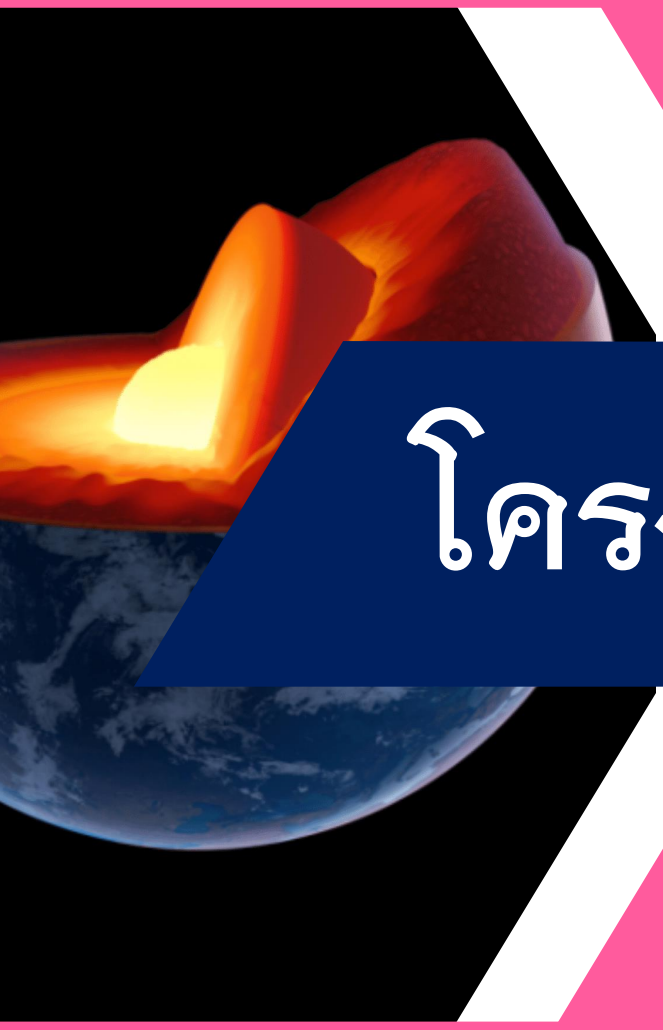
Faculty of Education
SUAN SUNANDHA RAJABHAT UNIVERSITY

เอกสารประกอบการสอน

รายวิชา วิทยาศาสตร์โลก



โครงสร้างโลก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรกมล ชูช่วย
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์

บทที่ 3

รูปร่าง ขนาด การเคลื่อนไหว โครงสร้างและส่วนประกอบของโลก

กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดภายในโลก ได้แก่ แผ่นดินไหว สึนามิ และภูเขาไฟระเบิด เป็นพิบัติภัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณี ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้ผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป เช่น ลดระดับต่ำลง ยกระดับสูงขึ้น บางพื้นที่มีการฉีกขาด เป็นต้น กระบวนการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน หรือเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ย่อมส่งผลกระทบและความเสียหายสู่มนุษย์ การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโลก การเปลี่ยนแปลงทางธรณีของโลก กระบวนการเกิดปรากฏการณ์ทางธรณี เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปหาสาเหตุ วิธีการปรับปรุงแก้ไข ตลอดจนเพื่อเตรียมรับมือป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ

โครงสร้างของโลก

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาโครงสร้างภายในของโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ การศึกษาข้อมูลทางตรงโดยการเจาะสำรวจ การศึกษาชุดหิน การศึกษาหินภูเขาไฟ นอกจากนี้ยังศึกษาจากส่วนประกอบทางเคมีของอุกกาบาตที่ตกลงมายังพื้นโลก และการศึกษาข้อมูลตัวอย่างหินจากดวงจันทร์

1. การศึกษาโครงสร้างโลก

การศึกษาโครงสร้างภายในโลก (Internal structure of the earth) โดยการตรวจจับคลื่นความไหวสะเทือน (Seismic wave) ด้วยเครื่องวัดความไหวสะเทือน (Seismograph) ในช่วงที่เกิดแผ่นดินไหวมีคลื่นที่เดินทางในเนื้อดินหรือหิน (Body wave) กับคลื่นบนพื้นผิว (Surface wave)

กิจการ พรหมมา (2555 : 18) อธิบายถึงคลื่นแผ่นดิวไหวที่ใช้ศึกษาส่วนประกอบและโครงสร้างภายในของโลกมี 2 ชนิด คือ คลื่นปฐมภูมิ (Primary wave) ซึ่งเป็นคลื่นที่ปรากฏขึ้นในเครื่องตรวจวัดลำดับแรกมีความเร็วมากที่สุด เคลื่อนที่ผ่านวัสดุทั้งของแข็งและของเหลว และคลื่นทุติยภูมิ (Secondary wave) หรือคลื่นเอส (S-wave) เป็นคลื่นที่มาถึงในลำดับถัดมา คลื่นชนิดนี้ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ แต่ไม่สามารถผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลว นอกจากคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิแล้วยังมี คลื่นพื้นผิว (Surface wave) ได้แก่ คลื่นเรย์ลี คลื่นเลิฟ หรือคลื่นสโตนลีย์ เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวด้วย แต่ไม่นิยมใช้แปลความหมายโครงสร้างของโลก

สง่า ตั้งชวาล (2555 : 4) อธิบายถึงคลื่นที่เดินทางในเนื้อดินหรือหิน สามารถจำแนกประเภทได้เป็นคลื่นตามยาว หรือคลื่นปฐมภูมิ หรือที่เรียกว่า คลื่นพี (P wave) และคลื่นตามขวาง หรือคลื่นทุติยภูมิ หรือที่เรียกว่า คลื่นเคส (S wave) สำหรับคลื่นบนผิว ได้แก่ คลื่นเลิฟ (Love wave) และคลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) แต่นิยมเรียกคลื่นบนผิวทั้งสองรวมกันว่าเป็นคลื่นแอล (L wave) ซึ่ง L ย่อมาจากคำว่า “Large wave” คลื่นแอลเป็นคลื่นที่เดินทางช้า แต่มีแอมพลิจูดขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดการทำลายอย่างใหญ่หลวงในแนวทางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน

สรุปได้ว่า การศึกษาโครงสร้างโลกภายในใช้การตรวจจับคลื่นไหวสะเทือน ซึ่งคลื่นไหวสะเทือน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คลื่นในตัวกลาง และคลื่นบนพื้นผิว มีรายละเอียดดังนี้

1) คลื่นในตัวกลาง เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ภายในเนื้อดินหรือหิน ใช้ในการศึกษาโครงสร้างโลกภายใน ซึ่งประกอบด้วยคลื่น 2 ชนิด ได้แก่ คลื่นปฐมภูมิ และคลื่นทุติยภูมิ

1.1) คลื่นปฐมภูมิ หรือคลื่นพี เป็นคลื่นที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เป็นคลื่นตามยาว อนุภาคของตัวกลางที่เกิดความไหวสะเทือนนั้นจะเกิดการเคลื่อนไหวแบบอัดขยายในแนวเดียวกันกับที่คลื่นส่งผ่านไป สถานีวัดแรงสั่นสะเทือนสามารถรับคลื่นนี้ได้ก่อนชนิดอื่น โดยมีความเร็วประมาณ 4 - 7 กิโลเมตรต่อวินาที (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 1)

1.2) คลื่นทุติยภูมิ หรือ คลื่นเอส เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะในตัวกลางที่เป็นของแข็งเท่านั้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลว เป็นคลื่นตามขวาง อนุภาคของตัวกลางที่เกิดความไหวสะเทือนนั้นจะเคลื่อนไหวตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นผ่าน มีทั้งแนวตั้งและแนวนอน คลื่นทุติยภูมิมีความเร็วประมาณ 2 - 5 กิโลเมตรต่อวินาที (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 1)

2) คลื่นบนพื้นผิว เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามผิวโลก ได้แก่ คลื่นเลิฟ และคลื่นเรย์ลี หรือเรียกคลื่นบนพื้นผิวทั้งสองรวมกันว่า คลื่นแอล เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ช้า แต่มีแอมพลิจูดขนาดใหญ่ ทำให้อาคาร สิ่งปลูกสร้าง ชำรุด และพังทลายได้

2. การแบ่งโครงสร้างตามลักษณะทางกายภาพ

สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย (2546 : 2) กิจการ พรหมมา (2555 : 19 - 20) และสง่า ตั้งชวาล (2555 : 4 - 7) แบ่งโครงสร้างภายในของโลกทางกายภาพ ออกเป็น 3 ส่วน คือ เปลือกโลก (Crust) เนื้อโลก และแก่นโลก มีรายละเอียดดังนี้

1) เปลือกโลก คือ เป็นส่วนประกอบนอกสุดของโลก ซึ่งเป็นของแข็งทั้งหมด น้ำและอากาศไม่ใช่ส่วนหนึ่งของเปลือกโลก แต่เข้ามาแทรกอยู่ในเปลือกโลกได้ ด้านนอกเปลือกโลกมีชั้นบรรยากาศห่อหุ้มไว้ เปลือกโลกแบ่งออกเป็นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปและเปลือกโลกใต้มหาสมุทร

2) เนื้อโลก คือ ส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกโลกลงไปจนถึงแก่นโลก แบ่งเป็นเนื้อโลกส่วนบนซึ่งเป็นของแข็ง และเนื้อโลกส่วนล่าง ซึ่งเป็นเหมือนพลาสติก

3) แก่นโลก คือ ใจกลางของโลก แบ่งออกเป็นแกนโลกส่วนนอก ซึ่งเป็นของเหลว และแก่นโลกส่วนใน ซึ่งเป็นของแข็ง

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2555 : 12-22 – 12-23) ได้กล่าวถึงการแบ่งโครงสร้างภายในของโลก สามารถแบ่งเป็น 5 ชั้น โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ธรณีภาคชั้นนอก (Lithosphere) ฐานธรณีภาค (Asthenosphere) มีโซสเฟียร์ (Mesosphere) แก่นโลกชั้นนอก (Outer Core) และแก่นโลกชั้นใน (Inner Core)

ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย (2561 : 3 - 4) ได้กล่าวถึง โครงสร้างภายในโลกโดยใช้เกณฑ์การเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นไหวสะเทือน แบ่งออกได้ 4 ชั้น คือ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มีโซสเฟียร์ และแก่นโลก

สรุปได้ว่า จากการศึกษาคลื่นไหวสะเทือน โดยใช้ผลจากการแปลความหมาย ทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง การสะท้อน และการหักเหของคลื่น สามารถแบ่งโครงสร้าง

ภายในของโลกตามลักษณะทางกายภาพเป็น 4 ส่วน คือ ธรณีภาค ฐานธรณีภาค มีโซสเฟียร์ และแก่นโลก ซึ่งรายละเอียดดังนี้

2.1 ธรณีภาค

ธรณีภาคเป็นส่วนนอกสุดของโลก ประกอบด้วยหินแข็ง ลึกจากผิวโลกลงไปประมาณ 110 กิโลเมตร การเคลื่อนที่ของคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิผ่านชั้นนี้จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ช่วง 6.4 - 8.4 กิโลเมตรต่อวินาที และ 3.7 - 4.8 กิโลเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 3) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เปลือกโลกทวีป (Continental crust) เปลือกโลกสมุทร (Oceanic crust) ซึ่งแมนเทิลชั้นบนสุด (Uppermost mantle) จะรองรับเปลือกโลกทวีปและเปลือกโลกสมุทรไว้

2.1.1 เปลือกโลกทวีป เป็นหินแกรนิต มีความหนาเฉลี่ย 35 กิโลเมตร ความหนาแน่น 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-22)

2.1.2 เปลือกโลกสมุทร เป็นหินบะซอลต์ มีความหนาเฉลี่ย 5 กิโลเมตร ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเปลือกทวีป (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-22)

2.2 ฐานธรณีภาค

ฐานธรณีภาคเป็นวัสดุเนื้ออ่อนอุณหภูมิประมาณ 600 - 1,000 องศาเซลเซียส เคลื่อนที่ด้วยกลไกการพาความร้อน (Convection) มีความหนาแน่นประมาณ 3.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-22) เป็นชั้นที่คลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่สม่ำเสมอ

2.3 มีโซสเฟียร์

มีโซสเฟียร์มีความลึกจากผิวโลกลงไปประมาณ 660 - 2,900 กิโลเมตร (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 4) เป็นบริเวณที่คลื่นไหวสะเทือน คือ คลื่นปฐมภูมิ และคลื่นทุติยภูมิ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เนื่องจากบริเวณส่วนล่างของมีโซสเฟียร์จะเป็นหินหรือสารที่มีสถานะเป็นของแข็ง อุณหภูมิประมาณ 1,000 - 3,500 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นประมาณ 5.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-23)

2.4 แก่นโลก

แก่นโลก แบ่งออกเป็นแก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 แก่นโลกชั้นนอก มีความลึกจากผิวโลกลงไปประมาณ 2,900 - 5,140 กิโลเมตร (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 4) เป็นชั้นที่คลื่นปฐมภูมิจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่คลื่นทุติยภูมิไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณชั้นนี้ได้ เนื่องจากบริเวณแก่นโลกชั้นนอกนี้จะประกอบด้วยสารที่มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งคลื่นทุติยภูมิจะผ่านได้เฉพาะสารที่เป็นของแข็งเท่านั้น มีอุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 - 3,500 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นประมาณ 5.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-23) เคลื่อนที่ด้วยกลไกการพาความร้อนทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโลก

2.4.2 แก่นโลกชั้นใน เป็นชั้นที่มีความลึกถัดจากแก่นโลกชั้นนอกลงไป คือ จากความลึกประมาณ 5,140 กิโลเมตร ลงไปจนถึงจุดศูนย์กลางของโลก (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 4) บริเวณแก่นโลกชั้นในนี้คลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่คงที่ เนื่องจากบริเวณนี้จะประกอบด้วยของแข็งที่มีความหนาแน่นเท่ากันเป็นเนื้อเดียวกัน คลื่นไหวสะเทือนทั้งสองจะ

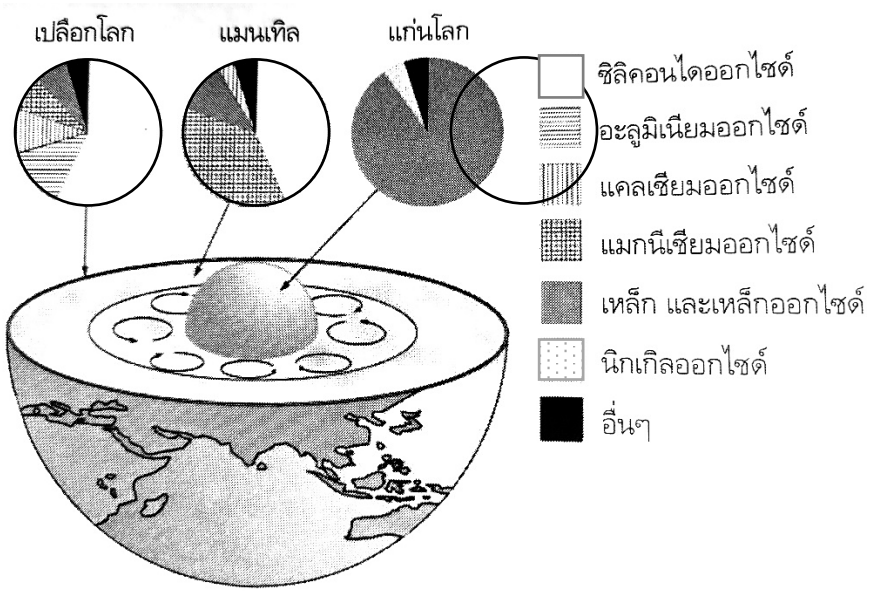
เคลื่อนที่ต่อไปจนถึงจุดศูนย์กลางของโลก คือ ที่ระดับความลึกประมาณ 6,371 กิโลเมตร เป็นธาตุเหล็กและนิกเกิลในสถานะของแข็ง ซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 5,000 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นประมาณ 12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-23)

2. การแบ่งโครงสร้างตามลักษณะทางเคมี

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2555 : 12-22 – 12-23) ได้กล่าวถึงการแบ่งโครงสร้างโลกออกเป็น 3 ชั้น โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมี คือ เปลือกโลก เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุดของโลก มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนที่อยู่ถัดลงไปจากเปลือกโลก คือ ชั้นแมนเทิล มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอนออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ส่วนชั้นในสุดของโลก เรียกว่า แก่นโลก มีองค์ประกอบหลักเป็นเหล็ก และนิกเกิล

ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย (2561 : 6 - 8) ได้กล่าวถึง การแบ่งโครงสร้างโลกโดยอาศัยส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของหิน รวมทั้งสารต่าง ๆ ที่อยู่ภายในโลกแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ เปลือกโลก ประกอบด้วยหินหลายชนิด แต่ส่วนมากจะเป็นผลึกของหินอัคนี เนื้อโลก ประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นของแข็ง มีแร่โอลิวีน (Olivine) จำนวนมาก ซึ่งแร่โอลิวีนมีองค์ประกอบเป็นธาตุแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก และธาตุซิลิกา ส่วนสุดท้ายแก่นโลก เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวร้อนจัด

สรุปได้ว่า การแบ่งโครงสร้างภายในของโลกออกเป็น 3 ชั้น โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมี คือ เปลือกโลก เนื้อโลก และแก่นโลก มีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างภายในของโลก
ที่มา : จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-20

2.1 เปลือกโลก

เปลือกโลกประกอบด้วยธาตุออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 46.6 และธาตุซิลิคอน ประมาณร้อยละ 27.7 นอกจากนั้น เป็นธาตุที่มีน้อยกว่าร้อยละ 10 ได้แก่ อะลูมิเนียม

เหล็ก แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-21) เปลือกโลกแบ่งออกได้เป็น 2 บริเวณ คือ เปลือกโลกทวีป และเปลือกโลกมหาสมุทร

2.1.1 เปลือกโลกทวีป หมายถึง ส่วนที่เป็นพื้นทวีปและไหล่ทวีป มีความหนาประมาณ 35-40 กิโลเมตร หรืออาจจะหนาถึง 70 กิโลเมตร ระดับความสูงเฉลี่ยของเปลือกโลกทวีปประมาณ 850 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 6) เปลือกโลกทวีปจะมีธาตุซิลิคอน ธาตุอะลูมิเนียม และหินแกรนิต

2.1.2 เปลือกโลกมหาสมุทร หมายถึง บริเวณที่อยู่ใต้มหาสมุทร มีความหนาแน่นประมาณ 5-10 กิโลเมตร ระดับลึกเฉลี่ยของเปลือกโลกมหาสมุทรอยู่ที่ 3,800 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเล (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 6) เปลือกโลกมหาสมุทรจะมีธาตุซิลิคอนและธาตุแมกนีเซียมอยู่จำนวนมาก เช่น มหาสมุทรแปซิฟิก มหาสมุทรอินเดีย มหาสมุทรแอตแลนติก หมู่เกาะฮาวายและประเทศไอซ์แลนด์ เป็นต้น

2.2 เนื้อโลก

เนื้อโลกอยู่ในชั้นถัดจากชั้นเปลือกโลก มีความหนาประมาณ 2,895 กิโลเมตร (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 6) ประกอบด้วยหินและแร่หลายชนิด บางส่วนของหินอยู่ในสถานะของเหลว เรียกว่า หินหนืด หรือแมกมา (Magma) ความดันและอุณหภูมิสูง 800 - 4,300 องศาเซลเซียส (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-21) แร่ธาตุที่สำคัญในชั้นนี้ ได้แก่ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก ซิลิคอน และออกซิเจน ชั้นแมนเทิลสามารถเคลื่อนตัวไปมาได้ในวงจำกัด อาจมีก๊าซและของแข็งรวมอยู่ด้วย เมื่อพุ่งออกมาสู่ผิวโลก เรียกว่า ลาวา (Lava) เมื่อเย็นและแข็งตัวเกิดเป็นหินอัคนี

2.3 แก่นโลก

เป็นส่วนที่อยู่ใจกลางของโลก มีความหนาแน่นมาก มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรัศมีประมาณ 3,475 กิโลเมตร อุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 2,200 – 27,500 องศาเซลเซียส ความดันมีค่าสูง 3 ถึง 4 ล้านเท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 7) แก่นโลกมีทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวร้อนจัด แก่นโลกจึงแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น คือ แก่นโลกชั้นนอก และแก่นโลกชั้นใน

2.3.1 แก่นโลกชั้นนอก อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 2,900 – 5,000 กิโลเมตร (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 8) มีลักษณะเป็นของเหลว คลื่นทุติยภูมิจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนี้ได้ มีธาตุเหล็กอยู่เป็นจำนวนมาก รองลงมา คือ ธาตุนิกเกิล มีความหนาประมาณ 2,100 กิโลเมตร อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 4,300 - 6,200 องศาเซลเซียส (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-22)

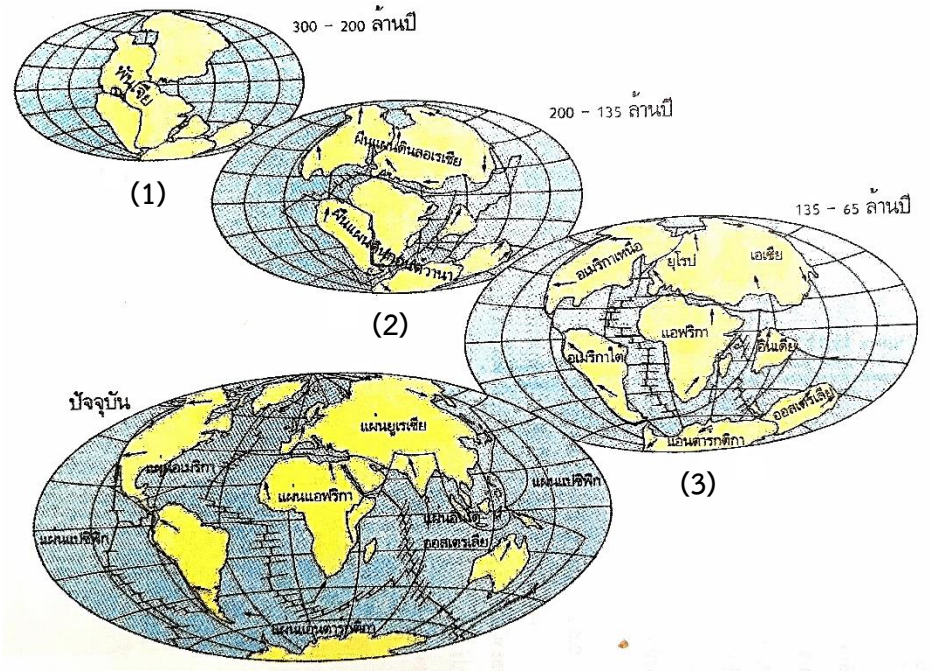
2.3.2 แก่นโลกชั้นใน อยู่ในระดับความลึกจากแก่นโลกชั้นนอกจนถึงจุดศูนย์กลางโลก ลึกประมาณ 5,000 กิโลเมตร (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 8) มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเป็นผลึก ทำให้คลื่นปฐมภูมิเคลื่อนที่ผ่านได้ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ของแข็งที่อยู่ในชั้นนี้จะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็นธาตุนิกเกิล มีความหนาประมาณ 1,300 กิโลเมตร อุณหภูมิราว 6,300 องศาเซลเซียส (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2555 : 12-22)

ทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน

ทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน (Plate tectonic theory) มีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาทางธรณีวิทยา ซึ่งช่วยในการแปลความหมาย ส่วนประกอบ โครงสร้าง และกระบวนการต่าง ๆ ภายในโลก คำว่า “เทคโทนิคส์ (Tectonics)” เป็นการศึกษาการเคลื่อนไหว และการแปรสภาพของเปลือกโลกในภาพรวม ทฤษฎีการแปรสัณฐานของแผ่นธรณี หรือทฤษฎีแผ่นเปลือกโลกเลื่อนได้อธิบายว่า ชั้นธรณีภาคแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แผ่นธรณีทวีป และแผ่นธรณีมหาสมุทร ซึ่งแผ่นธรณีหรือเพลต (Plate) จะเคลื่อนที่ไปบนพื้นของฐานธรณีภาค แผ่นธรณีมีการเคลื่อนที่ออกจากกัน เคลื่อนที่เข้าหากัน และเคลื่อนที่ผ่านกันหรือเฉือนกัน ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์แผ่นดินไหวหรือภูเขา สมมติฐานและหลักฐานที่เกี่ยวกับทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน มีดังนี้

1. สมมติฐานการเคลื่อนที่ทวีปของเวเกเนอร์

เมื่อปี พ.ศ. 2458 อัลเฟรด เวเกเนอร์ (Dr. Alfred Wegener) นักอุตุนิยมวิทยาชาวเยอรมัน ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับโลกว่า “เดิมผืนแผ่นดินทั้งหมดบนโลกได้ติดกันเป็นผืนแผ่นดินเพียงแผ่นเดียว” เรียกว่า “พันเจีย” (Pangaea) ซึ่งเป็นภาษากรีกแปลว่า “แผ่นดินทั้งหมด” พันเจียจะเป็นผืนแผ่นดินที่ปกคลุมทั้งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ โดยมีมหาสมุทรล้อมรอบ เรียกว่า พันทาลัสซา (Panthalassa) หลังจากนั้นอีกประมาณ 200 ล้านปี พันเจียเริ่มแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ลอเรเซีย และกอนด์วานา (ทวีศักดิ์ บุญบูชาไทย, 2561 : 18) ซึ่งลอเรเซียเป็นส่วนที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ประกอบด้วยทวีปต่าง ๆ คือ ทวีปอเมริกาเหนือ กรีนแลนด์ และทวีปยูเรเซีย ยกเว้นส่วนของทวีปอินเดีย ส่วนกอนด์วานาอยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร ประกอบด้วยทวีปต่าง ๆ คือ ทวีปอเมริกา ทวีปแอนตาร์กติกา ทวีปออสเตรเลีย รวมทั้งทวีปอินเดีย และเกาะมาดากัสการ์ แสดงดังภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเลื่อนของแผ่นธรณีภาคจากอดีตถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเลื่อนของแผ่นธรณีภาคจากอดีตถึงปัจจุบัน
ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548 : 43

จากภาพที่ 3.2 (2) กอนด์วานาทางตอนใต้ จะแตกและเคลื่อนแยกจากกันเป็นทวีปอินเดีย ทวีปเมริกาใต้ และทวีปแอฟริกา ในขณะที่ทวีปออสเตรเลียยังคงเป็นส่วนหนึ่งของกอนด์วานา จนเมื่อประมาณ 65 ล้านปีที่ผ่านมา มหาสมุทรแอตแลนติกแยกตัวกว้างขึ้น ทำให้ทวีปแอฟริกาเคลื่อนที่ห่างออกไปจากทวีปอเมริกาใต้ แต่ทวีปออสเตรเลียยังคงเชื่อมอยู่กับทวีปแอนตาร์กติกา และทวีปอเมริกาเหนือกับทวีปยุโรปก็ยังคงต่อเนื่องกัน ดังภาพที่ 3.2 (3) ต่อมามหาสมุทรแอตแลนติกขยายกว้างขึ้นอีก ทวีปอเมริกาเหนือและทวีปยุโรปจึงแยกออกจากกัน ทวีปอเมริกาเหนือโค้งเว้าเข้าเชื่อมกับทวีปอเมริกาใต้ ทวีปออสเตรเลียก็แยกออกจากทวีปแอนตาร์กติกา และทวีปอินเดียได้เคลื่อนที่ไปชนกับทวีปเอเชียจนเกิดเป็นภูเขาหิมาลัย ซึ่งทำให้เกิดแผ่นดินและมหาสมุทรเป็นดังที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548 : 42)

2. หลักฐานที่สนับสนุนสมมติฐานของเวเกเนอร์

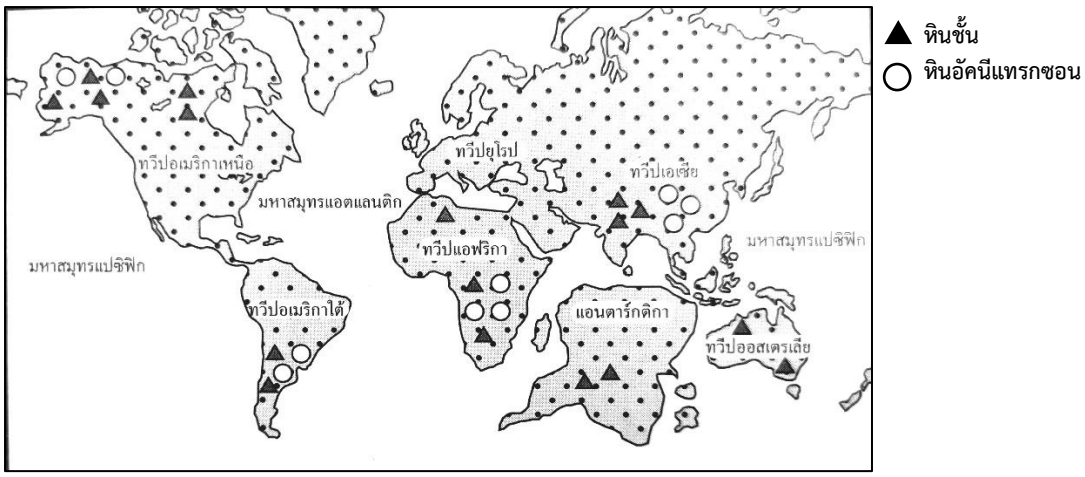
หลักฐานและข้อมูลทางธรณีภาคที่สนับสนุนสมมติฐานของเวเกเนอร์ สรุปได้ดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548 : 44 - 52 และทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 19 - 26)

2.1 รอยต่อของแผ่นธรณีภาค

หากนำภาพแต่ละทวีปมาต่อกันจะเห็นได้ว่า สามารถต่อกันได้เกือบสนิทพอดี เช่น ถ้านำขอบทวีปอเมริกาเหนือ และขอบของทวีปอเมริกาใต้มาต่อกัน จะรวมกันเป็นแผ่นทวีปเดียวกัน เรียกว่า ทวีปอเมริกา ซึ่งเป็นเหตุผลที่สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ทวีปทั้งสองเคยเป็นผืนแผ่นเดียวกันในอดีต แล้วต่อมาได้แยกออกจากกันโดยเคลื่อนไปทางทิศตะวันตกส่วนหนึ่ง และทิศตะวันออกอีกส่วนหนึ่ง แผ่นทวีปมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา จนมีตำแหน่งและรูปร่างของทวีปทั้งสองเหมือนในปัจจุบัน ซึ่งเซอร์เอดวาร์ด บูลลาร์ด (Sir Edward Bullard) นักธรณีฟิสิกส์ ชาวอังกฤษและคณะได้ทำการทดลองโดยใช้ขอบทวีปต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 2,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ซึ่งจะเป็นแนวลาดทวีป เนื่องจากบริเวณขอบของทวีปจะมีการสึกกร่อนโดยกระแสน้ำเกิดขึ้น และบริเวณนี้จะมีการสะสมของตะกอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งเป็นหลักฐานยืนยันว่าเดิมทวีปดังกล่าวติดกัน

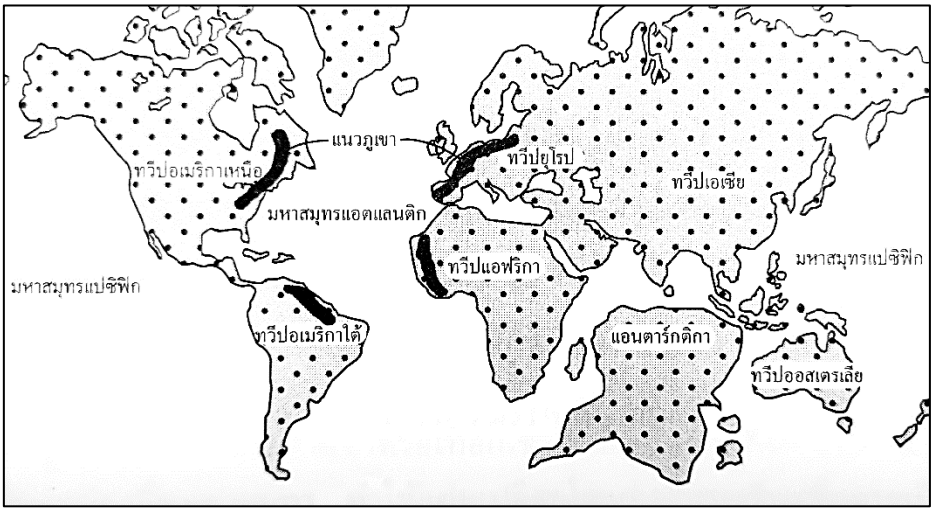
2.2 ความคล้ายคลึงกันของกลุ่มหินและแนวภูเขา

จากหลักฐานหินชั้น และหินอัคนีแทรกซอน ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก นั่นคือ ในช่วง 359 - 456 ล้านปี ที่มีการค้นพบในทวีปอเมริกาใต้ ทวีปแอนตาร์กติกา ทวีปแอฟริกา ทวีปออสเตรเลีย และทวีปอินเดีย ซึ่งหินเหล่านี้พบที่ทางตอนเหนือของทวีปอเมริกา และยังพบหินเหล่านี้บางส่วนของทวีปออสเตรเลีย ตอนใต้ของทวีปแอฟริกา และทวีปแอนตาร์กติกา ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า ทวีปเหล่านี้ได้เคยเป็นผืนแผ่นดินเดียวกันและได้แยกจากกันในเวลาต่อมา แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 หลักฐานหินชั้นและหินอัคนีแทรกซอน
ที่มา : ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 21

หลักฐานแนวภูเขาของภาคพื้นทวีป จะมีลักษณะเป็นแนวยาว และแคบ ในยุคปาลิโอโซอิคจะเกิดแนวเทือกเขาแอฟพาเลเชียน (Appalachian Mountains) ในฝั่งตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือ แนวเทือกเขานี้จะมีอายุใกล้เคียงกับแนวภูเขาที่พบในทวีปยุโรป ได้แก่ แนวภูเขาที่พบในบริเวณด้านตะวันออกของเกาะกรีนแลนด์ ไอร์แลนด์ ประเทศอังกฤษ และประเทศนอร์เวย์ ซึ่งเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า เดิมทวีปต่าง ๆ มีการติดกันมาก่อน แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 หลักฐานแนวภูเขาในทวีปอเมริกาเหนือและทวีปยุโรป
ที่มา : ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 21

2.3 หลักฐานการสะสมตัวของตะกอนจากธารน้ำแข็ง

ยุคน้ำแข็งในช่วงปลายของมหายุคพาลีโอโซอิกพบหลักฐานที่ว่า แผ่นดินบริเวณที่เคยเป็นส่วนหนึ่งของผืนทวีปกอนด์วานาถูกปกคลุมด้วยแผ่นน้ำแข็ง เมื่อนำหลักฐานของหินตะกอนที่

เกิดจากการทับถมกันของน้ำแข็งที่มีอายุเดียวกัน และสังเกตรอยขูดขีดในหินที่พบในทวีปต่าง ๆ มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งรอยต่าง ๆ เหล่านี้ เกิดจากการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งที่ไหลครูดไปยังพื้นทวีป จึงเป็นหลักฐานสนับสนุนสมมติฐานที่ว่า ทวีปต่าง ๆ เคยต่อเป็นทวีปเดียวกัน

2.4 หลักฐานการพบซากดึกดำบรรพ์

มีการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ในทวีปต่าง ๆ ซึ่งอยู่ห่างไกลกัน ซากดึกดำบรรพ์ที่ค้นพบเป็นหลักฐานยืนยันว่า ทวีปต่าง ๆ ในอดีตเคยอยู่ติดกัน ได้แก่

2.4.1 ลีสโทรซอรัส (Lystrosaurus) เป็นสัตว์เลื้อยคลานที่อาศัยอยู่บนบก แต่พบซากดึกดำบรรพ์ได้ทั้งในทวีปอเมริกาใต้ ทวีปแอฟริกา และทวีปแอนตาร์กติกา ซึ่งทวีปเหล่านี้จะมีมหาสมุทรคั่นอยู่ ดังนั้น ลีสโทรซอรัสซึ่งเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่บนบก ไม่สามารถที่จะว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรมายังแต่ละทวีปที่เป็นกอนด์วานาได้ จึงยืนยันได้ว่า ผืนทวีปกอนด์วานาเดิมมีทวีปต่าง ๆ เชื่อมต่อกันถึง

2.4.2 ไซโนกาทัส (Cynognathus) เป็นสัตว์เลื้อยคลานที่อาศัยอยู่บนบก เช่นเดียวกันกับลีสโทรซอรัส พบไซโนกาทัสได้ตามทวีปต่าง ๆ ของกานด์วานา ซึ่งสัตว์ดังกล่าวไม่สามารถว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรมายังทวีปต่าง ๆ ได้ จึงยืนยันสมมติฐานการเชื่อมต่อกันของทวีปที่ในอดีตอยู่ติดกันเป็นกอนด์วานา

2.4.3 มีโซซอรัส (Mesosaurus) เป็นสัตว์เลื้อยคลานที่อาศัยในน้ำจืด พบซากดึกดำบรรพ์ในทวีปอเมริกาใต้และในทวีปแอฟริกาตอนใต้ ซึ่งทั้งสองทวีปมีมหาสมุทรคั่นอยู่ มีโซซอรัสไม่สามารถที่จะว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรได้ จึงยืนยันได้ว่า ทวีปทั้งสองนี้เคยเชื่อมต่อถึงกัน

2.4.4 กลอสโซพเทรีส (Glossopteris) เป็นพืชตระกูลเฟิร์นที่มีเมล็ด ใช้สปอร์ในการขยายพันธุ์ โดยมีลมเป็นสื่อนำสปอร์ไปตกยังที่ต่าง ๆ ซึ่งสามารถพบกลอสโซพเทรีสได้ในทวีปต่าง ๆ ของกอนด์วานาได้ จึงสันนิษฐานได้ว่า ลมคงไม่สามารถพัดสปอร์ให้ไปตกไกลข้ามมหาสมุทรได้ แสดงว่า ทวีปต่าง ๆ เคยเป็นผืนเดียวกัน

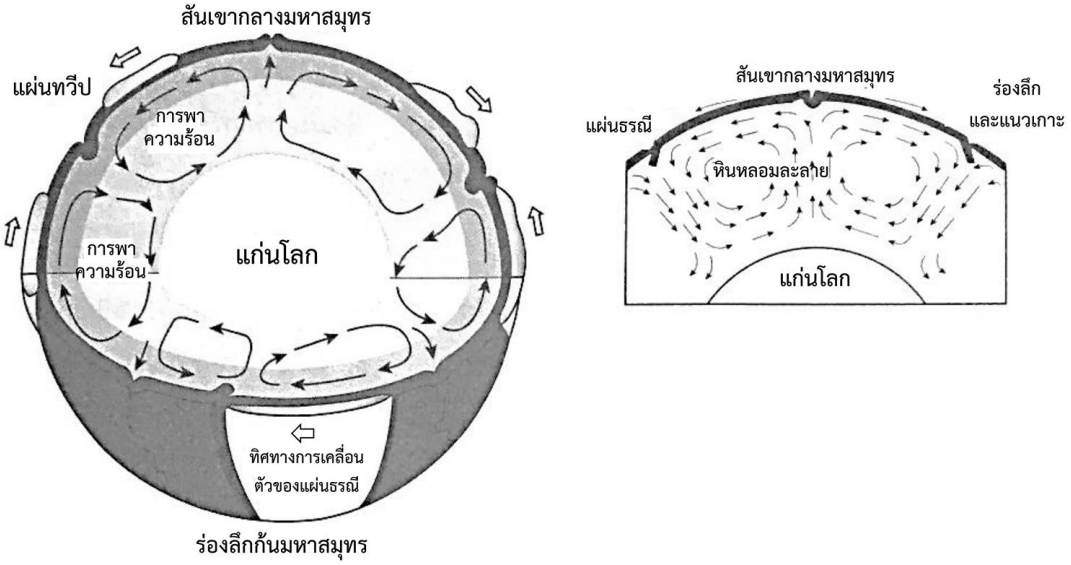
2.5 สันเขาใต้สมุทรหรือเทือกสันเขาใต้สมุทร และร่องลึกใต้สมุทร

2.5.1 สันเขาใต้สมุทรหรือเทือกสันเขาใต้สมุทร การที่บริเวณท้องมหาสมุทรถูกยกตัวให้สูงขึ้นจากความร้อนภายในเนื้อโลก จะทำให้ทะเลปรากฏมีภูเขาเกิดขึ้น บริเวณศูนย์กลางของมหาสมุทรแอตแลนติกมีแนวภูเขาใต้ท้องทะเลที่ปรากฏขึ้นตรงกลางของมหาสมุทร เรียกว่า สันเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติก (Mid Atlantic Ridge) มีลักษณะฐานกว้าง ขนาดและความสูงคล้ายกับเทือกเขาร็อกกี้ที่จมตัวลงไปใต้ท้องทะเล สันเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติกนี้จะเป็นแนวเทือกเขายาวต่อเนื่องจากมหาสมุทรแอตแลนติกตอนเหนือไปยังมหาสมุทรแอตแลนติกตอนใต้ แนวเทือกเขาด้านหนึ่งขนานไปกับชายฝั่งของทวีปอเมริกา อีกด้านหนึ่งขนานไปกับชายฝั่งของทวีปยุโรปและทวีปแอฟริกา ตามรูปร่างของทวีปแนวสันเขาดังกล่าวนี้ แสดงว่า แนวของเปลือกโลกมีการแตกแล้วเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น ผิวโลกใต้ท้องมหาสมุทรจะถูกดึงให้แยกออกจากกันกลายเป็นหุบเขาทรุด (Rift Valley) มีลักษณะเป็นรอยแตก

2.5.2 ร่องลึกใต้สมุทร (Trench) มีลักษณะเป็นร่องยาว ลึก และแคบ ได้แก่ ร่องลึกมาเรียนา ร่องลึกญี่ปุ่น ร่องลึกแคโรลิน ร่องลึกปาลัว และร่องลึกมินดาเนา ประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งสามารถที่จะพบได้ที่บริเวณขอบของทวีป ได้แก่ บริเวณด้านตะวันตกของทวีปอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ หรือเกิดตามแนวหมู่เกาะรูปโค้ง ได้แก่ หมู่เกาะฮอนชู ประเทศญี่ปุ่น เกาะฟิลิปปินส์ และเกาะสุมาตรา

3. กระบวนการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี

การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีเกิดจากการเคลื่อนที่ของหินหลอมละลายหรือสารร้อนภายในโลกที่เกิดขึ้น เรียกว่า หินหนืด เช่นเดียวกับการพาความร้อนในอากาศ หินหนืดในฐานธรณีภาคมีการเคลื่อนที่โดยเชื่อว่า เกิดขึ้นจากการพาความร้อน เรียกว่า ทฤษฎีวงจรการพาความร้อน (Convection Cell Theory) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี กล่าวคือ หินหนืดที่ร้อนจัดจะลอยตัวสูงขึ้นสู่เปลือกโลก ไล่หินหนืดที่เย็นกว่าให้ไหลลงไปด้านล่าง เมื่อหินหนืดเย็นได้รับความร้อนจากส่วนลึกกว่าก็จะร้อนขึ้นแล้วลอยตัวขึ้นใหม่ เกิดการหมุนเวียนของหินหนืดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน (กิจการ พรหมมา, 2555 : 25) และทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 28 - 29) แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การพาความร้อนของหินหลอมละลายที่ชั้นเนื้อโลก
ที่มา : ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย, 2561 : 29

การพาความร้อนมีทิศทางหนีออกจากกัน ส่งผลให้เปลือกโลกแยกออกจากกัน แนวแผ่นเปลือกโลกแยกตัว (Divergent plate boundary) คือ บริเวณที่แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่ออกจากกัน เกิดได้ทั้งกลางมหาสมุทรและกลางผืนทวีป ส่วนที่อยู่กลางมหาสมุทรมียอดเขาใต้ทะเล เรียกว่า เทือกเขากลางสมุทร (Mid oceanic ridge) เมื่อแผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่ออกจากกัน ทิศทางการเคลื่อนที่จะออกจากจุดศูนย์กลางของการแยกตัว รอยแตกที่เกิดขึ้นจะถูกแทรกดันด้วยลาวา ซึ่งต่อมาเย็นตัวลงจะกลายเป็นหินบะซอลต์ กลายเป็นเปลือกโลกใต้มหาสมุทรที่เกิดขึ้นใหม่ พื้นมหาสมุทรจะขยายกว้างมากขึ้นเรื่อย ๆ เรียกว่า การแยกตัวของพื้นสมุทร (Seafloor spreading)

คำถามทบทวน

1. อธิบายโครงสร้างภายในของโลก และบอกประโยชน์ของการศึกษาโครงสร้างภายในโลก
2. หลักฐานอะไรบ้างที่สนับสนุนแนวความคิดเกี่ยวกับทฤษฎีแผ่นธรณีภาคเลื่อน
3. การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของพืชตระกูลเฟิร์น ชื่อ กลอสซอพเทอริส ในแผ่นดินของทวีปแอฟริกา ทวีปเอเชีย และทวีปออสเตรเลีย สามารถบอกความเป็นมาของแผ่นทวีปได้อย่างไร

เอกสารอ้างอิง

กิจการ พรหมมา. (2555). **ธรณีวิทยา สำหรับวิศวกร.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป. (2555). **ประมวลสาระชุดวิชา หน่วยที่ 11 - 15 ฟิสิกส์และดาราศาสตร์สำหรับครู.** นนทบุรี : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ทวีศักดิ์ บุญบูชาไชย. (2561). **โลก ดาราศาสตร์ อวกาศ.** นนทบุรี : โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์.

ปัญญา จารุศิริ และมนตรี ชูวงษ์. (2558). **ภูมิศาสตร์กายภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.

สง่า ตั้งชวาล. (2555). **ธรณีวิศวกรรม ขั้นพื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2548). **โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย. (2546). **ธรณีวิทยาน่ารู้.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.