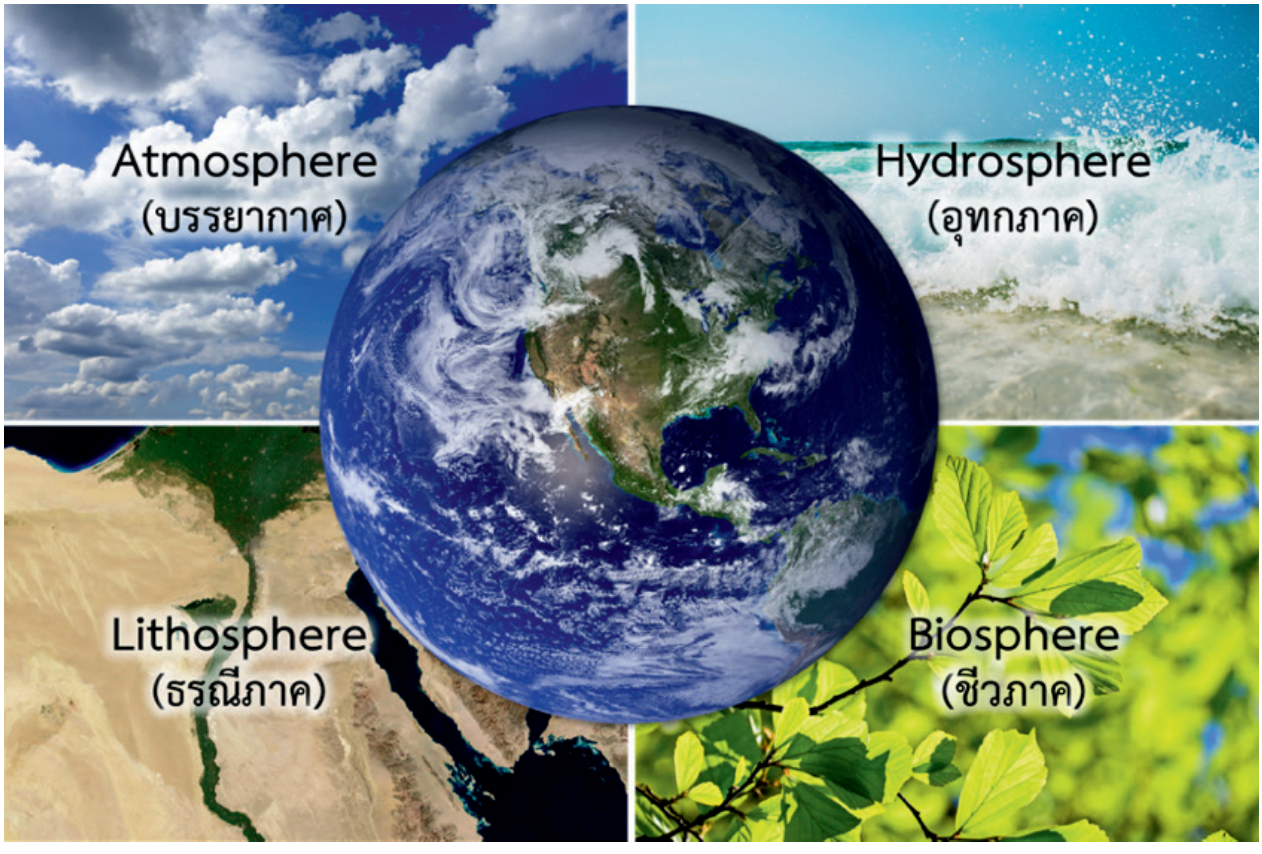
ธรณีวิทยา 1

หลักธรณีวิทยาและระบบวิทยาศาสตร์โลก วัสดุโลก:แร่ หินอัคนี หินตะกอนและหินแปร การแปรสัณฐานแบบแผ่น โครงสร้างและองค์ประกอบภายในของโลก ภูเขาไฟและกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้อง การเปลี่ยนแปลงเปลือกโลกและธรณีวิทยาโครงสร้างเบื้องต้น แผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ธรณีวิทยา

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

ธรณีวิทยา 1


Atmosphere
(บรรยากาศ)
Hydrosphere
(อุทกภาค)
Lithosphere
(ธรณีภาค)
Biosphere
(ชีวภาค)

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณาจารย์มหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยฝึกอบรมรวมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 7 สาขา จนถึงปัจจุบันรวม 20 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียง ได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศอีก 35 ราย รวมทั้งสิน 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปเข้าแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทยยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลาน้อยเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุนโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้งมูลนิธิ สอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยาตามความถนัดทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

ตำราวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ สอวน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) ได้ดำเนินโครงการตำราคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั้งระดับมัธยมศึกษาต้อนต้นและปลายรวมทั้งที่ปรับปรุงแล้ว จำนวน 32 เล่ม ในสาขาวิชาต่าง ๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ ภูมิศาสตร์ รวมทั้งวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศเพื่อใช้ในการพัฒนาศักยภาพของนักเรียนไทยให้เทียบเท่ามาตรฐานสากลและสามารถแข่งขันโอลิมปิกวิชาการได้เต็มความสามารถ ทั้งนี้เพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระนางเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ผู้ก่อตั้งมูลนิธิ สอวน. และสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี องค์ประธานมูลนิธิ สอวน. ปัจจุบันส่งผลให้การ จัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการได้รับความสำเร็จอย่างสูง

ในการจัดการแข่งขันวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศระหว่างประเทศ เป็นการแข่งขันของนักเรียนที่มีอายุระหว่าง 14-18 ปี ที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น - มัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสนใจการศึกษาวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศอย่างกว้างขวาง

การเตรียมความพร้อมเพื่อจัดส่งนักเรียนไทยไปแข่งขัน มูลนิธิ สอวน. จึงจำเป็นต้องมีตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของการแข่งขันวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศระหว่างประเทศเพื่อใช้ในการอบรมครูและคัดเลือกนักเรียน รวมทั้งใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับครูและนักเรียนที่มีความสนใจตำราวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศโอลิมปิกที่มูลนิธิ สอวน. จัดทำขึ้น เขียนและเรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์สูง รวมทั้งมีส่วนร่วมในการคัดเลือกและอบรมนักเรียนที่จะเป็นตัวแทนประเทศไทยไปแข่งขันวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดเชิงวิเคราะห์และความรู้ด้านทักษะที่จำเป็นในงานภาคสนามด้วย

มูลนิธิ สอวน. หวังว่าตำรานี้จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียน การสอนและยกระดับมาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศให้เทียบเท่าระดับสากล ตามพระราชประสงค์ของสมเด็จพระเทพรัตน์ราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี องค์ประธานมูลนิธิ สอวน. สืบไป

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา	รองประธานมูลนิธิ สอวน.
2. รองศาสตราจารย์ ดร. กำจัด มงคลกุล	กรรมการมูลนิธิ สอวน.
3. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมณฑา พรหมบุญ	กรรมการมูลนิธิ สอวน.
4. รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รดชตะนานุกูล	เลขาธิการมูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการดำเนินงานตำราธรณีวิทยา

1. รองศาสตราจารย์ เย็นใจ สมวิเชียร	ที่ปรึกษา
2. ดร. ปริญญา พุทธาพิบาล	ที่ปรึกษา
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์	ประธาน
4. รองศาสตราจารย์ ดร. พิษณุพงศ์ กาญจนพยนต์	รองประธาน
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัชร์สุ วรรณขาว	กรรมการ
6. นายมานพ รักษาสกุลวงศ์	กรรมการ
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บูรพา แพจุ้ย	กรรมการ
8. รองศาสตราจารย์ ดร. ดนุพล ตันนโยภาส	กรรมการ
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยพงษ์ เชนร้าย	กรรมการและเลขานุการ

คณะผู้เขียนวิชาธรณีวิทยา 1

1. ดร. ปริญญา พุทธาพิบาล	Ph.D. (Geoscience) La Trobe University Melbourne, Australia
2. ผศ.ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์	Ph.D. (Geology) King's College, U of London, U.K.
3. รศ.ดร. บูรพา แพจุ้ย	วท.ด. (ธรณีวิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. ผศ.ดร. วรัญทร คณิตปัญญาเจริญ	Ph.D. (Earth and Planetary Science) U. of California Berkeley, USA
5. ดร. ยุพา ทาโสด	วท.ด. (ธรณีวิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. ผศ.ดร. วิชัย จูฑะโกสิทธิ์กานนต์	Ph.D. (Geology) University of Tsukuba, Japan
7. ผศ. พัชร์สุ วรรณขาว	วท.ม. (ธรณีวิทยา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะบรรณาธิการกิจ

1. ผศ.ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์
2. ดร. ปริญญา พุทธาพิบาล
3. ผศ. ปองศักดิ์ พงษ์ประยูร

จัดทำต้นฉบับ

นางสาวชวิศา ภู่เจริญชัยวรรณ	MSc (Geoscience) University College London, U.K.

คำนำ

วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับภาคต่างๆ ของโลก ได้แก่ ธรณีภาค (geosphere) อุทกภาค (hydrosphere) บรรยากาศ (atmosphere) และชีวภาค (biosphere) ภาคต่างๆ เหล่านี้มีการเชื่อมโยงซึ่งกันและกันตลอดเวลา มนุษย์สามารถสังเกตได้และในหลายกรณีสามารถจับต้องได้ ตัวอย่างเช่น การเลือกพื้นที่สำหรับเป็นที่อยู่อาศัย เป็นที่เพาะปลูก การเลือกปลูกพืชที่แตกต่างกันตามลักษณะของภูมิอากาศ การหาทรัพยากรหิน แร่ แร่เชื้อเพลิง ฯลฯ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเมืองใหญ่ให้ห่างไกลจากพิบัติภัย อาทิ แผ่นดินไหว น้ำท่วม ดินถล่ม หรือหากจำเป็นต้องตั้งเมืองบริเวณที่มีความเสี่ยง ก็จะมีการป้องกันเพื่อให้เกิดผลกระทบจากภัยพิบัติน้อยที่สุด

การจัดทำตำราวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศได้แบ่งออกเป็น 4 เล่ม ได้แก่ 1) ธรณีวิทยา เล่ม 1 – 2 2) อุตุนิยมวิทยา 3) ดาราศาสตร์ สำหรับตำราธรณีวิทยา เล่ม 1 – 2 แบ่งออกเป็น 13 บท ประกอบด้วย บทนำ (บทที่ 1) วัสดุของโลก (บทที่ 2, 3) กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในโลก (บทที่ 4, 5, 6 และ 7) อายุทางธรณีวิทยา (บทที่ 8, 9) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก (บทที่ 10, 11, 12 และ 13)

มูลนิธิ สอวน. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาธรณีวิทยาในประเทศไทยสืบไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์
ประธานคณะกรรมการดำเนินงานตำราธรณีวิทยา

ISBN : 978-616-8242-01-8
สงวนลิขสิทธิ์
จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2562 (2019)
ออกแบบโดย
พิมพ์ที่ บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด
แยกสี/เพลท บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

จัดจำหน่ายโดย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 http://www.chulabook.com
ร้านค้า ติดต่อแผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1374-5 โทรสาร 0-2374-1377

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	**หลักธรณีวิทยาและระบบวิทยาศาสตร์โลก**	**1**
	1.1 บทนำ	1
	1.2 ขนาดและเวลา	1
	1.3 วิวัฒนาการการเกิดโลกในช่วงแรกๆ	3
	1.4 ธรณีวิทยา	4
	1.5 เอกรูปนิยม	4
	1.6 การศึกษาทางธรณีวิทยา	5
	1.7 มองโลกอย่างเป็นระบบ	16
	1.8 ธรณีวิทยากับการพัฒนา	19
	เอกสารอ้างอิง	20
บทที่ 2	**วัสดุโลก: แร่**	**21**
	2.1 นิยามและความสำคัญของแร่	22
	2.1.1 เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ	22
	2.1.2 เป็นของแข็งเนื้อเดียว	22
	2.1.3 เป็นสารอนินทรีย์	22
	2.1.4 มีสูตรเคมีที่แน่นอน	22
	2.1.5 มีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ	22
	2.2 โครงสร้างภายในผลึก (Internal crystal structure)	23
	2.2.1 อะตอม (atom)	23
	2.2.2 ธาตุ (Element)	24
	2.2.3 ผลึก (crystal)	24
	2.2.4 พันธะเคมี	24
	2.2.4.1 พันธะไอออนิก (ionic bond)	24
	2.2.4.2 พันธะโคเวเลนต์ (covalent bond)	25
	2.2.4.3 พันธะโลหะ (metallic bond)	26
	2.2.4.4 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force)	27
	2.3 ผลึกศาสตร์ (crystallography)	27
	2.3.1 ระบบสามแกนเท่า (Isometric system)	30
	2.3.2 ระบบสองแกนเท่า (Tetragonal system)	30
	2.3.3 ระบบสามแกนราบ (Hexagonal system)	30

หน้า

2.3.4 ระบบสามแกนต่าง (Orthorhombic system) 30
2.3.5 ระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic system) 30
2.3.6 ระบบสามแกนเอียง (Triclinic system) 31
2.4 สมบัติทางกายภาพของแร่ 32
2.4.1 ลักษณะผลึก (crystal habit) 32
2.4.2 แนวแตกเรียบ (cleavage) 34
2.4.3 แนวแยก (parting) 35
2.4.4 รอยแตก (fracture) 35
2.4.5 ความแข็ง (hardness) 36
2.4.6 ความแกร่ง หรือความเหนียว (tenacity) 37
2.4.7 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity, S.G.) 37
2.4.8 สีของแร่ (color) 38
2.4.9 สีผง (streak) 39
2.4.10 การเล่นสี (play of colors) 39
2.4.11 ความโปร่ง (diaphaneity) 40
2.4.12 ความวาว (luster) 40
2.4.13 การเรืองแสง (luminescence) 41
2.4.14 การหักเหของแสง (refraction) 42
2.4.15 สมบัติทางกายภาพอื่นๆ (other properties) 43
2.5 การกำเนิดและการจัดจำแนกแร่ (Mineral classification) 44
2.5.1 แร่กลุ่มซิลิเกต (Silicates) 44
2.5.1.1 กลุ่มนีโซซิลิเกต (Nesosilicate or Island silicate) 45
2.5.1.2 กลุ่มโซโรซิลิเกต (Sorosilicate or Bow tie silicate) 46
2.5.1.3 กลุ่มไซโคลซิลิเกต (Cyclosilicate or Ring silicate) 46
2.5.1.4 อินโนซิลิเกต (Inosilicate or Chain silicate) 46
2.5.1.5 กลุ่มฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicate or Sheet silicate) 47
2.5.1.6 กลุ่มเทคโทซิลิเกต (Tectosilicate or Framework silicate) 48
2.5.2 กลุ่มออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ (oxides and hydroxide) 49
2.5.3 กลุ่มซัลไฟด์ (sulphides) 49
2.5.4 กลุ่มเฮไลด์ (halides) 49
2.5.5 กลุ่มคาร์บอเนต (carbonates) 50
2.5.6 กลุ่มบอร์เรต (borate) 50
2.5.7 กลุ่มซัลเฟต (sulphates) 51

หน้า

2.5.8 ฟอสเฟต (phosphates) 51
2.5.9 ธาตุบริสุทธิ์ (native elements) 51
2.5.9.1 โลหะธรรมชาติ (native metal) 51
2.5.9.2 กึ่งโลหะธรรมชาติ (native semimetal) 52
2.5.9.3 อโลหะธรรมชาติ (native nonmetal) 53
เอกสารอ้างอิง 54

บทที่ 3 วัสดุโลก: หิน 55
3.1 นิยามของหินและวัฏจักรของหิน 56
3.2 หินอัคนี (Igneous rock) 57
3.2.1 การกำเนิดหินหนืด (Origin of magma) 57
3.2.2 องค์ประกอบของหินหนืด (Composition of magma) 61
3.2.3 การตกผลึกของหินหนืด (Crystallization of magma) 63
3.2.4 แร่ประกอบหินอัคนี (Igneous rock-forming minerals) 64
3.2.5 การจำแนกหินอัคนี (igneous classification) 66
3.2.5.1 เนื้อหิน (texture) 67
3.2.5.2 องค์ประกอบแร่ (mineral composition) 68
3.2.6 หินอัคนีที่สำคัญและควรรู้จัก 68
3.2.6.1 หินแกรนิต (granite) 68
3.2.6.2 หินไรโอไลต์ (rhyolite) 69
3.2.6.3 หินไดออไรต์ (diorite) 69
3.2.6.4 หินแอนดีไซต์ (andesite) 70
3.2.6.5 หินแกบโบร (gabbro) 70
3.2.6.6 หินบะซอลต์ (basalt) 71
3.2.6.7 หินเพริโดไทต์ (peridotite) 71
3.2.6.8 หินทัฟฟ์ (tuff) 72
3.2.6.9 หินพัมมิซ (pumice) 72
3.2.6.10 หินแก้วภูเขาไฟ หรือ หินออบซิเดียน (obsidian) 73
3.3 หินตะกอน (sedimentary rocks) 73
3.3.1 เนื้อหินตะกอน (sedimentary textures) 74
3.3.1.1 เนื้อประสม (clastic textures) 74
3.3.1.2 เนื้อประสาน (non-clastic texture) 77
3.3.2 ต้นกำเนิดและการพัดพาของตะกอน
(origin and transportation of sediments) 77

หน้า

3.3.3 การแข็งเป็นหิน (lithification) 82
3.3.4 การจำแนกหินตะกอน (classification of sedimentary rocks) 84
3.3.4.1 หินตะกอนเนื้อประสม (clastic sedimentary rocks) 84
3.3.4.2 หินตะกอนเนื้อประสาน (non-clastic sedimentary rocks) 88
3.3.5 ลักษณะเฉพาะของหินตะกอน (characteristics of sedimentary rock) 92
3.4 หินแปร (metamorphic rock) 94
3.4.1 การแปรสภาพ (metamorphism) 94
3.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแปรสภาพ (Factors of metamorphism) 94
3.4.3 ชนิดของการแปรสภาพ 96
3.4.3.1 การแปรสภาพแบบสัมผัส (contact metamorphism) 96
3.4.3.2 การแปรสภาพแบบแตกหักบดอัด (cataclastic metamorphism) 96
3.4.3.3 การแปรสภาพบริเวณไพศาล (regional metamorphism) 97
3.4.3.4 การแปรสภาพจากการกดทับ (burial metamorphism) 98
3.4.4 ลักษณะเนื้อหินของหินแปร (texture of metamorphic rocks) 99
3.4.5 การจำแนกหินแปร (classification of metamorphic rock) 99
3.4.5.1 หินแปรที่มีริ้วขนาน (foliated rocks) 100
3.4.5.2 หินแปรที่ไม่มีริ้วขนาน (non-foliated rocks) 102
เอกสารอ้างอิง 104
คำศัพท์สำคัญ 105

บทที่ 4 การแปรสัณฐานแบบแผ่น 107
4.1 สมมติฐานทวีปเลื่อน 107
4.2 ทวีปเลื่อนและภาวะแม่เหล็กบรรพกาล 108
4.3 การกลับขั้วของสนามแม่เหล็กและหลักฐานการขยายตัวของพื้นสมุทร 109
4.4 การแปรสัณฐานแบบแผ่น 112
4.4.1 Basic plate tectonic concepts 112
4.4.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี 114
4.5 วงจรการพาความร้อนภายในเนื้อโลก 119
4.6 มหาทวีปในกระบวนการธรณีแปรสัณฐานแบบแผ่น 120
เอกสารอ้างอิง 124

หน้า

บทที่ 5 โครงสร้างและองค์ประกอบภายในของโลก 125

5.1 โครงสร้างภายในของโลก 125

5.2 ส่วนประกอบทางเคมีของโลก (Chemical Composition) 131

5.2.1 องค์ประกอบของแก่นโลก 133

5.2.2 องค์ประกอบของเนื้อโลก 133

5.2.3 องค์ประกอบของเปลือกโลก 134

เอกสารอ้างอิง 138

บทที่ 6 ภูเขาไฟและกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้อง 139

6.1 การเกิดแมกมา 140

6.2 The Geothermal Gradient 140

6.3 การลดค่าความดัน 140

6.4 Addition of Volatiles 141

6.5 Partial Melting 142

6.6 Magma and Lava 143

6.7 Cooling and Crystallization 144

6.8 How magma evolve 144

6.9 Assimilation and Magma Mixing 146

6.10 Pluton and Plutonism 147

6.11 Volcanism and Plate Tectonics 148

6.12 ชนิดและตำแหน่งของภูเขาไฟ 148

6.13 Volcanic Hazards (พิบัติภัยจากภูเขาไฟ) 154

6.14 การพยากรณ์การระเบิดของภูเขาไฟ 155

เอกสารอ้างอิง 156

บทที่ 7 การเปลี่ยนแปลงเปลือกโลกและธรณีวิทยาโครงสร้างเบื้องต้น 157

7.1 โครงสร้างปฐมภูมิ 159

7.2 โครงสร้างทุติยภูมิ 161

7.2.1 โครงสร้างรูประนาบ 161

7.2.2 โครงสร้างแนวเส้น (Lineation) 165

7.2.2.1 การวางตัวของโครงสร้างแนวเส้น 165

7.2.2.2 โครงสร้างชั้นหินคดโค้ง รอยแตกและรอยเลื่อน 169

7.3 บทสรุป 179

เอกสารอ้างอิง 180

		หน้า
บทที่ 8	**แผนที่ภูมิประเทศและแผนที่ธรณีวิทยา**	**181**
	8.1 แผนที่	181
	8.2 แผนที่ภูมิประเทศ	182
	8.2.1 ภูมิประเทศ	182
	8.2.2 เส้นชั้นความสูง	182
	8.3 การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ	185
	8.4 แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1: 250,000	186
	8.5 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000	187
	8.6 การเขียนภาพตัดขวางภูมิศาสตร์	188
	8.7 การสร้างภูมิประเทศจำลองจากแผนที่ภูมิประเทศ	189
	8.8 ลักษณะของระบบทางน้ำกับสภาพภูมิประเทศ	191
	8.8 แผนที่ธรณีวิทยา	191
	เอกสารอ้างอิง	192

บทที่ 1

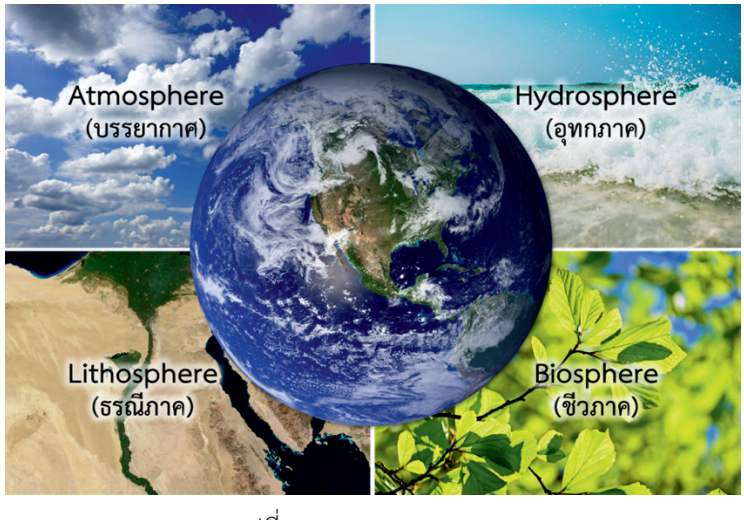
หลักธรณีวิทยา และระบบวิทยาศาสตร์โลก

ดร. ปริญญา พุทธาภิบาล
Ph.D. (Geoscience) La Trobe University Melbourne, Australia
ผศ.ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์
Ph.D. (Geology) King's College, U of London, U.K.

1.1 บทนำ

โลกเมื่อมองจากอวกาศ (รูปที่ 1.1) จะเห็นโลกมีลักษณะทรงกลม มีชั้นบรรยากาศและเมฆสีขาวนวลเวียนห่อหุ้มโลก ซึ่งก็คือส่วนของบรรยากาศ ส่วนสีน้ำเงินคือมหาสมุทรจะครอบคลุมพื้นที่ส่วนที่เป็นอุทกภาคประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นแผ่นดินคือส่วนของธรณีภาคและชีวภาค

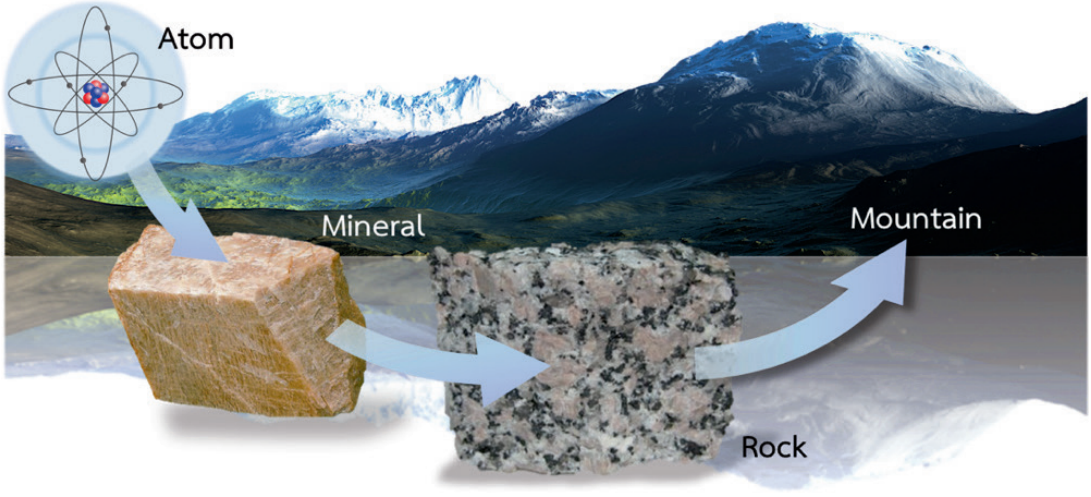
ศาสตร์ต่างๆ ซึ่งศึกษาวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ ได้แก่ อุตุนิยมวิทยา/ภูมิอากาศวิทยา สมุทรศาสตร์/อุทกวิทยา ธรณีวิทยา และชีววิทยา/เทคโนโลยีชีวภาพ นอกจากนั้น ฟิสิกส์ เคมี และดาราศาสตร์ก็มีความสำคัญในการศึกษาวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1.1 Earth system

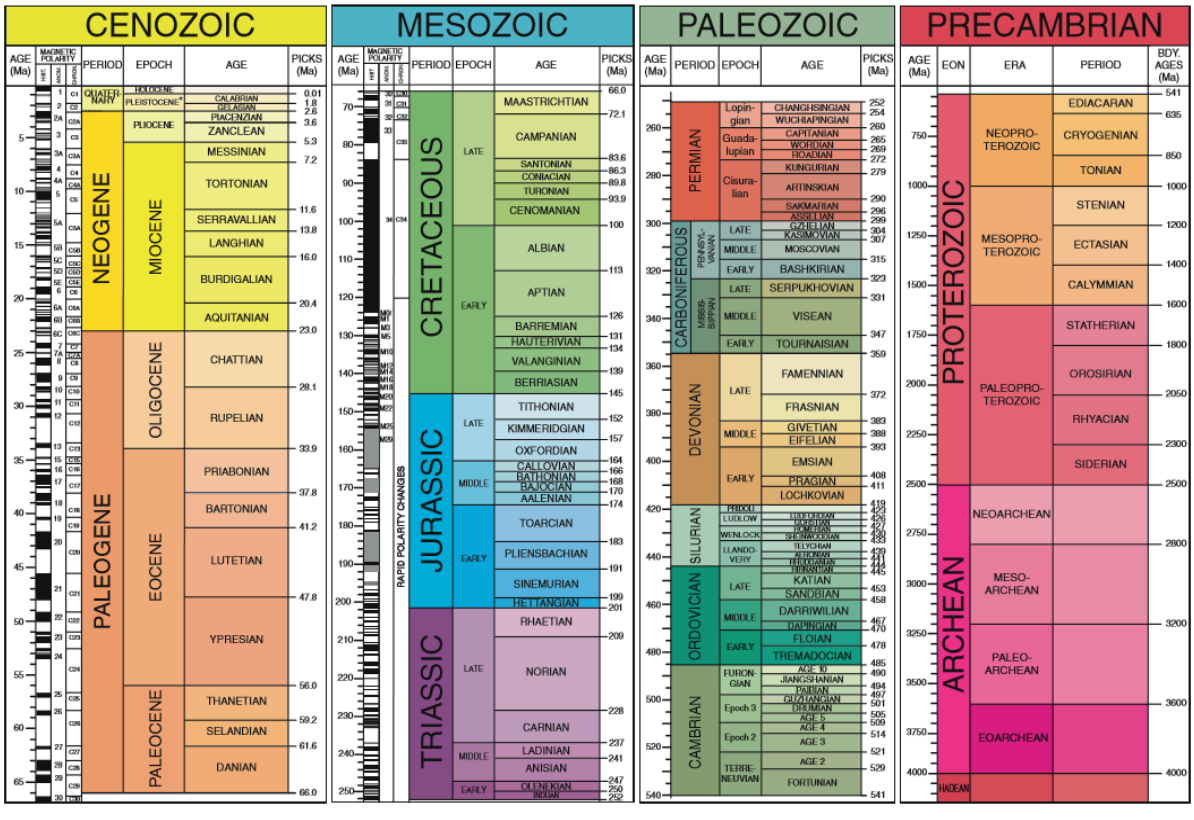
1.2 ขนาดและเวลา

ขนาด นักวิทยาศาสตร์สามารถศึกษาตั้งแต่ระดับอะตอม แร่ หิน ประเทศ ทวีป กาแลกซี่ (รูปที่ 1.2) จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันมากมาย



รูปที่ 1.2 From atom to mountain

เวลา เวลาทางวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศส่วนหนึ่งจะถูกบันทึกในชั้นหิน ลำดับชั้นหิน ซากดึกดำบรรพ์ การเกิดการแทรกตัดและการไหลทับของหินอัคนี นักวิทยาศาสตร์ได้อาศัยหลักอายุเชิงเปรียบเทียบและไอโซโทปรังสี นักวิทยาศาสตร์มักเรียกว่า เวลาทางธรณีหรือธรณีกาล ซึ่งเกิดพร้อมระบบสุริยะเมื่อเวลา 4,600 ล้านปี จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทำให้สรุปเป็นมาตราธรณีกาล แบ่งเป็นมหายุคพรีแคมเบรียน มหายุคพาลีโอโซอิกและมหายุคซีโนโซอิก (รูปที่ 1.3)



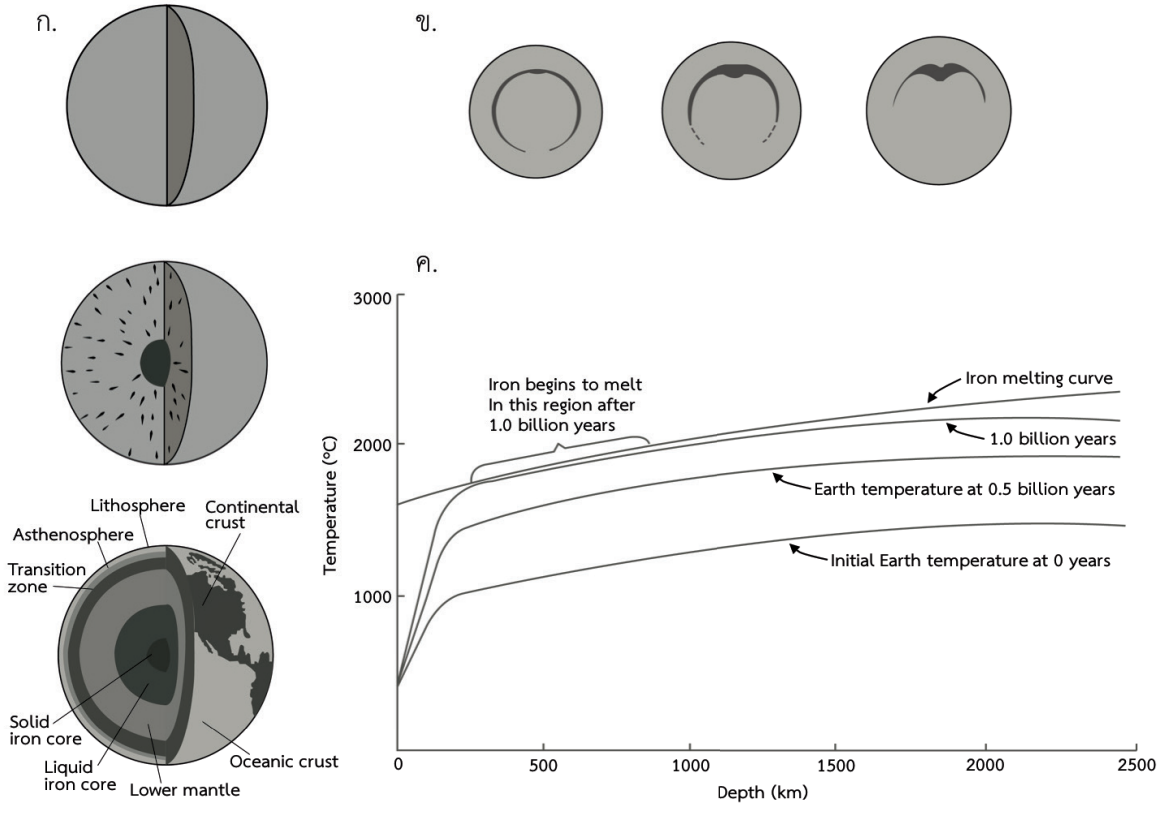
รูปที่ 1.3 มาตราธรณีกาล (geological time scale: from GSA)

1.3 วิวัฒนาการการเกิดโลกในช่วงแรกๆ

เชื่อว่าโลกเกิดจากการพอกรวมกันของฝุ่นร้อนลักษณะคล้ายลูกบอลเมื่อเวลาประมาณ 4,600 ล้านปีก่อนจนทำให้โลกมีขนาดเท่ากับขนาดปัจจุบัน โดยองค์ประกอบของโลกกระจายตัวสม่ำเสมอ ประกอบด้วยเหล็ก แมกนีเซียม ซิลิกอนและออกซิเจน โดยมีก๊าซแทรกอยู่ด้วยโดยช่วงแรกเกิดอุณหภูมิของโลกไม่น่าจะสูงมากนัก

ต่อมา โลกถูกดาวเคราะห์ขนาดเล็กชนทำให้โลกมีความร้อนสูงมาก ความร้อนส่วนหนึ่งมีการแผ่รังสีออกไปรอบโลกเข้าสู่บรรยากาศด้วย การถูกชนด้วยดาวเคราะห์ขนาดเล็กครั้งต่อๆ มา ยิ่งทำให้ภายในโลกมีความร้อนสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ขณะเดียวกันก็มีธาตุกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม มากขึ้น ทำให้โลกร้อนมากขึ้นเรื่อยๆ

The Iron Catastrophe จากเหตุการณ์ข้างต้น ทำให้เกิดการแยกเป็นชั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 เนื่องจากพื้นที่ภายในโลกที่ความลึกประมาณ 400-800 กิโลเมตร มีความร้อนสูงมากจนทำให้เหล็กหลอมและแยกตัวลึกลงไปเข้าหาแกนกลางโลกมากยิ่งขึ้น ธาตุอื่นๆ ที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวเข้าสู่ศูนย์กลาง ส่วนธาตุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวโลกทำให้โลกแยกเป็นชั้นเปลือกโลก เนื้อโลกและแก่นโลก มีก๊าซต่างๆ โดยเฉพาะ O_2 และ H_2 เริ่มจับตัวเป็นน้ำในมหาสมุทรและขยายกว้างขวางมากขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลจากก๊าซที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟซึ่งมีอยู่มากมายในช่วงเวลาประมาณ 1,200 -1,300 ล้านปีนับจากกำเนิดโลก Iron Catastrophe น่าจะเกิดหลายครั้งจนทำให้แก่นโลกแยกออกเป็นแก่นโลกชั้นนอกซึ่งมีสภาพเหลวและแก่นโลกชั้นในเป็นของแข็ง



รูปที่ 1.4 (รูป ก.) วิวัฒนาการการเกิดโลกและเกิดการแยกเป็นชั้นๆ (รูป ข.) ความร้อนภายในโลกทำให้เหล็กหลอมและจมลงไปหาแกนกลางโลก (รูป ค.) อุณหภูมิภายในโลกที่ได้จากการคำนวณในช่วงอายุที่แตกต่างกัน *(ที่มา: Press and Siever, 1986)*

1.4 ธรณีวิทยา

ธรณีวิทยา เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับโลกในส่วนที่เป็นของแข็ง (solid earth) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ธรณีวิทยากายภาพ ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของโลกและกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับโลกและ (2) ธรณีประวัติ หรือมิติของเวลาของโลก

1.5 เอกรูปนิยม (Principle of Uniformitarianism)

ใจความสำคัญที่ว่า “สภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรณีกาลนั้น เป็นสิ่งที่อาจจะสังเกตได้จากสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นหรือเป็นไปในปัจจุบัน” คือ เอกรูปนิยมที่กำหนดโดยนายเจมส์ ฮัตตัน ชาวสก๊อตแลนด์ ในปี ค.ศ. 1770 (รูปที่ 1.5)

รูปที่ 1.5 เจมส์ ฮัตตัน ค.ศ. 1770 ผู้เสนอแนวคิดเอกรูปนิยม *(Detail from a portrait by Sir Henry Raeburn in the Scottish National Portrait Gallery: smithsonianmag.com)*

เอกรูปนิยมถือเป็นแก่นของการศึกษาทางธรณีวิทยา เพราะว่าหิน-แร่เกิดในธรณีกาลซึ่งมีอายุยาวนานหลายล้านปี การใช้ปรากฏการณ์ปัจจุบันไปอธิบายกระบวนการต่างๆ ที่เกิดในธรณีกาลได้จึงมีประโยชน์มาก ตัวอย่างเช่น การพบระแหงโคลนในหินตะกอน สามารถอธิบายได้ว่าหินตะกอนนั้นต้องเกิดบนแผ่นดินที่อากาศร้อนและแห้งแล้งจึงเกิดระแหงโคลน (รูปที่ 1.6) การค้นพบเอกรูปนิยมในคริสต์ศตวรรษที่ 18 จึงถือเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาธรณีวิทยายุคปัจจุบัน

รูปที่ 1.6 ระแหงโคลนในหินตะกอน

1.6 การศึกษาทางธรณีวิทยา

การศึกษาทางธรณีวิทยา จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของโลก (Earth Materials)

นักธรณีวิทยาศึกษาวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของโลก โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็คือ การนำมาใช้ประโยชน์ เช่น แร่เหล็ก ทองแดง ปิโตรเลียม หินอ่อน หินปูน เป็นต้น แหล่งแร่ต่างๆ เหล่านี้ จะปรากฏเฉพาะบริเวณและมีความสัมพันธ์กับหินต่างชนิดกัน

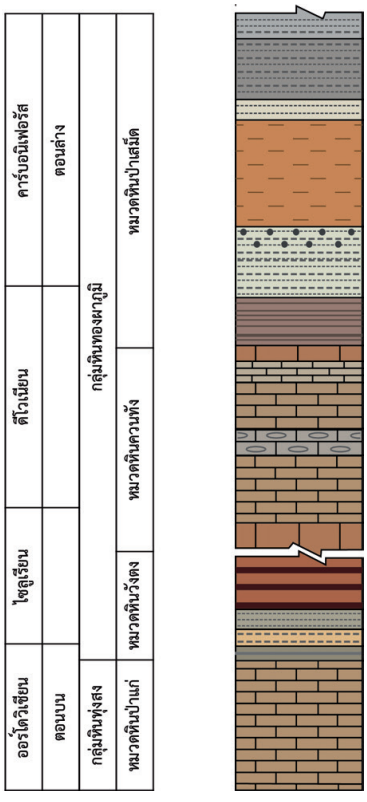
พื้นผิวโลกปกคลุมด้วยหิน 3 ชนิด ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร (รูปที่ 1.7) ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิชาที่ว่าด้วยหิน (Petrology) ของหินทั้งสามประเภท ตะกอนและดิน การศึกษามีทั้งทางกายภาพ (Physics) และเคมี (Chemistry)

รูปที่ 1.7 หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร

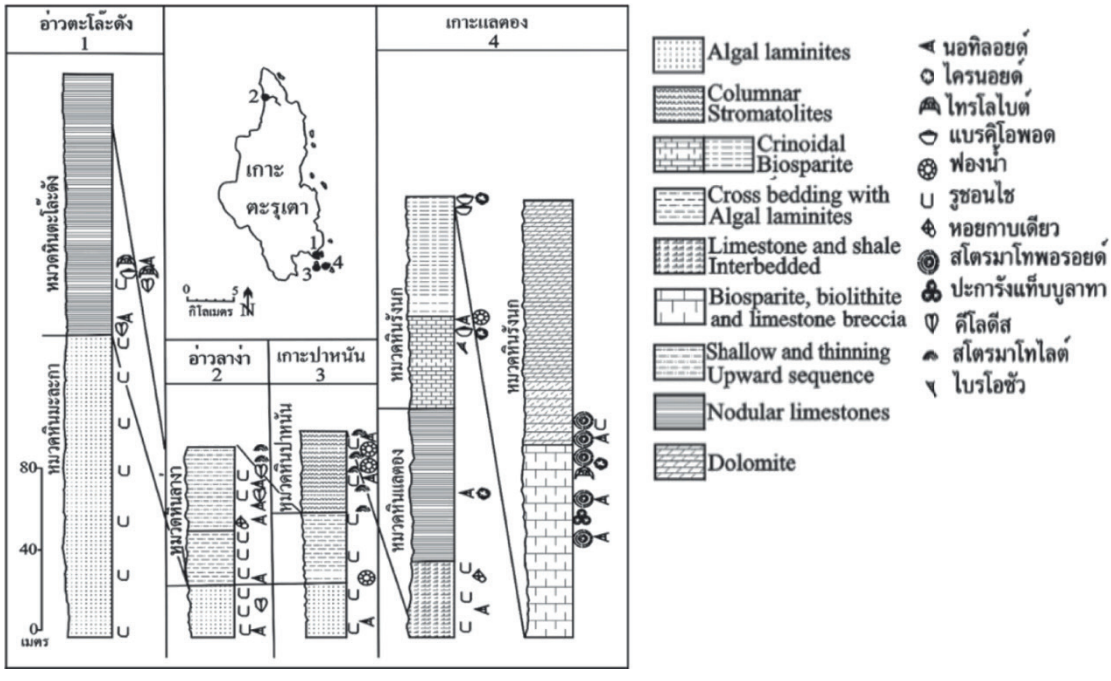
การศึกษาตัวอย่างหิน มีการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Polarized light microscope) จากแผ่นหินบางโดยอาศัยคุณสมบัติทางแสงที่ผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่างกัน (รูปที่ 1.8)

รูปที่ 1.8 กล้องจุลทรรศน์ (Polarized light microscope) และรูปถ่ายจากแผ่นหินบาง

สำหรับหินตะกอน มีการตกตะกอนตามลำดับชั้น จึงมีการศึกษาเรื่องการลำดับชั้น (Stratigraphy) (รูปที่ 1.9) และเนื่องจากหินตะกอนมักมีซากดึกดำบรรพ์ (Fossils) เกิดร่วมอยู่ด้วยก็จะมีวิชาที่เรียกว่า โบราณชีวะ (Paleontology) ใช้ในการเปรียบเทียบชั้นซากดึกดำบรรพ์ (รูปที่ 1.10) ศึกษาควบคู่ไปด้วย นอกจากนั้นน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินก็เป็นวัสดุทางธรณีวิทยาที่จำเป็นต้องศึกษาด้วย (รูปที่ 1.11)



รูปที่ 1.9 การศึกษาเรื่องการลำดับชั้นหิน *(ที่มา :กรมทรัพยากรธรณี, 2550)*



รูปที่ 1.10 การเปรียบเทียบชั้นซากดึกดำบรรพ์ *(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2550)*