



ธรณีวิทยา 2

ซากดึกดำบรรพ์ และมาตราธรณีกาล กระบวนการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิว
ธรณีสัณฐาน และธรณีวิทยาประเทศไทย ทรัพยากรธรณี ธรณีพิบัติภัย



โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

ธรณีวิทยา 2



ปก ลานหินปุ่ม อุทยานแห่งชาติภูหินร่องกล้า เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ (weathering) ของ หินทรายหมวดหินภูพาน กลุ่มหินโคราช แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างธรณีภาค บรรยากาศ อุทกภาคและชีวนภาค (ที่มารูปภาพ: lowernoth1thailand.com)



**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์ จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

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

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์โอลิมปิก ระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทย ยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลาน้อยเกินไป

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

วัตถุประสงค์

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

ตำราวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ สอวน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) ได้ดำเนินโครงการตำราคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั้งระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและปลายรวมทั้งที่ปรับปรุงแล้ว 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 ตามพระราชประสงค์ของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี องค์ประธานมูลนิธิ สอวน. สืบไป

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

- | | |
|---|------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา | รองประธานมูลนิธิ สอวน. |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร. กำจัด มงคลกุล | กรรมการมูลนิธิ สอวน. |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมนหา พรหมบุญ | กรรมการมูลนิธิ สอวน. |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รตะตะานกุล | 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 พัชร สุวรรณขาว | กรรมการ |
| 6. นายมานพ รัชสาสกุลวงศ์ | กรรมการ |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุรพา แพ้จ้อย | กรรมการ |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร. ดนุพล ตันนโยภาส | กรรมการ |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยพงษ์ เชนรัมย์ | กรรมการและเลขานุการ |

คณะผู้เชี่ยวชาญธรณีวิทยา 2

- | | |
|-------------------------------|---|
| 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. ดร. กัณตภณ สุระประสิทธิ์ | Ph.D. (Paleontology) Université de Poitiers, France |
| 4. ผศ.ดร. กฤษณ์ วันอินทร์ | D.Eng. (Geotechnology), Akita University, Japan |
| 5. ผศ.ดร. อัครินทร์ ชะบางบอน | Ph.D. (Marine Geosciences) Stockholm University |
| 6. นายสมชาย พุ่มอิม | วท.ม. (ธรณีวิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 7. รศ.ดร. ดนุพล ตันนโยภาส | Ph.D. (Geology) Bordeaux I, France |
| 8. ผศ.ดร. นภดล ม่วงน้อยเจริญ | Ph.D. (Geology) U of North Carolina at Chapel hill, USA |

คณะบรรณาธิการกิจ

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

จัดทำต้นฉบับ

นางสาววิชา ภูเจริญชัยวรรณ

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

คำนำ

วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับภาคต่างๆ ของโลก ได้แก่ ธรณีภาค (geosphere) อุทกภาค (hydrosphere) บรรยากาศ (atmosphere) และชีวนภาค (biosphere) ภาคต่างๆ เหล่านี้มีการเชื่อมโยงซึ่งกันและกันตลอดเวลา มนุษย์สามารถสังเกตได้และในหลายกรณีสามารถจับต้องได้ ตัวอย่างเช่น การเลือกพื้นที่สำหรับเป็นที่อยู่อาศัย เป็นที่เพาะปลูก การเลือกปลูกพืชที่แตกต่างกันตาม ลักษณะของภูมิอากาศ การหาทรัพยากรหิน แร่ แร่เชื้อเพลิง ฯลฯ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเมืองใหญ่ให้ ห่างไกลจากพื้ดินภัย อาทิ แผ่นดินไหว น้ำท่วม ดินถล่ม หรือหากจำเป็นต้องตั้งเมืองบริเวณที่มีความเสี่ยง ก็จะมีการป้องกันเพื่อให้เกิดผลกระทบจากภัยพิบัติน้อยที่สุด

การจัดทำตำราวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศได้แบ่งออกเป็น 4 เล่ม ได้แก่ 1) ธรณีวิทยา เล่ม 1 – 2 2) อุทยานวิทยา 3) ดาราศาสตร์ สำหรับตำราธรณีวิทยา เล่ม 1 – 2 แบ่งออกเป็น 13 บท ประกอบด้วย 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. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเรียนการสอนวิชา ธรณีวิทยาในประเทศไทยสืบไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย นาคะผดุงรัตน์
ประธานคณะกรรมการดำเนินงานตำราธรณีวิทยา

ISBN : 978-616-8242-00-1

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2562 (2019)

ออกแบบโดย

พิมพ์ที่ บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

แยกสี/เพลท บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ 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 9 ชากดักดำบรรพ์และมาตราธรณีกาล	1
9.1 ธรณีวิทยาคืออะไร	1
9.2 ชากดักดำบรรพ์คืออะไร	1
9.3 ชากดักดำบรรพ์เกิดได้อย่างไร	2
9.4 ประเภทชากดักดำบรรพ์	6
ชากดักดำบรรพ์ที่เป็นพวกโปรทิสตา	6
9.4.1 ชากดักดำบรรพ์ไม่มีกระดูกสันหลัง	9
9.4.2 ชากดักดำบรรพ์สัตว์มีกระดูกสันหลัง	25
9.4.3 ชากดักดำบรรพ์พืช	25
9.4.4 ร่องรอยสัตว์ดักดำบรรพ์	26
9.5 ประโยชน์ของการศึกษาชากดักดำบรรพ์	27
9.6 การเก็บรักษาชากดักดำบรรพ์	28
9.7 ธรณีกาล	28
9.8 วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต	29
9.9 การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ของสิ่งมีชีวิต	42
เอกสารอ้างอิง	43
คำถามท้ายบท	44
บทที่ 10 กระบวนการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิว	45
10.1 การผุพังอยู่กับที่ ดิน และการเคลื่อนที่ของมวล	45
10.1.1 การผุพังอยู่กับที่	45
10.1.2 ดิน	50
10.1.3 การเคลื่อนที่ของมวล	55
10.1.3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของมวล	55
10.1.3.2 ตัวนำที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวล	56
10.1.3.3 ชนิดการเคลื่อนที่ของมวล	56
10.2 ธารน้ำและน้ำท่วม	57
10.2.1 ธารน้ำ	58

	หน้า
10.2.1.1 The Geological Work of Streams	60
10.2.1.2 Stream Erosion	61
10.2.1.3 Stream Transport	66
10.2.1.4 Stream Depositions	67
10.2.2 Controlling Floods	68
10.2.2.1 Flood Prediction	68
10.2.2.2 Flood Prevention	69
10.3 น้ำบาดาล	70
10.3.1 ความพรุนและการไหลซึม	70
10.3.2 ระดับน้ำใต้ดิน	71
10.3.3 ชั้นให้น้ำหรือชั้นอุ้มน้ำ	72
10.3.4 น้ำพุและกีย์เซอร์	73
10.3.5 หลุมยุบและภูมิประเทศแบบคาสต์	73
10.3.6 ถ้ำและการสะสมตัวภายในถ้ำ	74
10.3.7 ผลกระทบจากการใช้น้ำใต้ดิน	76
10.4 ธารน้ำแข็งและการเปลี่ยนแปลงสภาพของธารน้ำแข็ง	76
10.4.1 การเกิดธารน้ำแข็งและการขยายตัว	77
10.4.2 The Work of Glaciers	79
10.4.3 The Milankovitch Theory	82
10.5 การทำงานของลมและทะเลทราย	83
10.5.1 ชนิดของทะเลทราย	83
10.5.2 การผูกพันอยู่กับที่ในทะเลทราย	85
10.5.3 The Work of Water in Deserts	85
10.5.4 The Work of Wind in Deserts	87
10.6 ชายทะเลและกระบวนการชายฝั่ง	89
10.6.1 คลื่น กระแสน้ำชายฝั่ง และน้ำขึ้นน้ำลง	90
10.6.1.1 คลื่นและกระแสน้ำชายฝั่ง	90
10.6.1.2 น้ำขึ้นน้ำลง	93
10.6.2 กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงชายฝั่ง	94
10.6.2.1 การกัดเซาะชายฝั่ง	94

	หน้า
10.6.2.2 การพัฒนาและการสะสมตัวบริเวณชายฝั่ง	95
10.6.3 ชนิดของชายฝั่ง	98
10.6.3.1 Emergent Coasts	98
10.6.3.2 Submergent Coasts or drown coasts	99
10.6.4 พื้นที่ชายฝั่งในภาวะวิกฤติ	99
10.6.4.1 เกาะสันดอน	99
10.6.4.2 พืดหินใต้ น้ำ	101
เอกสารอ้างอิง	103
คำถามท้ายบท	104
บทที่ 11 ธรณีสัณฐานและธรณีวิทยาประเทศไทย	105
11.1 บทนำ	105
11.2 ลำดับชั้นหิน	110
11.2.1 หินมหายุคพรีแคมเบรียน	110
11.2.2 หินมหายุคพาเลโอโซอิกตอนล่าง	113
11.2.3 หินมหายุคพาเลโอโซอิกตอนกลาง	114
11.2.4 หินมหายุคพาเลโอโซอิกตอนบน	115
11.2.5 หินมหายุคมีโซโซอิก	117
11.2.6 หินในมหายุคซีโนโซอิก	120
11.3 หินอัคนี	123
11.3.1 หินอัคนีแทรกซอน	123
11.3.2 หินอัคนีพุ	125
เอกสารอ้างอิง	127
บทที่ 12 ทรัพยากรธรณี	130
12.1 ธรณีวิทยาแหล่งแร่เบื้องต้นและศักยภาพแหล่งแร่ในประเทศไทย	130
12.1.1 ทรัพยากรแร่กับการกระจายตัว	130
12.1.2 กำเนิดและการจำแนกประเภทของแหล่งแร่	131
12.1.3 ศักยภาพทรัพยากรแร่ในประเทศไทย	137
12.2 ทรัพยากรพลังงานสิ้นเปลือง	150
12.2.2 ทรัพยากรหมุนเวียน	150

หน้า

12.2.3 พลังงานกับสิ่งแวดล้อม	156
เอกสารอ้างอิง	158
บทที่ 13 ธรณีพิบัติภัย	159
13.1 การไหวสะเทือนและแผ่นดินไหว	159
13.2 ภูเขาไฟปะทุ	165
13.3 การวิบัติของที่ลาดเอียง	168
13.4 หลุมยุบและแผ่นดินทรุด	171
13.5 การกัดเซาะชายฝั่ง	173
13.6 การกัดเซาะตลิ่งลำน้ำ	175
13.7 พื้บัติภัยอื่นๆ	175
13.7.1 ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนท่วมบ่า	175
13.7.2 การปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำใต้ดินเหือดแห้ง	176
เอกสารอ้างอิง	178

บทที่ 9

ซากดึกดำบรรพ์และมาตรารณีกาล

ดร. กัณตภณ สุระประสิทธิ์

Ph.D. (Paleontology) Université de Poitiers, France

9.1 ธรณีวิทยาคืออะไร

ธรณีวิทยา (Geology) เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับโลก สสารต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของโลก เช่น แร่ หิน ดิน น้ำ รวมทั้งกระบวนการต่างๆ ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนผิวโลกและภายในโลก ตั้งแต่กำเนิดโลกจนถึงปัจจุบัน เป็นการศึกษาทั้งในระดับโครงสร้าง ส่วนประกอบทางกายภาพ เคมี ชีววิทยา ทำให้รู้ถึงประวัติความเป็นมา สภาพแวดล้อมในอดีตจนถึงปัจจุบัน ปัจจัยต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิว วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ตลอดจนรูปแบบและวิธีการนำเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนอีกด้วย

ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในอดีตผ่านกระบวนการทางธรณีวิทยาจนกลายมาเป็นหินที่เรียกว่า ซากดึกดำบรรพ์หรือฟอสซิล จึงถือเป็นศาสตร์หนึ่งที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาโดยตรง เนื่องจากกระบวนการทางธรณีวิทยาผ่านเวลายาวนานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดซากดึกดำบรรพ์

9.2 ซากดึกดำบรรพ์คืออะไร

ในโลกของเราในปัจจุบันมีสิ่งมีชีวิตนับเป็นจำนวนเป็นพันๆ ล้านตัวอาศัยอยู่ มีทั้งสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนดินและอยู่ในน้ำ รวมทั้งอากาศที่เราสูดหายใจเข้าไปก็มีสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กอาศัยอยู่

เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงซากของสิ่งมีชีวิตนั้นจะถูกทับถมด้วยตะกอน และฝังตัวอยู่ในชั้นตะกอนซึ่งภายหลังเปลี่ยนสภาพกลายเป็นหินตะกอนหรือชั้นหินไปในที่สุด คำว่า ซากดึกดำบรรพ์ ในภาษาอังกฤษมีรากศัพท์มาจากภาษาลาติน fossilis (ฟอสซิลิส) หมายถึงขุดขึ้นมา (dig up) แต่ซากดึกดำบรรพ์ส่วนใหญ่ ไม่ได้มาจากการขุดขึ้นมาเสมอไป ส่วนใหญ่มักจะโผล่ให้เห็นภายหลังจากที่หินตะกอนเกิดการผุพังหรือถูกกัดเซาะออกไปเป็นบางส่วน ซากดึกดำบรรพ์มีมากมายหลายชนิด ทั้งพืชและสัตว์ มีขนาดแตกต่างกันมาก นับตั้งแต่กระดูกไดโนเสาร์ ซึ่งมีความยาวมากกว่า 2 เมตร และหนักหลายร้อยกิโลกรัม ไปจนกระทั่งซากสัตว์ดึกดำบรรพ์ขนาดเล็กมากเท่าหัวเข็มหมุด ซึ่งเรียกว่า ซากดึกดำบรรพ์จุลภาค

นิยาม (ตามพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๕๔)

ซากดึกดำบรรพ์ : ซากและร่องรอยของบรรพชีวิน (Ancient life) ที่ประทับอยู่ในหิน บางแห่งเป็นรอยพิมพ์ บางแห่งก็มีซากเดิมปรากฏอยู่ รอยตีนสัตว์ มูลสัตว์ ถ่านหิน ไม้กลายเป็นหิน รวมอยู่ในหมู่ซาก

ดึกดำบรรพ์เหมือนกัน ถ้าเป็นฟอสซิลหรือชิ้นของชีวนิดที่สามารถใช้บ่งบอกอายุหินได้ เรียกว่า ซากดึกดำบรรพ์ ดรรชนี (index fossil)

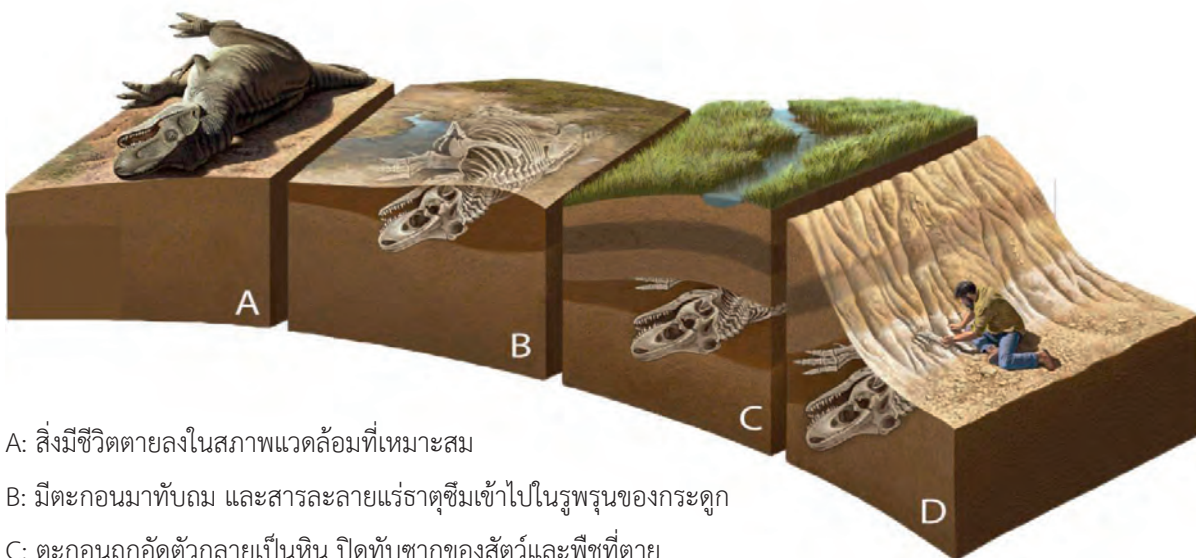
การศึกษาซากดึกดำบรรพ์ เป็นส่วนหนึ่งของวิชาที่เรียกว่า บรรพชีวินวิทยา (Paleontology)

บรรพชีวินวิทยา (Paleontology) คือ วิชาที่ศึกษาสิ่งมีชีวิตในอดีต โดยอาศัยซากหรือร่องรอยของพืชและสัตว์ดึกดำบรรพ์ รวมทั้งสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในอดีตกับปัจจุบัน สิ่งมีชีวิตในอดีตกับสภาพแวดล้อม และการเทียบสัมพันธ์เพื่อกำหนดลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในประวัติศาสตร์ความเป็นมาของโลก

9.3 ซากดึกดำบรรพ์เกิดได้อย่างไร

พืชและสัตว์เมื่อตายไปแล้วจะผุพังเน่าเปื่อยเร็วมาก ถ้าสิ่งมีชีวิตเมื่อตายลงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ก็จะคงสภาพอยู่ได้ และกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์อยู่ในชั้นหินไปในที่สุด

ซากดึกดำบรรพ์เกิดจากซากสิ่งมีชีวิตซึ่งตายอยู่ในแหล่งที่มีการสะสมตัวของตะกอนอย่างรวดเร็ว ส่วนที่เป็นเนื้อหนังมักเน่าเปื่อยไปหลังจากตายลงไม่นาน เหลือแต่ส่วนที่เป็นกระดูกจะถูกดินโคลนทับถมรักษาสภาพไว้ไม่ให้ผุพังในระหว่างที่ตะกอนสะสมตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และอัดตัวกลายเป็นหิน สารละลายแร่ธาตุก็ซึมเข้าไปในรูพรุนของกระดูกแล้วทำให้แข็งตัวทำให้เกิดซากที่มีรูปร่างลักษณะโครงสร้างภายในเหมือนกระดูกจริงทุกประการ การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ทำให้ชั้นหินที่เก็บซากดึกดำบรรพ์ไว้อย่างดีขยับตัวขึ้นมายังผิวโลก แล้วถูกกัดเซาะจนกระทั่งซากดึกดำบรรพ์โผล่ออกมาบนพื้นดิน กระบวนการต่างๆ ที่ทำให้เกิดซากดึกดำบรรพ์เหล่านี้ เรียกว่า “การกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์” (Fossilization)



A: สิ่งมีชีวิตตายลงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

B: มีตะกอนมาทับถม และสารละลายแร่ธาตุซึมเข้าไปในรูพรุนของกระดูก

C: ตะกอนถูกอัดตัวกลายเป็นหิน ปิดทับซากของสัตว์และพืชที่ตาย

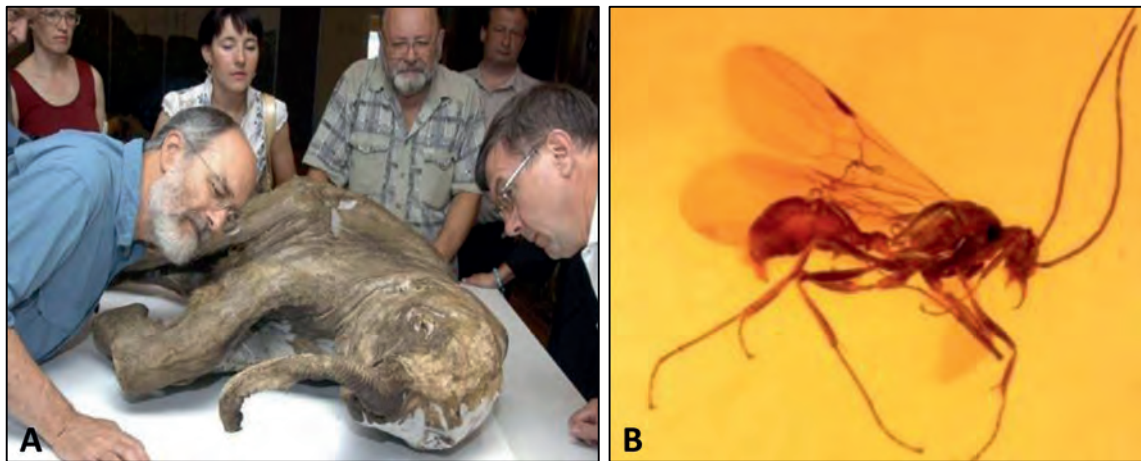
D: เมื่อเวลาผ่านไปการเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ชั้นหินที่เก็บซากดึกดำบรรพ์ไว้

ถูกยกตัวขึ้นมายังผิวโลก เกิดการผุพังและถูกกัดเซาะจนกระทั่งซากดึกดำบรรพ์โผล่ออกมาบนพื้นดิน

รูปที่ 9.1 การกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์ (Fossilization)

ซากดึกดำบรรพ์เกิดได้จากกระบวนการกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์หลายวิธี โดยทั่วไปสามารถจัดจำแนกเป็น 4 ประเภท

1. โครงร่างอ่อนไม่เปลี่ยนแปลง (*Unaltered soft parts*) มักจะมีอายุทางธรณีกาลไม่มากนัก เป็นซากสิ่งมีชีวิตจริงที่สามารถเก็บรักษาสภาพได้ทั้งหมดโดยธรรมชาติ โดยไม่มีการผุสลายเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือทางแร่ เช่น ลูกช้างแมมมอธ ถูกรักษาสภาพไว้คงเดิมโดยการแช่แข็งอยู่ในชั้นดินเยือกแข็งคงตัว (permafrost) แมลงและแมงป่องได้รับการรักษาสภาพไว้ในซากดึกดำบรรพ์ของยางไม้ ซึ่งเรียกว่า อำพัน (Amber)



รูปที่ 9.2 (A) ลูกช้างแมมมอธ ถูกรักษาสภาพไว้คงเดิมโดยการถูกแช่แข็งอยู่ภายในชั้นดินเยือกแข็งคงตัว (B) แมลงได้รับการรักษาไว้ในอำพัน

2. โครงร่างแข็งไม่เปลี่ยนแปลง (*Unaltered hard parts*) ส่วนใหญ่พบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ถูกกลบฝังตามปกติแต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยจะเหลือเฉพาะโครงร่างแข็งเปลือกนอก ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (calcite และ aragonite) แคลเซียมฟอสเฟต ซิลิกา (non-crystalline, hydrated form หรือ opal) สารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (chitin) เช่น เปลือกหอยต่างๆ



รูปที่ 9.3 (A) หอยแบรคิโอพอด (brachiopod) (B) หอยกาบคู่ (bivalve)

3. โครงร่างแข็งเปลี่ยนแปลง (*Altered hard parts*) โครงร่างเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก แต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางกายภาพ และทางเคมีอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างร่วมกัน ดังต่อไปนี้

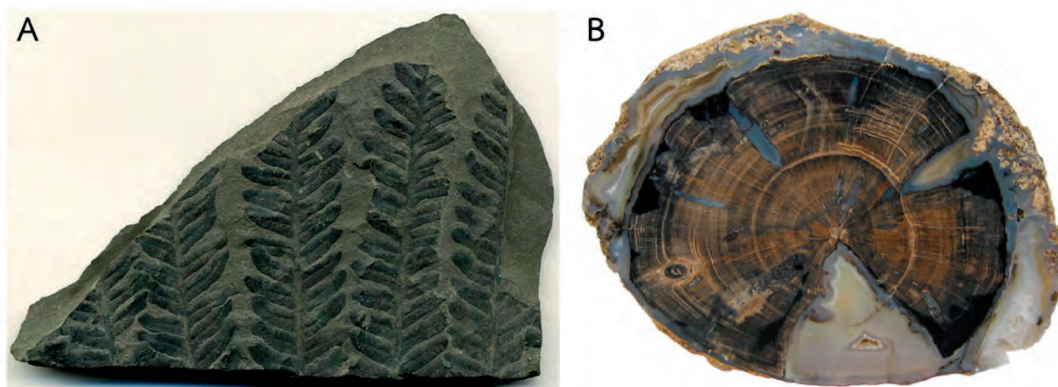
3.1 การเพิ่มคาร์บอน (Carbonization) เกิดจากการกลายเป็นคาร์บอน หรือ ซากที่สารอินทรีย์หรือธาตุอื่นถูกกำจัดออกไปเหลือแต่คาร์บอน (ถ่าน หรือแกรไฟต์) ไว้ ส่วนใหญ่มักจะเป็นซากพืช

3.2 การแทนที่ด้วยสารละลาย (Mineralization) เกิดจากสารละลายแร่ธาตุแทรกเข้าไปตามผลึกอยู่ตามรูพรุนของซาก เช่น ตามโครงกระดูกซึ่งมีรูโพรงอากาศ เมื่อแร่ตกผลึกเข้าไปตามรูโพรงอากาศจะไม่ทำให้ซากเปลี่ยนรูป และทำให้มีน้ำหนักมากขึ้นกว่าเดิมเหมือนหิน อีกทั้งไม่กลายเป็นหินก็เกิดจากกระบวนการนี้เหมือนกัน เรียกว่า การแทรกซึมของแร่ธาตุในรูพรุนของโครงร่างของสิ่งมีชีวิต (Permineralization)

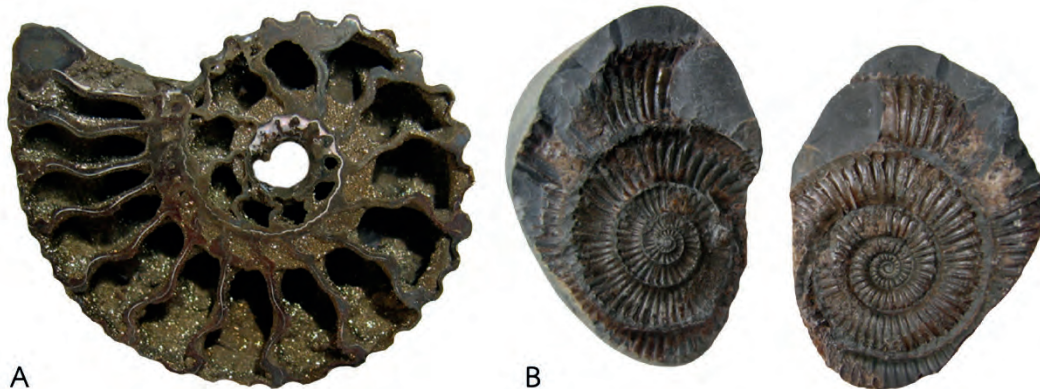
3.3 การเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) เกิดจากสารละลายนำแร่มาตกผลึกใหม่ และผลึกจะรวมตัวกันในลักษณะเรียงต่อกันแบบยึดประสานกัน ทำให้โครงสร้างเนื้อของเดิมสูญหายไป

3.4 การสูญเสียน้ำ และการเปลี่ยนรูปลึก (Dehydration and Crystallization) ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบเดิมที่เป็นพวกโอพอล (opal) เมื่อเกิดการสูญเสียน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็น คาลซีโดนี (chalcedony) และควอตซ์ (quartz)

3.5 การแทนที่ส่วนประกอบเดิมของสิ่งมีชีวิตที่มีองค์ประกอบแข็ง (Replacement) เช่น เปลือก หรือกระดูกสัตว์ ละลายน้ำ และมีแร่ธาตุอื่นๆ พวกสารละลายซิลิกา ควอตซ์ คาร์บอนเนต ไฟโรต์ ฮีมาไทต์ ฯลฯ เข้าไปแทนที่ ถ้าแทนที่อย่างช้าๆ จะยังคงเหลือโครงสร้างรายละเอียดระดับจุลภาคเหมือนเดิมหรือถ้าแทนที่อย่างรวดเร็วก็就不用เหลือร่องรอยของโครงสร้างดั้งเดิมแต่จะเหลือเพียงร่องรอยโครงหยาบๆ ของโครงสร้างเดิม



รูปที่ 9.4 (A) ซากที่กลายเป็นคาร์บอน (Carbonization) (B) การแทรกซึมของแร่ธาตุในรูพรุนของโครงร่างของสิ่งมีชีวิต (Permineralization)



รูปที่ 9.5 (A) การแทนที่ส่วนประกอบเดิมของสิ่งมีชีวิตที่มีองค์ประกอบแข็ง (Replacement) และการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) (B) รอยพิมพ์ (Mold) และรูปพิมพ์ (Cast) ของหอยแอมโมไนต์

3.6 รอยพิมพ์ (Mold) และรูปพิมพ์ (Cast)

- รอยพิมพ์ (Mold) คือ รอยพิมพ์ของร่องรอยสิ่งมีชีวิตที่ประทับเอาไว้บนชั้นตะกอน แบ่งออกเป็นรอยพิมพ์ภายนอก (External mold) ที่มีลักษณะเป็นบ้ำ และรอยพิมพ์ภายใน (Internal mold) ที่มีลักษณะตัน โดยลักษณะแบบหลังนี้เกิดจากการอุดช่องว่างที่มีอยู่ภายในตัวสัตว์ บางทีอาจจะถูกเข้าใจผิดว่าเป็นรูปพิมพ์ (Cast)

- รูปพิมพ์ (Cast) คือ รูปหล่อของสิ่งมีชีวิต หรือร่องรอยของสิ่งมีชีวิตที่เคยอยู่ในชั้นหิน เมื่อเกิดรอยพิมพ์เป็นช่องว่างตามธรรมชาติแล้วในภายหลังมีแร่เข้าไปอยู่แทนที่หรือมีตะกอนเข้าไปแทรกอยู่จนเต็มช่องว่างนั้นก็จะทำให้เกิดเป็นรูปพิมพ์หรือหล่อ (Cast) ที่มีลักษณะเหมือนกับตัวสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตนั้นๆ

3.7 รอยกดประทับ (Impression) รอยกดประทับของส่วนที่เป็นวัตถุบางๆ เช่น ส่วนผิวหนัง เปลือกของสัตว์หรือรอยพิมพ์ประทับของพืชโบราณบนชั้นตะกอน ต่อมาภายหลังมีตะกอนมาทับถมบนรอยประทับ และเมื่อกลายเป็นหินรอยประทับนั้นก็จะเก็บรักษาไว้ภายในชั้นหิน

4. ร่องรอยสัตว์ดึกดำบรรพ์ (Trace fossils) คือ ร่องรอยหรือลักษณะต่างๆ ของซากดึกดำบรรพ์ที่พบอยู่ในชั้นหิน



รูปที่ 9.6 ร่องรอยของสัตว์ดึกดำบรรพ์ที่พบอยู่ในชั้นหิน

9.4 ประเภทซากดึกดำบรรพ์

สามารถจำแนกซากดึกดำบรรพ์ได้เป็น 2 ประเภท คือ ซากดึกดำบรรพ์ที่เป็นตัว (Body fossils) และ ร่องรอยสัตว์ดึกดำบรรพ์ (Trace fossils)

ซากดึกดำบรรพ์ที่เป็นตัว (Body fossils) คือ ซากดึกดำบรรพ์ที่เดิมเป็นสัตว์หรือพืชที่เปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์ต่างๆ

การจำแนกซากดึกดำบรรพ์ที่เป็นตัว ใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการจำแนกกลุ่มสิ่งมีชีวิตปัจจุบัน โดยแบ่งย่อยตามลำดับชั้นอนุกรมวิธานจากระดับสูงสุดไปหาระดับต่ำสุด ได้แก่ อาณาจักร (kingdom) ไฟลัม (phylum) หรือหมวด (division) ชั้น (class) อันดับ (order) วงศ์หรือตระกูล (family) สกุล (genus) ชนิด (species) และชนิดย่อย (subspecies) และอาศัยสิ่งที่เหลืออยู่ เช่น รูปทรง รายละเอียดที่เหลืออยู่ตามโครงสร้างแข็งทั้งภายนอกและภายใน ขนาด สัดส่วนของอวัยวะที่เป็นวัสดุแข็งต่างๆ รอยพิมพ์ รูปพิมพ์ ตลอดจนรอยกดประทับในหินตะกอน เป็นต้น

ในอดีตสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่เป็นสัตว์ชั้นต่ำ มักจะถูกจัดให้อยู่ในอาณาจักรสัตว์ (Animal Kingdom) ซึ่งปัจจุบันถูกจัดให้อยู่ในอาณาจักรโปรติสตา (Protista) ได้แก่ ฟอแรมินิเฟอร่า (Foraminifera) เรดิโอลาเรีย (Radiolarian) ตำราเก่าๆ มักจัดซากดึกดำบรรพ์เหล่านี้ให้อยู่ในกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

ซากดึกดำบรรพ์ที่เป็นพวกโปรติสตา (Protista)

1. ฟิวซูลินิด (Fusulinid)

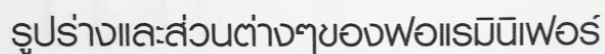
ไฟลัม : ฟอแรมินิเฟอร่า (Foraminifera)

อันดับ : ฟิวซูลินิดา (Fusulinida)

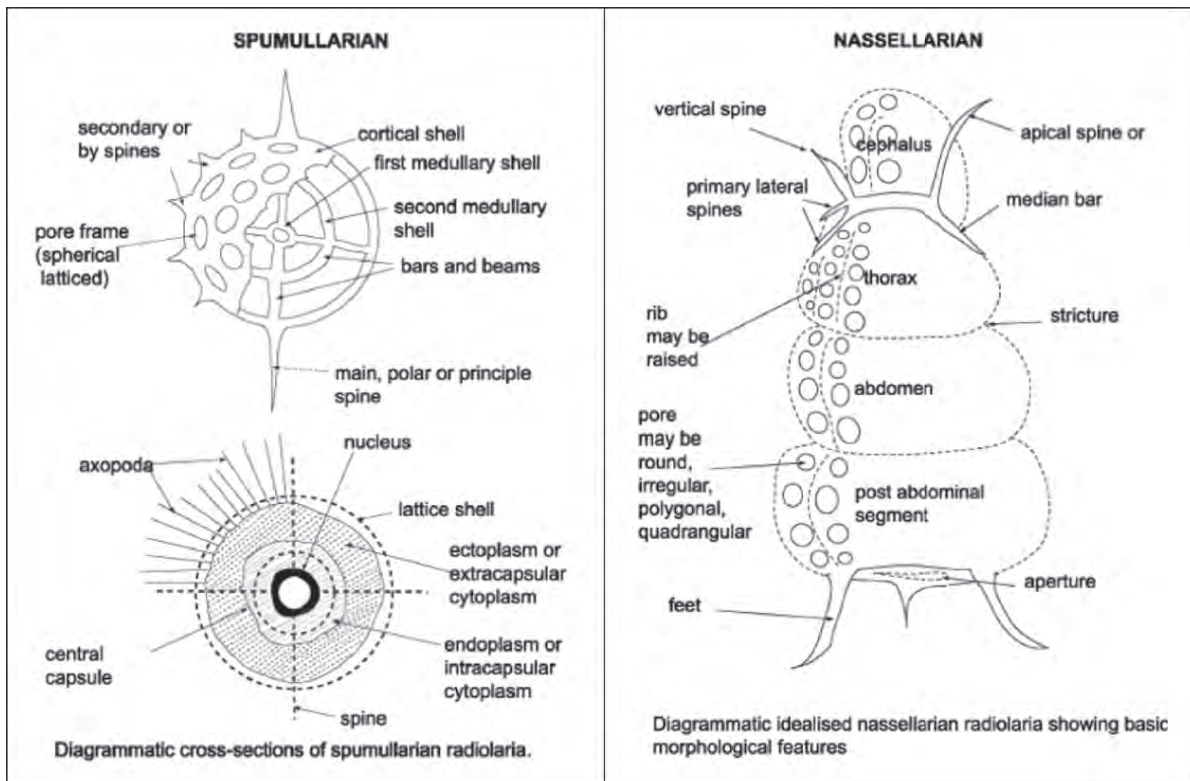
ช่วงเวลา : ยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคเพอร์เมียน

ฟิวซูลินิด (Fusulinid) เป็นสัตว์ทะเลเซลล์เดียวที่สูญพันธุ์ไปแล้วอาศัยอยู่ตามพื้นตะกอนหรือลอยน้ำในเขตอบอุ่นและบริเวณน้ำตื้น ลักษณะภายนอกส่วนใหญ่มีรูปร่างยาว หัวท้ายแหลม รูปร่างและขนาดคล้ายเม็ดข้าวสาร ทำให้บุคคลทั่วไปคิดว่าเป็น ข้าวสารหิน จึงนิยมเรียกว่า คตข้าวสาร จัดอยู่ในไฟลัมฟอแรมินิเฟอร่า ขนาดใหญ่มีขนาดยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ถึง 2 เซนติเมตร ต้องศึกษาจากแผ่นหินบางเพื่อดูลักษณะรายละเอียดหน้าตัดภายใน

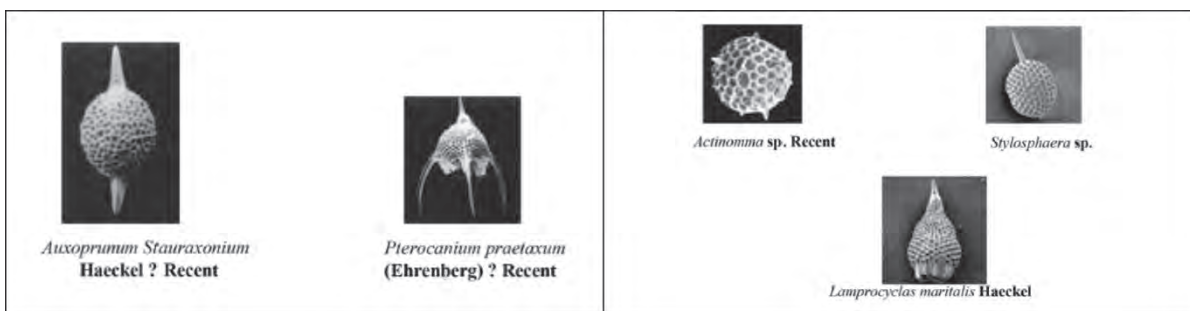
พบมากในยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคเพอร์เมียน สูญพันธุ์ไปตั้งแต่ปลายยุคเพอร์เมียน แต่ละสกุลมีช่วงชีวิตที่สั้น มีการเปลี่ยนแปลงทางวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วและพบได้เป็นจำนวนมาก และสามารถกำหนดอายุได้แน่นอน จึงนิยมใช้เป็นซากดึกดำบรรพ์ดัชนี (index fossil)



รูปที่ 9.7 รูปร่างและส่วนต่างๆ ของฟอแรมินิเฟอร์



รูปที่ 9.8 โครงสร้างแนวตัดขวางของเรดิโอแลเรียและลักษณะรูปทรงพื้นฐานของเรดิโอแลเรีย



รูปที่ 9.9 ชากดึกดำบรรพ์เรดิโอแลเรีย (ดัดแปลงจาก Ali, Mohamed Youseff, 2015)

พบอยู่ในชั้นหินตั้งแต่ปลายมหายุคพรีแคมเบรียน จนถึงปัจจุบัน ในยุคแรกเริ่มทั้งหมดเป็นพวก Spumellaria ส่วนพวก Nassellaria เริ่มปรากฏในยุคคาร์บอนิเฟอรัสและพบชัดเจนมากในช่วงยุคไทรแอสซิก เนื่องจากมีช่วงชีวิตสั้น มีวิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สามารถกำหนดอายุได้แน่นอน จึงเหมาะสำหรับเป็นซากดึกดำบรรพ์ดรรชนี

ซากดึกดำบรรพ์จำแนกออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

9.4.1 ซากดึกดำบรรพ์ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate fossils) คือ สัตว์ที่ไม่มีแกนกระดูก ส่วนใหญ่เป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเล เริ่มเกิดขึ้นมาตั้งแต่ก่อนยุคแคมเบรียนจนถึงปัจจุบัน สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในยุคแรกๆ ยังไม่มีเปลือกหุ้มต่อมามีเปลือกหุ้มอยู่ภายนอก ได้แก่ ฟอแรมมินิเฟอร่า (Foraminifera) ฟองน้ำ (Sponge) ไบรโอซัว (Bryozoa) ปะการัง (Coral) แบริโอพอด (Brachiopod) หอยกาบคู่ (Bivalve) หอยกาบเดี่ยว (Gastropod) แอมโมไนต์ (Ammonite) นอติลอยด์ (Nautiloid) เทนทาकुไลต์ (Tentaculite) เอไคโนเดิร์ม (Echinoderm) ไครนอยด์ (Crinoid) ไทรโลไบต์ (Trilobite) แกรปโตไลต์ (Graptilite) นอกจากนี้ยังมีสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่ไม่ได้อาศัยอยู่ในทะเล ได้แก่ แมลงชนิดต่างๆ

ซากดึกดำบรรพ์สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง			
ไฟลัม โปรโตซัว Phylum Protozoa			ฟิวซูลินิด
ไฟลัม พอร์เฟอร่า Phylum Porifera			ฟองน้ำ
ไฟลัม ไนดาเรีย Phylum Cnidaria			ปะการัง
ไฟลัม ไบรโอซัว Phylum Bryozoa			ไบรโอซัว
ไฟลัม แบริโอพอดา Phylum Brachiopoda			แบรคิโอพอด
ไฟลัม มอลลัสกา Phylum Mollusca			หอยกาบคู่ หอยกาบเดี่ยว แอมโมไนต์
ไฟลัม อาร์โทรพอดา Phylum Arthropoda			ไทรโลไบต์
ไฟลัม อีไคโนเดิร์มาตา Phylum Echinodermata			ไครนอยด์ เม่นทะเล
ไฟลัม โคโนดอนตา Phylum Conodonta			โคโนดอนต์
ไฟลัม เฮมิคอร์ดาตา Phylum Hemichordata			แกรปโตไลต์

รูปที่ 9.10 ซากดึกดำบรรพ์สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทต่างๆ (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2549)