www.militarysurvey.org.uk/">https://www.militarysurvey.org.uk/</a>)</p>	192
รูปที่ 9.6	<p>โครงข่ายหมุดควบคุมบนพื้นหลักฐานทางราบแห่งชาติ WGS84 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา <a href="https://www.rtsd.mi.th">https://www.rtsd.mi.th</a>)</p>	194
รูปที่ 9.7	<p>ลักษณะโครงข่ายหมุดควบคุมทางตั้ง</p>	196
รูปที่ 9.8	<p>โครงข่ายหมุดควบคุมทางตั้งของงานระดับชั้นที่ 1 ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีผลลัพธ์จากการปรับแก้โครงข่ายเป็นพื้นหลักฐานทางตั้ง North American Vertical Datum of 1988 (NAVD88) (ที่มา NGS, Public Domain, <a href="https://geodesy.noaa.gov/PUBS_LIB/NAVD88/">https://geodesy.noaa.gov/PUBS_LIB/NAVD88/</a>)</p>	198
รูปที่ 9.9	<p>โครงข่ายการเดินระดับของสหภาพยุโรป (United European Leveling Network, UELN) โดยมีผลลัพธ์จากการปรับแก้โครงข่ายเป็นระบบอ้างอิงทางตั้งของยุโรป European Vertical Reference System 2019 (EVRS2019) (ได้รับความอนุเคราะห์จาก BKG, ที่มา <a href="https://evrs.bkg.bund.de/Subsites/EVRS/EN/Home/home.html">https://evrs.bkg.bund.de/Subsites/EVRS/EN/Home/home.html</a>)</p>	199

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9.10 (ก) หมุดบังคับเริ่มต้น BMA ซึ่งใช้เป็นหมุดบังคับของโครงข่ายทางดิ่งตอนล่างของเกาะหลัก และ (ข) หมุด BMR.5 ซึ่งใช้เป็นหมุดบังคับของโครงข่ายทางดิ่งตอนบนของเกาะหลัก (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา <a href="https://www.rtsd.mi.th">https://www.rtsd.mi.th</a> )	200
รูปที่ 9.11 (ก) โครงข่ายหมุดควบคุมทางดิ่งแห่งชาติของประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย, (ข) โครงข่ายหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่ตอนบนของเกาะหลัก และ (ค) โครงข่ายหมุดควบคุมทางดิ่งในพื้นที่ตอนล่างของเกาะหลัก (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา เอื้อมเกียรติ เจริญสม 2547)	202
รูปที่ 9.12 ฐานข้อมูลความโน้มถ่วงภาคพื้นดินของสำนักงาน National Geodetic Survey (NGS) (ที่มา NGS, Public Domain, <a href="https://www.ngs.noaa.gov/INFO/history/gravity.shtml">https://www.ngs.noaa.gov/INFO/history/gravity.shtml</a> )	204
รูปที่ 9.13 โครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ของสหพันธรัฐเยอรมนี (จุดสามเหลี่ยม) (Primary Gravity Net of Germany, DHSN; German Gravity Base Net, DSGN; German Reference Network, GREF) (ได้รับความอนุเคราะห์จาก BKG, ที่มา <a href="https://agrav.bkg.bund.de/#/explorer">https://agrav.bkg.bund.de/#/explorer</a> )	205
รูปที่ 9.14 โครงข่ายความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์เดิม จำนวน 3,947 สถานี (จุดสีน้ำเงิน) ซึ่งบางหมุดอยู่ร่วมกับโครงข่ายหมุดควบคุม GPS (สีเหลี่ยมสีแดง) โดยอ้างอิงระบบ IGSN71, (ข) สถานี $g_0$ ตั้งอยู่ที่ชั้น 1 อาคารวัดความโน้มถ่วงพิภพ กรมแผนที่ทหาร (ที่ตั้งเดิม) ถนนกัลยาณไมตรี แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร, (ค) ชุดเครื่องมือรังวัดค่าความโน้มถ่วงพิภพแบบสัมพัทธ์ ยี่ห้อ LaCoste & Romberg รุ่น G-1092 ซึ่งกรมแผนที่ทหารใช้ในอดีต และ (ง) ชุดปฏิบัติการรังวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย, 2555)	207
รูปที่ 9.15 (ก) โครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วงแห่งชาติของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560: สถานีความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ชั้นที่ 1 จำนวน 93 สถานี (จุดสีเหลี่ยมสีน้ำเงิน), สถานีความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ชั้นที่ 1 จำนวน 412 สถานี (จุดสามเหลี่ยมสีแดง) และสถานีความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ชั้นที่ 3 จำนวน 9,473 สถานี (จุดสีชมพู) (ข) การวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์ด้วยเครื่องวัด Microg-LaCoste A10, (ค) การวัดความโน้มถ่วงแบบสัมบูรณ์และการวัดเกรเดียนเพื่อตรวจสอบความเสถียรของสถานี ในปี พ.ศ. 2562 (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร) และ (ง) การวัดความโน้มถ่วงแบบสัมพัทธ์ด้วยเครื่องวัด Scintrex CG5 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัยและคณะ 2560)	209

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9.16 (ก) โครงข่ายสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station, CORS) เริ่มแรกของกรมที่ดินจำนวน 114 สถานี (ที่มา Charoenkalunyuta et al., 2019, CC BY 3.0, และ (ข) โครงข่ายสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติของประเทศไทย จำนวน 250 สถานี (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา <a href="https://ncdc.in.th/portal/apps/sites/#/ncdc/">https://ncdc.in.th/portal/apps/sites/#/ncdc/</a> )	211
รูปที่ 10.1 เส้นโครงแผนที่: (ก) แบบกรวยคงรูปแลมเบิร์ต, (ข) แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวาง ซึ่งถ่ายทอดตำแหน่งบนผิวโลกลงสู่พื้นราบ, (ค) การคลี่แผ่นราบจากแบบกรวย และ (ง) การคลี่แผ่นราบจากแบบทรงกระบอกแนวนอนที่มีรัศมีเล็กกว่ารัศมีเฉลี่ยของโลก (กรณีทรงกระบอกตัดผิวโลก ทำให้แนว A-B อยู่ห่างจากแนว C-D) หรือมีรัศมีเท่ากับรัศมีเฉลี่ยของโลก (กรณีทรงกระบอกสัมผัสผิวโลก ทำให้แนว A-B อยู่ทับกับแนว C-D) (ดัดแปลงจาก พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	214
รูปที่ 10.2 หลักการฉายตำแหน่งจากผิวทรงกลมของโลกลงสู่ระนาบ โดยพิจารณาตามระยะห่างระหว่างผิวโค้งกับผิวการฉาย (ดัดแปลงจาก พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	214
รูปที่ 10.3 เส้นโครงแผนที่แบบกรวยคงรูปแลมเบิร์ต: (ก) กรวยสัมผัส (ข) กรวยตัด, และ (ค) หลายกรวย	216
รูปที่ 10.4 เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์	217
รูปที่ 10.5 เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ตามขวาง: (ก) แลปโซนทั้งหมด 60 โซน (ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. Alan Morton, ที่มา <a href="http://www.dmap.co.uk">http://www.dmap.co.uk</a> ) และ (ข) ประเทศไทยอยู่ในโซนที่ 47 และ 48 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย 2562)	219
รูปที่ 10.6 แผนที่ในระบบพิกัดยูทีเอ็มของประเทศไทย: (ก) แผนที่ชุด L7017 และ (ข) แผนที่ชุด L7018	221
รูปที่ 10.7 การลดทอนระยะทางที่วัดบนพื้นโลกลงสู่ระนาบฉายแผนที่ หรือระยะกริด	222
รูปที่ 11.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น (Density), ความโน้มถ่วง (Gravity) และความดัน (Pressure) ภายในของโลก บริเวณชั้นแมนเทิลหรือเนื้อโลก (Mantle), แก่นโลกชั้นนอก (Outer Core) และแก่นโลกชั้นใน (Inner Core) จากแบบจำลองโลกแบบสมมาตรเชิงกลม PREM)	233
รูปที่ 11.2 โครงสร้างภายในของโลกตามแบบจำลองธรณีฟิสิกส์ ภายใต้สมมติฐานว่าแต่ละชั้นประกอบด้วยเนื้อมวลสารที่มีองค์ประกอบสม่ำเสมอ โดยอิงจากแบบจำลองโลกแบบสมมาตรทรงกลม (Spherically Symmetric Earth Model) ของ PREM ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่นไหวสะเทือน และคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุภายในโลกในแต่ละชั้น	234

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 11.3 โครงสร้างของเปลือกโลก ความหนาแน่นของชั้นหิน และความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนปฐมภูมิ (P-Wave)	236
รูปที่ 11.4 แบบจำลองสมดุลเสมอภาคของเปลือกโลก ได้แก่ (ก) แบบจำลองแพรตต์-เฮย์ฟอร์ด (Pratt-Hayford Isostasy Model) และ (ข) แบบจำลองแอร์รี-ไฮส์คาเนน (Airy-Heiskanen Isostasy Model)	238
รูปที่ 11.5 แบบจำลองสมดุลเสมอภาคของเปลือกโลกระดับภูมิภาค (แทนการชดเชยระดับท้องถิ่น) ที่เสนอโดยเวนิง เมย์เนสซ์ (Vening Meinesz)	240
รูปที่ 11.6 แผ่นเปลือกโลกและทิศทางการเคลื่อนตัว	241
รูปที่ 11.7 แผนที่การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (จัดทำขึ้นใหม่จากข้อมูลใน Simon et al., 2019)	243
รูปที่ 11.8 อัตราการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย และแผ่นเปลือกโลกย่อยซันดาในบริเวณประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2559–2566 (ค.ศ. 2016–2023) (ได้รับความอนุเคราะห์จาก กรมแผนที่ทหาร, ที่มา กรมแผนที่ทหาร 2567)	245
รูปที่ 11.9 ตัวอย่างการแสดงผลลักษณะของเปลือกโลกโดยใช้ข้อมูลความโน้มถ่วง (จัดทำขึ้นใหม่จากข้อมูล WGM2012 ผ่าน Gplates Portal, <a href="https://portal.gplates.org/cesium/?view=WGM2012">https://portal.gplates.org/cesium/?view=WGM2012</a> )	246
รูปที่ 11.10 ตัวอย่างการใช้แบบจำลองความโน้มถ่วงและจีโออยด์สากล EGM2008 แสดงพื้นที่บริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ก) ความโน้มถ่วงผิดปกติแบบพรีแอร์ หน่วยเป็นมิลลิแกล และ (ข) ความสูงจีโออยด์ดิกิริต้า 11 ถึง 360 (จัดทำขึ้นใหม่จากข้อมูล EGM2008 ผ่าน <a href="https://icgem.gfz-potsdam.de/calgrid">https://icgem.gfz-potsdam.de/calgrid</a> )	247
รูปที่ 11.11 กระบวนการทางดาราศาสตร์ ธรณีฟิสิกส์ และธรณีพลศาสตร์หลากหลายรูปแบบ ซึ่งส่งผลต่อสัณฐานของโลก (Figure), สนามความโน้มถ่วง (Gravity Field) และการวางตัวของโลกในอวกาศ (Orientation) โดยองค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบพลวัต (Dynamic System) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายในและภายนอกโลกอย่างต่อเนื่อง และเป็นพื้นฐานสำคัญของการศึกษาทางจีโอเดซี (จัดทำขึ้นใหม่จากแนวคิดใน Torge and Müller, 2012)	249
รูปที่ 11.12 ตัวอย่างการบูรณาการข้อมูลจีพีเอสและอินซาร์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปของเปลือกโลกใน (ก) แนวราบ และ (ข) แนวตั้ง บริเวณทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย (ที่มา Shen & Liu, 2020, CC BY 4.0)	252
รูปที่ 11.13 (ก) โครงข่ายสถานีอ้างอิง ITRF และสถานีที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งตามเวลา; (ข) เวกเตอร์ความเร็วที่สะท้อนการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (ที่มา Altamimi et al., 2016, CC BY 4.0)	253

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
<p><b>รูปที่ 11.14</b> การใช้เทคนิคอินซาร์ (InSAR) จากดาวเทียม Sentinel-1 ร่วมกับข้อมูลภาพจาก Landsat และ Sentinel-2 ในการตรวจสอบการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนซาไกง์ (Sagaying Fault) ภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวโมเมนต์แมกนิจูด 7.7 (Mw 7.7) ซึ่งเกิดขึ้นในประเทศเมียนมา เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2568 โดยพบแนวรอยเลื่อนยาวประมาณ 460 กิโลเมตร และการเคลื่อนตัวของแผ่นดินมากกว่า 6 เมตร (ที่มา U.S. Geological Survey, Public Domain, <a href="https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/">https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/</a>)</p>	254
<p><b>รูปที่ 11.15</b> ภาพผลกระทบทางกายภาพภายหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวโมเมนต์แมกนิจูด 7.7 (Mw 7.7) บริเวณรอยเลื่อนซาไกง์ (Sagaying Fault) ในประเทศเมียนมา ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2568 ภาพนี้แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งปลูกสร้าง พื้นผิวดินที่แตกร้าว และโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหว โดยเฉพาะบริเวณที่รอยเลื่อนพาดผ่านอย่างชัดเจน รวมถึงพื้นที่บางส่วนของประเทศไทยที่ได้รับแรงสั่นสะเทือน ซึ่งทำให้อาคารสูงบางแห่งได้รับความเสียหาย</p>	255
<p><b>รูปที่ 11.16</b> (ก) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในช่วงปี ค.ศ. 1880 ถึง 2024 และ (ข) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในช่วงปี ค.ศ. 1993 ถึง 2023 โดยข้อมูลจากดาวเทียมวัดระดับน้ำ (ที่มา NOAA Climate.gov, Public Domain, <a href="https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level">https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level</a>)</p>	256
<p><b>รูปที่ 12.1</b> การแจกแจงแบบปกติหรือเกาส์เซียนของความคลาดเคลื่อนสุ่ม</p>	262
<p><b>รูปที่ 12.2</b> องค์ประกอบสำคัญของการปรับแก้กำลังสองน้อยสุด</p>	264
<p><b>รูปที่ 12.3</b> สายระดับ</p>	270
<p><b>รูปที่ 12.4</b> วงจรสายระดับ</p>	273
<p><b>รูปที่ 12.5</b> วงรีความคลาดเคลื่อน</p>	282
<p><b>รูปที่ 12.6</b> รูปร่างและลักษณะของวงรีความคลาดเคลื่อนในงานวงรอบ ณ สถานี TRA03</p>	284
<p><b>รูปที่ 12.7</b> โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบ รั้งวัดด้วยจีเอ็นเอสเอส ปี พ.ศ. 2557 (ค.ศ. 2014) (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และสันติพงศ์ วิถียภรณ์ 2557)</p>	284
<p><b>รูปที่ 12.8</b> การเคลื่อนที่ของหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งบริเวณบ่อเหมืองจากการปรับแก้โดยตรงหมุด MMEG ในการตรวจสอบ (ก) ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 15-16 มีนาคม พ.ศ. 2560 และ (ข) ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 6-7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 โดยสี่เหลี่ยมและสี่เหลี่ยมแสดงขนาดและทิศทางของการเคลื่อนที่ทางราบและทางตั้งของหมุด ตามลำดับ (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และคณะ 2565)</p>	285

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 12.9 แผ่นดินถล่มบริเวณกองดินทิ้งฝั่งตะวันตกของบ่อเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อวันที่ 18 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย และคณะ 2565)	286
รูปที่ 12.10 การปรับแก้โครงข่ายหมุดควบคุมความโน้มถ่วงแห่งชาติ ชั้นที่ 1 และวงจรรถคำนวณ ปรับแก้ทั่วประเทศ (ที่มา พุทธิพล ดำรงชัย 2560)	287



## รายการคำย่อ

คำย่อ	คำเต็ม
AST	Apparent Sidereal Time
BIH	Bureau International de l'Heure
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Germany)
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CGPM	General Conference on Weights and Measures
CIO	Conventional International Origin
CORS	Continuously Operating Reference Station
DEM	Digital Elevation Model
DGPS	Differential Global Positioning System
DHSN	Deutsches Hauptschwere Netz / Primary Gravity Net of Germany
DMR	Department of Mineral Resources
DOL	Department of Lands
DORIS	Doppler Orbitography and Radio-Positioning Integrated by Satellite
DPT	Department of Public Works and Town and Country Planning
DSAC	Deep Space Atomic Clock
DSGN	Deutsches Schweregrundnetz
DT	Dynamic Time
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed Coordinate System
EDM	Electronic Distance Measurement
EGM2008	Earth Gravitational Model 2008
EGM96	Earth Gravitational Model 1996
EOP	Earth Orientation Parameters
ESA	European Space Agency
ET	Ephemeris Time
EVRF	European Vertical Reference Frame
EVRS	European Vertical Reference System
FGCC 1984	Federal Geodetic Control Committee 1984
GAST	Greenwich Apparent Sidereal Time
GEO	Geostationary Orbit
GFZ	German Research Centre for Geosciences (GeoForschungsZentrum)
GIS	Geographic Information System
GISTDA	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency
GGM	Global Gravity Model

## รายการคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	คำเต็ม
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Russia)
GMST	Greenwich Mean Sidereal Time
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
GST	Greenwich Sidereal Time
HDRTN	Hydrographic Department, Royal Thai Navy
HII	Hydro-Informatics Institute (Public Organization)
HMNAO	His Majesty's Nautical Almanac Office
IAG	International Association of Geodesy
IAU	International Astronomical Union
ICRS	International Celestial Reference System
ICRF	International Celestial Reference Frame
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit
IGS	International GNSS Service
IGSN1971	International Gravity Standardization Net 1971
INS	Inertial Navigation System
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IRP	IERS Reference Pole
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	IERS Terrestrial Reference System
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
JICA	Japan International Cooperation Agency
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KMITL	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
LOD	Length of Day
LST	Local Sidereal Time
MEO	Medium Earth Orbit
MST	Mean Sidereal Time
MSL	Mean Sea Level
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVD88	North American Vertical Datum 1988
NCP	North Celestial Pole

## รายการคำย่อ (ต่อ)

คำย่อ	คำเต็ม
NCDC	National CORS Data Center
NGVD29	National Geodetic Vertical Datum 1929
NEP	North Ecliptic Pole
NGB	National Geo-informatics Board
NGS	National Geodetic Survey
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
NIMT	National Institute of Metrology (Thailand)
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRTK	Network Real-Time Kinematic
PPP	Precise Point Positioning
PRN	Pseudo-Random Noise
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RTSD	Royal Thai Survey Department
RTK	Real-Time Kinematic
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
SLR	Satellite Laser Ranging
SPP	Single Point Positioning
TAI	Temps Atomique International / International Atomic Time
TDB	Barycentric Dynamic Time
TDT	Terrestrial Dynamic Time
TGM2017	Thailand Geoid Model 2017
TM	Transverse Mercator
TT	Terrestrial Time
UELN	United European Leveling Network
UKHO	United Kingdom Hydrographic Office
USGS	United States Geological Survey
USNAO	U.S. Nautical Almanac Office
USNO	United States Naval Observatory
UT0, UT1, UT2	Universal Time (versions 0–2)
UTC	Coordinated Universal Time
UTM	Universal Transverse Mercator
VRS	Virtual Reference Station
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS84	World Geodetic System 1984



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 คำจำกัดความ

จีโอเดซี (Geodesy) หรือ ภูมิมาตรศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาสัณฐานของโลก ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และสนามความโน้มถ่วงของโลก (Gravity Field of the Earth) โดยอาศัยการวัดจากภาคพื้นดิน อากาศ และอวกาศ ผ่านเทคนิคที่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น การรังวัดภาคพื้นดิน การสำรวจด้วยอากาศยาน และการสำรวจจากอวกาศโดยใช้เทคโนโลยีดาวเทียม ข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้ถูกบูรณาการเพื่อทำความเข้าใจลักษณะทางกายภาพของโลก พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกอย่างแม่นยำผ่านระบบพิกัดอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง การประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ สถิติ และหลักวิศวกรรมยังมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตำแหน่ง ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีดาวเทียมและเครือข่ายไร้สาย จีโอเดซีจึงขยายขอบเขตไปถึงการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลก ซึ่งมีความสำคัญต่อศาสตร์หลายแขนง เช่น ธรณีฟิสิกส์ ธรณีพลศาสตร์ ดาราศาสตร์ ภูมิอากาศวิทยา วิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนการรังวัดและการทำแผนที่ เป็นต้น ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งสรุปกระบวนการทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสัณฐานของโลก และแสดงความเชื่อมโยงของจีโอเดซีกับศาสตร์อื่น ๆ ในบริบทของพลศาสตร์ของโลก



รูปที่ 1.1 จีโอเดซีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาขนาด รูปร่าง และสนามความโน้มถ่วงของโลก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติทั้งภายในและภายนอกโลก

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดในปัจจุบันและมีแนวโน้มทวีความสำคัญในอนาคต คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มของระดับน้ำทะเล (Sea Level Rise) จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเฉลี่ยของมหาสมุทรและการหดตัวของพื้นที่ชายฝั่ง จีออเดซี มีบทบาทสำคัญในการติดตามและตรวจวัดข้อมูลเหล่านี้ อีกทั้ง ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ยังทำให้แผ่นน้ำแข็ง (Ice Sheets) และธารน้ำแข็ง (Glaciers) บริเวณขั้วโลกละลายและเคลื่อนตัวเร็วขึ้น เทคโนโลยีหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมช่วยให้สามารถศึกษาพฤติกรรม ความเร็ว และการเปลี่ยนแปลงของมวลน้ำแข็งเหล่านี้ได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ จีออเดซี ยังมีบทบาทสำคัญในการติดตามการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (Tectonic Plate Motion) รวมถึงการตรวจสอบและเฝ้าติดตามโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน สะพาน และอาคารสูง เพื่อตรวจจับการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างที่อาจส่งผลต่อความมั่นคงและความปลอดภัย ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ ธรณีพลศาสตร์ และวิศวกรรมโครงสร้าง เป็นต้น

โดยทั่วไป จีออเดซี สามารถจำแนกออกเป็นสามประเภทหลัก ได้แก่ จีออเดซีเชิงเรขาคณิต (Geometrical Geodesy) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งบนหรือใกล้ผิวโลกโดย อาศัยหลักการทางเรขาคณิต ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าพิกัดในระบบอ้างอิงพิกัด (Coordinate Reference Systems) ที่มีความสัมพันธ์กัน จีออเดซีเชิงกายภาพ (Physical Geodesy) ศึกษาสนามความโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำหนดความสูงต่ำของพื้นผิวโลก และ จีออเดซีดาวเทียม (Satellite Geodesy) หรือจีออเดซีอวกาศ (Space Geodesy) เป็นศาสตร์ที่ใช้ดาวเทียมและเทคนิคหลากหลายที่อาศัยข้อมูลจากนอกโลกเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับงานรังวัดและทำแผนที่ ตลอดจนการศึกษาขนาด รูปร่าง และการเปลี่ยนแปลงของโลก เพื่อความเข้าใจสัญญาณของโลกอย่างเป็นระบบ

ทั้งนี้ จีออเดซีอวกาศมีบทบาทสำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกในระดับโลก ระดับภูมิภาค และระดับท้องถิ่น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของความโน้มถ่วงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีฟิสิกส์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังถูกใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของมวลน้ำในวัฏจักรน้ำโลก การติดตามไอน้ำในบรรยากาศและอุณหภูมิจึง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็ง รวมถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ความเฉื่อยและการหมุนของโลก ตลอดจนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกและใต้โลก

## 1.2 ทำไมจึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับจีออเดซี

ในอดีต ผู้คนส่วนใหญ่ในประเทศไทยอาจยังไม่คุ้นเคยกับคำว่า “จีออเดซี” เมื่อเทียบกับศาสตร์ด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของโลก เช่น ฟิสิกส์ ธรณีวิทยา ชีววิทยา และดาราศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ในช่วงสองถึงสามทศวรรษที่ผ่านมา ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก หรือที่รู้จักกันในชื่อ “จีพีเอส” (Global Positioning System, GPS) ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็น การรังวัดด้วยจีพีเอส (GPS Surveying) การใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสชนิดพกพา (GPS Handheld) เพื่อค้นหาตำแหน่งบนพื้นโลก หรือ การติดตั้งจีพีเอสในยานพาหนะและอุปกรณ์สื่อสาร เพื่อเพิ่มความสะดวกในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ ระบบจีพีเอสยังถูกนำมาใช้ร่วมกับ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ “จีไอเอส” (Geographic Information System, GIS) ในการประยุกต์ใช้ด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ทำให้จีออเดซีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันของผู้คน

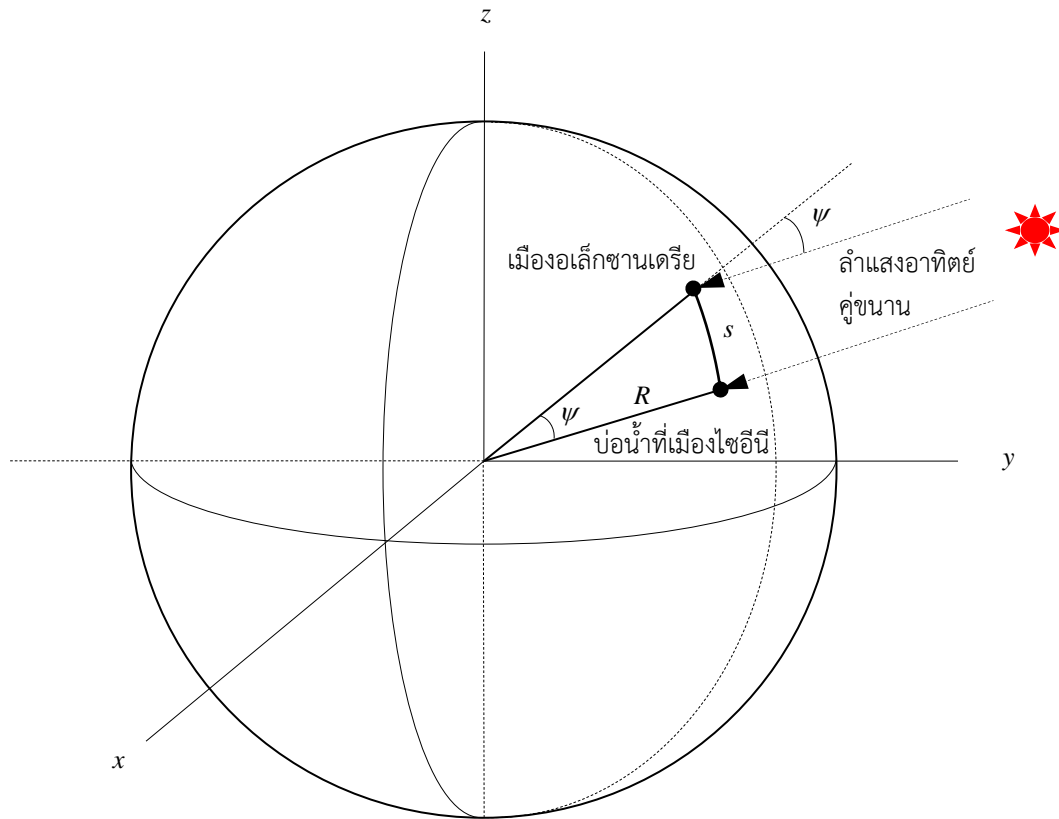
จีออเดซีมีบทบาทสำคัญในการสร้าง ระบบพิกัดอ้างอิง ซึ่งใช้ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เมื่อเปรียบเทียบกับจุดกำเนิดของระบบ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดชัดเจนคือ พิกัดละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) หรือที่มักเรียกกันว่า “เส้นรุ้ง” และ “เส้นแวง” ตามลำดับ ซึ่งค่าพิกัดเหล่านี้ปรากฏบนหน้าจอเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและสามารถเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อแสดงผลบนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งแผนที่เชิงเลขหรือแผนที่ดิจิทัล (Digital Map) ปัจจุบัน จีพีเอส ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของ ระบบดาวเทียมนำหนหรือจีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite System, GNSS) ซึ่งมีเครือข่ายดาวเทียมจากหลายประเทศ ช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งและขยายขอบเขตการใช้งานให้กว้างขึ้น

ก่อนที่จะมีระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้ดาวเทียมนั้น กระบวนการในการหาพิกัดละติจูดและลองจิจูดให้ความถูกต้องนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก นอกเหนือจากบุคลากรทางด้านจีออเดซีที่ต้องมีความเชี่ยวชาญแล้ว จำเป็นต้องมีประสบการณ์หรือต้องได้รับการฝึกภาคปฏิบัติมาเป็นอย่างดี ในการรังวัดทางดาราศาสตร์ (Astronomic Surveying) ซึ่งมีกรรมวิธีการรังวัดที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินงานค่อนข้างมากและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การรังวัดด้วยดาวเทียมได้ลดปัญหาและอุปสรรคเหล่านี้ออกไปอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถที่จะรังวัดตำแหน่งพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ถูกต้องได้เกือบทุกแห่งบนพื้นโลกโดยการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมที่เหมาะสม

ในปัจจุบันนี้ จีออเดซีเริ่มมีอิทธิพลต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของเราเพิ่มมากขึ้นไป โดยเฉพาะเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงระบบพิกัดอ้างอิงความถูกต้องสูงของโลกที่สัมพันธ์กับระบบดาวเทียมกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ยกตัวอย่างเช่น หน่วยกัญญาสาธณะใช้จีพีเอสในการหาตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุเพื่อที่จะได้เข้าถึงจุดเกิดเหตุได้อย่างทันท่วงทีและรับนำผู้ที่ได้รับบาดเจ็บส่งโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ที่สุด นักท่องเที่ยวสามารถเดินทางไปที่แหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ ที่ไม่คุ้นเคยได้ด้วยการใช้ระบบนำทางด้วยจีพีเอสที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์หรือโทรศัพท์มือถือ ผู้คนทั่วไปนิยมใช้บริการแผนที่ดิจิทัลผ่านอินเทอร์เน็ต เช่น กูเกิ้ลเอิร์ธ (Google Earth) เพื่อค้นหาตำแหน่งและเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทาง

การใช้ จีพีเอสหรือจีเอ็นเอสเอสนำทาง ช่วยให้เรือเดินสมุทรสามารถแล่นผ่านสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ เช่น การชนโขดหินหรือการแล่นเข้าสู่บริเวณน้ำตื้นใกล้ชายฝั่ง นอกจากนี้ การติดตั้งจีพีเอสบนเครื่องบิน ยังช่วยให้เครื่องบินสามารถบินด้วยระบบนำร่องอัตโนมัติ (Auto-Pilot) และช่วยให้นักบินนำเครื่องลงจอดได้อย่างปลอดภัยโดยหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางขณะลดระดับเพดานบิน ในกรณีฉุกเฉิน สมาร์ทโฟนหรือโทรศัพท์มือถือสามารถส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้ เพื่อช่วยในการค้นหาและให้ความช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว

จีเอ็นเอสเอสยังถูกนำไปใช้ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์โลกและภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics) เช่น นักธรณีฟิสิกส์ใช้จีเอ็นเอสเอส (รวมถึงจีพีเอส) ร่วมกับการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Axial Tomography, CAT) เพื่อตรวจสอบโครงสร้างภายในและการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก นอกจากนี้ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สามารถแสดงแผนที่ในระบบพิกัดที่กำหนดโดยอัตโนมัติเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ เช่น การติดตามการแพร่ระบาดของโรค การบริหารจัดการภัยพิบัติ การจัดเก็บภาษี การติดตามปัญหาสิ่งแวดล้อม การขนส่งสินค้า ระบบโลจิสติกส์ และระบบขนส่งมวลชน จะเห็นได้ว่าทั้งจีเอ็นเอสเอสและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีบทบาทสำคัญในหลายสาขาและสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยทั้งหมดนี้อยู่บนรากฐานของจีออเดซี



รูปที่ 1.2 การหารัศมีโลกของเอราทอสเทนีส (ดัดแปลงจาก Jekeli, 2006, ได้รับอนุญาตจากผู้เขียน)

### 1.3 ประวัติการหาสัณฐานของโลก

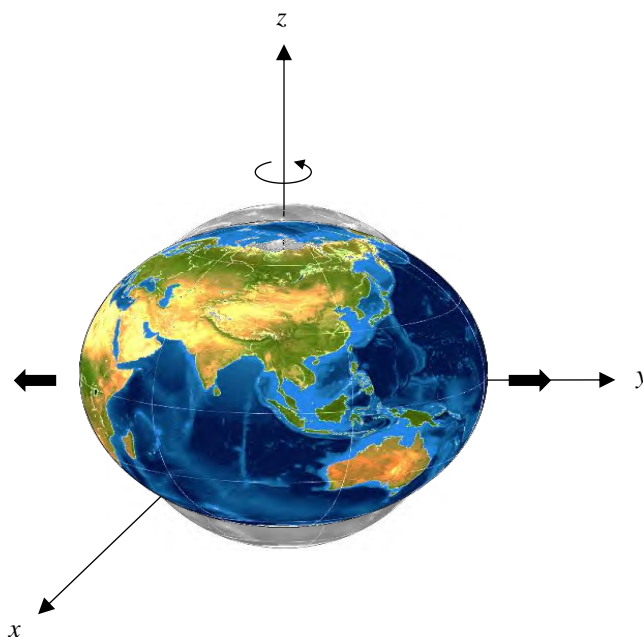
สัณฐานของโลก (Figure of the Earth) หรือขนาดและรูปร่างของโลกนั้นได้ถูกกำหนดว่าเป็นผิวเชิงกายภาพของโลก สามารถรู้ได้โดยชุดตำแหน่งของหมุดควบคุมที่มีค่าพิกัดอ้างอิงจากระบบพิกัดที่ได้กำหนดไว้อย่างแน่ชัด ปัจจุบันเราสามารถรู้ถึงสัณฐานของโลกไม่เพียงแต่บนแผ่นดินแล้วยังครอบคลุมไปถึงผิวมหาสมุทรและพื้นมหาสมุทรอีกด้วย ในการหาสัณฐานของโลกในยุคแรก ๆ นั้น เริ่มต้นโดยนักปราชญ์ชาวกรีกที่มีชื่อว่าเอราทอสเทนีส (Eratosthenes) (ในช่วงปี 276 ถึง 195 ก่อนคริสตกาล) ได้มีการวัดทิศทางของลำแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ณ เมืองไซฮีนี (Syene)—ปัจจุบันคือเมืองอัสวาน (Aswan) ประเทศอียิปต์—และเมืองอเล็กซานเดรีย (Alexandria) ทางตอนเหนือของประเทศอียิปต์ ซึ่งทั้งสองเมืองตั้งอยู่บนแนวเส้นเมริเดียน (หรือเส้นลองจิจูด) ที่ใกล้เคียงกัน พบว่า ณ เมืองไซฮีนี ลำแสงอาทิตย์ตกลงมาในแนวตั้งพอดี ทำให้ไม่ปรากฏเงา ขณะที่ที่เมืองอเล็กซานเดรีย ลำแสงอาทิตย์ทำมุมกับแนวตั้งเป็นมุม  $\psi = 7^{\circ}12'$  (Jekeli, 2006; Torge and Müller, 2012) ดังแสดงในรูปที่ 1.2

หลังจากนั้นทำการวัดระยะทางตามผิวโค้ง  $s$  ของโลกระหว่างเมืองทั้งสอง จากข้อมูลการวัดทั้งสองสามารถใช้หลักการทางเรขาคณิตอย่างง่ายในการคำนวณหารัศมีของโลก  $R$  ได้จากสมการที่ (1.1) ซึ่งเป็นวิธีการเบื้องต้นที่ใช้ในการทำความเข้าใจขนาดและรูปร่างของโลกก่อนที่จะมีเทคนิคการวัดที่ทันสมัยกว่า

$$R = \frac{s}{\psi} \tag{1.1}$$

ผลการคำนวณทำให้ทราบว่ารศมีของโลกเท่ากับ 6,267 กิโลเมตร (กม.) ซึ่งแตกต่างจากรศมีเฉลี่ยจริงของโลก (6,371 กม.) ไป 104 กิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.6 โดยประมาณ ถึงแม้ผลการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ก็สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของมนุษย์ในสมัยโบราณในการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายลักษณะของโลกได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริง และถือเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาสัณฐานโลกที่พัฒนาสู่วิธีการทางจีโอดีซีที่มีความแม่นยำสูงในปัจจุบัน

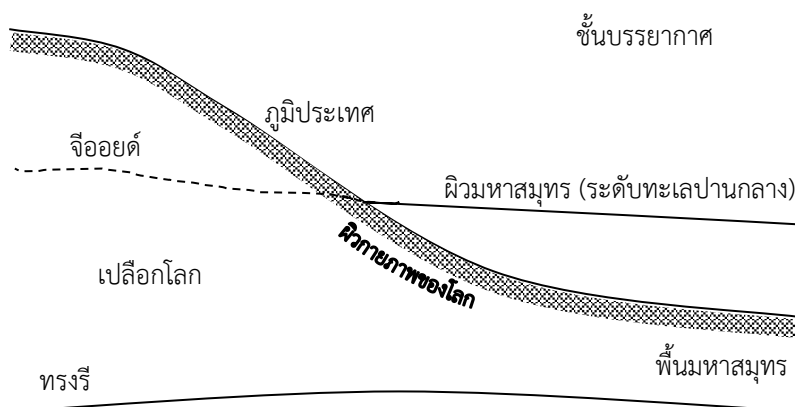
ในยุโรปประมาณกลางศตวรรษที่ 16 ซึ่งเป็นยุคเรเนสซองซ์ ได้มีการถกปัญหากันอย่างมากเกี่ยวกับการปรับปรุงวิธีการหาสัณฐานของโลกให้ละเอียดถูกต้องมากขึ้นในกลุ่มนักดาราศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้ก็ยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร จนกระทั่งในสมัยของไอแซก นิวตัน (Isaac Newton) (คริสต์ศักราช 1643 ถึง 1727) ได้มีการโต้แย้งกันมากขึ้น ในยุคนั้น ถึงรูปร่างของโลกว่าเป็นทรงกลมหรือไม่ จากการวัดความยาวส่วนโค้งบนผิวโลกหลายครั้งในช่วงศตวรรษที่ 17 และ 18 พร้อมทั้งข้อโต้แย้งของไอแซกบนพื้นฐานของหลักการทางฟิสิกส์ ทำให้ได้ข้อพิสูจน์ว่า โลกมีรูปร่างเป็นทรงรีหมุน (Ellipsoid of Revolution) โดยมีลักษณะ แบบที่ขั้วโลกและนูนออกบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งเกิดจากการหมุนรอบแกนของโลก ดังแสดงในรูปที่ 1.3



**รูปที่ 1.3** โลกมีรูปร่างคล้ายทรงรีหมุน แบบที่ขั้วโลกและนูนออกบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งเกิดจากการหมุนรอบแกนของโลก

การประมาณสัณฐานของโลกที่ถูกต้องที่สุด นอกเหนือจากการพิจารณารูปร่างเป็น ทรงรีหมุน แล้ว ยังมีจีโอดี (Geoid) ซึ่งเป็นผิวสมศักย์ (Equipotential Surface) ของสนามความโน้มถ่วง โดยเป็นผิวที่มีค่าศักย์ความโน้มถ่วง (Gravity Potential) คงที่ (รายละเอียดดูในบทที่ 4) จีโอดีมีความใกล้เคียงกับระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level, MSL) โดยเฉพาะบริเวณมหาสมุทร ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวต่าง ๆ จีโอดีและทรงรีเฉลี่ยของโลก (Mean Earth Ellipsoid)

มีค่าความแตกต่างกันสูงสุดประมาณ 110 เมตร และมีความแนบชิดกันโดยเฉลี่ยประมาณ 30 เมตร ในขณะที่ ทรงกลมที่ใช้แทนลูกโลกแตกต่างจากทรงรีเฉลี่ยมากถึง 14 กิโลเมตร ที่ขั้วโลกเหนือและใต้ จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ในเชิงเรขาคณิต รูปทรงรีหมุนเป็นตัวแทนสัณฐานของโลกที่ถูกต้องกว่า ทรงกลม โดยเฉพาะในบริเวณมหาสมุทรซึ่งครอบคลุมเกือบ 70% ของพื้นผิวโลก ถึงแม้ว่าทรงรีหมุน จะไม่ใช่รูปทรงที่แทนสัณฐานของโลกได้ดีที่สุด แต่ก็ยังเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานด้าน แผนที่และการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก นอกจากนี้ ทรงรีหมุนยังเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลัก สำหรับการรังวัด ควบคุมทั้งในระดับชาติและสากล ซึ่งในบทที่ 2 จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับเรขาคณิตของทรงรีหมุน ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งพิกัด



รูปที่ 1.4 ผิวกายภาพของโลก จีโออยด์ และทรงรี

#### 1.4 องค์กรด้านจีโอเดซีและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทย กรมแผนที่ทหาร (Royal Thai Survey Department, RTSD) สังกัด กองบัญชาการ กองทัพอากาศ กระทรวงกลาโหม เป็นองค์กรหลักด้านจีโอเดซี โดยมีกองจีโอเดซีและจีโอฟิสิกส์ (Geodesy and Geophysics Division) ซึ่งมีภารกิจหลัก ได้แก่ การสำรวจพิกัดหุดหลักฐาน การรังวัดความโน้มถ่วง การตรวจสอบสภาพแม่เหล็ก และการศึกษาคลื่นไหวสะเทือนของโลก ตลอดจนงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการทำแผนที่ นอกจากนี้ กรมแผนที่ทหารยังเป็นผู้ดำเนินโครงการ โครงข่ายสถานีอ้างอิง ค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง (Continuously Operating Reference Station, CORS) ซึ่งช่วยสนับสนุน งานจีโอเดซี การทำแผนที่ และการกำหนดพิกัดตำแหน่งความถูกต้องสูง โดยมีสถานี CORS จำนวน 80 สถานี กระจายอยู่ทั่วประเทศ (รายละเอียดดูในบทที่ 9) นอกจากนี้ กรมแผนที่ทหารยังมีภารกิจอื่น ๆ เช่น การให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำแก่หน่วยงานราชการในงานด้านจีโอเดซีและธรณีฟิสิกส์ การส่งเสริมและประสานงานกับประเทศสมาชิกของสหภาพจีโอเดซีและธรณีฟิสิกส์สากล (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) รวมถึงการดำเนินงานของ โรงเรียนแผนที่ ซึ่งเป็นสถาบัน ที่ผลิตบุคลากรของรัฐด้านการรังวัดและทำแผนที่ ผู้อ่านสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ เว็บไซต์ของ กรมแผนที่ทหารที่ <https://www.rtsd.mi.th>

นอกจากกรมแผนที่ทหารแล้ว ยังมีกรมที่ดิน (Department of Lands, DOL) อยู่ในสังกัด กระทรวงมหาดไทย เป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบด้านการรังวัดที่ดินและการกำหนดพิกัดในงานที่ดิน โดยมีภารกิจหลัก ได้แก่ การรังวัดออกโฉนดที่ดิน การกำหนดแนวเขตที่ดิน การปรับปรุงระบบพิกัดที่ดิน

ให้เป็นมาตรฐานสากล และการพัฒนาโครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศ นอกจากนี้ กรมที่ดิน ยังเป็นผู้ร่วมดำเนินโครงการ โครงข่ายสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง (CORS) ทั่วประเทศ ซึ่งเป็นโครงข่ายสถานีจีเอ็นเอสเอสที่ช่วยให้สามารถกำหนดพิกัดตำแหน่งด้วยความถูกต้องสูง สนับสนุนงานรังวัดที่ดิน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ ปัจจุบัน กรมที่ดินมีสถานี CORS กว่า 200 แห่งครอบคลุมทั่วประเทศ (รายละเอียดดูในบทที่ 9) โดยผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลและบริการของโครงข่าย CORS ได้ผ่านทาง เว็บไซต์ของกรมที่ดินที่ <https://www.dol.go.th>

เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดาวเทียมและภูมิสารสนเทศ ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นของบทนี้ ทำให้เกิดองค์กรใหม่ที่มีภารกิจเกี่ยวข้องกับงานด้านจีออเดซี ได้แก่ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, GISTDA) ซึ่งก่อตั้งเมื่อวันที่ 3 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2543 โดยมีเป้าหมายในการบริหารและดำเนินงานด้านภูมิสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ให้บริการข้อมูลและวิชาการตลอดจนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม โดยให้ความสำคัญกับการสำรวจข้อมูลระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการพัฒนาประเทศ รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ เว็บไซต์ของ สทอภ. ที่ <https://www.gistda.or.th>

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือไทย (Hydrographic Department, Royal Thai Navy, HDRTN) แม้จะไม่ได้ดำเนินงานด้านจีออเดซีโดยตรง แต่ก็มีบทบาทสำคัญในงานจีออเดซีที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงในทะเลและมหาสมุทร โดยมีภารกิจหลัก ได้แก่ การอำนวยความสะดวก ประสานงาน แนะนำ กำกับดูแล และดำเนินงานด้านอุทกศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา วิศวกรรมชายฝั่ง และการขุดลอก รวมถึงการติดตั้งและดูแลเครื่องหมายการเดินเรือ การสนับสนุนกำลังพลและพัสดุสำหรับภารกิจด้านอุทกศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา และสมุทรศาสตร์ ตลอดจนการตรวจวัดและคำนวณระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย ทั้งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน นอกจากนี้ กรมอุทกศาสตร์ยังมีบทบาทด้านการฝึกอบรมและการศึกษาทางอุทกศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา สมุทรศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามที่ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือ รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่เว็บไซต์ของกรมอุทกศาสตร์ที่ [www.hydro.navy.mi.th](http://www.hydro.navy.mi.th)

กรมทรัพยากรธรณี เป็นหน่วยงานหลัก (Department of Mineral Resources, DMR) สังกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แม้ว่ามีหน้าที่หลักในการ สงวน อนุรักษ์ ปั่นฟู และบริหารจัดการทรัพยากรธรณี แต่ก็มีบทบาทเกี่ยวข้องกับ จีออเดซี โดยเฉพาะด้าน การสำรวจค่าความโน้มถ่วง ซึ่งสามารถนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลความโน้มถ่วงที่ดำเนินการโดย กรมแผนที่ทหาร เพื่อพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองจีอออยด์ท้องถิ่นของประเทศสำหรับคำนวณหาระดับความสูงภูมิประเทศ นอกจากนี้ กรมทรัพยากรธรณียังมีบทบาท ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางธรณีวิทยา ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลกและการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก เช่น การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก แผ่นดินไหว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างธรณีของเปลือกโลกที่มีผลต่อความหนาแน่นของมวลสารโลก และการแปรเปลี่ยนของสนามแม่เหล็กโลก รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ เว็บไซต์ของกรมทรัพยากรธรณีที่ <https://www.dmr.go.th>

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology (Thailand), NIMT) เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีระบบบริหารงานเป็นอิสระ (Public Agency) ภายใต้การกำกับของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยเป็นองค์กรหลักในการพัฒนา ระบบมาตรวิทยาของชาติ ให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล พันธกิจหลักของสถาบันฯ คือ การพัฒนามาตรฐานการวัดแห่งชาติ

ให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล การถ่ายทอดค่ามาตรฐานการวัดภายในประเทศ และการเผยแพร่ความรู้ด้านมาตรวิทยาแก่สังคมไทย เพื่อสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของมาตรวิทยา ตลอดจนเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้า การคุ้มครองผู้บริโภค และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติยังมีบทบาทสำคัญในงานที่เกี่ยวข้องกับจีออเดซี โดยให้บริการ สอบเทียบค่าความโน้มถ่วง ด้วยเครื่องวัดความโน้มถ่วงที่มีความละเอียดและความถูกต้องสูง รวมถึง การพัฒนามาตรฐานการวัดด้านเวลาและความถี่ เพื่อให้ได้ ระบบเวลามาตรฐานของประเทศที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรังวัดเชิงพื้นที่และระบบนำทางด้วยดาวเทียม รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ เว็บไซต์ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ <https://www.nimt.or.th/>

ในประเทศไทย มีสถาบันการศึกษาหลายแห่งที่เปิดสอนหลักสูตรด้าน วิศวกรรมสำรวจ ระดับบัณฑิตศึกษา และดำเนินการวิจัยและพัฒนาด้านจีออเดซีอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (<https://sv.eng.chula.ac.th/>) ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2498 และเป็นสถาบันแห่งแรกของประเทศไทยที่เปิดสอนหลักสูตร วิศวกรรมสำรวจตั้งแต่ระดับปริญญาตรีจนถึงปริญญาเอก นอกจากนี้ยังมี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (<https://civil.eng.cmu.ac.th/>) ซึ่งเปิดสอนหลักสูตรด้านวิศวกรรมโยธาและสำรวจในระดับบัณฑิตศึกษา และสาขาวิศวกรรมสำรวจและสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (<https://www.eng.ku.ac.th/departments/civil-engineering/>) ซึ่งเปิดสอนตั้งแต่ระดับปริญญาตรีถึงปริญญาเอก เป็นต้น

สำหรับสถาบันที่เปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมสำรวจในระดับปริญญาตรี และมีแผนขยายหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาในอนาคต ได้แก่ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (<https://eng.rmutsv.ac.th/ruts/survey-3/>) และ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (<https://eng-se.rmuth.ac.th/>) เดิมที มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เริ่มต้นจาก โรงเรียนช่างรังวัดที่ดิน ซึ่งจัดตั้งขึ้นที่ กรมที่ดิน เมื่อปี พ.ศ. 2498 ต่อมาได้โอนย้ายไปเป็น แผนกวิชาช่างสำรวจ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ และพัฒนาเป็น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพในปัจจุบัน เป็นหนึ่งในสถาบันที่มีบทบาทสำคัญด้านวิศวกรรมสำรวจ

องค์กรในต่างประเทศที่ดำเนินงานด้าน จีออเดซี ได้แก่ National Geodetic Survey (NGS) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีภารกิจหลักในการสร้าง โครงข่ายหมุดควบคุมทางราบ ทางตั้ง และความโน้มถ่วง รวมถึง โครงข่ายสถานีอ้างอิงค่าพิกัดแบบต่อเนื่อง (CORS) ที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ นอกจากนี้ ยังเป็นหน่วยงานชั้นนำที่ นำนวัตกรรมใหม่มาใช้ในการพัฒนา แบบจำลองจีอออยด์ท้องถิ่น ให้มีความถูกต้องสูง ซึ่งแนวทางการวิจัยของ NGS ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติ รวมถึงในประเทศไทย สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ [www.ngs.noaa.gov](http://www.ngs.noaa.gov) อีกหน่วยงานหนึ่งของสหรัฐอเมริกาคือ National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) เดิมชื่อว่า National Imagery and Mapping Agency (NIMA) ซึ่งเป็นองค์กรหลักที่พัฒนา แบบจำลองจีอออยด์สากล ได้แก่ Earth Gravitational Model 1996 (EGM96) และ Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) แบบจำลองจีอออยด์สากลเหล่านี้ ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก และเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างแบบจำลองจีอออยด์ท้องถิ่นของแต่ละประเทศ (รวมถึงประเทศไทย) หรือในระดับภูมิภาค ผู้อ่านสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/>

นอกจากนี้ ยังมีสหภาพจีออเดซีและธรณีฟิสิกส์สากล (International Union of Geodesy and Geophysics, IUGG) ซึ่งเป็นองค์การนานาชาติที่มีสมาชิก 74 ประเทศ (ข้อมูลจากรายงานประจำปี ค.ศ. 2024 ที่ [www.iugg.org](http://www.iugg.org)) โดยประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศสมาชิกของ IUGG ทุก 4 ปี IUGG จะจัดการประชุมใหญ่ (IUGG General Assembly) โดยมีการหมุนเวียนเจ้าภาพในหมู่ประเทศสมาชิกตามความพร้อมของประเทศที่ประสงค์จะเป็นเจ้าภาพ ในแต่ละการประชุม จะมีการจัดทำรายงานคณะกรรมการแห่งชาติ (National Committee Reports) ผู้ที่สนใจสามารถศึกษารายงานของแต่ละประเทศสมาชิกได้ที่ เว็บไซต์ของ IUGG รายงานดังกล่าวครอบคลุมกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ จีออเดซีและธรณีฟิสิกส์ของแต่ละประเทศ IUGG ประกอบด้วย 8 สมาคม ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ สมาคมจีออเดซีสากล (International Association of Geodesy, IAG) ซึ่งเป็นสมาคมเดียวใน IUGG ที่มุ่งเน้นเฉพาะด้านจีออเดซี ทุก 4 ปี IAG จะจัดการประชุมวิชาการ IAG Scientific Assembly ส่วนใหญ่จะจัดขึ้นในช่วงที่ไม่มีการประชุม IUGG General Assembly เพื่อให้ประเทศสมาชิกและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถพบปะแลกเปลี่ยนความรู้ด้านจีออเดซีโดยเฉพาะ การดำเนินงานของ IAG อยู่ภายใต้การบริหารของคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง มีวาระ 4 ปี และมีการเลือกตั้งคณะกรรมการชุดใหม่หลังจากสิ้นสุดวาระ รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ <https://geodesy.science/iag/> ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลหลักเกี่ยวกับกิจกรรมต่าง ๆ ของสมาคม

อีกหนึ่งองค์การระหว่างประเทศที่สำคัญคือหน่วยงานติดตามการหมุนของโลกสากลหรือไออีอาร์เอส (International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS) ซึ่งก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1987 โดย สหภาพดาราศาสตร์สากล (International Astronomical Union, IAU) และ สหภาพจีออเดซีและธรณีฟิสิกส์สากล (IUGG) IERS มีภารกิจหลักในการพัฒนาและปรับปรุงกรอบอ้างอิงต่าง ๆ (Reference Frames) รวมถึงการคำนวณจุดศูนย์กลางและชุดพารามิเตอร์การปรับของโลก (Earth Orientation Parameters, EOP) ให้เป็นมาตรฐานสากล โดยใช้ข้อมูลจาก สถานีเรดาร์ สถานี CORS ของ IERS และประเทศสมาชิก IUGG ที่กระจายอยู่ทั่วโลก ภารกิจของ IERS เป็นรากฐานสำคัญในการ ศึกษาขนาดและรูปร่างของโลก การศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโลก นอกจากนี้ IERS ยังให้บริการข้อมูลและรายงานทางวิชาการแก่บุคลากรด้านจีออเดซีและผู้ที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ <https://www.iers.org/>

คำศัพท์ที่ปรากฏในหนังสือเล่มนี้ได้รับการพิจารณาและคัดเลือกจากแหล่งอ้างอิงทางวิชาการที่เชื่อถือได้ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมสำรวจ ธรณีฟิสิกส์ และภูมิสารสนเทศ โดยเฉพาะอ้างอิงจากเอกสารสำคัญ 2 ฉบับ ได้แก่ *ศัพท์แผนที่ อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน และกรมแผนที่ทหาร* (ราชบัณฑิตยสถานและกรมแผนที่ทหาร 2549) และ *พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมโยธา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน* (สำนักงานราชบัณฑิตยสถาน, 2567) ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจความหมายเชิงวิชาการของคำศัพท์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น หนังสือเล่มนี้ได้ระบุคำภาษาอังกฤษไว้ในวงเล็บสำหรับบางคำ เพื่อเอื้อต่อการศึกษาเปรียบเทียบกับเอกสารต้นฉบับ และแหล่งข้อมูลสากล รวมถึงช่วยให้ผู้อ่านสามารถเชื่อมโยงแนวคิดระหว่างคำศัพท์ภาษาไทยและภาษาอังกฤษได้อย่างถูกต้องและเข้าใจง่าย