

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างโลก การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ธรณีโครงสร้าง ภูเขาไฟ แผ่นดินไหว สึนามิ ซากดึกดำบรรพ์ การลำดับชั้นหิน อายุทางธรณีวิทยา มาตราธรณีกาล แร่ หิน ทรัพยากรเชื้อเพลิง แพลตฟอร์มและองค์ประกอบของแผนที่ แผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่ธรณีวิทยา

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรม และจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

- อธิบายการแบ่งชั้นและสมบัติของโครงสร้างโลกพร้อมยกตัวอย่างข้อมูลสนับสนุน
- อธิบายหลักฐานทางธรณีวิทยาที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี
- ระบุสาเหตุและอธิบายแนวรอยต่อของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี พร้อมยกตัวอย่างหลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบ
- วิเคราะห์หลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบในปัจจุบันและอธิบายลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาในอดีต
- อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิดภูเขาไฟระเบิดและปัจจัยที่ทำให้ความรุนแรงของการปะทุ และรูปร่างของภูเขาไฟแตกต่างกัน รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย
- อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิด ขนาดและความรุนแรง และผลจากแผ่นดินไหว รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย
- อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิด และผลจากสึนามิ รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย
- ตรวจสอบ และระบุชนิดแร่ รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติและนำเสนอการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรแร่ที่เหมาะสม
- ตรวจสอบ จำแนกประเภท และระบุชื่อหิน รวมทั้งวิเคราะห์สมบัติและนำเสนอการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรหินที่เหมาะสม
- อธิบายกระบวนการเกิด และการสำรวจแหล่งปิโตรเลียมและถ่านหิน โดยใช้ข้อมูลทางธรณีวิทยา
- อธิบายสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปิโตรเลียมและถ่านหิน พร้อมนำเสนอการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม
- อ่านและแปลความหมายจากแผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ ที่กำหนดพร้อมทั้งอธิบายและยกตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์

รวมทั้งหมด 12 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง	ผศ. ดร.กฤษณ์ วันอินทร์
	ผศ. ดร.สมฤดี สาธิตคุณ
ผู้ตรวจ	รศ. ดร.ไกรสร คำมา
	ผศ. วสุเมธี เขียวมณฑ
	ผศ. มาลี สุทธิไภษ
บรรณาธิการ	ศ. ดร.มนตรี ชูวงศ์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง	ผศ. ดร.กฤษณ์ วันอินทร์ ผศ. ดร.สมฤดี สาทิตคุณ
ผู้ตรวจ	รศ. ดร.ไกรสร คำมา ผศ.วสุเมติ เนียมมาศ ผศ.มาลี สุทธิไธมาส
บรรณาธิการ	ศ. ดร.มนตรี ชูวงศ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

กฤษณ์ วันอินทร์.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.-- กรุงเทพฯ :
แม็คเอดูเคชั่น, 2562.

164 หน้า.

1. โลก. 2. ดาราศาสตร์. 3. อวกาศ. I. สมฤดี สาทิตคุณ,

ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

550

ISBN 978-616-345-154-5

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 20,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากนี้จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

 IMACEDUCATION

ส่งหนานิติสงาย ไปรษณีย์ลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทน์เกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : หจก. ซี แอนด์เอ็น บุก

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกระดับชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบสามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียนให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และผลการเรียนรู้ และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็ความรู้ ความคิดที่เป็นแกนสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควาได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้ คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลง ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร และสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหา บางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์   ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ทโฟนสแกน QR Code หรือเปิด ในเว็บไซต์ MACEducation.com เพื่อเข้าเมนู การศึกษาขั้นพื้นฐาน >>> MAC iLink และเลือกเปิดดู ส่วนเสริมของบทเรียนในหนังสือเรียนแต่ละเล่มได้ ทำให้นักเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ การสรุปบทเรียน สำหรับให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจาก เสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและความเข้าใจให้อ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญ อีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษา เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศ ที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอดดูเคชั่น จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบ การเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ให้ตรงตาม ผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและ ประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียน การสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิดการวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้ แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อพัฒนาผู้เรียน ให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจ ตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้น ให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริม ความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 5 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระ การเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามนำเข้าสู่บทเรียน แนวคิดหลักของหน่วยการเรียนรู้ แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ บทสรุปเนื้อหา และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูป การศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้เรียบเรียง ขออภัยขอรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

ผศ. ดร.กฤษณ์ วันอินทร์

ผศ. ดร.สมฤดี สาธิตคุณ

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของธรณีภาค 1

1. โครงสร้างโลก 2
 - 1.1 การแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี 3
 - 1.2 การแบ่งโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลของคลื่นไหวสะเทือน 4
 2. การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก 10
 - 2.1 หลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานทวีปเลื่อน 12
 - 2.2 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก 15
 - 2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก 17
 3. ธรณีโครงสร้าง 22
 - 3.1 ความเค้นและความเครียดในชั้นเปลือกโลก 23
 - 3.2 การวางตัวของชั้นหิน 24
 - 3.3 รอยคดโค้ง 25
 - 3.4 รอยเลื่อน 28
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 34

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ธรณีพิบัติภัย 35

1. ภูเขาไฟ 37
 2. แผ่นดินไหว 50
 3. สึนามิ 64
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 70

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 ธรณีประวัติ 71

1. ชากดึกดำบรรพ์ 72
 - 1.1 การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ 73
 - 1.2 กระบวนการเกิดซากดึกดำบรรพ์ 74
2. การลำดับชั้นหิน 79

3. อายุทางธรณีวิทยา 88
 - 3.1 อายุเปรียบเทียบ 88
 - 3.2 อายุสัมบูรณ์ 88
 4. มาตราธรณีกาล 91
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 97

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ทรัพยากรธรณี 98

1. แร่ 99
 2. หิน 108
 - 2.1 หินอัคนี 109
 - 2.2 หินตะกอน 111
 - 2.3 หินแปร 112
 3. ทรัพยากรเชื้อเพลิง 113
 - 3.1 ถ่านหิน 113
 - 3.2 ปิโตรเลียม 117
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 124

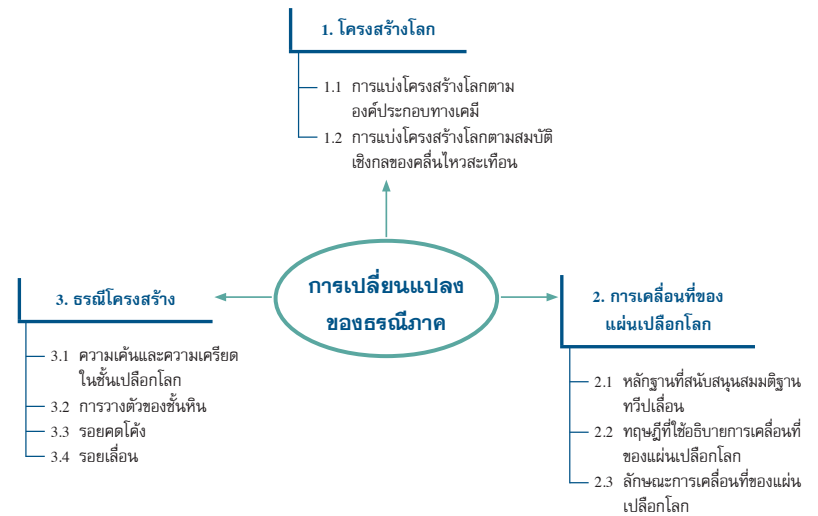
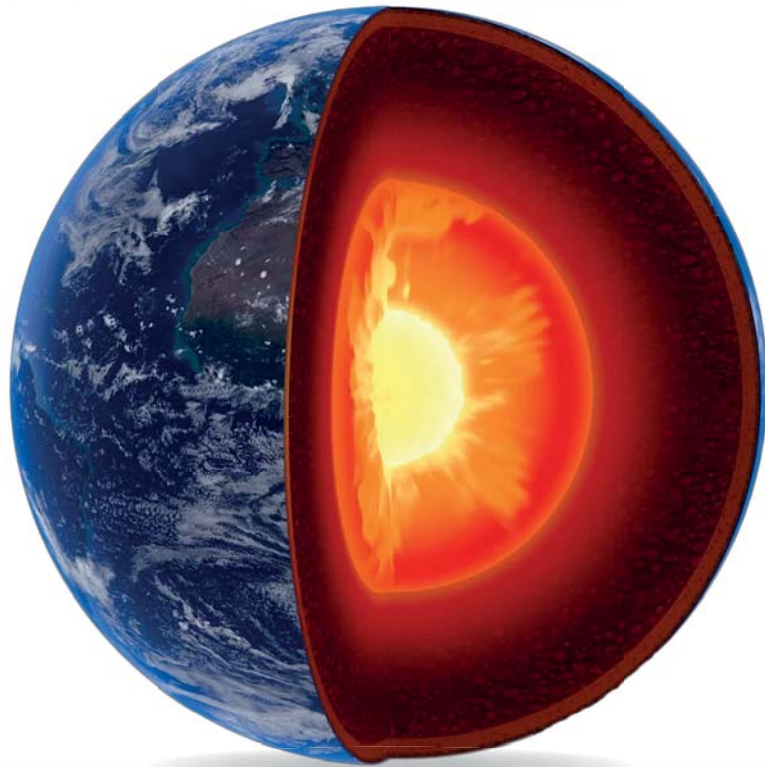
หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 แผนที่ 125

1. แผนที่และองค์ประกอบของแผนที่ 126
 - 1.1 ชนิดของแผนที่ 127
 - 1.2 องค์ประกอบของแผนที่ 128
 - 1.3 ประโยชน์ของแผนที่ 137
 2. แผนที่ภูมิประเทศ 138
 3. แผนที่ธรณีวิทยา 141
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ 148

บรรณานุกรม 149

ดัชนี 151

การเปลี่ยนแปลงของธรณีภาค



ผลการเรียนรู้

- อธิบายการแบ่งชั้นและสมบัติของโครงสร้างโลก พร้อมยกตัวอย่างข้อมูลที่สนับสนุน
- อธิบายหลักฐานทางธรณีวิทยาที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี
- ระบุสาเหตุและอธิบายแนวรอยต่อของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี พร้อมยกตัวอย่างหลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบ

โลกมีโครงสร้างอย่างไร การเปลี่ยนแปลงของ
โครงสร้างโลกทำให้เกิดปรากฏการณ์อะไรบ้าง



แนวคิดหลัก

การศึกษาโครงสร้างโลกจะทำให้ทราบถึงประวัติความเป็นมาของโลกและการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติทางธรณีวิทยา การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกอธิบายได้โดยทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะที่ต่างกัน จะทำให้เกิดลักษณะธรณีสัณฐานแตกต่างกัน เช่น แนวเทือกเขา เทือกเขากลางสมุทร หุบเขาทรุด หมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง และทำให้เกิดธรณีโครงสร้างต่าง ๆ เช่น รอยคดโค้ง รอยเลื่อน รอยแยก นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดธรณีพิบัติภัยต่าง ๆ ได้

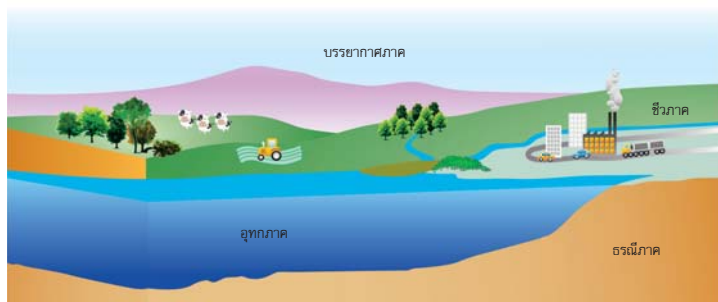
1. โครงสร้างโลก



แนวคิดสำคัญ

โครงสร้างโลกมีลักษณะเป็นชั้น ๆ การแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีจะแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ เปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก ส่วนการแบ่งโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลของคลื่นไหวสะเทือนจะแบ่งออกเป็น 5 ชั้น คือ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มหัทธภาค แก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน

นักเรียนเคยสงสัยบ้างหรือไม่ว่า โลกของเรานั้นมีทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งนั่นก็คือ ส่วนของพื้นดิน พื้นน้ำ และอากาศ ซึ่งสิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ทั้ง 3 ส่วน ดังนั้น โลกของเราก็จึงแบ่งตามองค์ประกอบด้านสิ่งแวดล้อมออกเป็น 4 ส่วน คือ บรรยากาศภาค ชีวภาค อุทกภาค และธรณีภาค ทุกส่วนมีความเชื่อมโยงและสัมพันธ์กัน หากส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อส่วนอื่น ๆ ด้วย



รูปที่ 1.1 ส่วนต่าง ๆ ของโลก

1. **บรรยากาศภาค (atmosphere)** หมายถึง อากาศที่อยู่รอบ ๆ โลกตั้งแต่ผิวโลกไปจนถึงระดับสูงกว่า 800 กิโลเมตร บรรยากาศมีน้ำหนักจึงมีความกดอากาศ ซึ่งบริเวณผิวโลกจะมีค่าความกดอากาศมากที่สุดประมาณ 101.325 นิวตันต่อตารางเมตร

2. **ชีวภาค (biosphere)** หมายถึง ส่วนของผิวโลกและบริเวณใกล้เคียงผิวโลกที่เป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในโลก

3. **อุทกภาค (hydrosphere)** หมายถึง ส่วนที่เป็นน้ำทั้งหมดบนโลกซึ่งครอบคลุมสามในสี่ส่วนของผิวโลก ได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำต่าง ๆ

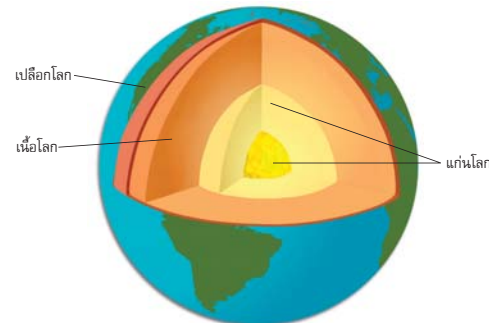
4. **ธรณีภาค (lithosphere)** หมายถึง ส่วนของเปลือกโลกทั้งหมดและส่วนบนสุดของเนื้อโลกที่เป็นของแข็ง เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดทางด้านธรณีวิทยา เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก การเกิดชั้นหินดิน และแร่ ซึ่งมีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก

ในระดับชั้นนี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับโลกในส่วนธรณีภาค ซึ่งโลกของเรานั้นมีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีอิทธิพลทำให้ส่วนของธรณีภาคเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

การศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบภายในโลกนั้นทำได้ยากมาก นักธรณีวิทยาจึงใช้ข้อมูลหลาย ๆ ด้านในการศึกษาโครงสร้างภายในของโลก เช่น การปะทุของภูเขาไฟ การวัดอุณหภูมิภายในได้เหมือนลึก ขุดหินโอไฟไอโลอิต้องประกอบทางเคมีของหินและแร่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือน รวมถึงการศึกษาโครงสร้างของลูกกาบดที่ทำให้ให้นักธรณีวิทยาเข้าใจองค์ประกอบภายในของโลกได้ เนื่องจากลูกกาบดเป็นวัตถุที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับโลกในช่วงต้นของการกำเนิดระบบสุริยะ ซึ่งธาตุองค์ประกอบและความหนาแน่นของลูกกาบดแตกต่างกันไปเล็กน้อยกับแก่นโลกมาก จากหลักฐานต่าง ๆ ข้างต้น ทำให้นักธรณีวิทยาสามารถจำแนกโครงสร้างของโลกออกเป็นชั้น ๆ ได้ โดยใช้เกณฑ์ในการแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลของคลื่นไหวสะเทือน

1.1 การแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีบริเวณส่วนต่าง ๆ ภายในโครงสร้างโลก สามารถแบ่งโครงสร้างโลกออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี

1. เปลือกโลก (crust) เป็นชั้นนอกสุดของโครงสร้างโลก มีความหนาประมาณ 4–100 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.1 **เปลือกโลกทวีป (continental crust)** เป็นส่วนของพื้นทวีปและไหล่ทวีป มีความหนาประมาณ 25–70 กิโลเมตร เปลือกโลกส่วนที่มีความหนาต่างๆ จะเป็นบริเวณที่มีภูเขาสูง เปลือกโลกทวีปมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้อยกว่าเปลือกโลกมหาสมุทร โครงสร้างโลกส่วนนี้ประกอบด้วยแร่ซิลิกา (silica) และอะลูมินา (alumina) เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่า **ชั้นไซอัล (SIAL)**

1.2 **เปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic crust)** เป็นเปลือกโลกส่วนที่อยู่ใต้มหาสมุทร มีความหนาประมาณ 4–11 กิโลเมตร มีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 3,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมากกว่าเปลือกโลกทวีป โครงสร้างโลกส่วนนี้ประกอบด้วยแร่ซิลิกา (silica) และแมกนีเซีย (magnesia) เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่า **ชั้นโซมา (SIMA)**

2. เนื้อโลก (mantle) คือ ชั้นของโลกที่อยู่ระหว่างเปลือกโลกกับแก่นโลก ความหนาประมาณ 2,900 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 **เนื้อโลกส่วนบน (upper mantle)** มีความหนาประมาณ 30–100 กิโลเมตร ส่วนประกอบหลักของชั้นเนื้อโลกส่วนใหญ่เป็นแมกนีเซียมและเหล็ก เกือบทั้งหมดมีสถานะเป็นของแข็งยกเว้นที่ความลึกประมาณ 100–250 กิโลเมตร เรียกว่า **ฐานธรณีภาค (asthenosphere)** ในชั้นนี้มีการหลอมละลายของหินเป็นบางส่วน จึงเป็นหินเนื้ออ่อน อุณหภูมิที่สูงมากทำให้แร่บางส่วนหลอมละลายเป็น **หินหนืด** หรือ **แมกมา (magma)** ที่เคลื่อนที่หมุนวนด้วยการพาความร้อน

2.2 **เนื้อโลกส่วนล่าง (lower mantle)** เป็นชั้นที่อยู่ใต้ฐานธรณีภาค มีสภาพเป็นของแข็ง อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลก 660–2,900 กิโลเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิเกตและออกไซด์ของเหล็กและแมกนีเซียม มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 องศาเซลเซียส

3. แก่นโลก (core) เป็นส่วนในสุดของโลกถัดจากชั้นเนื้อโลก มีความหนาแน่นและความดันสูงมาก ประกอบด้วยธาตุเหล็กและนิกเกิลเป็นส่วนใหญ่ มีรัศมีประมาณ 3,500 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 2 ชั้น ดังนี้

3.1 **แก่นโลกชั้นนอก (outer core)** อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลกตั้งแต่ 2,900–5,000 กิโลเมตร มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 12 แก่นโลกชั้นนี้เป็นโลหะเหลวที่ประกอบด้วยธาตุเหล็กและนิกเกิลซึ่งไหลวนไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้นักวิทยาศาสตร์ตั้งสมมติฐานว่า การไหลของโลหะเหลวเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโลก

3.2 **แก่นโลกชั้นใน (inner core)** อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 5,000 กิโลเมตร มีความหนาประมาณ 1,200 กิโลเมตร มีอุณหภูมิสูงถึง 7,500 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 17 อยู่ในสภาพของแข็ง ประกอบด้วยธาตุเหล็ก ธาตุ นิกเกิล และธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะสูงมาก ๆ

1.2 การแบ่งโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลของ

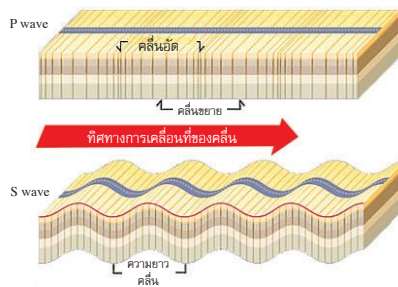
คลื่นไหวสะเทือน

คลื่นไหวสะเทือน (seismic wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการส่งผ่านพลังงานจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยอนุภาคของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ตามไปด้วย ประกอบด้วยคลื่นหลัก 2 ชนิด ดังนี้

1. **คลื่นในตัวกลาง (body wave)** เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ภายในเนื้อโลกซึ่งเป็นตัวกลางของคลื่นที่มีเนื้อเดียวกันตลอด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1.1 คลื่นปฐมภูมิ (primary

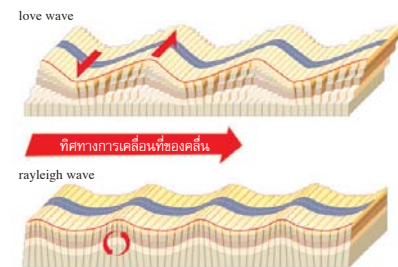
wave : P wave) เป็นคลื่นอัดขยายที่ตรวจวัดได้จากแผ่นดินไหว ซึ่งเดินทางจากต้นกำเนิดคลื่นถึงเครื่องตรวจวัดคลื่นได้เป็นอันดับแรก อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ตามแนวยาวในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เกิดส่วนอัดและส่วนขยายคล้ายคลื่นเสียงในอากาศ โดยที่อนุภาคของตัวกลางจะไม่เกิดการหมุน คลื่นชนิดนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ทุกสถานะ



รูปที่ 1.3 คลื่นในตัวกลาง

1.2 คลื่นทุติยภูมิ (secondary

wave : S wave) เป็นคลื่นเฉือนที่ตรวจวัดได้จากแผ่นดินไหว ซึ่งเดินทางจากต้นกำเนิดคลื่นถึงเครื่องตรวจวัดคลื่นได้หลังคลื่นปฐมภูมิ อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และมีการหมุนรอบแกนเมื่อแรงเฉือนมากระทำกับตัวกลาง ทำให้รูปร่างของตัวกลางเปลี่ยนแปลงไป คลื่นชนิดนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะตัวกลางที่มีสถานะเป็นของแข็งเท่านั้น



รูปที่ 1.4 คลื่นพื้นผิว

2. คลื่นพื้นผิว (surface wave) เป็น

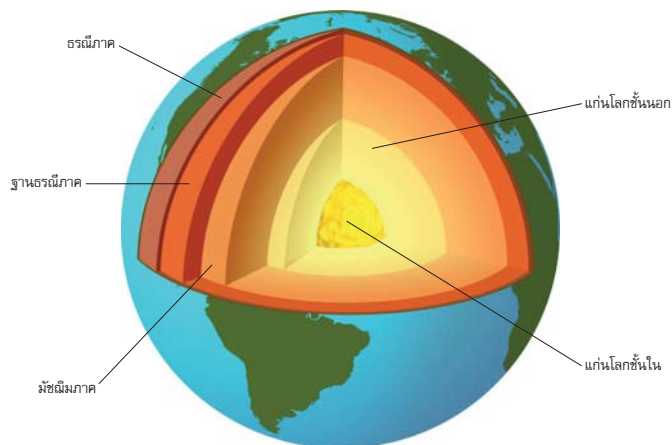
คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวของโลก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1 คลื่นเลิฟ (love wave) คือ

คลื่นที่อนุภาคในตัวกลางเกิดการสั่นในแนวระดับ ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและไม่เกิดการกระจัดในแนวตั้ง มีลักษณะเดียวกับการเลื้อยของงูไปตามผิวดิน ขณะที่คลื่นเลิฟมีความเร็วสูง จะมีความถี่ต่ำและจะเคลื่อนที่ลงสู่ใต้ผิวโลกได้มากขึ้น

2.2 **คลื่นเรย์ลีย์ (rayleigh wave)** คือ คลื่นที่อนุภาคในตัวกลางเกิดการสั่นในแนวตั้ง พื้นผิวโลกเกิดการเคลื่อนไหวในเชิงวงรี โดยมีแกนหลักในแนวแกนตั้ง ความเร็วของคลื่นจะลดลงตามความลึกอย่างรวดเร็ว

จากการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนที่ระดับความลึกต่าง ๆ ภายในโครงสร้างโลก สามารถแบ่งโครงสร้างโลกออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มัชฌิมภาค แก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 โครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลของคลื่นไหวสะเทือน

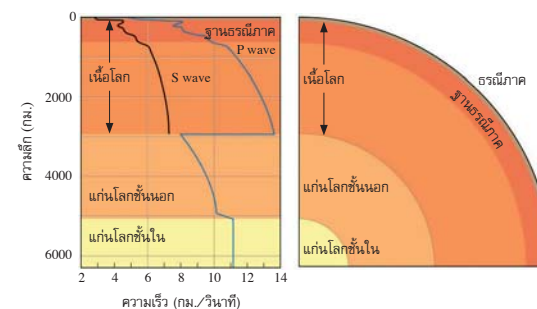
1. ธรณีภาค (lithosphere) คือ เปลือกโลกทั้งหมดรวมกับชั้นบาง ๆ ของเนื้อโลกส่วนบน คลื่น P และ คลื่น S เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มมากขึ้นจนถึง **เขตไม่ต่อเนื่องโมโฮโรวิช (Mohorovicic discontinuity)** แล้วจึงเคลื่อนที่ช้าลง แนวนี้ใช้แบ่งเขตระหว่างเปลือกโลกชั้นนอกกับเปลือกโลกชั้นใน ซึ่งมีนิยามจากการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเหนือรอยต่อและใต้รอยต่อ อยู่ลึกประมาณ 50 กิโลเมตรจากผิวโลก ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสลาฟ เอ.โมโฮโรวิช ซึ่งเป็นผู้ค้นพบเมื่อ พ.ศ. 2452

2. ฐานธรณีภาค (asthenosphere) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากธรณีภาคซึ่งอยู่ระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 100-250 กิโลเมตร หินในชั้นนี้มีความอ่อนตัวและมีสมบัติเป็นพลาสติก การเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนแบ่งออกเป็น 2 เขต คือ เขตที่คลื่นไหวสะเทือนมีความเร็วต่ำ (low velocity zone) ที่ระดับความลึกประมาณ 100-400 กิโลเมตร คลื่น P และคลื่น S มีความเร็วลดลง และเขตที่มีการเปลี่ยนแปลง (transitional zone) อยู่บริเวณเนื้อโลกส่วนบนที่ระดับความลึกประมาณ 400-700 กิโลเมตร คลื่น P และคลื่น S มีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตราที่ไม่สม่ำเสมอ หินในชั้นนี้มักจะเป็นของแข็งและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแร่

3. มัชฌิมภาค (mesosphere) เป็นชั้นที่อยู่ใต้ฐานธรณีภาคหรือบริเวณเนื้อโลก ซึ่งมีความลึกประมาณ 700-2,900 กิโลเมตร เป็นบริเวณที่คลื่นไหวสะเทือนมีความเร็วสม่ำเสมอ เนื่องจากเป็นชั้นของแข็งที่มีเนื้อเดียวกัน เช่น เหล็กซิลิเกต แมกนีเซียมซิลิเกต

4. แก่นโลกชั้นนอก (outer core) เป็นส่วนบนของบริเวณใจกลางโลก อยู่ระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 2,800-5,100 กิโลเมตร ประกอบด้วยของเหลวที่มีธาตุเหล็กและนิกเกิลเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อคลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่มาถึงชั้นนี้ คลื่น P จะลดความเร็วลงจนดับลงแล้วจึงมีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ขณะที่คลื่น S ไม่ปรากฏ เนื่องจากบริเวณนี้เป็นของเหลวซึ่งคลื่น S ไม่สามารถผ่านได้ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่รอยต่อนี้ เรียกว่า **เขตไม่ต่อเนื่องของกูดเนเบิร์ก (Gutenberg discontinuity)** ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นแมนเทิลและแก่นโลกชั้นนอก ตั้งชื่อตามแผ่นดินไหวนักวิทยาศาสตร์ เบนโน กูดเนเบิร์ก (Beno Gutenberg)

5. แก่นโลกชั้นใน (inner core) อยู่ระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 5,000 กิโลเมตร ไปจนถึงจุดศูนย์กลางของโลกหรือประมาณ 6,370 กิโลเมตร อุณหภูมิอาจสูงถึง 7,500 องศาเซลเซียส อยู่ในสภาพของแข็ง ประกอบด้วยธาตุเหล็ก ธาตุหนักเกิล และธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะสูง เมื่อคลื่น P เคลื่อนที่จากแก่นโลกชั้นนอกมายังแก่นโลกชั้นในจะผ่านรอยต่อที่เรียกว่า **เขตไม่ต่อเนื่องของเลห์แมนน์ (Lehmann discontinuity)** ตั้งชื่อตามอิงเก เลห์แมนน์ (Inge Lehmann) คลื่น P จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะมีความเร็วค่อนข้างคงที่เนื่องจากเป็นชั้นที่มีสถานะเป็นของแข็งเนื้อเดียว



รูปที่ 1.6 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่ระดับความลึกต่าง ๆ

จะเห็นว่าส่วนประกอบภายในชั้นต่าง ๆ ของโลกมีลักษณะและสมบัติต่างกันทั้งด้านกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี นอกจากนี้การไหลของโลหะบริเวณแก่นโลกชั้นนอกยังมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของแผ่นทวีปที่ผิวโลก ซึ่งส่งผลให้เกิดธรณีพิบัติภัย เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างภายในโลกมีความร้อนและความดันสะสมอยู่



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

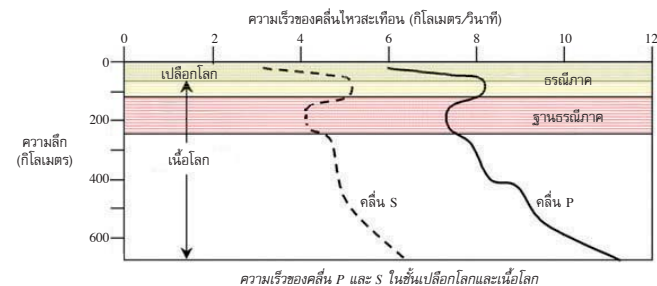
จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในบริเวณใด เพราะเหตุใด
2. บรรยายภาคภูมิที่มีอิทธิพลต่อชีวภาคอย่างไร
3. หากธรณีภาคเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด จะมีผลต่อบรรยากาศ ชีวภาค และอุทกภาคอย่างไร
4. ศึกษาข้อมูลสัดส่วนของโครงสร้างโลกโดยย่อจากตาราง แล้วคำนวณหาความหนาของส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างโลก โดยใช้สัดส่วน 1 เซนติเมตร ต่อ 500 กิโลเมตร เมื่อรัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 6,378 กิโลเมตร

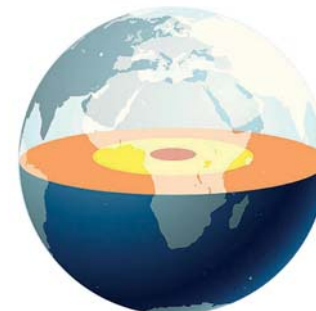
โครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของโลก	สัดส่วนโดยย่อ (cm)	ความหนาที่คำนวณได้ (km)
เปลือกโลก	0.10	
เนื้อโลกส่วนบน	0.50	
เนื้อโลกส่วนล่าง	5.20	
แก่นโลกชั้นนอก	4.40	
แก่นโลกชั้นใน	2.54	

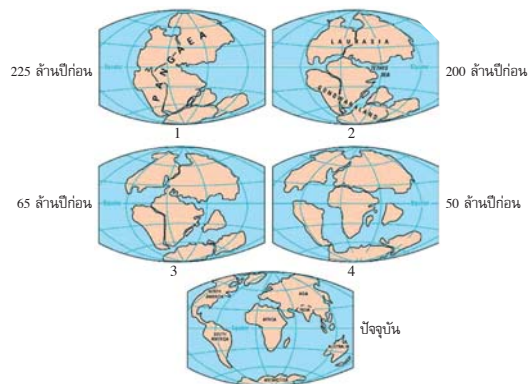
5. ให้นักเรียนยกตัวอย่างผลไม่ที่มีลักษณะภายในที่สามารถเทียบเคียงกับโครงสร้างโลกได้ใกล้เคียงมากที่สุด พร้อมวาดรูปแสดงโครงสร้างภายในของผลไม้เปรียบเทียบกับโครงสร้างโลกและตอบคำถามต่อไปนี้
 - 5.1 เหตุใดจึงเลือกใช้ผลไม้ชนิดดังกล่าวในการเปรียบเทียบกับโครงสร้างโลก
 - 5.2 นอกจากผลไม้ที่นักเรียนเลือกใช้เปรียบเทียบกับโครงสร้างของโลกแล้ว ยังมีสิ่งใดที่สามารถใช้เปรียบเทียบกับโครงสร้างของโลกได้อีกบ้าง
6. เมื่อแบ่งโครงสร้างโลกตามสมบัติทางเคมีจะแบ่งได้กี่ชั้น อะไรบ้าง
7. นักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการอย่างไรเพื่อศึกษาโครงสร้างชั้นต่าง ๆ ของโลก
8. เปลือกโลกและธรณีภาคแตกต่างกันอย่างไร
9. เขตไม่ต่อเนื่องโมโฮริอิกอยู่ส่วนใดของโครงสร้างโลก
10. ชั้นของหินหนืดหรือแมกมาที่สะสมความร้อนอยู่ใต้โลกมีความสัมพันธ์กับเปลือกโลกหรือไม่ อย่างไร

พิจารณารูปต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อ 11-12



11. ความเร็วของคลื่น P และคลื่น S แตกต่างกันอย่างใดในชั้นธรณีภาค
12. ความเร็วของคลื่น P และคลื่น S มีการเปลี่ยนแปลงในชั้นใด
13. คลื่นไหวสะเทือนปฐมภูมิสามารถเคลื่อนที่ผ่านแก่นโลกชั้นนอกได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
14. ตามสมมติฐานของนักวิทยาศาสตร์ สหามัมเหล็กโลกที่หุ้มห่อโลกอยู่เกิดขึ้นได้อย่างไร และมีผลต่อโลกอย่างไร
15. หากโลหะเหลวในแก่นโลกชั้นนอกหยุดการไหลวน นักเรียนคิดว่าจะส่งผลต่อโลกอย่างไรบ้าง





รูปที่ 1.9 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดการสะสมความเครียดตามผิวโลก เรียกว่า **แรงเทคโทนิค (tectonic force)** ส่งผลให้ชั้นหินที่พบบริเวณแนวเปลือกโลกเคลื่อนตัวเกิดการแปรสภาพและการผิดรูป เช่น เกิดการคดโค้งโก่งงอ (folds) เกิดรอยเลื่อน (fault) เกิดรอยเชื่อมต่อและรอยแยก (joint and crack) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเกิดเทือกเขา

2.1 หลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานทวีปเลื่อน

จากสมมติฐานทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวกเนอร์ มีหลักฐานหลายประการที่สนับสนุนว่า ในอดีตแผ่นทวีปต่าง ๆ เคยอยู่ติดเป็นแผ่นเดียวกันมาก่อน ข้อสังเกตประการหนึ่งคือ แผ่นทวีปต่าง ๆ สามารถนำมาต่อเป็นแผ่นเดียวกันได้เหมือนจิ๊กซอว์ เช่น ทวีปอเมริกาใต้และทวีปแอฟริกา มีลักษณะของฝั่งทวีปที่คอดเว้าและยื่นออกมา เมื่อนำมาประกอบกันจะพบว่า แผ่นทวีปทั้งสองมีความต่อเนื่องกันและมีแนวลาตทวีปที่เชื่อมต่อกันได้มากที่สุด ดังรูปที่ 1.10 และจากการศึกษาธรณีวิทยาของฝั่งทวีปที่อยู่ห่างไกลกัน พบหลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานทวีปเลื่อน ดังนี้



รูปที่ 1.10 แผ่นเปลือกโลกในทวีปแอฟริกา กับทวีปอเมริกาใต้สามารถต่อเชื่อมกันได้

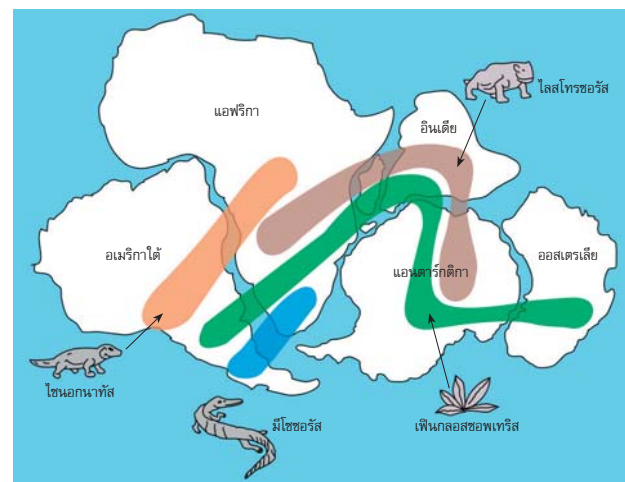
ซากดึกดำบรรพ์ของ 2 ทวีป

อัลเฟรด เวกเนอร์ ได้พบบทความเกี่ยวกับการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์เลื้อยคลานชื่อ มีโซซอร์ส (Mesosaurus) ที่อาศัยอยู่ตามลุ่มน้ำจืด แต่กลับพบอยู่ในคอนล่างของทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตรโดยมีมหาสมุทรขวางกั้นอยู่ ดังรูปที่ 1.11 ซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยมากที่สัตว์ดึกดำบรรพ์นี้จะว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรจากทวีปหนึ่งมายังอีกทวีปหนึ่งได้ ดังนั้น แผ่นทวีปทั้งสองจึงน่าจะเคยอยู่ติดกันมาก่อน



รูปที่ 1.11 ซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ที่พบทั้งในทวีปแอฟริกา และทวีปอเมริกาใต้

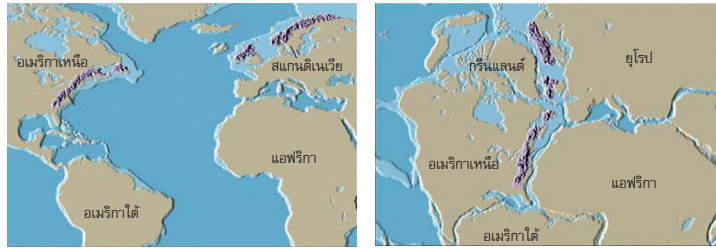
นอกจากนี้การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของพืชชนิดหนึ่ง คือ เฟินกลอสซอพเทอริส (Glossopteris) และการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์เลื้อยคลานจำพวกไลสโทรซอร์ส (Lystrosaurus) และไซน็อกนาทิส (Cynognathus) ที่ทวีปต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.12 ซึ่งในปัจจุบันแต่ละทวีปอยู่ห่างไกลกันมากและมีลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ดังนั้น การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันบนทวีปที่ห่างไกลกันจึงเป็นหลักฐานที่สนับสนุนได้อย่างดีว่า ทวีปต่าง ๆ เคยอยู่ติดเป็นแผ่นเดียวกันมาก่อน



รูปที่ 1.12 การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของพืชและสัตว์ที่กระจายอยู่ตามทวีปต่าง ๆ

ชั้นหินและแนวเทือกเขaben 2 ทวีป

หลักฐานอีกประการหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อของทวีปทั้งสอง คือ ชั้นหินและแนวเทือกเขาที่พบบนทวีปทั้งสอง ถ้าหากทวีปเคยมีการเชื่อมต่อกันในอดีตควรมีแนวเทือกเขาที่เชื่อมต่อกัน และหินที่พบในบริเวณที่น่าจะเป็นจุดเชื่อมต่อนั้นควรมีอายุใกล้เคียงกันและมีลำดับชั้นหินที่สอดคล้องกัน ซึ่งพบว่ามีลักษณะของแนวเทือกเขาและชั้นหินดังกล่าวอยู่จริง ดังรูปที่ 1.13 และ 1.14

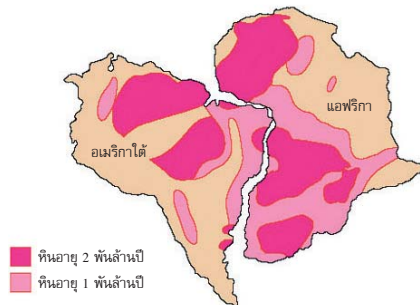


ปัจจุบัน

เมื่อ 200 ล้านปีก่อน

รูปที่ 1.13 แนวเทือกเขาที่เชื่อมต่อกันบน 2 ทวีป

นอกจากหลักฐานดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีหลักฐานอื่นที่สนับสนุนสมมติฐานทวีปเลื่อนอีก เช่น การสะสมตะกอนในธารน้ำแข็งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ภาวะแม่เหล็กโลกบรรพกาล อายุหินของพื้นมหาสมุทร



รูปที่ 1.13 ชนิดหินที่สอดคล้องกันบน 2 ทวีป

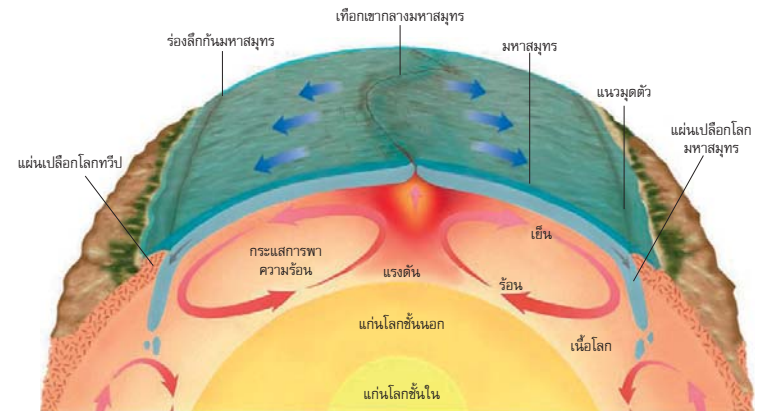
ความรู้เพิ่มเติม

ภาวะแม่เหล็กโลกบรรพกาล เกิดจากการเรียงตัวของแร่เหล็กตามทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกโบราณ ซึ่งจะเรียงตัวในระหว่างการเปลี่ยนสภาพกลายเป็นหิน เช่น หินหนืดเย็นตัวกลายเป็นหินอัคนี ตะกอนสะสมตัวกลายเป็นหินตะกอน

2.2 ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก

หลังจากที่ อัลเฟรด เวเกเนอร์ ได้เสนอสมมติฐานทวีปเลื่อนไปแล้ว แนวคิดนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับนัก เนื่องจากไม่สามารถอธิบายได้ว่าแผ่นเปลือกโลกซึ่งเป็นแผ่นหินขนาดใหญ่นั้นเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างไร

โครงสร้างโลกในชั้นเนื้อโลกนั้นประกอบด้วยหินหนืดที่เป็นวัสดุเนื้ออ่อน ความร้อนจากแก่นโลกจะส่งผลให้หินหนืดเคลื่อนที่หมุนวนได้ด้วยการพาความร้อน โดยเนื้อโลกส่วนล่างที่ได้รับความร้อนจะมีความหนาแน่นน้อยจึงลอยตัวสูงขึ้น และเมื่อเย็นตัวก็จะมีมีความหนาแน่นมากขึ้น แล้วจมลงสู่ด้านล่างอีกครั้งหมุนเวียนเป็นกระแส ซึ่งสามารถขับเคลื่อนแผ่นเปลือกโลกให้เคลื่อนที่ได้ เรียกแนวคิดนี้ว่า **ทฤษฎีการพาความร้อน (convection current theory)** ดังรูปที่ 1.15 เมื่อแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนตัวจะทำให้เกิดรอยแตก หินหนืดจะแทรกตัวขึ้นมาบนเปลือกโลกใต้มหาสมุทรตามรอยแตก และดันแผ่นเปลือกโลกให้ขยายตัวออกไปด้านข้าง เมื่อเกิดกระบวนการเช่นนี้ซ้ำหลาย ๆ ครั้งจะทำให้พื้นที่มหาสมุทรแผ่ขยายออกไปเรื่อย ๆ ส่งผลให้ทวีปต่าง ๆ เคลื่อนที่ห่างออกจากกัน แนวคิดนี้เรียกว่า **ทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นสมุทร (seafloor spreading theory)** ซึ่งเป็นแนวคิดที่ใช้อธิบายสมมติฐานทวีปเลื่อนของเวเกเนอร์ได้



รูปที่ 1.15 กระแสการพาความร้อนภายในโครงสร้างโลก

อีกสมมติฐานหนึ่งที่ใช้ใช้อธิบายถึงการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก คือ **สมมติฐานการดันและดึงของแผ่นทวีป (slab-push and slab-pull hypothesis)** อธิบายว่า แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรที่เกิดขึ้นใหม่มีการเคลื่อนที่ออกไปจากเทือกเขากลางสมุทร จะค่อย ๆ เย็นลงและมีความหนาแน่นมากขึ้น และเมื่อชนกับแผ่นเปลือกโลกทวีปก็จะเกิดการมุดตัวลงและดึงเอาเปลือกโลกด้านบนลงมามีด้วย



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 พินมหาสมุทรขยายตัวได้อย่างไร
วัสดุอุปกรณ์

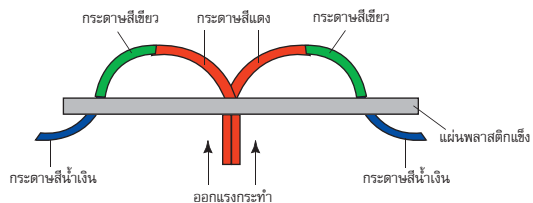
1. กระดาษสีแดงขนาด 6×1 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น
2. กระดาษสีเขียวขนาด 5×1 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น
3. กระดาษสีน้ำเงินขนาด 4×1 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น
4. แผ่นพลาสติกขนาด 12×2 นิ้ว จำนวน 1 แผ่น

วิธีปฏิบัติ

1. นำกระดาษสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินทากาวที่ปลายแล้วนำมาต่อกันดังรูป



2. นำกระดาษสีที่ต่อกันแล้วทั้ง 2 แผ่น ทากาวเพื่อต่อปลายด้านสีแดงให้ติดกัน แล้วนำมาสอดใต้แผ่นพลาสติกที่เจาะช่องตรงกลางและริมทั้ง 2 ด้าน ดังรูป



3. ใช้มือค่อย ๆ ดันกระดาษด้านสีแดงขึ้นแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง

คำถามท้ายกิจกรรม

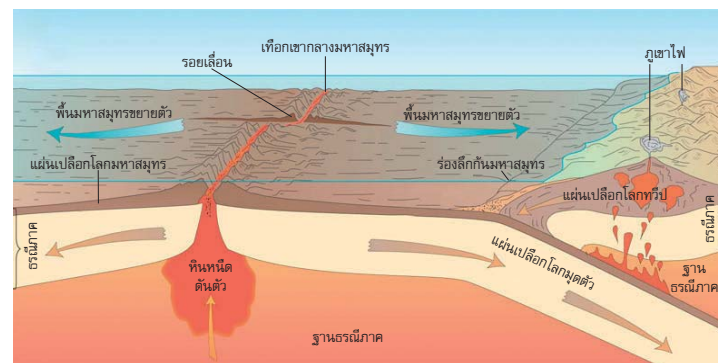
1. กระดาษส่วนที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และแผ่นพลาสติกแข็งเปรียบเทียบกับอะไร
2. ขณะที่นักเรียนสอดกระดาษจากด้านล่างของแผ่นพลาสติกแข็งขึ้นด้านบนจนปลายกระดาษลอดลงสู่ปลายทั้งสองข้างของแผ่นพลาสติกแข็งเปรียบเทียบกับอะไร
3. ช่องระหว่างแผ่นกระดาษสีแดงเปรียบเทียบกับอะไร
4. แรงที่กระทำกระดาษขึ้นด้านบนเปรียบเทียบกับอะไร และมีผลต่อการขยายตัวของแผ่นกระดาษสีหรือไม่
5. จากกิจกรรมนี้ พินมหาสมุทรมีการขยายตัวอย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.1 นักเรียนจะสังเกตได้ว่า ขณะที่มือดันกระดาษขึ้นด้านบน ส่วนของกระดาษสีแดง คือ แมกมาที่ถูกดันขึ้นมาจากใต้พื้นผิวโลกพุ่งขึ้นตามรอยแตกที่อยู่ระหว่างกระดาษสีแดงทั้ง 2 แผ่น เมื่อลาวาสัมผัสกับ น้ำทะเลจะเย็นและแข็งตัวกลายเป็นหินบะซอลต์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเช่นอย่างต่อเนื่อง แมกมาที่ถูกดันขึ้นมามีผลให้ระดับพื้นมหาสมุทรขยายตัวออกไปมากขึ้น หินบะซอลต์ที่อยู่ห่างจากรอยแยกซึ่งเกิดขึ้นก่อนหินบะซอลต์ที่อยู่ใกล้ รอยแยกจะมีอายุมากขึ้นและจะอยู่ใกล้ฝั่งทวีปมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันขอบทวีปให้เคลื่อนห่างออกจากกันมากขึ้น

2.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก

การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกเกิดจากการแผ่กระจายความร้อนของหินหนืดในชั้นเนื้อโลก ซึ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่นจะมีความสัมพันธ์กันและมีการเคลื่อนที่ได้หลายลักษณะ การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในลักษณะที่ต่างกันก็จะทำให้เกิดลักษณะทางธรณีวิทยาที่ต่างกันด้วย เช่น แนวเทือกเขากลางมหาสมุทร ร่องลึกก้นมหาสมุทร แนวภูเขาไฟ สิ่งเหล่านี้แสดงถึงขอบเขตรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่น การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

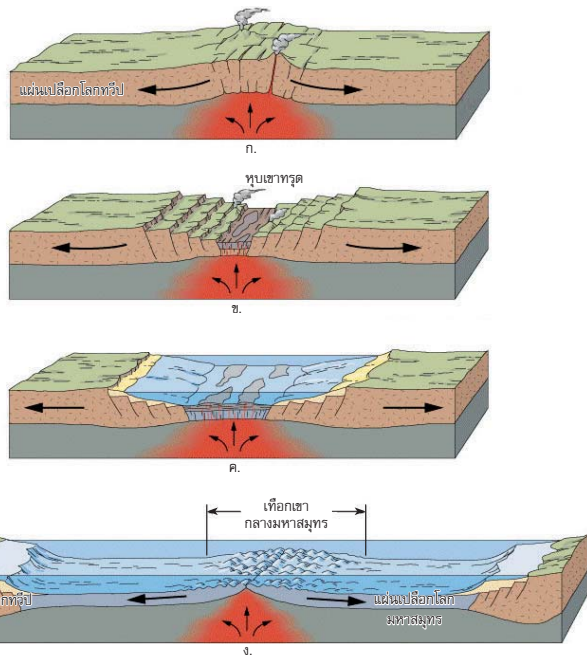
1. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่แยกจากกัน
2. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เข้าหากัน
3. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เฉือนกัน



รูปที่ 1.16 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกลักษณะต่าง ๆ

1. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่แยกจากกัน (divergent plate) บริเวณที่แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่แยกจากกันสามารถเกิดได้ทั้งกลางมหาสมุทรและกลางผืนทวีป การแยกตัวของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรเกิดจากการปะทุของแมกมาที่รอยแยกออกมาหลาย ๆ ครั้ง บริเวณตรงกลางร่องลึกที่มีแมกมาที่เย็นตัวแล้วจะถูกแทรกด้วยแมกมาใหม่ที่กำลังแข็งตัวและติดอยู่บริเวณขอบของเปลือกโลกแต่ละแผ่นที่แยกออกจากกัน ทำให้เกิด **เทือกเขากลางมหาสมุทร (mid-oceanic ridge)** เช่น แนวเปลือกโลกออสเตรเลียแยกจากแนวเปลือกโลกแอนตาร์กติก ทำให้เกิดเทือกเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติก (mid-Atlantic ridge)

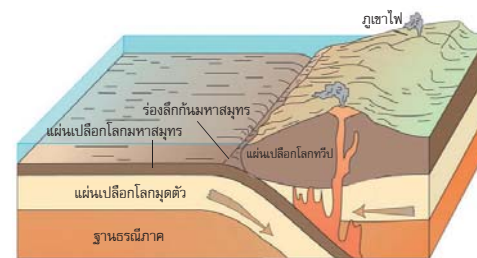
ส่วนการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลกทวีปนั้น เกิดจากการหมุนเวียนความร้อนใต้เปลือกโลกดันแผ่นเปลือกโลกให้โค้งตัวขึ้น เปลือกโลกจะยืดตัวและบางลงจนแตกและทรุดตัวเกิดเป็น **หุบเขาทรุด (rift valley)** ซึ่งอาจขยายตัวกว้างและลึกขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้เกิดแอ่งขนาดใหญ่ เช่น ทะเลสาบมาลาวีทางตะวันออกของทวีปแอฟริกา ทะเลแดงที่กั้นระหว่างทวีปแอฟริกากับคาบสมุทรอาหรับ



รูปที่ 1.17 แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่แยกจากกัน

2. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เข้าหากัน (convergent plate) บริเวณที่แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน ธรณีภาคชั้นนอกจะถูกทำลายหรือมุดตัวลงสู่ชั้นเนื้อโลก โดยขอบด้านหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกจะโค้งตัวและมุดตัวลงใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง แบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

2.1 แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและแผ่นเปลือกโลกทวีปเคลื่อนที่เข้าหากัน (oceanic-continental convergence) แผ่นเปลือกโลกทวีปที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยตัวอยู่ด้านบน ส่วนแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมุดตัวลงไปในชั้นธรณีภาค ทำให้เกิดแนวภูเขาไฟและร่องลึกก้นมหาสมุทร เช่น แผ่นนาซคาชนกับแผ่นอเมริกาใต้



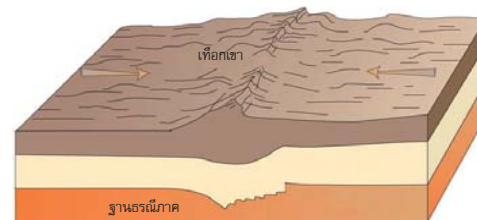
รูปที่ 1.18 แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเปลือกโลกทวีป

2.2 แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรเคลื่อนที่เข้าหากัน (oceanic-oceanic convergence) เมื่อเกิดการชนกัน แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรที่มีอายุมากกว่าจะมุดตัวลงใต้แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรที่มีอายุน้อยกว่า ทำให้เกิดร่องลึกก้นมหาสมุทรและหมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง เช่น หมู่เกาะฟิลิปปินส์ หมู่เกาะญี่ปุ่น



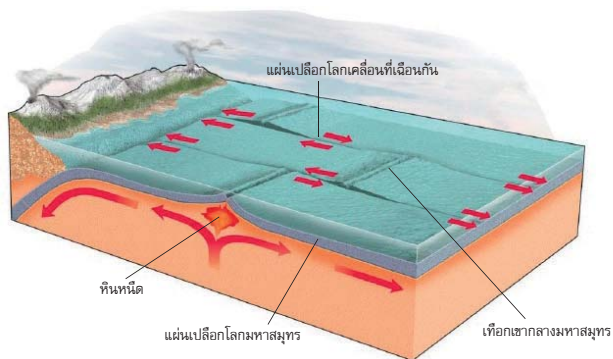
รูปที่ 1.19 แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรชนเคลื่อนที่เข้าหากัน

2.3 แผ่นเปลือกโลกทวีปเคลื่อนที่เข้าหากัน (continental-continental convergence) เมื่อแผ่นเปลือกโลกทวีปชนกันจะไม่เกิดการมุดตัว เนื่องจากมีความหนาแน่นเท่ากัน แผ่นเปลือกโลกจะเกยกันและยกตัวขึ้นเป็นแนวเทือกเขา เช่น แผ่นอินเดียชนกับแผ่นยูเรเชียทำให้เกิดการยกตัวเป็นเทือกเขาหิมาลัย



รูปที่ 1.20 แผ่นเปลือกโลกทวีปเคลื่อนที่เข้าหากัน

3. **แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เฉือนกัน (transform-fault plate)** เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนของหินหนืดมายังแผ่นเปลือกโลกแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ทำให้แผ่นเปลือกโลกเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน จึงเกิดแรงเค้นเฉือนที่ทำให้แผ่นเปลือกโลกเลื่อนไถลผ่านกัน การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ทำให้เกิดรอยเลื่อนตามแนวระดับและเป็นสาเหตุหลักของการเกิดแผ่นดินไหวระดับตื้น ตัวอย่างรอยเลื่อนขนาดใหญ่ที่พบบนแผ่นเปลือกโลกทวีป เช่น รอยเลื่อนซานแอนเดรียส ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนรอยเลื่อนที่พบบนแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร เช่น รอยเลื่อนบริเวณเทือกเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติก



รูปที่ 1.21 แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เฉือนกัน



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.2 แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อย่างไร

วัสดุอุปกรณ์

- กระดาษหนังสือพิมพ์ 1 แผ่น
- บีกเกอร์หรือชามแก้ว 1 ใบ
- ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์ 1 ชุด
- ด่างทับทิม 2-3 เกล็ด

วิธีปฏิบัติ

- ฉีกกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นแผ่นเล็ก ๆ ให้มีลักษณะคล้ายแผ่นทวีปต่าง ๆ จำนวน 4-5 แผ่น
- เทน้ำใส่ชามแก้วหรือบีกเกอร์ แล้วนำมาวางบนตะเกียงแอลกอฮอล์
- นำกระดาษที่ฉีกเตรียมไว้วางบนผิวน้ำในชาม โดยวางเศษกระดาษให้ชิดติดกันตามรอยฉีกให้สนิท
- ใส่เกล็ดด่างทับทิมลงไปลงในชาม สังเกตและบันทึกผล
- จุดตะเกียงแอลกอฮอล์เพื่อให้ความร้อนกับน้ำในชาม สังเกตการเปลี่ยนแปลงพร้อมทั้งบันทึกผลการสังเกตลงในตาราง แล้วสรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

สิ่งที่สังเกต	ก่อนจุดตะเกียง	หลังจุดตะเกียง
เศษกระดาษบนผิวน้ำ	ให้นักเรียนบันทึกผลลงในสมุดประจำตัวนักเรียน	
การเคลื่อนที่ของน้ำในชามแก้วใส		

คำถามท้ายกิจกรรม

- ในการทดลองนี้ แผ่นกระดาษ น้ำ และตะเกียงแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับอะไร
- เมื่อน้ำได้รับความร้อนมีทิศทางการเคลื่อนที่อย่างไร
- แผ่นกระดาษเล็กๆ ที่วางติดกันในครั้งแรกมีการเคลื่อนที่อย่างไรบ้าง
- อะไรที่ทำให้แผ่นกระดาษมีการเคลื่อนที่



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- นักเรียนคิดว่าสมมติฐานทวีปเลื่อนของเวเกเนอร์มีความเป็นไปได้หรือไม่ อย่างไร
- แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ได้อย่างไร
- การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกลักษณะใดบ้างที่ทำให้เกิดภูเขาไฟและรอยลึกกันมหาสมุทร



3. ธรณีโครงสร้าง



แนวคิดสำคัญ

ธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นสาขาวิชาทางธรณีวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเปลือกโลก การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดแรงกระทำที่ส่งผลให้เปลือกโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือผิวดู เช่น เกิดรอยคดโค้ง รอยเลื่อน การบิดช่วย การเลื่อนไถล การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกนี้อาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือฉับพลัน เช่น การเปลี่ยนแปลงพร้อมกับการเกิดแผ่นดินไหวหรือการเกิดภูเขาไฟระเบิด



ธรณีวิทยาโครงสร้าง (structural geology)

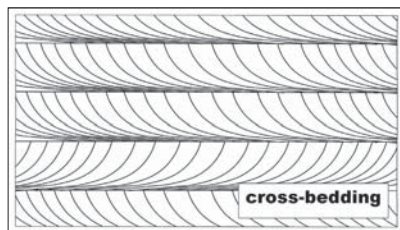
เป็นสาขาวิชาทางธรณีวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเปลือกโลก เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดความเค้นและความเครียดภายในโครงสร้างของเปลือกโลก ซึ่งส่งผลให้เกิดการผิดรูปหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของหิน

โครงสร้างทางธรณีวิทยา คือ รูปแบบการวางตัว และโครงสร้างต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในหิน แบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้

1. โครงสร้างปฐมภูมิ เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้น

พร้อมกับการสะสมตัวของหิน ส่วนใหญ่พบในหินตะกอน ตัวอย่างโครงสร้างที่สำคัญ ได้แก่

- การวางชั้น (bedding) เป็นการวางตัวของชั้นหินตะกอนที่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ หนาบางแตกต่างกันไป เนื่องจากตะกอนมาตกทับถมกันเป็นช่วง ๆ หรือเกิดจากความแตกต่างของอนุภาคของแต่ละชั้นหิน ชั้นหินแต่ละชั้นมีความสำคัญต่อการศึกษาอายุของหิน และความเป็นมาของภูมิประเทศแต่ละบริเวณ
- การวางชั้นเฉียงระดับ (cross bedding) เป็นการวางตัวของชั้นหินที่ชั้นหินย่อย ๆ มีแนวขวางตัดกับแนวระดับชั้นปกติ แต่ละชั้นวางเฉียงไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลมหรือกระแสน้ำ ทำให้การจมตัวของตะกอนอยู่ในแนวที่ไม่ปกติ



รูปที่ 1.22 ลักษณะการวางชั้นเฉียงระดับของหิน

– รอยริ้วคลื่น (ripple mark) การกระทำของลมและกระแสน้ำทำให้เกิดริ้วคลื่นบนพื้นทรายหรือโคลน ต่อมาเมื่อตะกอนชนิดอื่นมาตกทับถมปิดริ้วคลื่นไว้และแข็งตัวจนกลายเป็นหิน เมื่อหินตะกอนที่ปิดทับแตกออกจะเห็นรอยริ้วคลื่นนั้นได้

2. โครงสร้างทุติยภูมิ เกิดจากการ

เปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกภายหลังการกำเนิดยุคหิน เช่น แผ่นดินไหว กระบวนการเกิดภูเขา แรงต่าง ๆ ทำให้โครงสร้างของหินเกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทุติยภูมิที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นหินคดโค้ง รอยเลื่อน และรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง

โครงสร้างทุติยภูมิจำพวกชั้นหินคดโค้ง และรอยเลื่อนจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งทำให้เปลือกโลกมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือผิดรูป (deformation) เช่น เกิดการคดโค้ง การเลื่อนหรือเลื่อนล้ม การบิดช่วย การเลื่อนไถล การบีบอัดอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้พบหินตะกอนที่มีซากบรรพชีวินของสัตว์ทะเลตามเทือกเขาสูงบนแผ่นดิน การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกอาจจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือฉับพลัน เช่น การเปลี่ยนแปลงพร้อมกับการเกิดแผ่นดินไหวหรือการเกิดระเบิดภูเขาไฟ



รูปที่ 1.23 รอยริ้วคลื่น



รูปที่ 1.24 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของแผ่นเปลือกโลก

3.1 ความเค้นและความเครียดในชั้นเปลือกโลก

ความเค้น (stress) เป็นลักษณะของแรงดันที่อยู่ภายในหินที่มีความพยายามในการต้านทานต่อแรงภายนอกที่มากระทำ ความเค้นที่กระทำต่อหินปกติจะไม่เท่ากันทุกทิศทาง ความเค้นแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ความเค้นบีบอัด (compressional stress) ความเค้นดึง (tensional stress) และความเค้นเฉือน (shear stress)

หินจะเปลี่ยนไปในลักษณะใดขึ้นอยู่กับชนิดของความเค้นที่มากระทำ อุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราของความเค้นที่กระทำ ตลอดจนสมบัติของหิน



รูปที่ 1.25 ลักษณะความเค้นที่กระทำต่อหิน

ความเครียด (strain) เป็นการตอบสนองของหินต่อความเค้นที่กระทำต่อหิน การตอบสนองจะออกมาในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ส่งผลให้หินมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือมิติรูป (deformation) ซึ่ง **การผิดรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation)** หินจะสามารถคืนรูปได้เมื่อแรงกระทำหมดไป แต่ถ้าหินไม่สามารถคืนรูปได้ (รวมถึงแตกหัก) ถึงแม้ว่าแรงที่กระทำจะหมดหรือหยุดไป จะเรียกว่า **การผิดรูปแบบพลาสติก (plastic deformation)**

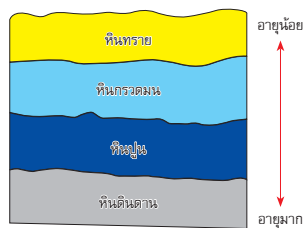
การผิดรูปหรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินจะส่งผลทำให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่แตกต่างไปจากโครงสร้างเดิมที่ปรากฏอยู่ในหิน นักธรณีวิทยาจะใช้ลักษณะธรณีโครงสร้างต่าง ๆ นี้ในการศึกษาเพื่อตรวจสอบและอธิบายถึงประวัติ ขนาด และทิศทางของแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อหินหรือเปลือกโลกในบริเวณนั้น ๆ

3.2 การวางตัวของชั้นหิน

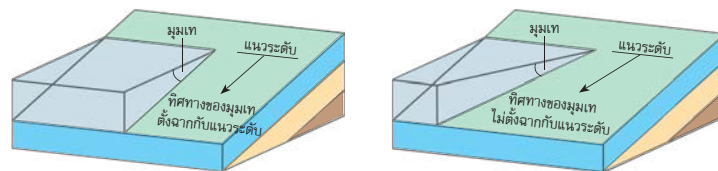
ชั้นหิน (bed) เป็นลักษณะเด่นของหินตะกอน โดยหินแต่ละชั้นเกิดจากการตกตะกอนในช่วงเวลาและสภาวะที่แตกต่างกัน ระบายที่แบ่งชั้นหินตะกอนที่แตกต่างกัน เรียกว่า **ระนาบชั้นหิน (bedding plane)** และชั้นหินหลายชั้นที่เกิดขึ้นในเวลาหนึ่งรวมกัน เรียกว่า **หมวดหิน (formation)** เช่น หมวดหินภูกระดึง หมวดหินพระวิหาร และหมวดหินหลายชุดรวมกัน เรียกว่า **กลุ่มหิน (group)** เช่น กลุ่มหินโคราช

การวางตัวของชั้นหิน (attitude of bed) หรือ **ระนาบ (plane)** ในช่วงแรกชั้นหินจะวางตัวในแนวราบหรือเกือบราบ โดยที่ชั้นหินที่วางตัวอยู่ด้านล่างจะมีอายุมากกว่าชั้นหินที่วางตัวอยู่ด้านบน ดังรูปที่ 1.26 หลังจากนั้นจะมีแรงกระทำในเปลือกโลกทำให้ชั้นหินเกิดการเอียงตัว (tilted) หรือเกิดเป็นโครงสร้างธรณีวิทยาลักษณะต่าง ๆ ในการศึกษธรณีวิทยาโครงสร้าง สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งคือการวัดและการศึกษาการวางตัวของชั้นหินหรือระนาบ

แนวระดับ (strike) คือ ระนาบแนวนอนที่ใช้เทียบในการวัด **มุมเท (dip angle)** ของชั้นหินซึ่งเป็นมุมเอียงเทที่วัดจากแนวระดับ โดยมีค่าความลาดเอียงตั้งแต่ 0° ซึ่งไม่ลาดเอียงเลย ไปจนถึง 90° ซึ่งลาดเอียงมากที่สุด (แนวตั้ง) โดย **ทิศทางของมุมเท (dip direction)** ที่วัดตั้งฉากกับแนวระดับจะได้ค่ามุมเทที่มากที่สุด เรียกว่า **มุมแท้จริง (true dip angle)** แต่ถ้าทิศทางของมุมเทไม่ตั้งฉากกับแนวระดับ เรียกว่า **มุมเทปรากฏ (apparent dip angle)** ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่ามุมแท้จริง ดังรูปที่ 1.27



รูปที่ 1.26 การลำดับอายุของชั้นหิน



ก. มุมแท้จริง

ข. มุมเทปรากฏ

รูปที่ 1.27 แนวสัณฐาน

3.3 รอยคดโค้ง

รอยคดโค้ง (fold) ของหินเกิดจากความเค้นที่กระทำต่อชั้นหินอยู่ในระดับเกินขีดยืดหยุ่น (elastic limit) ทำให้ชั้นหินเกิดการผิดรูปแบบพลาสติกเมื่อมีความเค้นบีบอัดหรือมีหินหนืดดันขึ้นมา รอยคดโค้งของหินมีทั้งแบบโค้งขึ้นและโค้งลง ขนาดของรอยคดโค้งอาจเล็กมากจนต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ หรืออาจมีขนาดใหญ่หลายร้อยกิโลเมตร โดยปกติรอยคดโค้งส่วนมากจะเกิดเป็นกลุ่มมากกว่าเกิดเป็นรอยคดโค้งเดียวโดด ๆ

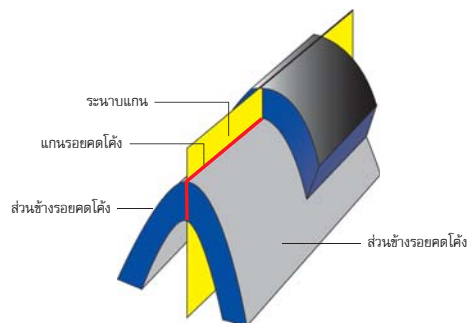


รูปที่ 1.28 รอยคดโค้ง

รูปแบบทางเรขาคณิตของรอยคดโค้ง

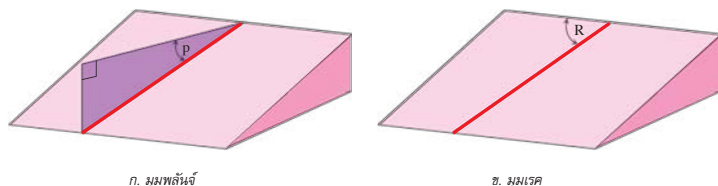
รูปแบบทางเรขาคณิตของรอยคดโค้ง (geometry of fold) มีดังนี้

1. **สันรอยคดโค้ง (hinge)** เป็นสันแนวสูงสุดของส่วนโค้งของชั้นหิน
2. **แกนรอยคดโค้ง (fold axis)** คือ ทิศทางหรือแนวของเส้นที่ขนานกับเส้นสันรอยคดโค้ง
3. **ระนาบแกน (axial plane)** คือ ระนาบซึ่งประกอบด้วยสันรอยคดโค้งของหินชั้นต่าง ๆ ในรอยคดโค้ง
4. **ส่วนข้างรอยคดโค้ง (limb)** คือ ส่วนของหินที่อยู่ทางด้านหนึ่งของระนาบ



รูปที่ 1.29 รูปแบบทางเรขาคณิตของรอยคดโค้ง

ตามปกติรอยคดโค้งจะวางตัวโดยมีแกนรอยคดโค้งเอียงทำมุมกับระนาบ มุมที่แกนรอยคดโค้งทำกับแนวระนาบที่อยู่แนวตั้ง เรียกว่า **มุมพลันจ์ (plunge angle : p)** และมุมที่เกิดจากแกนรอยคดโค้งทำกับแนวราบในระนาบใดระนาบหนึ่งที่ไม่ใช่แนวตั้ง เรียกว่า **มุมเรค (rake angle : R)** หรืออาจเรียกว่า **มุมพิทช์ (pitch angle)**

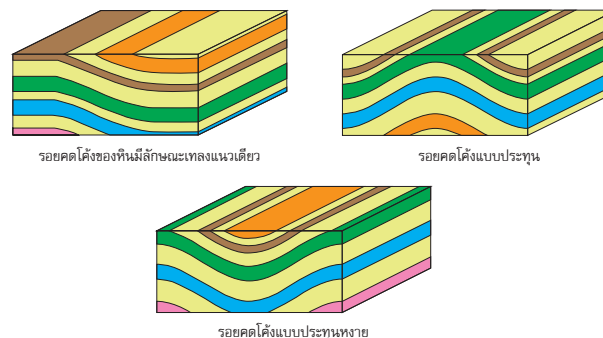


รูปที่ 1.30 มุมของรอยคดโค้ง

ชนิดของรอยคดโค้ง

รอยคดโค้งของหินมีลักษณะโครงสร้างหลายแบบ ดังนี้

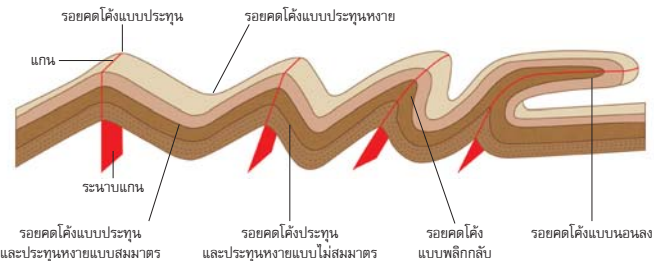
1. **รอยคดโค้งของหินมีลักษณะเทลงแนวเดียว (monocline fold)** รอยคดโค้งแบบนี้ประกอบด้วยรอยคดโค้งเพียงด้านเดียว ชั้นหินมีลักษณะเทลงน้อยๆ ไปทางแนวเดียว
2. **รอยคดโค้งแบบประทุน (anticline fold)** เป็นรอยคดโค้งขึ้นเมื่อเทียบกับแนวราบ
3. **รอยคดโค้งแบบประทุนหงาย (syncline fold)** เป็นรอยคดโค้งลงเมื่อเทียบกับแนวราบ



รูปที่ 1.31 ชนิดของรอยคดโค้งที่แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง

การแบ่งชนิดรอยคดโค้งอาจใช้ระนาบแกนเป็นหลัก โดยสังเกตจากการวางตัวของระนาบแกน ดังนี้

1. **รอยคดโค้งแบบเทลงแนวเดียว (monocline fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนของรอยคดโค้งตัดผ่านรอยคดโค้งเพียงด้านเดียว
2. **รอยคดโค้งแบบประทุนและประทุนหงายแบบสมมาตร (symmetry fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนตั้งฉากกับแนวราบแบ่งรอยคดโค้งออกเป็น 2 ข้างเท่าๆ กัน ส่วนทั้ง 2 ข้างของรอยคดโค้งเทลงเป็นมุมเท่ากัน แต่ทิศทางของมุมเอียงต่างกัน
3. **รอยคดโค้งประทุนและประทุนหงายแบบไม่สมมาตร (asymmetry fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนทำมุมกับแนวราบแบ่งรอยคดโค้งออกเป็น 2 ข้างไม่เท่ากัน ส่วนทั้ง 2 ข้างของรอยคดโค้งเทลงเป็นมุมไม่เท่ากัน และทิศทางของมุมเอียงต่างกัน
4. **รอยคดโค้งแบบพลิกกลับ (overturned fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนทำมุมกับแนวราบส่วนทั้ง 2 ข้างของรอยคดโค้งมีทิศทางของมุมเอียงไปในทางเดียวกัน
5. **รอยคดโค้งแบบเท่ากันตลอด (isoclinal fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนแบ่งรอยคดโค้งให้ส่วนข้างรอยคดโค้งเทลงเป็นมุมเท่ากันตลอด ทิศทางของระนาบแกนจะอยู่ในแนวใดก็ได้
6. **รอยคดโค้งแบบนอนลง (recumbent fold)** เป็นรอยคดโค้งที่ระนาบแกนอยู่ในแนวราบหรือเกือบจะอยู่ในแนวราบ



รูปที่ 1.32 ชนิดของรอยคดโค้งที่แบ่งตามการวางตัวของระนาบแกน

3.4 รอยเลื่อน

เมื่อหินถูกความเค้นหรือโชนแรงกระทำจนมีความเครียดเกินขีดพลาสติก หินจะแตกหักและเคลื่อนที่ออกจากกันเกิดเป็น **รอยเลื่อน (fault)** ปกติการเคลื่อนที่ของหินจะเกิดในทิศทางขนานกับรอยเลื่อน รอยเลื่อนเกิดขึ้นได้กับหินทุกชนิด แต่เห็นได้ชัดเจนที่สุดในหินตะกอน เนื่องจากหินตะกอนแบ่งเป็นชั้น ๆ จึงทำให้เห็นได้ชัดเจน รอยเลื่อนจะเกิดในเปลือกโลกระดับลึก ๆ แต่บางครั้งอาจปรากฏให้เห็นบริเวณผิวโลกได้ ขนาดของรอยเลื่อนมีตั้งแต่ไม่ถึงเซนติเมตรจนถึงหลายกิโลเมตร การพิจารณาการเลื่อนของหินนั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากเราไม่อาจทราบได้ว่าหินทั้ง 2 ด้านของรอยเลื่อนนั้น ด้านใดอยู่เบื้องหรือด้านใดเลื่อน หรือหินทั้ง 2 ด้านต่างก็เลื่อนพร้อมกัน ดังนั้น การพิจารณาการเลื่อนของหินจึงต้องพิจารณาการเลื่อนแบบสัมพัทธ์กันทั้ง 2 ด้าน

รูปแบบทางเรขาคณิตของรอยเลื่อน

รูปแบบทางเรขาคณิตของรอยเลื่อน (geometry of fault) มีดังนี้

1. **ระนาบรอยเลื่อน (fault plane)** เป็นผิวของรอยแตกที่มีการเลื่อนเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของหินทั้ง 2 ข้างจะเกิดตามผิวของระนาบรอยเลื่อน
2. **มุมทรอยเลื่อน (dip of fault)** เป็นมุมแหลมที่เกิดจากระนาบของรอยเลื่อนทำมุมกับแนวราบ ส่วนมุมของรอยเลื่อนทำมุมกับแนวตั้ง เรียกว่า มุมกลับ (hade of fault)
3. **แนวระดับของรอยเลื่อน (strike of fault)** เป็นแนวราบของระนาบรอยเลื่อน
4. **หินด้านล่าง (foot wall)** เป็นชั้นหินทางด้านฐานที่ล้าไปทางด้านหลัง หินอยู่ในด้านมุมเอียงของรอยเลื่อนที่เป็นมุมป้านกับแนวระดับ
5. **หินเพดาน (hanging wall)** เป็นชั้นหินที่อยู่ทางด้านบนที่ล้าไปทางด้านหน้า หินอยู่ในด้านมุมเอียงของรอยเลื่อนที่เป็นมุมแหลมกับแนวระดับ

6. **ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อน (slip)** เมื่อชั้นหินมีการเลื่อนออกจากจุดตั้งต้นจะเกิดระยะที่หินเคลื่อนที่ไปได้ ดังนี้

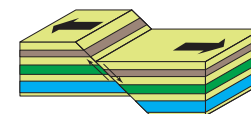
- ชั้นหินมีการเคลื่อนที่ไปทั้งหมด เรียกว่า ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนทั้งหมด (net slip)
- ชั้นหินเคลื่อนที่จากจุดเดิมตามแนวของรอยเลื่อน เรียกว่า ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนตามมุมเท (dip slip)
- ชั้นหินเคลื่อนที่จากจุดเดิมตามแนวระดับของรอยเลื่อน เรียกว่า ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike slip)
- ชั้นหินเคลื่อนที่จากจุดเดิมตามแนวราบ เรียกว่า ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนตามแนวราบ (heave or horizontal slip)
- ชั้นหินเคลื่อนที่จากจุดเดิมตามแนวตั้ง เรียกว่า ระยะเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนตามแนวตั้ง (throw or vertical slip)
- ระยะเคลื่อนที่ที่ห่างของชั้นหินเดียวกันที่วัดในแนวราบตั้งฉากกับชั้นหินทั้งคู่ที่เลื่อนห่างกัน เรียกว่า ระยะห่างของชั้นหิน (stratigraphic separation)

7. **รอยไถล (slickenside)** เป็นแนวขรุขระไม่มากที่ระนาบพื้นผิวของรอยเลื่อนเกิดเสียดสีกันระหว่างการเลื่อน แนวขรุขระที่เกิดจากรอยเลื่อนนี้จะเส้นตรงขนานกัน ทำให้สามารถหาทิศทางของการเคลื่อนที่ได้ โดยจะมีมุมเทที่เกิดจากรอยไถลเท่ากับแนวราบในระนาบของรอยเลื่อน

ชนิดของรอยเลื่อน

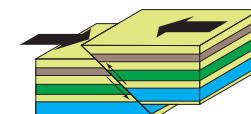
รอยเลื่อนสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะทิศทางของการเคลื่อนที่ คือ

1. **รอยเลื่อนปกติ (normal fault)** บางทีเรียกว่า **รอยเลื่อนตามแรงโน้มถ่วง (gravity fault)** เป็นรอยเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ตามมุมเอียง โดยที่หินด้านล่างเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อเทียบกับหินเพดาน



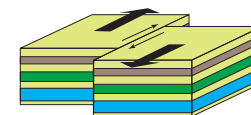
รูปที่ 1.33 รอยเลื่อนธรรมดา

2. **รอยเลื่อนกลับ (reverse fault)** เป็นรอยเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ตามมุมเอียง โดยที่หินด้านล่างเคลื่อนที่ลงเมื่อเทียบกับหินเพดาน รอยเลื่อนกลับนี้ถ้าค่ามุมเอียงน้อยกว่า 45 องศา เรียกว่า **รอยเลื่อนย้อน (thrust fault)**

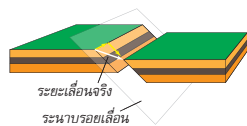


รูปที่ 1.34 รอยเลื่อนกลับ

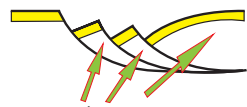
3. **รอยเลื่อนแนวระดับ (strike-slip fault)** เป็นรอยเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ตามแนวสันหินของรอยเลื่อน โดยที่หินด้านใดด้านหนึ่งอาจจะเคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออกโดยที่หินด้านหนึ่งหยุดนิ่ง หรือมีการเคลื่อนที่พร้อม ๆ กัน



รูปที่ 1.35 รอยเลื่อนแนวระดับ



รูปที่ 1.36 รอยเลื่อนเฉียง



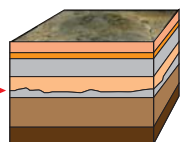
รูปที่ 1.37 รอยเลื่อนหมุน

4. รอยเลื่อนเฉียง (oblique-slip fault) เป็นรอยเลื่อนแบบเดียว กับรอยเลื่อนแนวระดับ แต่แนวการเลื่อนเป็นแนวเฉียงไม่เป็นเส้นตรง โดยทำมุมกับมุมเทและแนวระดับ

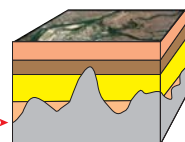
5. รอยเลื่อนหมุน (rotation fault) เป็นรอยเลื่อนที่หินแต่ละด้าน ของรนาบรอยเลื่อนหมุนในแนวตั้งหรือแนวราบกับหินอีกด้านหนึ่ง

6. รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง หรือ รอยผิดปกติ (unconformity fault) หมายถึง รอยที่แสดงช่วงระยะเวลา ที่ไม่เกิดการตกตะกอนของชั้นหิน มีแต่การกัดกร่อนชะล้าง ชั้นของรอยชั้นไม่ต่อเนื่องขึ้นอยู่กับการวางตัวและชนิดหิน มีดังนี้

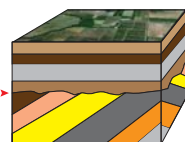
- รอยชั้นไม่ต่อเนื่องแบบไม่ลงรอยกัน (disconformity fault) แสดงด้วยแนวความไม่ต่อเนื่อง หรือแนวการกัดกร่อน ซึ่งแยกชั้นหินที่ชันนอกจากกัน และแนวการกัดกร่อนจะมีลักษณะสูงหรือต่ำ หรือเว้าแหว่ง ชัดเจนมาก
- รอยชั้นไม่ต่อเนื่องแบบต่างชนิด (nonconformity fault) เป็นแนวความไม่ต่อเนื่องหรือแนว การกัดกร่อนแยกชั้นหินตะกอนที่อ่อนกว่าจากหินอัคนีหรือหินแปรที่แก่กว่า
- รอยชั้นไม่ต่อเนื่องแบบเชิงมุม (angular unconformity fault) แสดงด้วยความไม่ต่อเนื่องระหว่าง ชั้นหินที่แก่กว่า ซึ่งมีกวางตัวแบบเอียงเท่ากับชั้นหินที่อ่อนกว่า



รูปที่ 1.38 รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง แบบไม่ลงรอยกัน

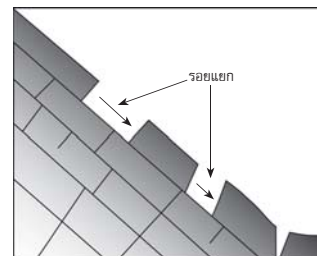


รูปที่ 1.39 รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง แบบต่างชนิด



รูปที่ 1.40 รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง แบบเชิงมุม

7. รอยแยก (joint) คือ รอยแตกที่ไม่มีการเคลื่อนที่ เกิดขึ้นได้ในหินทุกชนิดและเกิดเป็นชุด โดยรอยแยก ในแต่ละชุดมักจะขนานกัน หินในแต่ละบริเวณอาจมีรอยแยกมากกว่า 1 ชุด



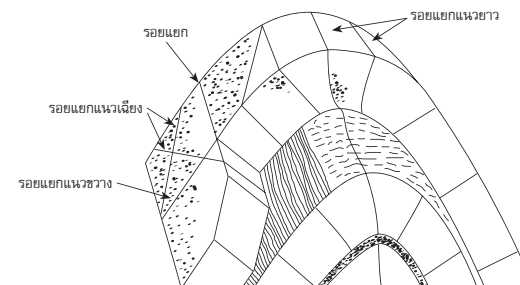
ก. การเกิดรอยแยก



ข. รอยแยกของหินปะชอสต์ในประเทศตุรกี

รูปที่ 1.41 รอยแยก

ในกรณีที่รอยแยกเกิดร่วมกับรอยคดโค้ง จะเรียกชื่อหรือชนิดของรอยแยกนั้น ๆ โดยเปรียบเทียบกับการวางตัว ของรอยแยกสัมพันธ์กับแกนรอยคดโค้ง ดังรูปที่ 1.42



รูปที่ 1.42 การเกิดรอยแยกร่วมกับรอยคดโค้ง



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

จดตอบคำถามต่อไปนี้

1. การศึกษาธรณีโครงสร้างเป็นการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องใด
2. การเปลี่ยนแปลงหรือการผิดรูปทางธรณีโครงสร้างมีความหมายว่าอย่างไร
3. ความเค้นและความเครียดมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร
4. อธิบายชนิดของรอยเลื่อน พร้อมทั้งวาดรูปประกอบการอธิบาย
5. ยกตัวอย่างสถานที่ต่าง ๆ ที่มีสาเหตุมาจากรอยคดโค้งและรอยเลื่อน



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “คลื่นไหวสะเทือน”

คำชี้แจง

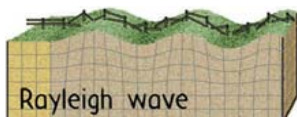
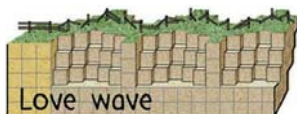
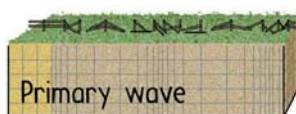
1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม ๆ ละ 4-6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากใบกิจกรรมที่กำหนดให้
3. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ตามหัวข้อที่กำหนดให้
4. การทำกิจกรรมต้องระมัดระวังในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม
5. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

หัวข้อที่กำหนด

● เครื่องตรวจจับคลื่นไหวสะเทือนอย่างง่าย

หลักการ

1. คลื่นไหวสะเทือนเป็นคลื่นที่เกิดจากการส่งผ่านพลังงานภายในโครงสร้างโลก อาจเกิดจากแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินถล่ม เป็นต้น
2. การตรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวัดความไหวสะเทือน หรือ ซีสโมกราฟ (seismograph)
3. เราสามารถสร้างเครื่องตรวจจับคลื่นไหวสะเทือนอย่างง่ายเพื่อนำไปใช้งานได้จริง



สรุป

หลังจากศึกษาหน่วยการเรียนรู้แล้ว นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ (Knowledge) ทักษะ/กระบวนการ (Process) และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attribute) ดังนี้

K

- โครงสร้างโลกมีลักษณะเป็นชั้น ๆ โดยแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 3 ชั้น คือ เปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก และแบ่งตามสมบัติเชิงกลของคลื่นไหวสะเทือนได้เป็น 5 ชั้น คือ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มัชฌิมภาค แก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน
- แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ของอริยาบยได้โดยทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งมีรากฐานมาจากสมมติฐานทวีปเลื่อนที่มีหลักฐานสนับสนุน คือ แผ่นทวีปต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อกันได้และการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ชนิดเดียวกันบนทวีปที่อยู่ห่างไกลกัน โดยสาเหตุที่ทำให้แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ อริยาบยได้โดยใช้ทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นสมุทร ทฤษฎีการพาความร้อน และสมมติฐานการดันและดึงของแผ่นทวีป การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่แยกจากกัน แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เข้าหากัน และแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่เฉือนกัน ซึ่งการเคลื่อนที่แต่ละลักษณะก่อให้เกิดธรณีสังฐานที่ต่างกัน เช่น เทือกเขากลางมหาสมุทร หุบเขาทรุด หมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง
- ธรณีโครงสร้างเป็นสาขาวิชาทางธรณีวิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเปลือกโลก การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดความเค้นที่ส่งผลให้เปลือกโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือผิดรูป เช่น เกิดรอยคดโค้ง รอยเลื่อน การบิดย้วย การเลื่อนไถล การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกนี้ อาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหรือฉับพลัน เช่น การเปลี่ยนแปลงพร้อมกับการเกิดแผ่นดินไหวหรือการเกิดภูเขาไฟระเบิด

P

- ระบุสาเหตุการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเกิดลักษณะธรณีสังฐานและธรณีโครงสร้าง
- มีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

A

- มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และแสวงหาความรู้เพิ่มเติม
- มีความมุ่งมั่นในการทำกิจกรรมการทดลองเพื่อให้ได้ผลสำเร็จ
- มีความซื่อตรงต่อการรายงานผลการทดลอง





แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

1. เปลือกโลกและธรณีภาคมีความแตกต่างกันอย่างไร
2. นักธรณีวิทยาใช้วิธีใดในการศึกษาโครงสร้างโลกที่ทำให้ทราบว่าภายในโลกมีความร้อนและความดันสูง
3. เขตติดต่อแผ่นไมโครพลาทฟอร์มบริเวณใดของโครงสร้างโลก และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนอย่างไร
4. คลื่นพิสัยภูมิไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านส่วนใดของโครงสร้างโลกได้ เพราะเหตุใด
5. จากทฤษฎีทวีปเลื่อน นักเรียนทราบได้อย่างไรว่าแผ่นทวีปต่าง ๆ เคยอยู่ติดกันเป็นแผ่นเดียวมาก่อน
6. แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ได้อย่างไร
7. เทือกเขากลางสมุทรเกิดขึ้นได้อย่างไร
8. เทือกเขาหิมาลัยเกิดขึ้นได้อย่างไร
9. กระบวนการเปลี่ยนแปลงของธรณีวิทยาประเภทใดที่ทำให้เกิดธรณีโครงสร้าง
10. ให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของรอยคดโค้งและรอยเลื่อนในรูปแบบตาราง
11. อธิบายชนิดของรอยคดโค้งที่แบ่งตามลักษณะโครงสร้างและแบ่งตามการวางตัวของระนาบแกน พร้อมทั้งทั้งวาดรูปประกอบการอธิบาย
12. รอยคดโค้งและรอยเลื่อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของธรณีโครงสร้างได้อย่างไร พร้อมทั้งยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
13. จากรูปต่อไปนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกแบบใด

13.1



13.2



13.3



13.4

