



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๔

ISBN 978-616-576-344-8

จำนวน ๓๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาต ให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนู วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษาและพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี



(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปนี้ โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้ว จะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง โครงสร้างโลก การแปรสัณฐานของแผ่นธรณี ธรณีพิบัติภัย และการลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น ธรณีวิทยา อุตุนิยมวิทยา แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เวลา ๔๐ ชั่วโมง จำนวน ๑ หน่วยกิต

ศึกษาการแบ่งชั้นและสมบัติของโครงสร้างโลก รอยต่อระหว่างชั้นโครงสร้างพร้อมหลักฐานสนับสนุน ศึกษาการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีตามทฤษฎีธรณีแปรสัณฐานพร้อมหลักฐานสนับสนุน ศึกษาสาเหตุและรูปแบบ แนวรอยต่อของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี และหลักฐานที่เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี ศึกษาสาเหตุ กระบวนการเกิด และผลจากการเกิดภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว และสึนามิ พร้อมแนวทางการเฝ้าระวังและปฏิบัติตนให้ปลอดภัย รวมทั้งอธิบายลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาในอดีตจากการใช้หลักฐานที่พบในปัจจุบัน โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสารสามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายการแบ่งชั้นและสมบัติของโครงสร้างโลก พร้อมยกตัวอย่างข้อมูลที่สนับสนุน
๒. อธิบายหลักฐานทางธรณีวิทยาที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี
๓. ระบุสาเหตุ และอธิบายแนวรอยต่อของแผ่นธรณีที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี พร้อมยกตัวอย่างหลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบ
๔. วิเคราะห์หลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบในปัจจุบัน และอธิบายลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาในอดีต
๕. อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิดภูเขาไฟระเบิดและปัจจัยที่ทำให้ความรุนแรงของการปะทุและรูปร่างของภูเขาไฟแตกต่างกัน รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย
๖. อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิด ขนาดและความรุนแรง และผลจากแผ่นดินไหว รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและปฏิบัติตนให้ปลอดภัย
๗. อธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิด และผลจากสึนามิ รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทางการเฝ้าระวังและการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย

รวมทั้งหมด ๗ ผลการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมโยงไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบทการทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- | | | |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| • คำถามสำคัญ | • กิจกรรม | • การเชื่อมโยงความรู้ |
| • จุดประสงค์การเรียนรู้ | • กิจกรรมเสนอแนะ | • กรณีศึกษา |
| • ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน | • ลองทำดู | • สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน |
| • ขวนคิด | • ความรู้เพิ่มเติม | • แบบฝึกหัดท้ายบท |
| • ตรวจสอบความเข้าใจ | • ศัพท์น่ารู้ | |

1

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4	ชวนคิด
	คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา
5	ตรวจสอบความเข้าใจ
	คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง
6	กิจกรรม
	การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง
7	กิจกรรมเสนอแนะ
	การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้
8	ลองทำดู
	การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้
9	ความรู้เพิ่มเติม
	ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

10	ศัพท์น่ารู้
	ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติมและสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน
11	การเชื่อมโยงความรู้
	เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ
12	กรณีศึกษา
	ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง
13	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
	การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด
14	แบบฝึกหัดท้ายบท
	คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ		
บทที่	เนื้อหา	หน้า
1		
	1.1 ข้อมูลในการศึกษาและแบ่งชั้นโครงสร้างโลก	3
	1.2 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลก	8
	กิจกรรม 1.1 การศึกษาค้นคว้าหาสาระที่ผ่านโครงสร้างโลก	15
	กิจกรรม 1.2 แบบจำลองโครงสร้างโลก	22
โครงสร้างโลก		แบบฝึกหัดท้ายบท 25
2	2.1 แนวคิดของทฤษฎีทวีปเลื่อนและหลักฐานสนับสนุน	32
	กิจกรรม 2.1 การสำรวจหลักฐานสนับสนุนว่าทวีปเคยอยู่ติดกันมาก่อน	33
	2.2 แนวคิดของทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นสมุทรและหลักฐานสนับสนุน	43
	กิจกรรม 2.2 แบบจำลองการแผ่ขยายของพื้นมหาสมุทร	43
	2.3 การแปรสัณฐานของแผ่นธรณี	49
	กิจกรรม 2.3 การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี	50
	2.4 ธรณีสัณฐานและโครงสร้างทางธรณีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี	52
	กิจกรรม 2.4 ท่องโลกกว้างตามหาธรณีสัณฐานและโครงสร้างทางธรณี	52
	กิจกรรม 2.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของชั้นหิน	61
การแปรสัณฐานของแผ่นธรณี		แบบฝึกหัดท้ายบท 69

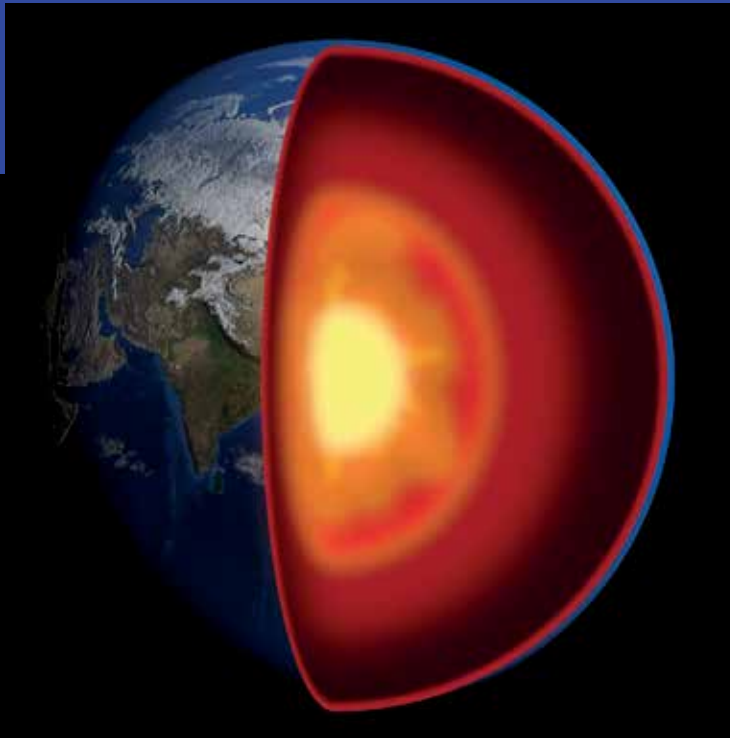
สารบัญ		
บทที่	เนื้อหา	หน้า
3	3.1 ภูเขาไฟระเบิด	79
	กิจกรรม 3.1 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งการเกิดภูเขาไฟกับแนวรอยต่อของแผ่นธรณี	79
	กิจกรรม 3.2 สำรวจลักษณะและปัจจัยในการปะทุของภูเขาไฟ	87
	3.2 แผ่นดินไหว	95
	กิจกรรม 3.3 กลไกการเกิดแผ่นดินไหว	96
	3.3 สึนามิ	107
	กิจกรรม 3.4 แบบจำลองการเกิดสึนามิ	108
	กิจกรรม 3.5 แนวทางการปฏิบัติตนให้ปลอดภัยจากธรณีพิบัติภัย	115
	แบบฝึกหัดท้ายบท	117
4	4.1 การลำดับชั้นหิน	124
	กิจกรรม 4.1 การวางตัวของชั้นหิน	125
	กิจกรรม 4.2 การเปลี่ยนแปลงทางธรณีที่ส่งผลต่อลำดับชั้นหิน	128
	กิจกรรม 4.3 เหตุการณ์ที่หายไป	130
	4.2 อายุทางธรณีวิทยา	134
	กิจกรรม 4.4 อายุเปรียบเทียบ	135
	4.3 การเทียบสัมพันธ์ทางลำดับชั้นหิน	141
	กิจกรรม 4.5 การลำดับเหตุการณ์ทางธรณีวิทยา	142
	แบบฝึกหัดท้ายบท	152
	ภาคผนวก	157
	คำศัพท์	166
	บรรณานุกรม	171
	ที่มาของรูปภาพ	173

บทที่ 1 | โครงสร้างโลก (Earth's structure)



ipst.me/7679

1



โลกของเราเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งบริเวณพื้นผิวและภายในโลก ในช่วงระยะเวลาประมาณ 4,500 ล้านปีที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้เกิดภูมิประเทศรูปแบบต่าง ๆ และธรณีพิบัติภัย เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ส่งผลทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นมนุษย์จึงพยายามทำความเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนโลก โดยเริ่มจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในโลก



คำถามสำคัญ

- กระบวนการใดที่ทำให้โครงสร้างภายในโลกมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันและแบ่งเป็นชั้น ๆ
- นักวิทยาศาสตร์ใช้ข้อมูลใดบ้างในการศึกษาและแบ่งชั้นโครงสร้างโลก
- นักวิทยาศาสตร์ใช้เกณฑ์ใดบ้างในการแบ่งชั้นโครงสร้างโลก แต่ละเกณฑ์แบ่งได้เป็นกี่ชั้น อะไรบ้าง และโครงสร้างโลกแต่ละชั้นมีสมบัติเหมือนหรือต่างกันอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

- สืบค้น และอธิบายข้อมูลที่สนับสนุนการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี และการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกล
- วิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน และอธิบายการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกและสมบัติเชิงกลของโครงสร้างโลกแต่ละชั้น
- สร้างแบบจำลองโครงสร้างโลกที่แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับโครงสร้างโลกที่แบ่งตามสมบัติเชิงกล



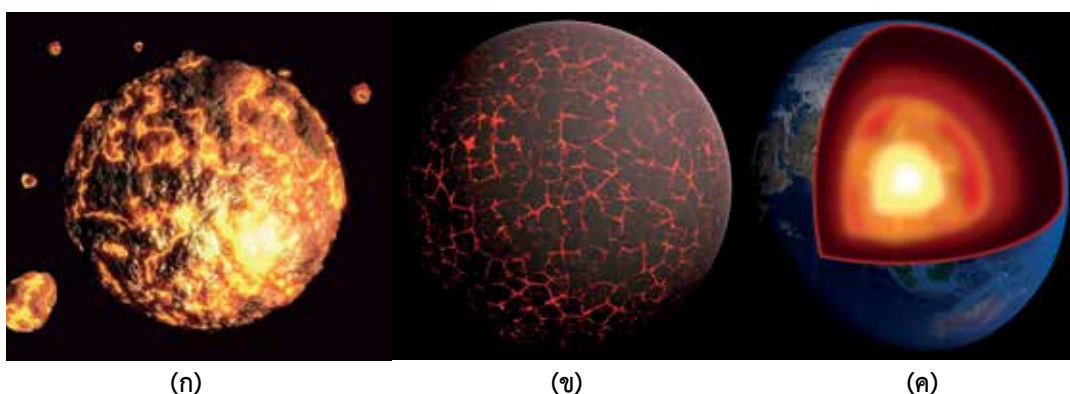
ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ถูก หรือเครื่องหมาย ✗ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ผิด

ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
1	ชั้นโครงสร้างโลกประกอบด้วยเปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก	
2	เปลือกโลกเป็นชั้นที่หนาที่สุดของโครงสร้างโลก	
3	เนื้อโลกมีสถานะเป็นของเหลว	
4	แก่นโลกเป็นชั้นของโครงสร้างโลกที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด	
5	ธาตุโลหะส่วนใหญ่มีความหนาแน่นมากกว่าธาตุอโลหะ	
6	คลื่นกลจะเกิดการสะท้อนและหักเหเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน	
7	คลื่นกลจะเปลี่ยนแปลงความเร็วเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน	
8	คลื่นกลที่ส่งผ่านพลังงานโดยอาศัยตัวกลางนั้นตัวกลางจะเคลื่อนที่ตามไปด้วย	
9	อุกกาบาตเป็นวัตถุที่มาจากนอกระบบสุริยะ	
10	สนามแม่เหล็กเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายนอกที่อยู่รอบแกนแม่เหล็ก	

บทนำ

โลกเป็น**ดาวเคราะห์หิน** (terrestrial planet) ดวงหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 4,500 ล้านปีก่อน ในระบบสุริยะ โลกเริ่มกำเนิดโดยการพอกพูนมวลจากการปะทะและหลอมรวมกันของวัตถุที่เหลือจากการก่อตัวของดวงอาทิตย์ จนทำให้โลกมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีมวลมากขึ้น ซึ่งในช่วงต้นของการกำเนิดโลกนั้น โลกมีอุณหภูมิสูงทำให้สสารต่าง ๆ หลอมเข้าด้วยกัน ต่อมาอุณหภูมิลดลง สสารมีการแยกจากกันตามความหนาแน่น โดยสสารที่เป็นธาตุหนัก มีความหนาแน่นมาก เช่น เหล็ก นิกเกิล จะรวมตัวอยู่บริเวณใจกลางโลก ส่วนธาตุที่น้ำหนักเบากว่า มีความหนาแน่นน้อยกว่า เช่น ซิลิกอน อะลูมิเนียม แมกนีเซียม มีการรวมตัวกันอยู่บริเวณรอบนอก ขณะเดียวกันอุณหภูมิของโลกมีการลดลงอย่างช้า ๆ โดยที่ส่วนนอกสุดของโลกมีอุณหภูมิลดลงและแข็งตัวเร็วกว่าส่วนอื่น กระบวนการที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้โลกเกิดการแบ่งชั้น ดังรูป 1.1 นักวิทยาศาสตร์ใช้ข้อมูลหรือหลักฐานใดบ้างมาสนับสนุนการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกแต่ละชั้น



รูป 1.1 กระบวนการกำเนิดโลกที่ทำให้โลกเกิดการแบ่งชั้น
(ก) ช่วงต้นของการกำเนิดโลกที่เกิดจากการปะทะและหลอมรวมกันของวัตถุที่เหลืออยู่จากการก่อตัวของดวงอาทิตย์
(ข) ช่วงที่อุณหภูมิของโลกเริ่มลดต่ำลงทำให้ผิวชั้นนอกสุดเกิดการแข็งตัว
(ค) โครงสร้างภายในโลกที่แบ่งเป็นชั้น ๆ

1.1 ข้อมูลในการศึกษาและแบ่งชั้นโครงสร้างโลก

นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจที่จะศึกษาโครงสร้างโลกมาเป็นเวลานาน **เซอร์ไอแซค นิวตัน** (Sir Isaac Newton) เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทสำคัญในการศึกษาโครงสร้างโลก จากการที่นิวตันศึกษาความโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในเวลาต่อมานักวิทยาศาสตร์ใช้กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตันคำนวณหาความหนาแน่นเฉลี่ยของโลก พบว่าความหนาแน่นเฉลี่ยของโลกมีค่าเป็น 2 เท่าของความหนาแน่นของหินบนผิวโลก จึงสันนิษฐานว่า โลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด และส่วนที่อยู่ลึกลงไปภายในโลกน่าจะมีมีความหนาแน่นมากกว่าหินบนผิวโลก

ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้มีการสำรวจหินบนเปลือกโลกและศึกษาหินที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ พบว่าสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของหินบนเปลือกโลกคล้ายกับหินที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ แต่เมื่อเทียบกับ**หินแปลกปลอม** (xenolith) ที่ถูกพาขึ้นมาพร้อมลาวา พบว่ามีสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างออกไป นอกจากนี้จากการเจาะสำรวจทำให้ทราบว่าโลกมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และจากการระเบิดของภูเขาไฟทำให้ทราบว่าภายใต้ผิวโลกลงไปบางส่วนมีหินหลอมเหลว



ความรู้เพิ่มเติม

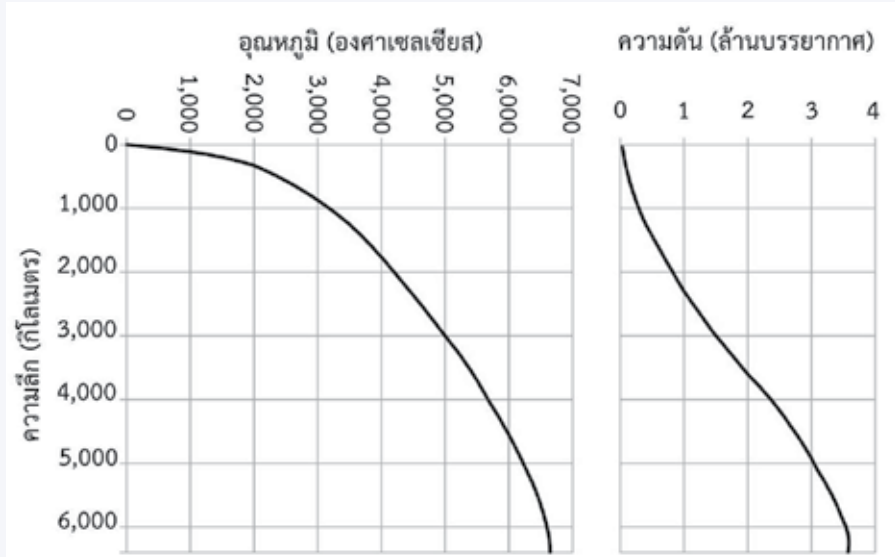
หินแปลกปลอมคืออะไร

โดยทั่วไปหินแปลกปลอมหมายถึงเศษของหินท้องที่ที่เข้าไปอยู่ในแมกมาหรือลาวา แต่ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างโลกนั้น หินแปลกปลอมนี้เป็นเศษหินแข็งที่มีต้นกำเนิดอยู่ในระดับลึกใต้เปลือกโลก ซึ่งพบปนอยู่ในเนื้อของมวลหินอัคนีที่เกิดจากการปะทุของลาวาขึ้นมาบนผิวโลก และประกอบด้วยแร่ที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมปริมาณมากกว่าหินบนเปลือกโลก





ชวนคิด : ความดันและอุณหภูมิภายในโลก



กราฟข้างต้นแสดงอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของโลก ปัจจุบัน

1. จากกราฟ ที่ระดับความลึกใดของโลกที่มีอุณหภูมิและความดันสูงที่สุด และที่ระดับความลึกใดมีอุณหภูมิและความดันต่ำที่สุด
2. นักเรียนคิดว่าอุณหภูมิและความดันภายในโลกที่เปลี่ยนไปในแต่ละระดับความลึกมีความสัมพันธ์กับสิ่งใด
3. นักเรียนคิดว่ากราฟของอุณหภูมิและความดันของโลกในช่วงก่อนกำเนิดแตกต่างจากปัจจุบันอย่างไร

จากการศึกษาข้างต้นยังไม่ทำให้ทราบถึงข้อมูลของโครงสร้างภายในโลกในระดับลึกได้ นักวิทยาศาสตร์จึงใช้ความรู้จากทฤษฎีกำเนิดระบบสุริยะ และสมบัติของคลื่นไหวสะเทือน (seismic waves) มาช่วยในการศึกษา

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและความหนาแน่นของอุกกาบาตเหล็ก (iron meteorites) ที่พบในระบบสุริยะ ดังรูป 1.2 พบว่ามีองค์ประกอบหลักทางเคมีเป็นเหล็กและนิกเกิล และเมื่อนำค่าความหนาแน่นของอุกกาบาตเหล็ก หินแปรกลบอม และหินบนเปลือกโลก ไปคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของโลกที่นักวิทยาศาสตร์ได้คำนวณไว้ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเชื่อมโยงทฤษฎีกำเนิดระบบสุริยะ ที่กล่าวว่า



รูป 1.2 อุกกาบาตเหล็ก แคมโป เดล เซียโล (Campo del Cielo) ประเทศอาร์เจนตินา

อุกกาบาตคือวัตถุที่เหลือจากการกำเนิดระบบสุริยะ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์สันนิษฐานว่าส่วนหนึ่งของวัสดุที่กำเนิดโลกจะมีองค์ประกอบเป็นเหล็กและนิกเกิล จึงนำมาสู่ข้อสรุปว่าภายในโลกมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเหล็กและนิกเกิล

นักวิทยาศาสตร์ได้นำสมบัติของคลื่นไหวสะเทือนมาศึกษาสมบัติเชิงกลของโครงสร้างโลก คลื่นไหวสะเทือนเป็นคลื่นกลที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น คลื่นไหวสะเทือน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ **คลื่นในตัวกลาง** (body waves) และ **คลื่นพื้นผิว** (surface waves) ทั้งนี้ในการศึกษาโครงสร้างโลกนั้นใช้สมบัติของคลื่นในตัวกลางเป็นหลัก ซึ่งแบ่งออกเป็น **คลื่นปฐมภูมิ** (primary wave, P-wave) และ **คลื่นทุติยภูมิ** (secondary wave, S-wave) โดยคลื่นปฐมภูมิและทุติยภูมิมีสมบัติ ดังนี้



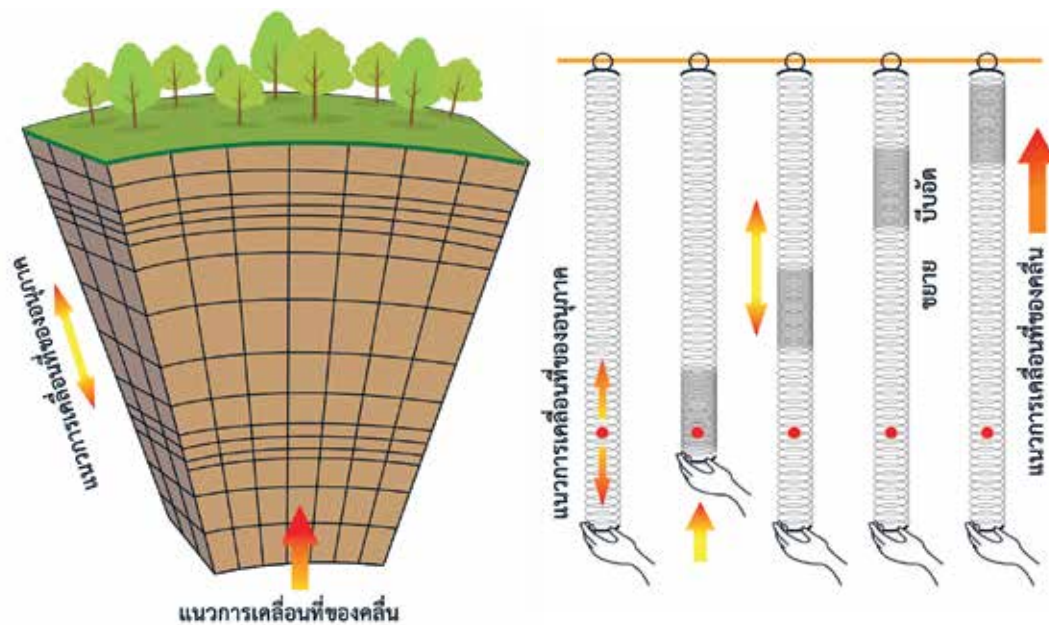
ความรู้เพิ่มเติม

สมบัติเชิงกล (mechanical properties)

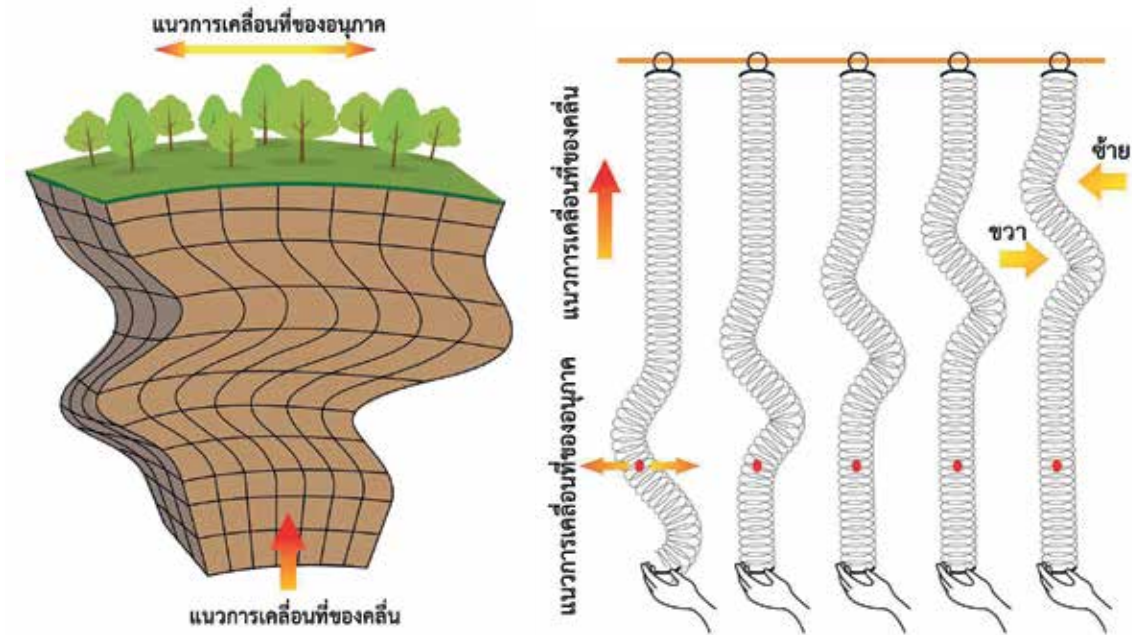
วัสดุต่าง ๆ จะมีการตอบสนองต่อแรงภายนอกที่มากกระทำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงกลของวัสดุ **สมบัติเชิงกล** คือ พฤติกรรมของวัสดุ ที่สามารถแสดงออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกกระทำ เช่น **ความเค้น** (stress) **ความเครียด** (strain) **สภาพพลาสติก** (plasticity) **สภาพยืดหยุ่น** (elastic) **ความเปราะ** (brittleness) **ความแข็งแรง** (stiffness) ในที่นี้คือการตอบสนองของโครงสร้างโลกแต่ละชั้นเมื่อคลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ผ่าน

คลื่นปฐมภูมิ เป็นคลื่นตามยาว สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ทุกสถานะ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการอัดและขยายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เทียบได้กับลักษณะการอัดและขยายของขดลวดสปริงไปตามแนวยาว ดังรูป 1.3 นอกจากนี้คลื่นปฐมภูมียังเป็นคลื่นไหวสะเทือนที่มีความเร็วมากที่สุด และเดินทางมาถึงเครื่องมือตรวจวัดเป็นอันดับแรก

คลื่นทุติยภูมิ เป็นคลื่นตามขวาง เคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะตัวกลางที่มีสถานะเป็นของแข็ง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เทียบได้กับลักษณะการสับขดลวดสปริงไปทางซ้ายและขวาสลับกัน ดังรูป 1.4 คลื่นทุติยภูมิเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าคลื่นปฐมภูมิ จึงเป็นคลื่นที่เดินทางมาถึงเครื่องมือตรวจวัดได้เป็นอันดับสอง



รูป 1.3 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นปฐมภูมิเทียบกับลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดจากขดลวดสปริงถูกอัดขยาย



รูป 1.4 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นทุติยภูมิเทียบกับลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดจากการสับขดลวดสปริง

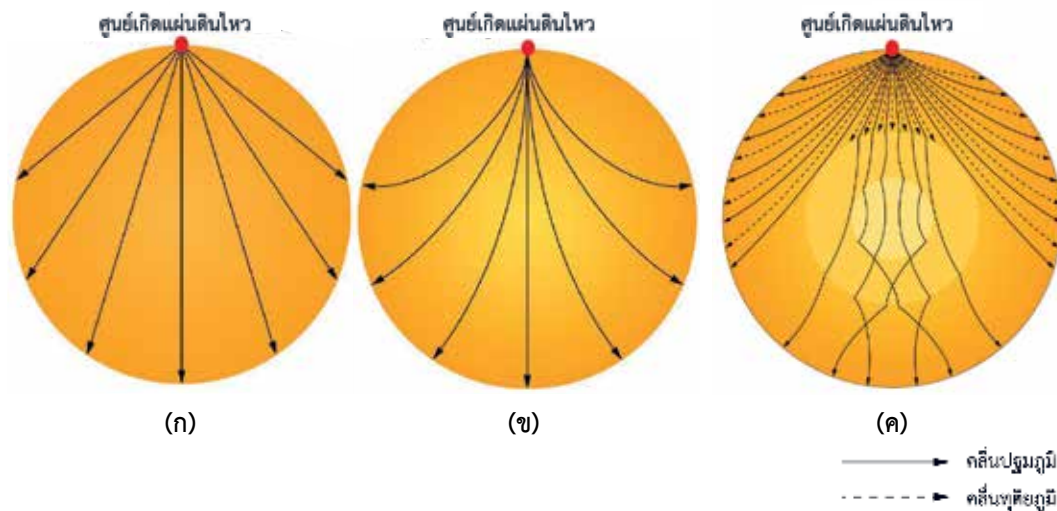


ลองทำดู : คลื่นในตัวกลางเคลื่อนที่อย่างไร

ให้นักเรียนผูกเชือกไหมพรมบนขดลวดสปริง ทดลองอัดและสับขดลวดสปริงตามทิศทางดังรูป 1.3 และ 1.4 จากนั้นสังเกตทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกคลื่นและปมเชือกบนขดลวดสปริง เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกคลื่นบนขดลวดสปริงกับคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิ

เมื่อคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน หรือตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน คลื่นจะมีความเร็วเปลี่ยนไป เกิดการหักเห และ/หรือสะท้อน ที่บริเวณรอยต่อของตัวกลางนั้น นักเรียนคิดว่านักวิทยาศาสตร์นำสมบัติของคลื่นไหวสะเทือนมาใช้ในการสำรวจโลกได้อย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ตั้งสมมติฐานว่า หากภายในโลกเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด คลื่นไหวสะเทือนที่เคลื่อนที่ผ่านภายในโลกจะมีความเร็วคงที่และเดินทางเป็นเส้นตรง ดังรูป 1.5 (ก) แต่ถ้าวัสดุภายในโลกมีความหนาแน่นและความดันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระดับความลึก คลื่นไหวสะเทือนจะเคลื่อนผ่านภายในโลกด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและความดัน และเส้นทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจะไม่เป็นเส้นตรง ดังรูป 1.5 (ข) แต่จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนผ่านภายในโลกพบว่า มีลักษณะดังรูป 1.5 (ค) ทำให้สันนิษฐานว่าภายในโลกอาจแบ่งเป็นชั้น ๆ ตามสถานะและสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน



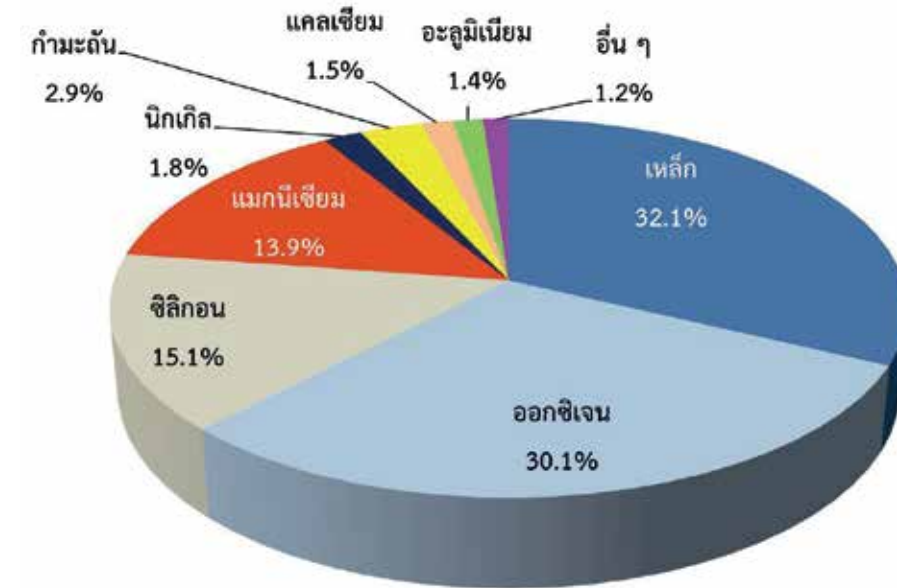
รูป 1.5 การเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนเมื่อผ่านภายในโลกตามสมมติฐานต่าง ๆ

1.2 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลก

เมื่อนักวิทยาศาสตร์นำข้อมูลทั้งองค์ประกอบทางเคมีของหินบนผิวโลก หินแปรกลปโลมในระดับลึกใต้เปลือกโลกที่ลาวานำขึ้นมา และอุกกาบาตเหล็ก ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดคลื่นไหวสะเทือน ทำให้นักวิทยาศาสตร์แบ่งชั้นโครงสร้างโลกโดยใช้องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงกลเป็นเกณฑ์

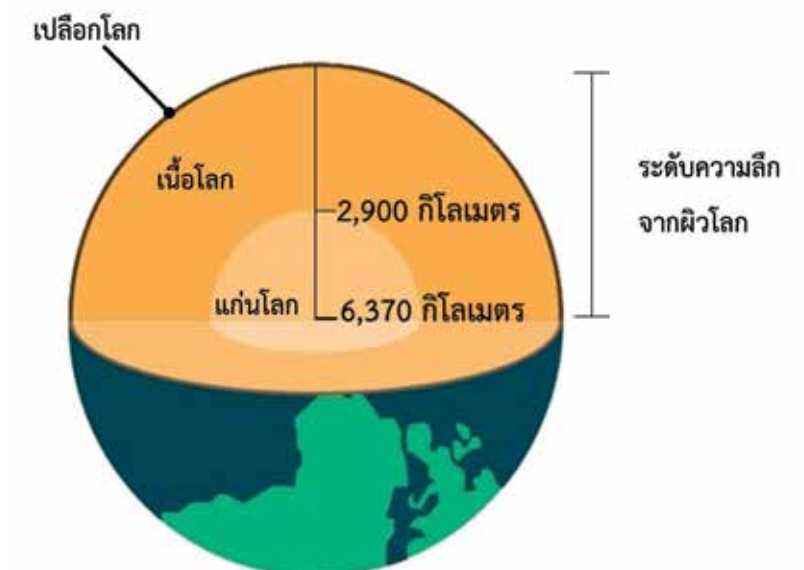
1.2.1 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี

โลกประกอบไปด้วยธาตุหลายชนิด โดยประมาณร้อยละ 90 เป็นเหล็ก ออกซิเจน ซิลิกอนและแมกนีเซียม นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ อีก ดังรูป 1.6



รูป 1.6 องค์ประกอบทางเคมีของโลก

ในขณะที่เกิดการแบ่งชั้นของโลก ธาตุเหล่านี้เกิดเป็นสารประกอบแล้วแยกตัวกันอยู่เป็นชั้น ๆ ตามความหนาแน่นที่แตกต่างกัน นักวิทยาศาสตร์จึงแบ่งโครงสร้างโลกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกโลก (crust) เนื้อโลก (mantle) และแก่นโลก (core) ตามองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน รูป 1.7



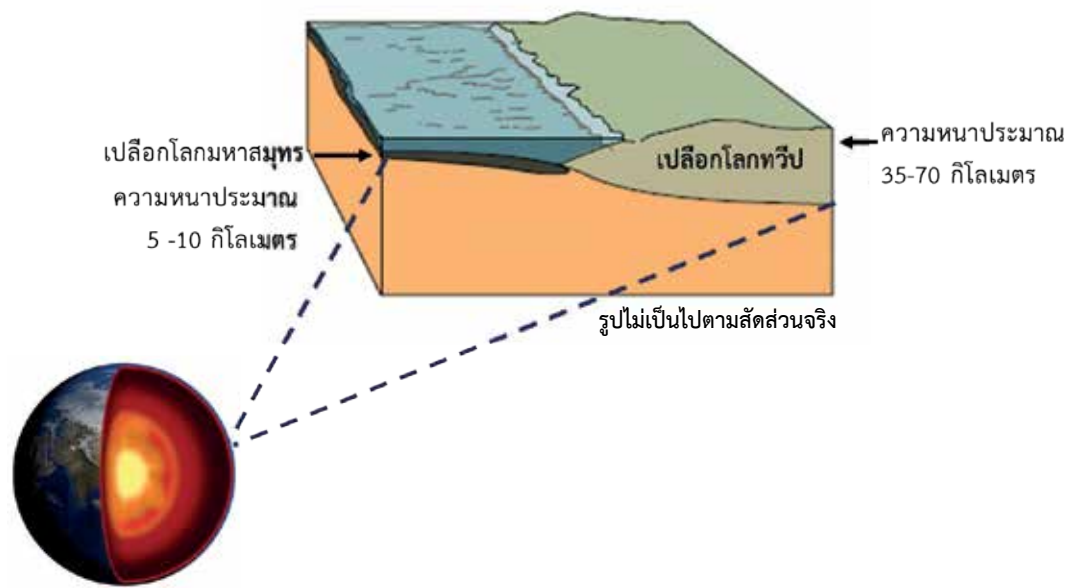
รูป 1.7 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี

เปลือกโลก (crust) เป็นชั้นนอกสุดที่ห่อหุ้มโลก มีความหนาระหว่าง 5–70 กิโลเมตร เปลือกโลกประกอบด้วยเปลือกโลกทวีป (continental crust) และเปลือกโลกมหาสมุทร (oceanic crust) ดังรูป 1.8

เปลือกโลกทวีป มีทั้งที่เป็นพื้นทวีปและไหล่ทวีป (continental shelf) ประกอบด้วยหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของซิลิกอนและอะลูมิเนียม

เปลือกโลกมหาสมุทร เป็นส่วนที่รองรับทะเลหรือมหาสมุทร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินบะซอลต์ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของซิลิกอนและแมกนีเซียม

เปลือกโลกทวีปมีความหนาแน่นน้อยกว่าเปลือกโลกมหาสมุทร แต่เปลือกโลกทวีปมีความหนามากกว่าเปลือกโลกมหาสมุทร

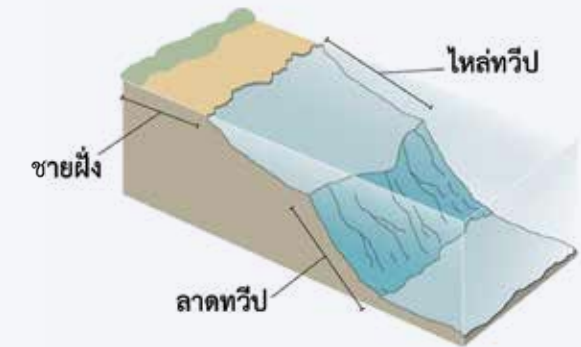


รูป 1.8 เปลือกโลก

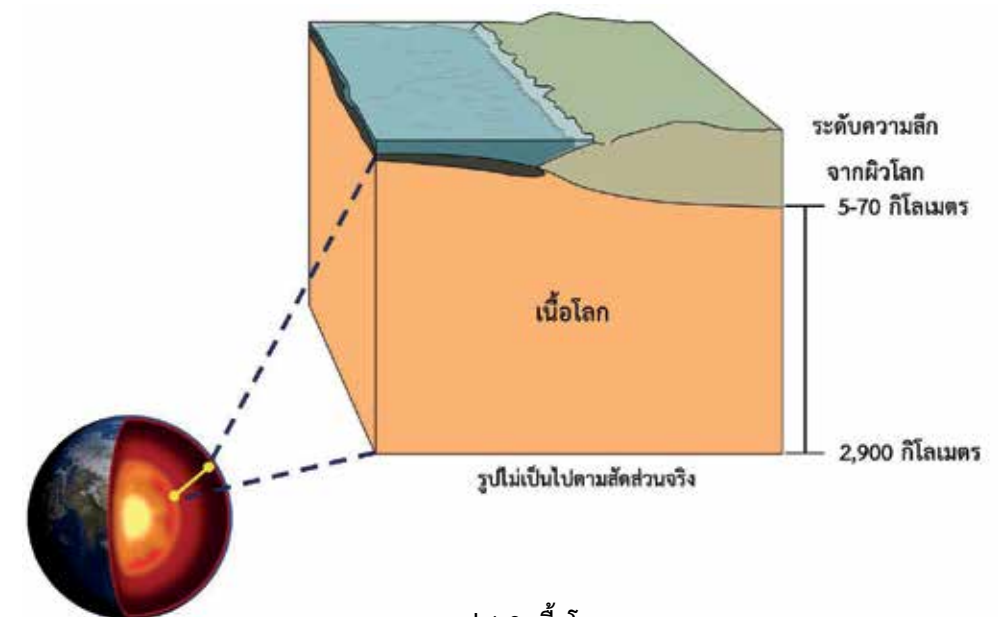


ความรู้เพิ่มเติม

ไหล่ทวีป (continental shelf) คือส่วนหนึ่งของขอบทวีป อยู่ระหว่างแนวชายฝั่งทะเลกับลาดทวีป (continental slope)

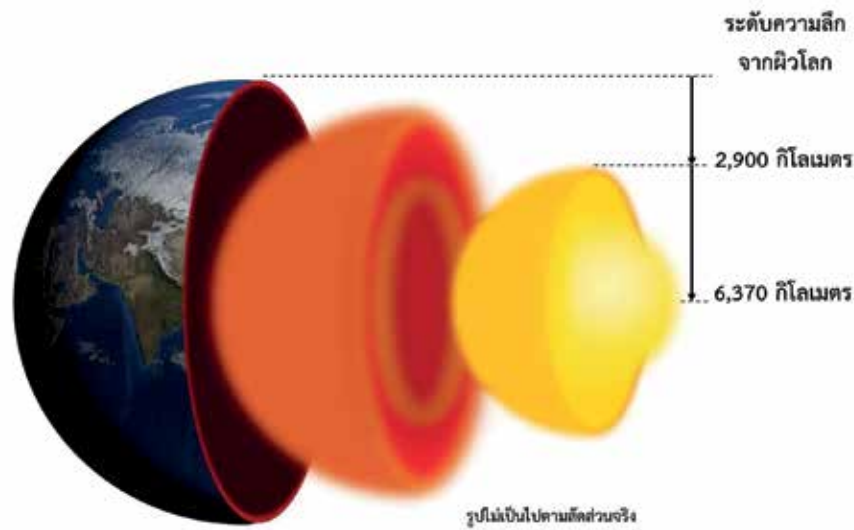


เนื้อโลก (mantle) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเปลือกโลก มีขอบเขตตั้งแต่ใต้เปลือกโลกจนถึงที่ระดับความลึกประมาณ 2,900 กิโลเมตร ดังรูป 1.9 นักวิทยาศาสตร์ศึกษาหินแข็งใต้เปลือกโลก (หินแมกมา) ที่ขึ้นมาบนผิวโลกพร้อมกับลาวาพบว่าองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอน แมกนีเซียม และเหล็กเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงสรุปว่าเนื้อโลกมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของซิลิกอน แมกนีเซียม และเหล็ก



รูป 1.9 เนื้อโลก

แก่นโลก (core) เป็นโครงสร้างโลกชั้นในสุดอยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 2,900 กิโลเมตรจากผิวโลก จนถึงใจกลางโลก ดังรูป 1.10 ประกอบด้วยธาตุเหล็กเป็นส่วนใหญ่ และธาตุอื่น ๆ ได้แก่ นิกเกิล ออกซิเจน ซิลิกอน และซัลเฟอร์

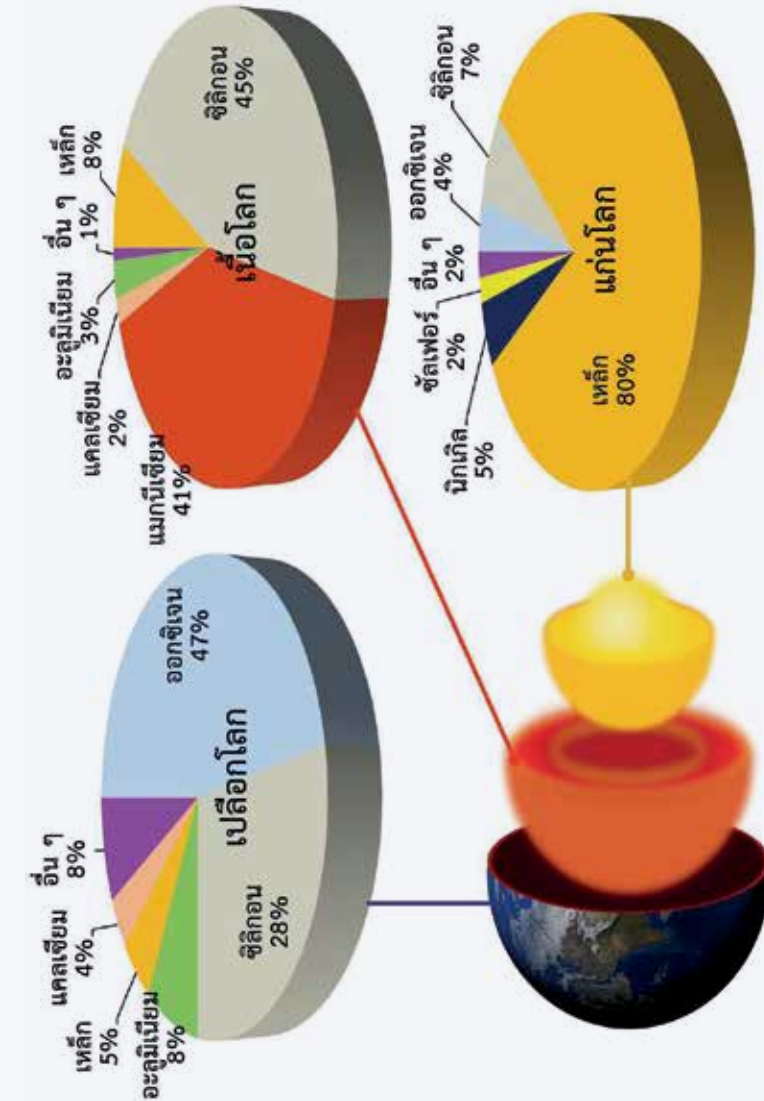


รูป 1.10 แก่นโลก

ตรวจสอบความเข้าใจ

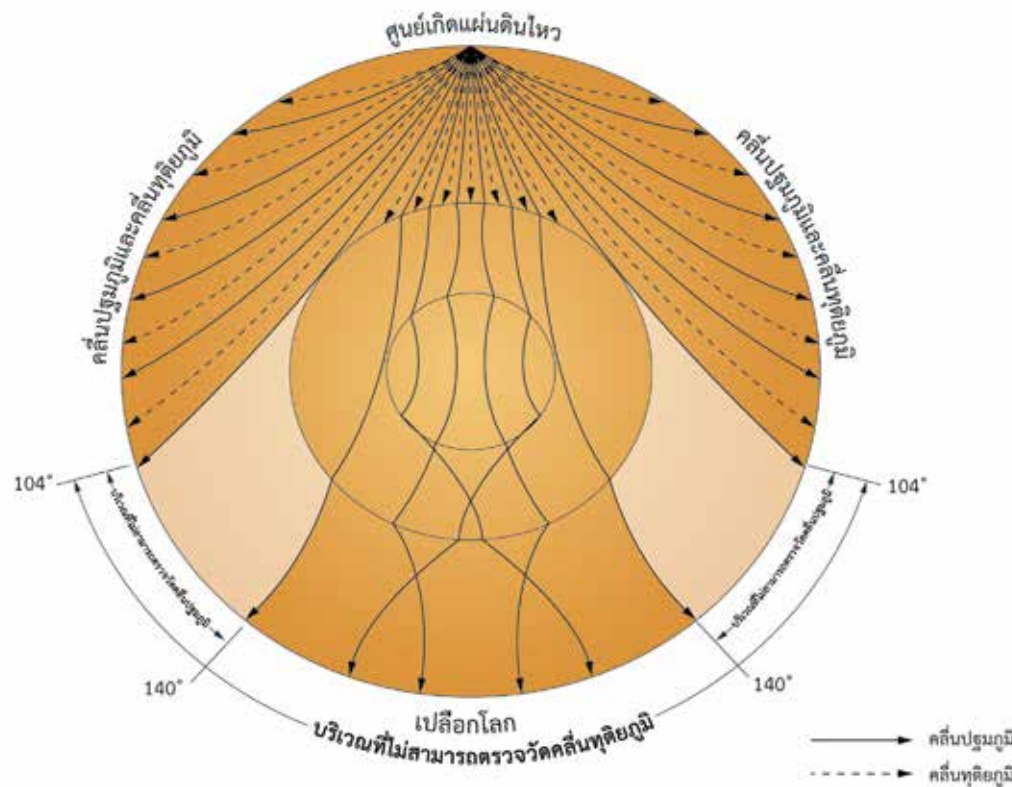


จากรูปองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างโลกแต่ละชั้น ถ้าพบหินที่มีแมกนีเซียมเป็นปริมาณมาก หินนั้นน่าจะมาจากโครงสร้างโลกชั้นใด



1.2.2 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกล

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาคลื่นไหวสะเทือนที่เคลื่อนที่จากศูนย์เกิดแผ่นดินไหว และพบว่าบางบริเวณไม่สามารถตรวจวัดคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิที่เคลื่อนที่โดยตรงมาจากศูนย์เกิดแผ่นดินไหวได้ เรียกบริเวณเหล่านี้ว่า **เขตอับคลื่น** (shadow zone) ดังรูป 1.11 ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนและ/หรือหักเหของคลื่น จากการตรวจพบเขตอับคลื่นทำให้นักวิทยาศาสตร์คาดว่าภายในโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ระดับลึกต่าง ๆ นักวิทยาศาสตร์จึงนำข้อมูลทั้งหมดข้างต้นมาใช้ในการแบ่งชั้นโครงสร้างโลก โดยนักเรียนจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 1.1



รูป 1.11 ลักษณะเส้นทางของคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิที่เคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างโลก



กิจกรรม 1.1 การศึกษาคลื่นไหวสะเทือนที่ผ่านโครงสร้างโลก

จุดประสงค์กิจกรรม

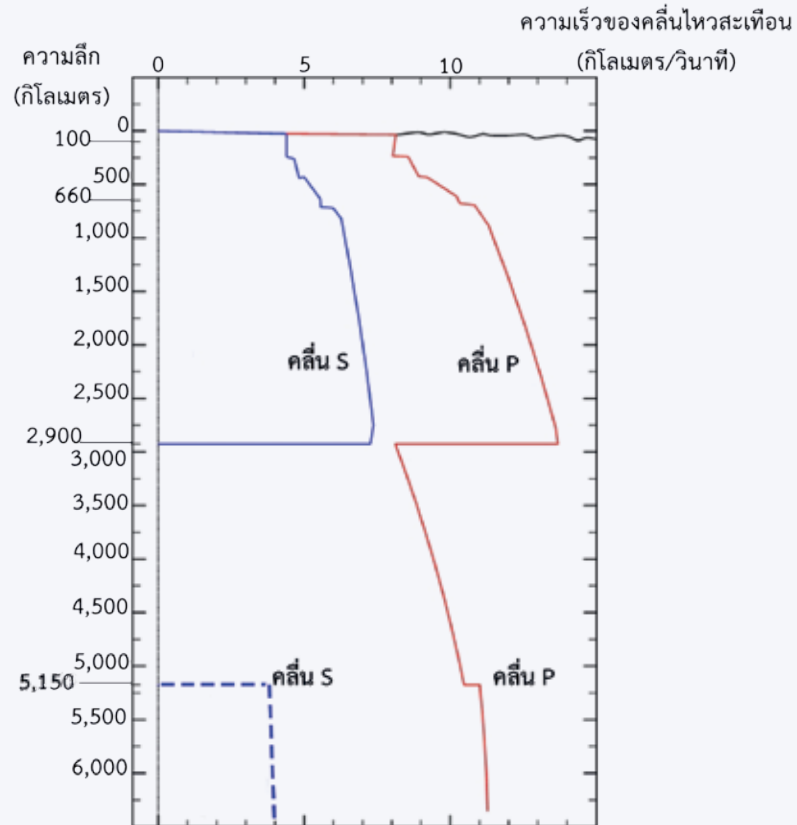
แปลความหมายและอธิบายข้อมูลการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนตามระดับความลึกของโครงสร้างโลกจากกราฟที่กำหนดให้

วัสดุ-อุปกรณ์

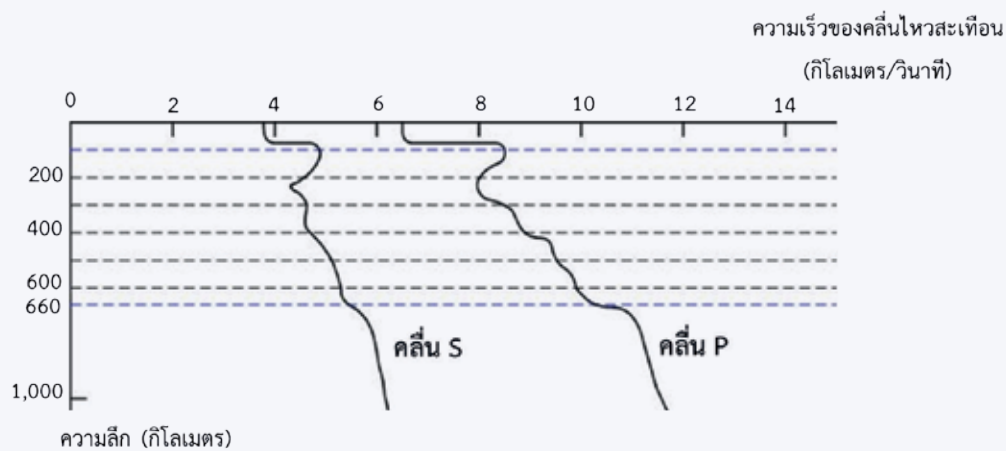
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนกับระดับความลึก รูป 1 และ 2 (หน้า 16)

วิธีการทำกิจกรรม

- สังเกตการเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิจากกราฟในแต่ละช่วงระดับความลึก และบันทึกผลที่ได้ลงในตารางบันทึกผล
- นำผลการสังเกตจากข้อที่ 1 มาวิเคราะห์และอภิปรายถึงสาเหตุที่คลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยเชื่อมโยงกับสถานะของตัวกลาง และสรุปแนวความคิดการแบ่งชั้นโครงสร้างโลก
- ออกแบบและสร้างแบบจำลองแสดงแนวคิดในการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกโดยอาศัยข้อมูลคลื่นไหวสะเทือน และนำเสนอพร้อมเหตุผลสนับสนุน
- รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการนำเสนอและอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนมาปรับปรุงแบบจำลองการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกให้สมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น



รูป 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนกับระดับความลึก



รูป 2 ภาพขยายกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนกับระดับความลึกช่วง 0-660 กิโลเมตร จากผิวโลก

ตารางบันทึกผล

ระดับความลึก (กิโลเมตร)	การเปลี่ยนแปลงความเร็วของ		สถานะของตัวกลาง
	คลื่น P	คลื่น S	
0-100			
100-660			
660-2,900			
2,900-5,150			
5,150-6,370			

คำถามท้ายกิจกรรม

1. จากกิจกรรม กราฟที่กำหนดให้แสดงข้อมูลเรื่องใดบ้าง
2. ข้อมูลในกราฟมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ความลึกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. โครงสร้างโลกแต่ละระดับความลึกมีสถานะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ทราบได้อย่างไร

จากกิจกรรมพบว่าเมื่อคลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างภายในโลก คลื่นไหวสะเทือนมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างฉับพลันที่ระดับความลึกต่างๆ รวมทั้งการไม่ปรากฏคลื่นทุติยภูมิในบางช่วงของระดับความลึก แสดงว่าภายในโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่แบ่งได้เป็นหลายชั้นตามสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันของแต่ละชั้น

ในปี พ.ศ. 2452 แอนดริจา โมโฮโรวิชิก (Andrija Mohorovicic) นักวิทยาศาสตร์ชาวโครเอเชีย ได้ศึกษาข้อมูลการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนเมื่อเกิดแผ่นดินไหวพบว่า ความเร็วของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน มีการหักเห สะท้อนและเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ต่อมาจึงสรุปได้ว่าโครงสร้างภายในโลกมีการแบ่งชั้น

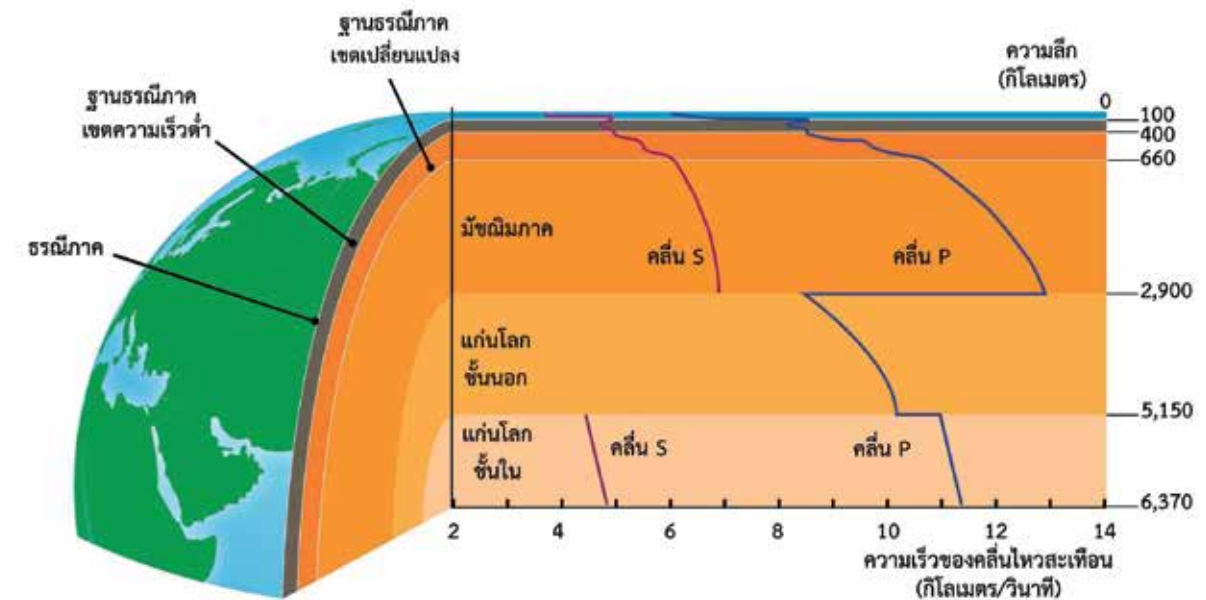
จากการศึกษาความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนที่เปลี่ยนไปในแต่ละระดับความลึก ทำให้นักวิทยาศาสตร์สรุปว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน และได้แบ่งโครงสร้างโลกออกเป็น 5 ชั้น คือ ธรณีภาค (lithosphere) ฐานธรณีภาค (asthenosphere) มัชฌิมภาค (mesosphere) แก่นโลกชั้นนอก (outer core) และ แก่นโลกชั้นใน (inner core) ดังรูป 1.12



ความรู้เพิ่มเติม

แนวไม่ต่อเนื่องโมโฮโรวิชิก (Mohorovicic discontinuity)

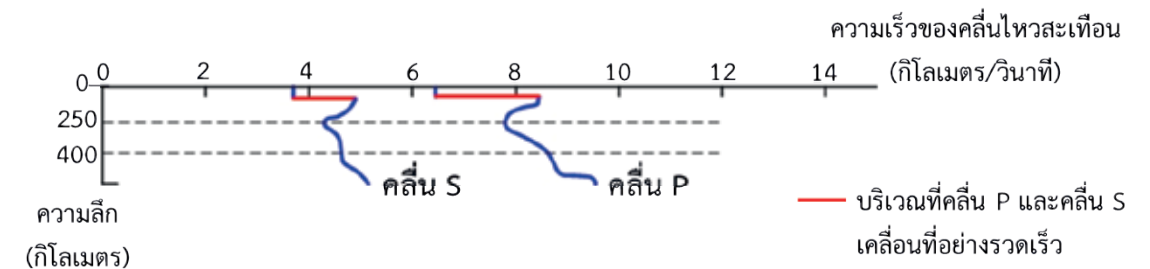
นักวิทยาศาสตร์เรียกแนวไม่ต่อเนื่องที่ค้นพบโดย แอนดริจา โมโฮโรวิชิก ซึ่งอยู่ระหว่างเปลือกโลกกับเนื้อโลกว่า แนวไม่ต่อเนื่องโมโฮโรวิชิก หรือแนวแบ่งเขตโมโฮโรวิชิก นิยมเรียกสั้น ๆ ว่า โมโฮ โดยความลึกของโมโฮนีขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือกโลกที่วางตัวอยู่ด้านบน ซึ่งโมโฮจะมีความหนาประมาณ 0.1 – 0.5 กิโลเมตร



รูป 1.12 การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลที่ได้จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนผ่านชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างโลกตามระดับความลึก

โครงสร้างโลกแต่ละชั้นมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้

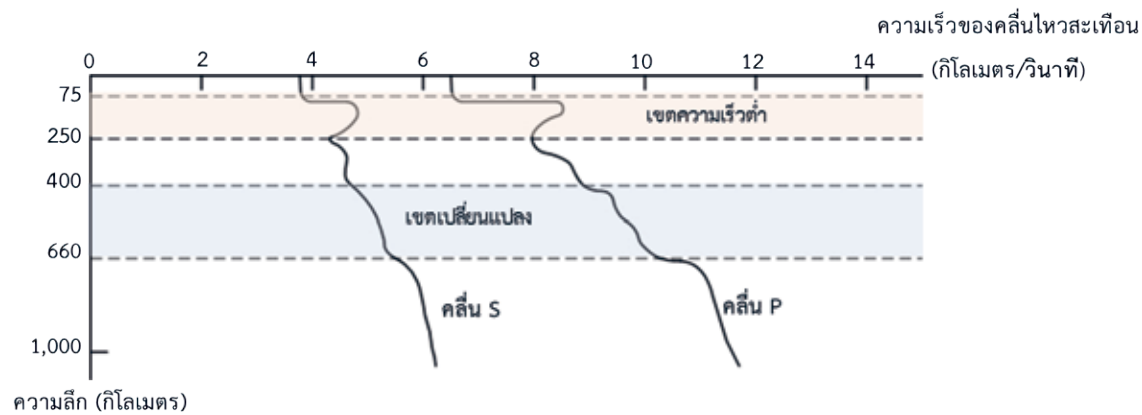
ธรณีภาค เป็นชั้นภายนอกสุดของโลก ประกอบด้วยเปลือกโลกและเนื้อโลกตอนบนสุด (uppermost mantle) มีสถานะเป็นของแข็งที่มีสภาพแข็งเกร็ง (rigidity) มีความหนาแน่นเฉลี่ย 2.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงทำให้คลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรูป 1.13



รูป 1.13 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเมื่อผ่านธรณีภาค

ฐานธรณีภาค เป็นชั้นที่อยู่ถัดลงมาจากธรณีภาคโดยเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อโลกตอนบน (upper mantle) มีสถานะเป็นของแข็งที่มีสภาพพลาสติก (plasticity) มีความหนาแน่นเฉลี่ย 3.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โครงสร้างโลกชั้นนี้พบลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วไม่สม่ำเสมออยู่ 2 เขต ดังนี้

- 1) **เขตความเร็วต่ำ** (low velocity zone) เป็นเขตที่คลื่นปฐมภูมิและทุติยภูมิมีความเร็วลดลง ดังรูป 1.14 เป็นบริเวณที่มีความดันสูงไม่พอที่จะทำให้แร่คงสภาพเป็นของแข็ง จึงทำให้สสารบางส่วนในเขตนี้หลอมตัวได้ และเป็นแหล่งกำเนิดของแมกมา
- 2) **เขตเปลี่ยนแปลง** (transition zone) เป็นเขตที่คลื่นไหวสะเทือนมีความเร็วเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่สม่ำเสมอ ดังรูป 1.14 เนื่องจากบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแร่



รูป 1.14 ความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเมื่อผ่านเขตความเร็วต่ำ และเขตเปลี่ยนแปลง

มัชฌิมภาค เป็นชั้นที่อยู่ใต้ฐานธรณีภาค เป็นส่วนของเนื้อโลกตอนล่าง (lower mantle) มีความหนาแน่นเฉลี่ย 5.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีสถานะเป็นของแข็ง เป็นบริเวณที่คลื่นไหวสะเทือนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

แก่นโลกชั้นนอก เป็นชั้นที่อยู่ใต้มัชฌิมภาค ประกอบด้วยสารที่มีสถานะเป็นของเหลว มีความหนาแน่นเฉลี่ย 11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเขตที่คลื่นปฐมภูมิมีความเร็วลดลงอย่างฉับพลัน จากนั้นความเร็วจึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่คลื่นทุติยภูมิไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นดังกล่าวได้

แก่นโลกชั้นใน อยู่ใจกลางโลก มีสถานะเป็นของแข็ง มีความหนาแน่นเฉลี่ย 13 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเพียงคลื่นปฐมภูมิจากศูนย์เกิดแผ่นดินไหวเท่านั้นที่เดินทางมาถึงได้ แต่ในทางทฤษฎีเชื่อว่าเมื่อคลื่นปฐมภูมิเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างแก่นโลกชั้นนอกและแก่นโลกชั้นในสามารถทำให้เกิดคลื่นทุติยภูมิขึ้นใหม่ได้ ในชั้นนี้คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อนข้างคงที่

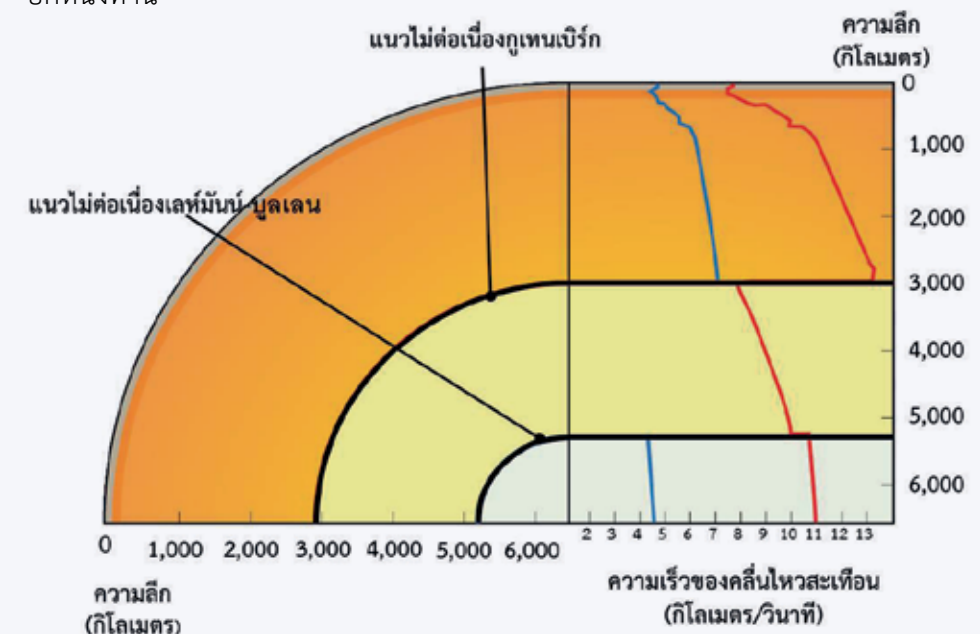


ความรู้เพิ่มเติม

การค้นพบแนวไม่ต่อเนื่อง

เบนโน กูเทนเบิร์ก (Benno Gutenberg) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ค้นพบ **แนวไม่ต่อเนื่องกูเทนเบิร์ก** (Gutenberg discontinuity) หรือ **แนวแบ่งเขตกูเทนเบิร์ก** ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นเนื้อโลกกับแก่นโลกชั้นนอก บริเวณแนวไม่ต่อเนื่องนี้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน โดยคลื่นปฐมภูมิมีความเร็วลดลงอย่างฉับพลัน ขณะที่คลื่นทุติยภูมิไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้

อิงเง เลห์มันน์ (Inge Lehmann) นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ได้ค้นพบรอยต่อระหว่างแก่นโลกชั้นนอกและแก่นโลกชั้นในที่แนวไม่ต่อเนื่องนี้มีความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นปฐมภูมิมีความเร็วเพิ่มขึ้น แนวรอยต่อนี้ได้รับการตั้งชื่อในช่วงต้น ๆ ว่า **แนวไม่ต่อเนื่องเลห์มันน์** (Lehmann discontinuity) หรือ **แนวแบ่งเขตเลห์มันน์** แต่ปัจจุบันเพื่อป้องกันการสับสนกับแนวไม่ต่อเนื่องเลห์มันน์ในอีกบริเวณ จึงนิยมเรียกแนวรอยต่อระหว่างแก่นโลกชั้นนอกและแก่นโลกชั้นในนี้ใหม่ว่า **แนวไม่ต่อเนื่องเลห์มันน์-บูลเลน** (Lehmann–Bullen discontinuity) หรือ **แนวแบ่งเขตเลห์มันน์-บูลเลน** ตามชื่อ **คีธ เอ็ดเวิร์ด บูลเลน** (Keith Edward Bullen) นักวิทยาศาสตร์ชาวนิวซีแลนด์อีกหนึ่งท่าน



จากการที่ได้ศึกษามาแล้วว่าโครงสร้างโลกมีการแบ่งชั้นแตกต่างกันตามองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงกล นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลอง เพื่ออธิบายและเปรียบเทียบการแบ่งโครงสร้างโลกตามเกณฑ์ทั้งสองเกณฑ์ข้างต้นได้ จากกิจกรรม 1.2



กิจกรรม 1.2 แบบจำลองโครงสร้างโลก

จุดประสงค์กิจกรรม

สร้างแบบจำลอง อธิบายและเปรียบเทียบการแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกล

วัสดุ-อุปกรณ์

โฟม ดินน้ำมัน กรรไกร คัตเตอร์ สี กระดาษ หรือวัสดุและอุปกรณ์อื่นตามความเหมาะสม

สถานการณ์

“โรงเรียนจะจัดนิทรรศการวิทยาศาสตร์เพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละระดับชั้น ซึ่งในห้องเรียนของนักเรียนได้รับมอบหมายให้นำเสนอความรู้เกี่ยวกับ “โครงสร้างโลก” โดยมีพื้นที่จัดแสดงขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร ให้นักเรียนออกแบบและสร้างแบบจำลองโครงสร้างโลกที่แสดงการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลอยู่ในแบบจำลองเดียวกัน โดยให้มีความหนาของแต่ละชั้นตามสัดส่วนจริง”

วิธีการทำกิจกรรม

1. นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนด
2. สืบค้นข้อมูล และอภิปรายเกี่ยวกับองค์ความรู้การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกล
3. ออกแบบโดยวาดภาพร่างให้มีสัดส่วนที่ถูกต้องและระบุวัสดุที่เลือกใช้ จากนั้นสร้างแบบจำลองตามที่ได้ออกแบบไว้
4. นำเสนอแบบจำลองและอภิปรายร่วมกัน
5. ปรับปรุงแบบจำลองให้ถูกต้องและสมบูรณ์



ตรวจสอบความเข้าใจ

ให้นักเรียนเติมข้อมูลการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกลงในตารางให้ถูกต้อง

ความลึก (กิโลเมตร)	ชั้นโครงสร้างโลก	
	แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี	แบ่งตามสมบัติเชิงกล
0-70	เปลือกโลก	ธรณีภาค
70-100		
100-400		
400-660		
660-2,900		
2,900-5,150		
5,150-6,370		แก่นโลกชั้นใน



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

- ข้อมูลสำคัญในการสนับสนุนการแบ่งชั้นโครงสร้างโลกทั้งการแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีและการแบ่งตามสมบัติเชิงกล เช่น องค์ประกอบทางเคมีของหินบนเปลือกโลก หินแปรกลบ ลอม อุกกาบาตที่พบบนโลก ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่เคลื่อนที่ผ่านภายในโลกสามารถนำมาใช้อธิบายสมบัติเชิงกลและองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างโลกแต่ละชั้น
- การศึกษาโครงสร้างโลกจากข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนที่เคลื่อนที่ผ่านภายในโลกนั้น จะใช้สมบัติของคลื่นในตัวกลางเป็นหลัก ซึ่งแบ่งออกเป็น คลื่นปฐมภูมิที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ทุกสถานะ และคลื่นทุติยภูมิที่เคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะตัวกลางที่มีสถานะเป็นของแข็ง โดยคลื่นทั้งสองชนิดจะเปลี่ยนแปลงความเร็วเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน
- การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกโดยใช้องค์ประกอบทางเคมีแบ่งได้เป็น 3 ชั้น ได้แก่ เปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก โดยเปลือกโลกมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของซิลิกอนและอะลูมิเนียม เนื้อโลกมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของซิลิกอน เหล็ก และแมกนีเซียม แก่นโลกมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบของเหล็กและนิกเกิล
- การแบ่งชั้นโครงสร้างโลกตามสมบัติเชิงกลแบ่งได้เป็น 5 ชั้น ได้แก่ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มัชฌิมภาค แก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน ซึ่งแต่ละชั้นมีสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ได้จากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นไหวสะเทือนที่เปลี่ยนไปในแต่ละระดับความลึกเมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นโครงสร้างโลก



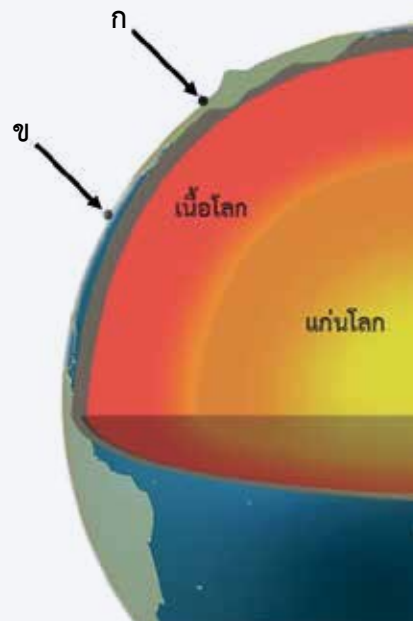
แบบฝึกหัดท้ายบท

- ลากเส้นเชื่อมโยงชื่อชั้นโครงสร้างโลกกับข้อความด้านขวาที่มีความสัมพันธ์กัน

(1) ธรณีภาค	ก. เป็นของแข็ง อุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นน้อยที่สุด หนาประมาณ 100 กิโลเมตร
(2) ฐานธรณีภาค	ข. เป็นของแข็ง อุณหภูมิสูง ความหนาแน่นมาก หนาประมาณ 2,240 กิโลเมตร
(3) มัชฌิมภาค	ค. เป็นของแข็งอุณหภูมิสูงมาก ความหนาแน่นมากที่สุด หนาประมาณ 1,230 กิโลเมตร
(4) แก่นโลกชั้นนอก	ง. เป็นของแข็งที่มีสมบัติเป็นพลาสติก อุณหภูมิสูง หนาประมาณ 600 กิโลเมตร
(5) แก่นโลกชั้นใน	จ. เป็นของเหลว อุณหภูมิสูงมาก ความหนาแน่นมาก หนาประมาณ 2,255 กิโลเมตร
- เติมชื่อชั้นโครงสร้างโลกให้สัมพันธ์กับสมบัติและองค์ประกอบของโครงสร้างโลก

ชั้นโครงสร้างโลก	องค์ประกอบทางเคมี	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)
1.	ประกอบด้วยแร่ที่เป็นสารประกอบของซิลิกอน ออกซิเจน แมกนีเซียม และเหล็ก	4.5
2.	ประกอบด้วยสารประกอบของเหล็กและนิกเกิล	13
3.	ประกอบด้วยหินแกรนิต หรือหินบะซอลต์ เป็นส่วนใหญ่	2.8

3. จากรูปโครงสร้างโลก บริเวณ ก และ ข ทั้งสองบริเวณ คือส่วนใดของโครงสร้างโลก และบริเวณทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร และมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นอย่างไร จงอธิบายและวาดรูปประกอบ (โดยคำนึงถึงมาตราส่วนจริง)

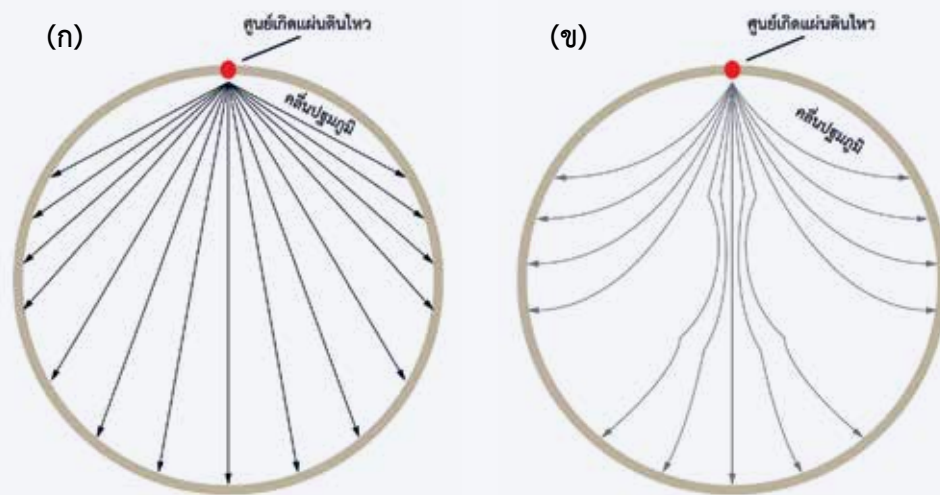


4. ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเติมเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ผิด

คำตอบ	ข้อความ
	1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชั้นเนื้อโลกส่วนหนึ่งได้ตัวอย่างมาจากหินแปรกล่อมในระดับลึกที่ลาวาพาขึ้นมาบนผิวโลก
	2. ผลจากการศึกษาอุกกาบาตเหล็กที่ตกลงมายังโลก เป็นหลักฐานหนึ่งที่ทำให้ทราบองค์ประกอบของแก่นโลก
	3. ถ้าแบ่งโครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมี แก่นโลกเป็นชั้นโครงสร้างโลกที่มีความหนามากที่สุด
	4. เปลือกโลกทวีปประกอบด้วยหินบะซอลต์เป็นส่วนมาก
	5. เปลือกโลกทวีปมีความหนาแน่นมากกว่าเปลือกโลกมหาสมุทร
	6. แหล่งกำเนิดคลื่นไหวสะเทือนมีทั้งที่มาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์
	7. คลื่นปฐมภูมิมีความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านธรณีภาคและมัชฌิมภาค และมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแก่นโลกชั้นนอก
	8. คลื่นทุติยภูมิไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างโลกที่มีสถานะเป็นของเหลวได้
	9. คลื่นปฐมภูมิมีความเร็วน้อยกว่าคลื่นทุติยภูมิ เมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ผ่านฐานธรณีภาค
	10. เขตความเร็วต่ำอยู่ในธรณีภาค และเขตเปลี่ยนแปลงอยู่ในฐานธรณีภาค

5. ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- 5.1 หากผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของหินก้อนหนึ่งพบว่าเป็นหินแกรนิต หินก้อนนี้มีกำเนิดมาจากส่วนใดของโลก
- 5.2 เนื้อโลกประกอบด้วยสสารในสถานะใด เป็นส่วนใหญ่
- 5.3 หลักฐานใดที่นำมาใช้ยืนยันว่าแก่นโลกชั้นนอกเป็นของเหลว
- 5.4 เพราะเหตุใดผลการศึกษาอุกกาบาตเหล็กจึงใช้เป็นข้อมูลอธิบายองค์ประกอบของแก่นโลกได้
- 5.5 นอกจากผลการศึกษาอุกกาบาตเหล็กแล้ว หลักฐานใดช่วยสนับสนุนว่าแก่นโลกประกอบด้วยเหล็กเป็นส่วนใหญ่
- 5.6 เพราะเหตุใดคลื่นไหวสะเทือนจึงเกิดการสะท้อนและหักเหเมื่อเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างโลก
- 5.7 เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างภายในโลกที่ได้จากการแปลความหมายแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นปฐมภูมิในภาพ ก และ ข



- 5.8 ลาวาที่ปะทุขึ้นมาบนผิวโลก มีแหล่งกำเนิดมาจากชั้นโครงสร้างใด
- 5.9 เขตความเร็วต่ำ มีสมบัติแตกต่างจากธรณีภาคอย่างไร
- 5.10 คลื่นทุติยภูมิที่เกิดขึ้นใหม่เมื่อคลื่นปฐมภูมิเคลื่อนที่ผ่านแก่นโลกชั้นนอกเข้าไปยังแก่นโลกชั้นใน สามารถเดินทางออกมาที่ผิวโลกได้หรือไม่ เพราะเหตุใด