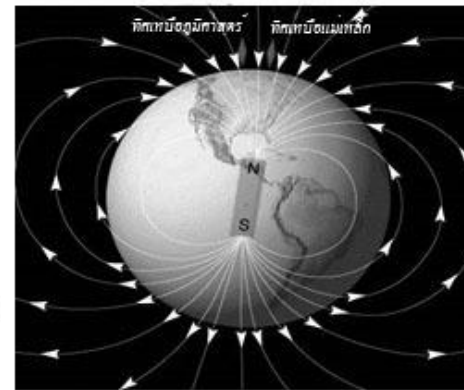


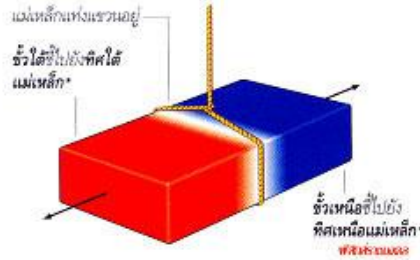
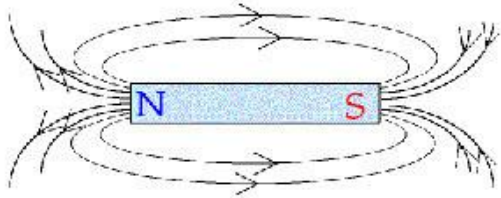
(ข)



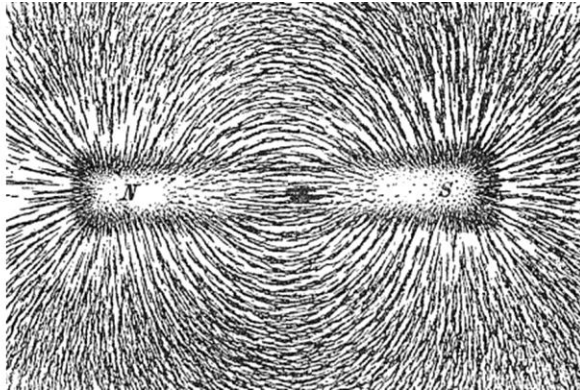
รูป 14.1 โลกนี้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา “ภาวะแม่เหล็กบรรพกาล” มาก โลกเปรียบเสมือนแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่ฝังตัวอยู่ภายใน โดยมีขั้วใต้แม่เหล็กชี้ไปทางทิศเหนือ และขั้วเหนือชี้ไปได้ ความสัมพันธ์ระหว่างขั้วการหมุน (spin-axis pole) หรือขั้วเหนือภูมิศาสตร์ (geographic pole) กับขั้วแม่เหล็ก (magnetic pole) โลก ซึ่งเปรียบเสมือนแท่งแม่เหล็ก ซึ่งมีเส้นแรงแม่เหล็กวิ่งจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ เส้นแรงแม่เหล็กจากสองขั้วแม่เหล็ก

(ก)

แท่งแม่เหล็ก (Bar Magnet)



(ข)

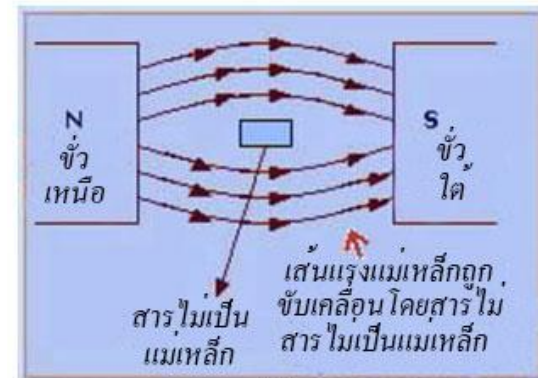
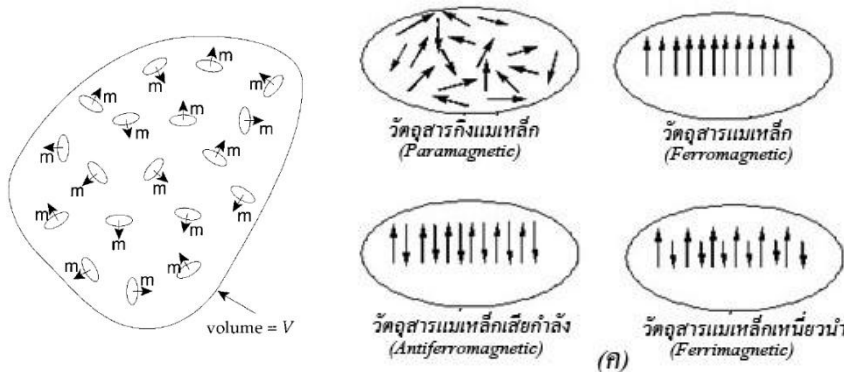


รูป 14.2 (ก) เมื่อนำแท่งแม่เหล็ก (bar magnet) ขวานเชื่อม แท่งแม่เหล็กจะวางตัวไปตามแนวสนามแม่เหล็กโลก (earth's magnetic field) (ขวา) โดยมีเส้นแรงแม่เหล็กออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้เสมอ (ซ้าย)

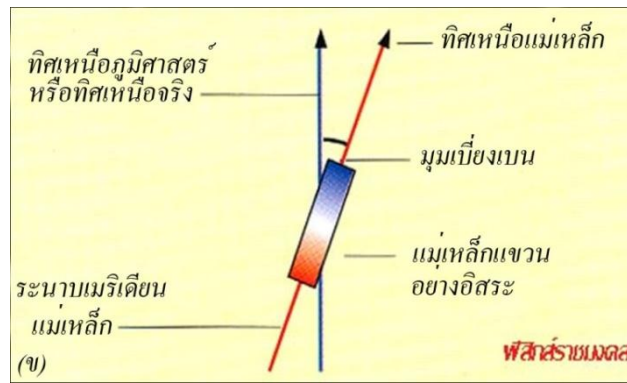
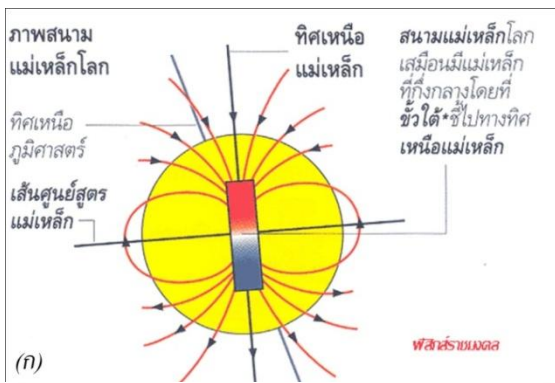
(ข) เส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic field line หรือ flux line) ที่วิ่งออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็ก และโค้งเข้าไปยังขั้วใต้ ให้สังเกตจากผงแม่เหล็กในส่วนตรงกลางแม่เหล็กเส้นแรงแม่เหล็กเหมือนวางตัวขนานกัน

(ค) ชนิดของสารแบ่งตามสภาพความเป็นแม่เหล็ก(ง) สารไม่เป็นแม่เหล็ก (diamagnetic substance) ที่ถูกเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กให้มีทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก

<http://sciexplorer.blogspot.com/2011/10/1-introduction-to-magnetism.html>



(<http://ictwiki.iitk.ernet.in/wiki/index.php/File:F1-1.png>)



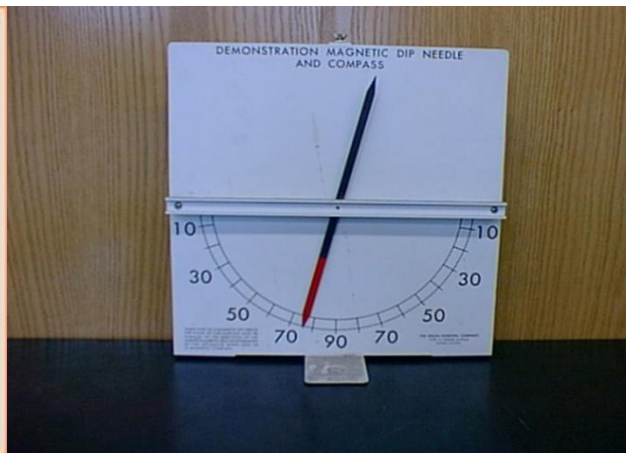
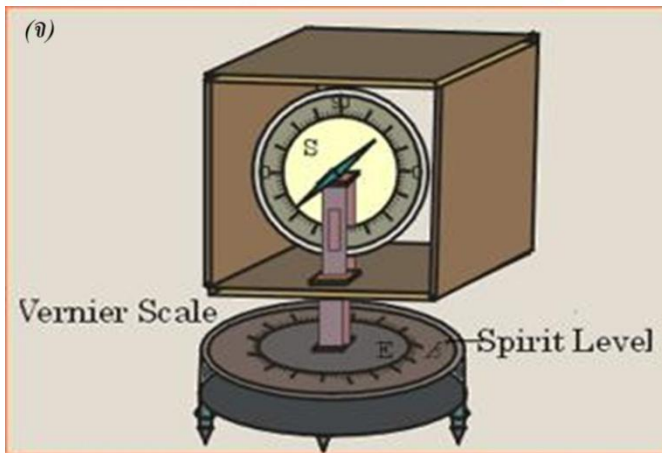
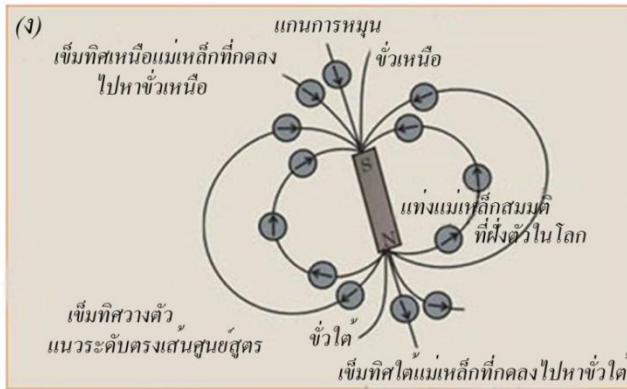
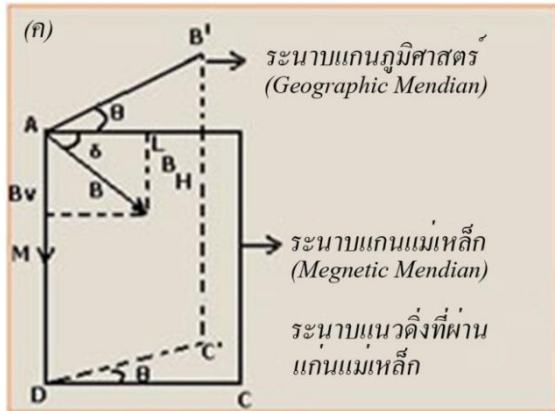
รูป 14.3 (ก) แกนขั้วเหนือแม่เหล็กทำมุมโดยประมาณ 11.5° กับแกนขั้วเหนือภูมิศาสตร์ โดยเชื่อว่ากำลังแรงของสนามแม่เหล็กกำเนิดจากแกนโลก

(ข) มุมระหว่างทิศเหนือจริงที่กำกับทิศเหนือแม่เหล็กเรียกว่ามุมขยับเบน (inclination)

(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างระนาบแกนแม่เหล็ก (magnetic meridian, xz) กับระนาบแกนภูมิศาสตร์ (geographic meridian)

(ง) ลักษณะการวางตัวของเข็มทิศแม่เหล็ก ณ ส่วนต่าง ๆ ของโลก

(จ) เครื่องวัดมุมกค (magnetic dip needle) อย่างง่าย ๆ ซึ่งเข็มทิศจะกคเข้าใกล้ 90° เมื่ออยู่ใกล้ขั้วโลก

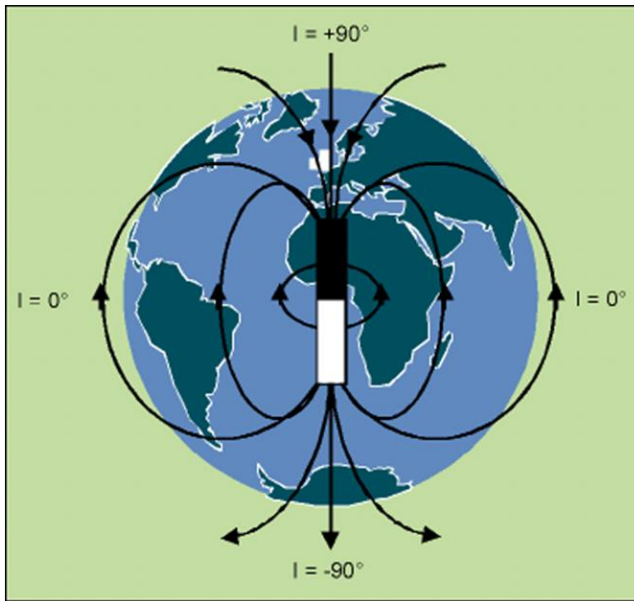


<http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-iv/magnetism-matter/earths-magnetism.php>

http://www.angelfires-fr.com/software/index.php?page=magnetic_fields_sensors&PHPSESSID=6e08729ba164959e92c4b91b496cf790

http://www.phys.ufl.edu/demo/5_ElectricityMagnetism/G_MagneticMaterials/MagneticDipNeedle.html

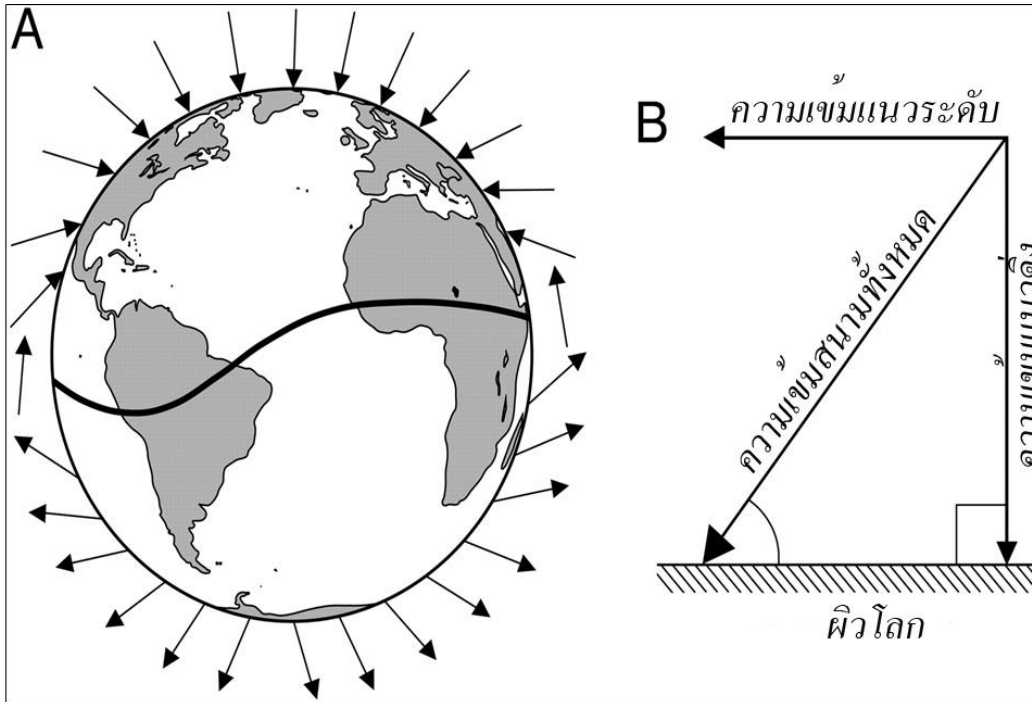
(ก)



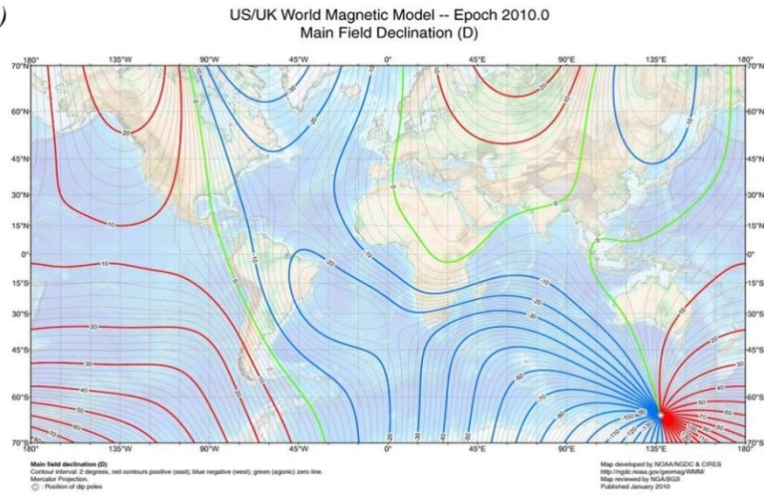
รูป 14.4 (ก) มุมเอียงเท (I) (ในเข็มทิศ) มีได้ตั้งแต่ 0° ถึง 90° เมื่ออยู่ในซีกโลกเหนือ และ 0° ถึง -90° เมื่ออยู่ที่ขั้วโลกใต้

(ข) (ขวา) ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกโดยรวม (total field intensity) ณ ตำแหน่งใด ๆ ของโลก ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบความเข้มแนวนอน (horizontal component) และแนวตั้ง (vertical component) (ซ้าย) เส้นความเข้มสนามแม่เหล็กจะตัดทำมุมกับผิวโลก (แสดงด้วยลูกศร ยกเว้นบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งเสียดความเข้มขนานกับผิวโลกและบริเวณขั้วโลกซึ่งเส้นความเข้มตั้งได้ฉากกับผิวโลก)

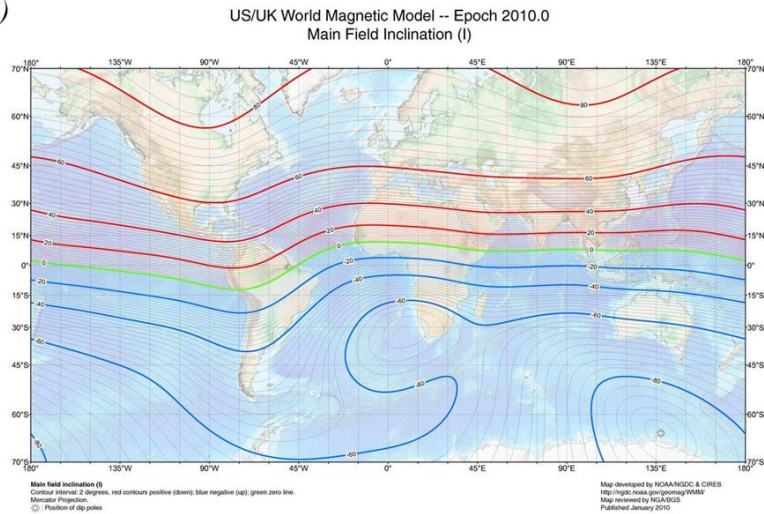
(ข)



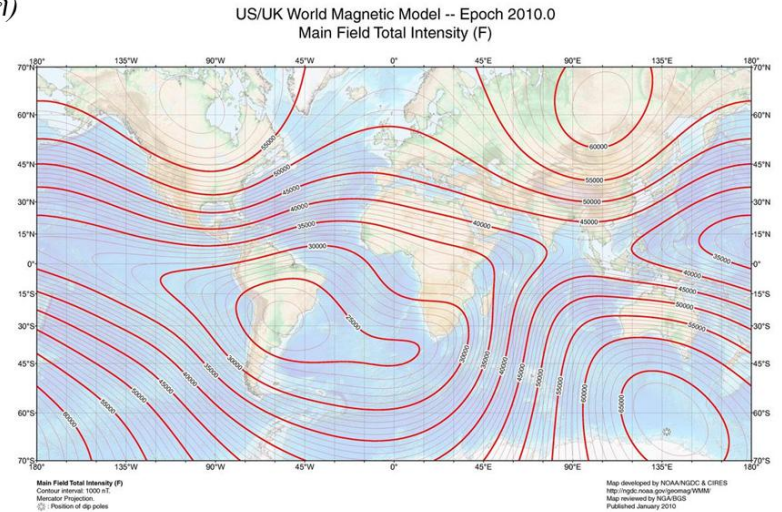
(ก)



(ข)



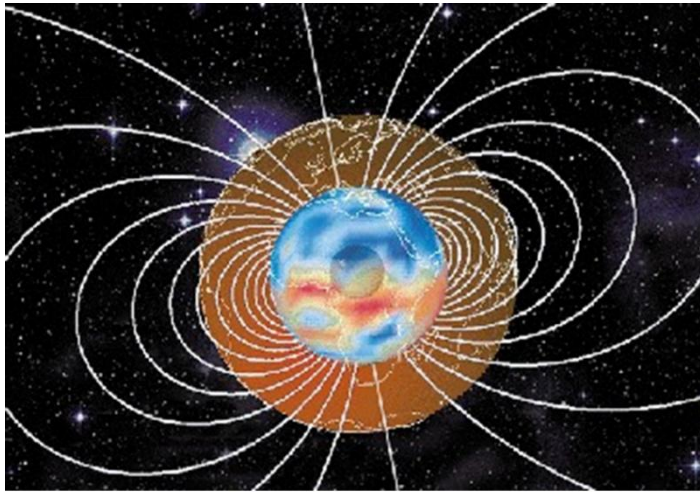
(ค)



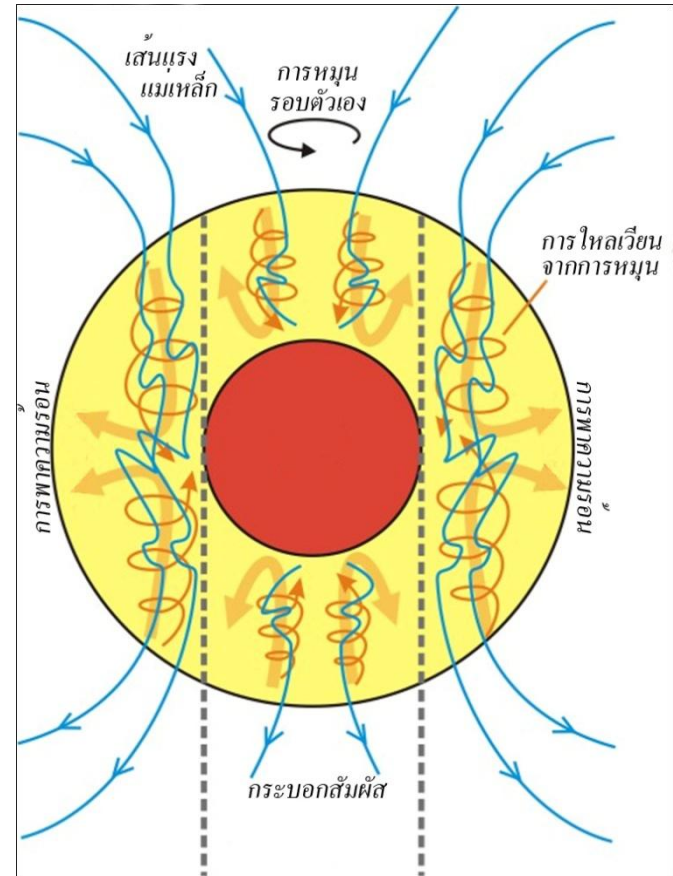
รูป 14.5 แผนที่โลกแสดงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ต่าง ๆ (ก) จากค่าเบี่ยงเบน (ข) ค่าการเอียงเท (ค) ค่าความเข้มโดยรวม

(<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>)

<http://www.earth.ox.ac.uk/research/groups/magnetism/research/introduction>



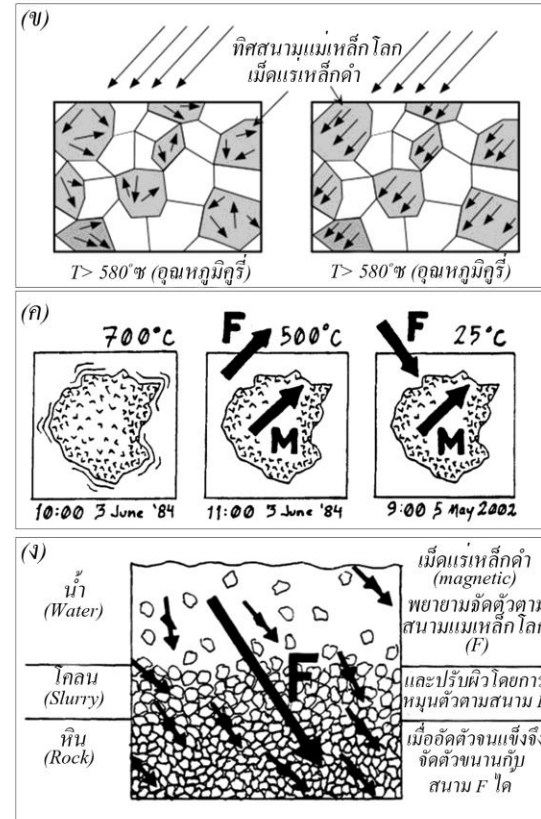
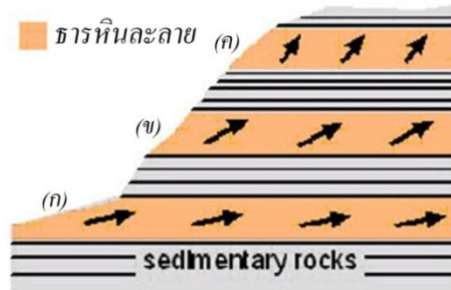
(ก)



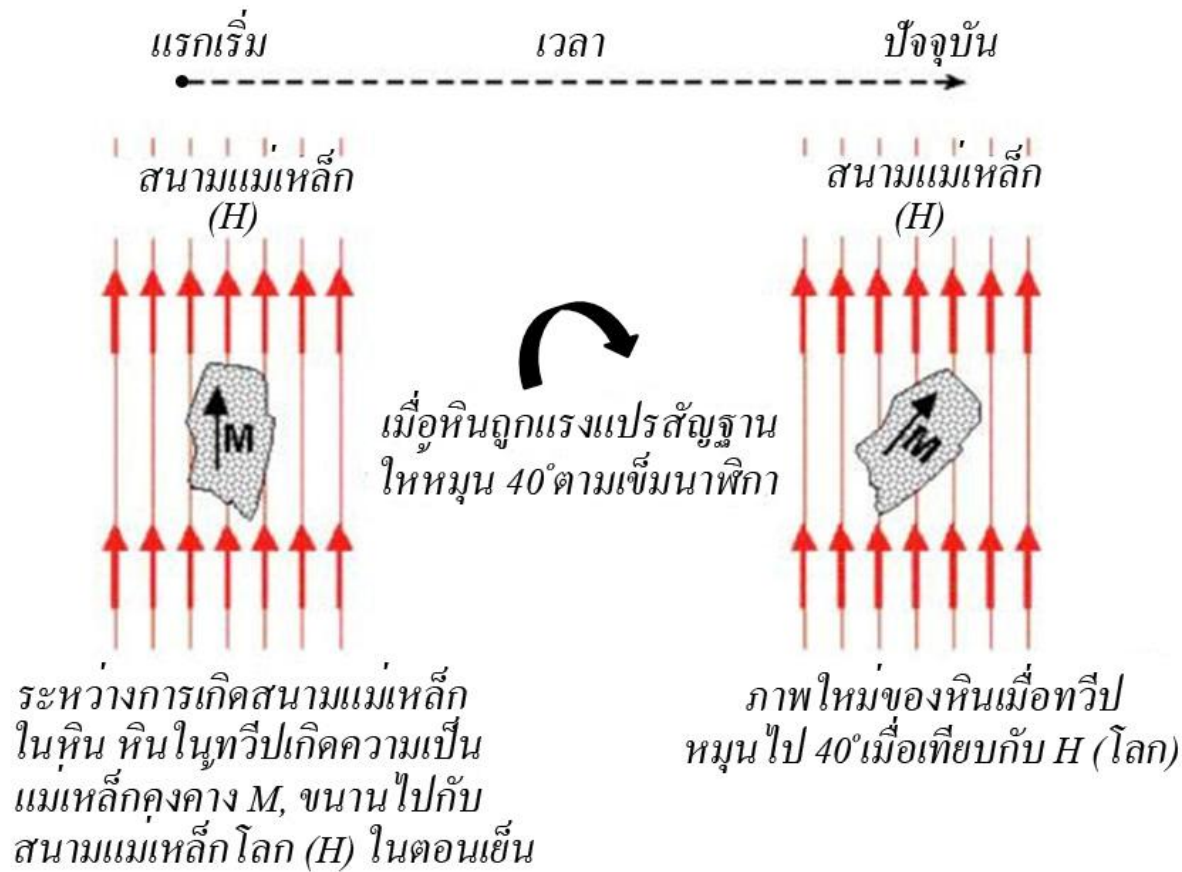
(ข)

รูป 14.6 (ก) กระแสไฟฟ้าจากชั้นแกนโลกเกิดการเหนี่ยวนำจนทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโลก
 (ข) การที่แกนโลกมีความร้อนที่ไม่เท่ากันทุกจุดทำให้เกิดห่อของการไหลเวียนความร้อน และเมื่อโลกหมุนจึงเกิดสนามแม่เหล็กโลกได้
 ก <http://physicsworld.com/cws/article/news/2009/apr/24/multipolar-dance-could-flip-earths-magnetic-field>
 ข <http://all-geo.org/highlyallochthonous/2008/03/where-the-earths-magnetic-field-comes-from/>

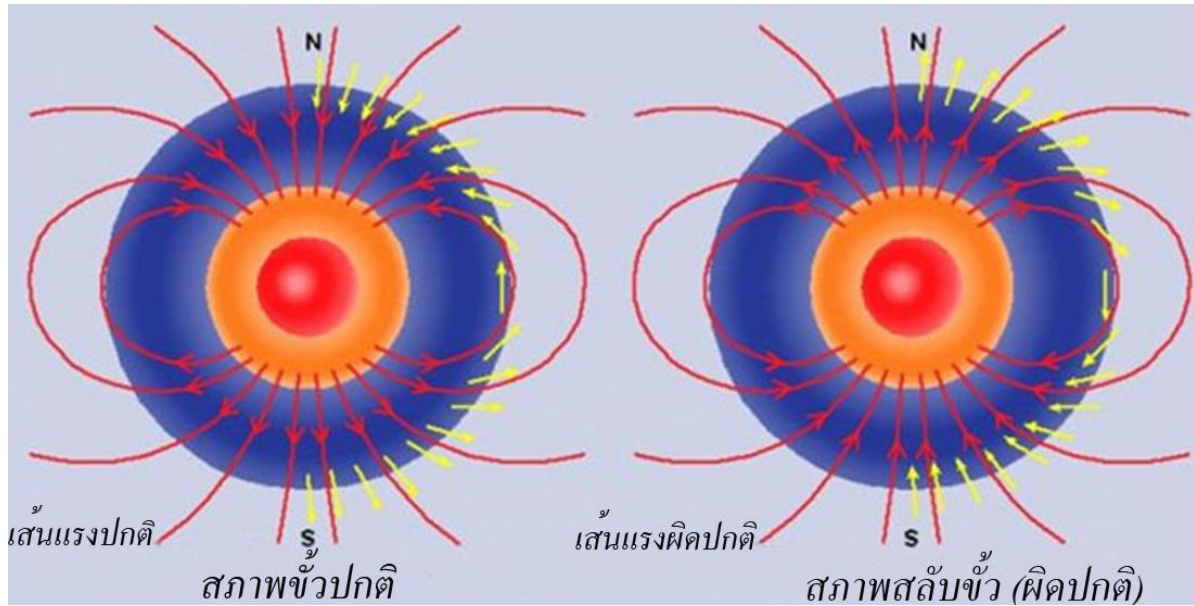
(ก)



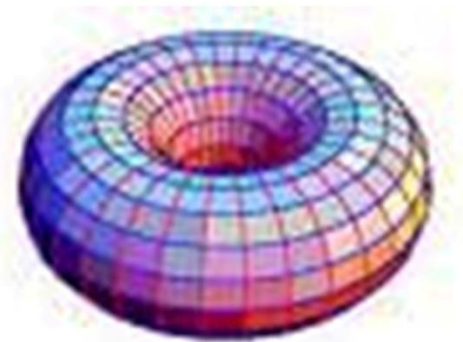
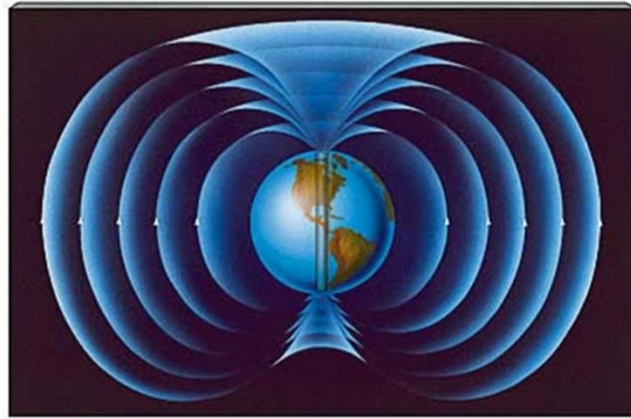
รูป 14.7 (ก) เมื่อหินหนืดระเบิดออกจากภูเขาไฟกลายเป็นหินละลายเย็นตัวตามลำดับและถูกเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กโลก ในขณะนั้นให้แร่แม่เหล็ก เช่น แร่เหล็กถั่ววางตัวขนานกับทิศทางแม่เหล็กและเมื่อทิศทางแม่เหล็กโลกเปลี่ยนไป (ตามกาลเวลา) ทิศทางแม่เหล็กในหินอัคนีก็ยังคงปรากฏไปตามแนวเดิม (ข) (ซ้าย) ในตอนแรกหินละลายอาจไม่แสดงอำนาจแม่เหล็กเนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี (580°ซ) ต่อมาเมื่อหินละลายเย็นตัวลงโดยการตกผลึกและแข็งตัวเป็นหินอัคนี (ค) แร่เหล็กดำ (M) จะถูกเส้นแม่เหล็กโลก (F) เหนี่ยวนำ (กลาง) และ (ง) เมื่อเม็ดตะกอนที่มีแร่แม่เหล็กตกสะสมตัวจะถูกเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กโลกให้วางตัวขนานทิศทางแม่เหล็กขณะนั้นได้



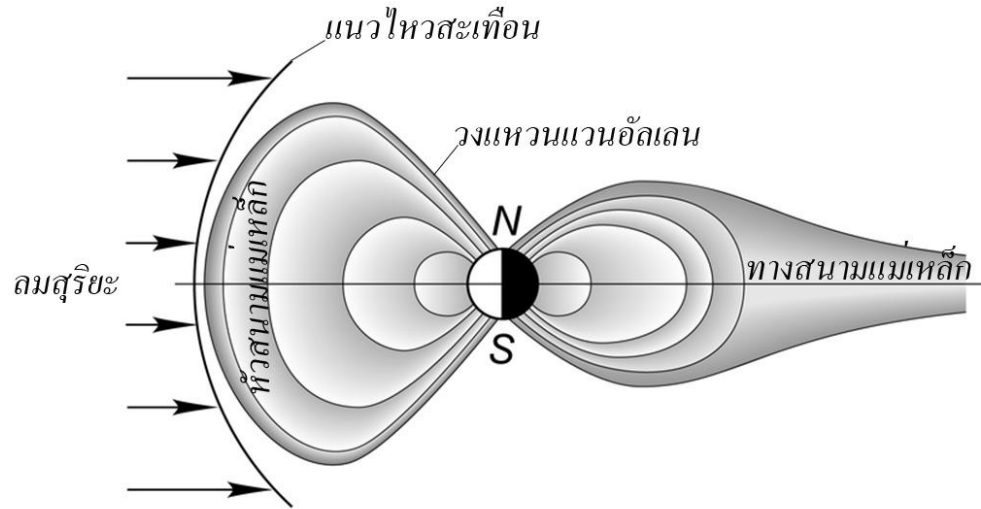
รูป.14.8 สภาวะแม่เหล็กบรรพกาลกับการแปรสัณฐาน การวัดค่าแม่เหล็กถาวร (คงค้าง-remnant magnetization) ในหิน ทำให้เราตรวจหาการหมุนของหินและ โครงสร้างหินได้



รูป 14.9 แกนกลางของโลกเหมือนมีลักษณะเป็นของเหลว ซึ่งเมื่อโลกหมุนอย่างรวดเร็ว ทำให้ประจุไฟฟ้าภายในของเหลว ถูกเหนี่ยวนำ จนเกิดเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เมื่อถึงผิวโลกจะเปลี่ยนไปเป็นสนามแม่เหล็กโลก

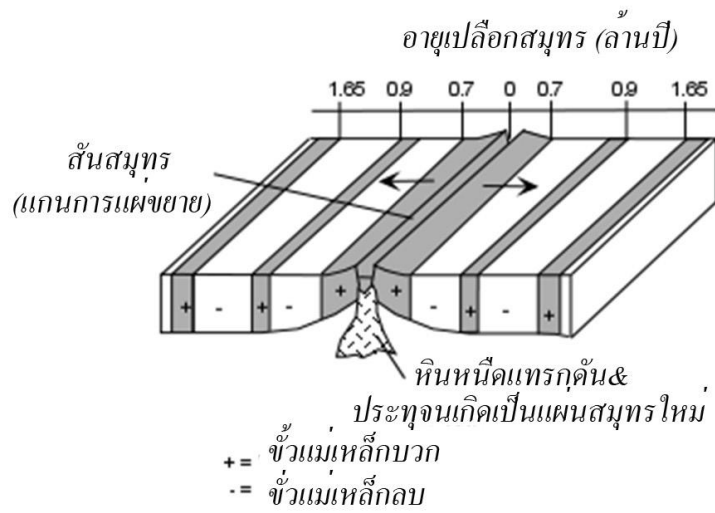


รูป 14.10 วงความเข้มสนามแม่เหล็กโลกที่มีประจุ ซึ่งแผ่ออกโดยรอบจนเป็นทรงกลมสนามแม่เหล็กคล้ายแอปเปิล คือปุ่มตรงขั้วโลก (vortex) (magnetosphere) ซึ่งไกลออกไปจากผิวโลกถึง 60,000 กม และที่สำคัญคือประกอบด้วย แนวประจุไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง (energetic charged particles) ที่อยู่ ณ ระดับแนวไกลออกไปจากโลก 2 แนว ที่เรียกรวมกันว่าแนวแวนแอลเลน คือแนวแผ่รังสีส่วนใน (inner radiation belt) ประมาณ 1,000 กม และแนวแผ่รังสีส่วนนอก (outer radiation belt) ประมาณ 60,000 กม

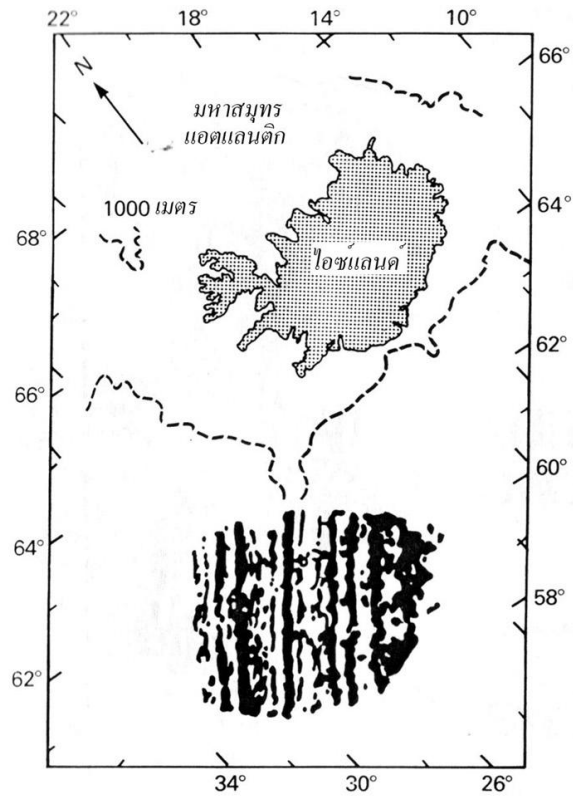


รูป 14.11 การเกิดลมสุริยะจากพืดดวงอาทิตย์และวงแหวนแวนอัลเลนที่กักเก็บอนุภาคประจุไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์

http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_wind

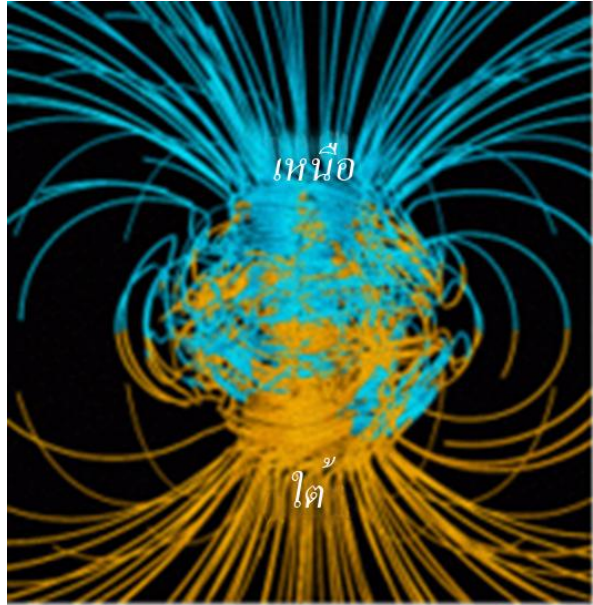


(ก)

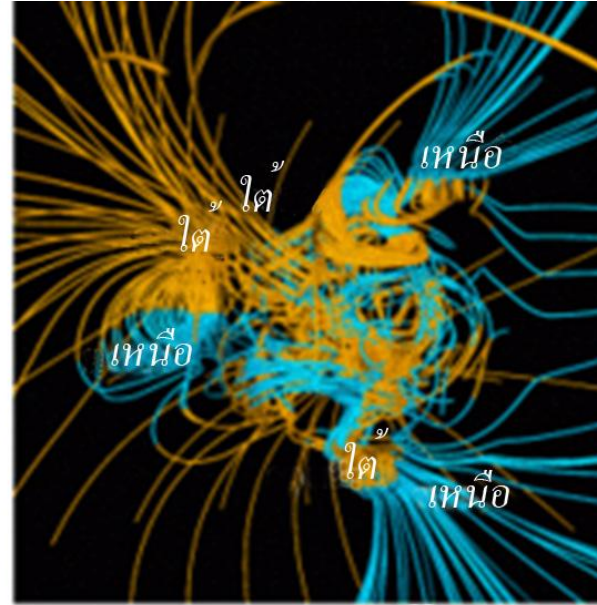


(ข)

รูป 14.12 (ก) แถบแม่เหล็กที่พบ
ทั้งค่าความผิดปกติบวกและลบ
จากแกนสันสมุทรที่วางตัวสลับ
ไปมา
(ข) แถบแม่เหล็กที่พบบริเวณสัน
กลางสมุทรแอตแลนติกทางใต้
ของเกาะไอซ์แลนด์

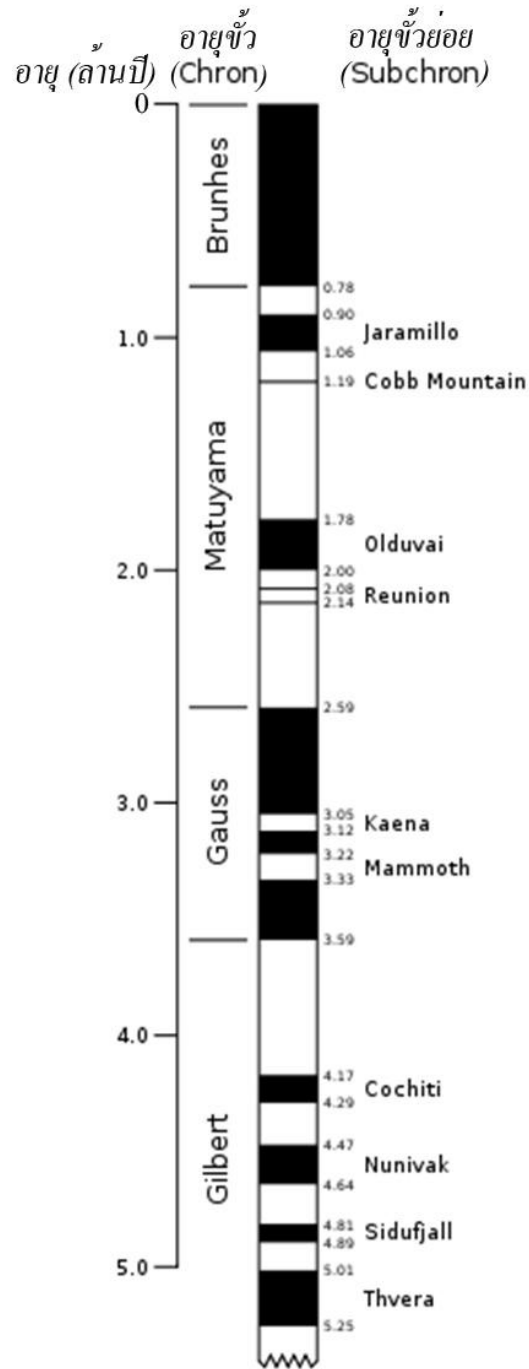


ช่วงระหว่างการสลักขั้ว (ช่วงปกติ)

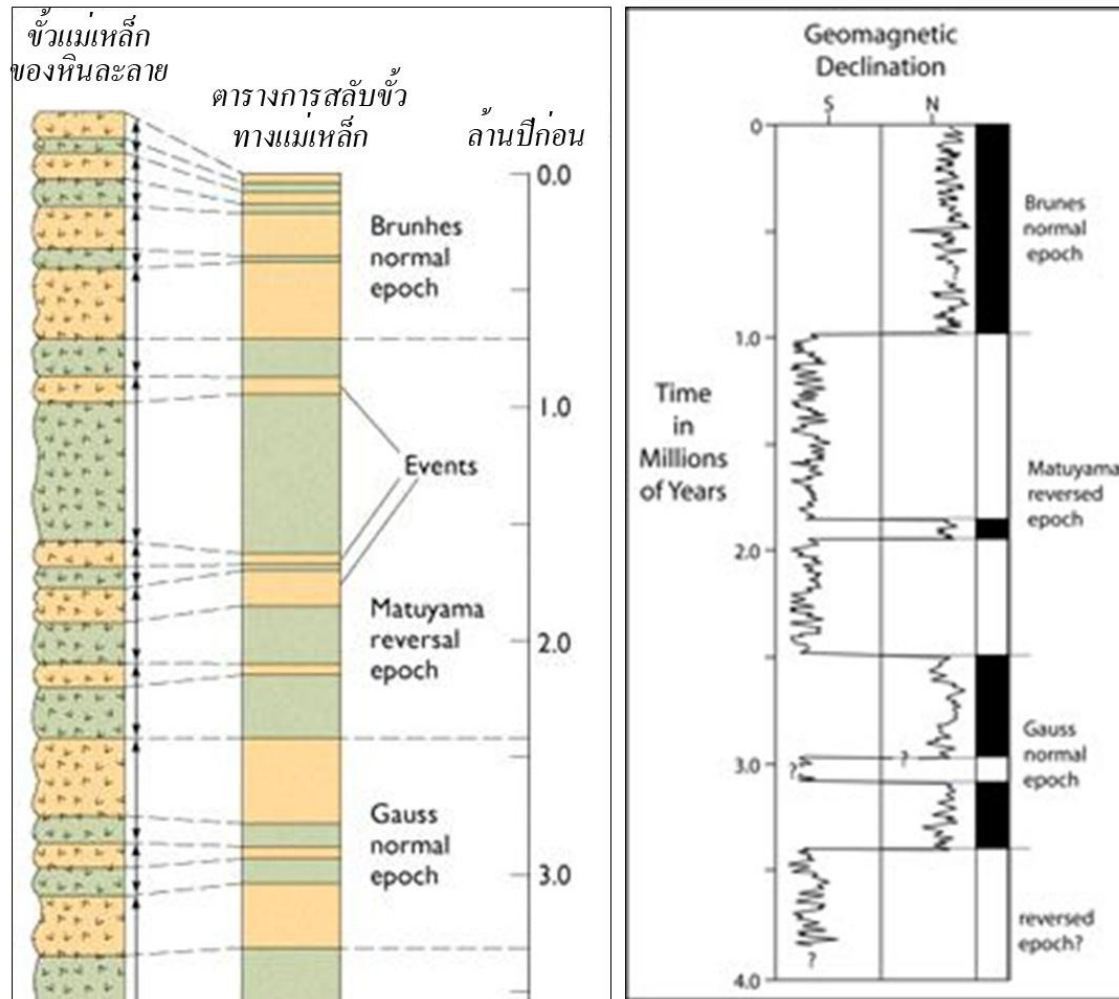


ช่วงขณะเกิดการสลักขั้ว

รูป 14.13 แบบจำลองแสดงการเกิดภาวะสลักขั้วแม่เหล็กโลก (ก) ระหว่างการสลักขั้ว และ (ข) ขณะสลักขั้ว

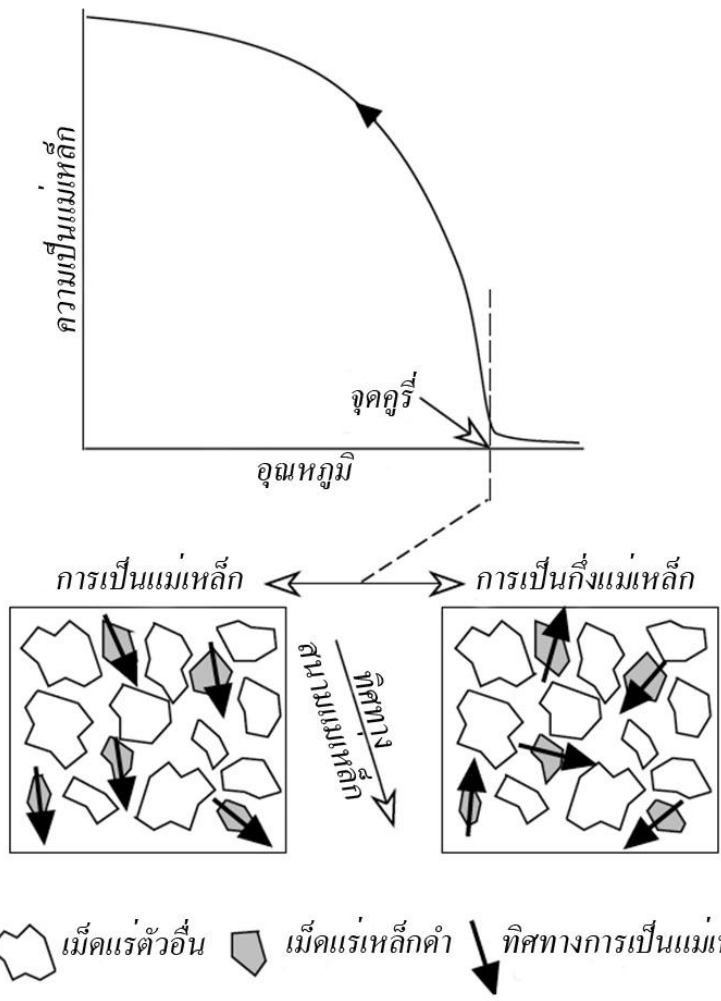


รูป 14.14 การสลับขั้วแม่เหล็กโลก
ในช่วง 5 ล้านปีที่ผ่านมา ซึ่งตอนนั้น โลก
เรามีการสลับขั้วมากถึง 12 ครั้ง



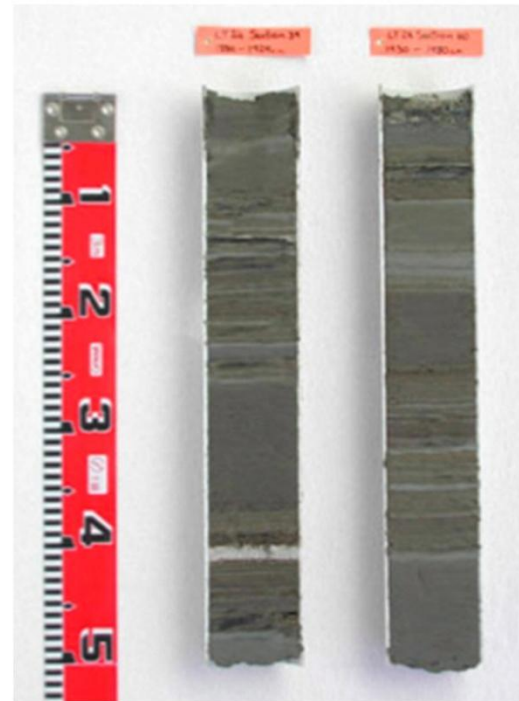
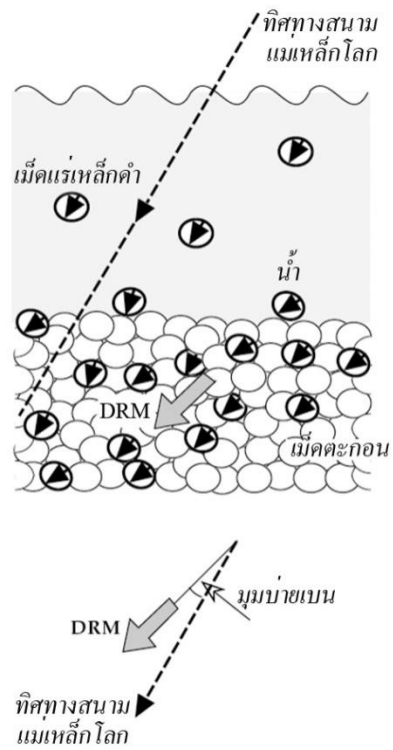
รูป 14.15

รูปแบบการสลับขั้วของแม่เหล็กโลกไปตามกาลเวลา

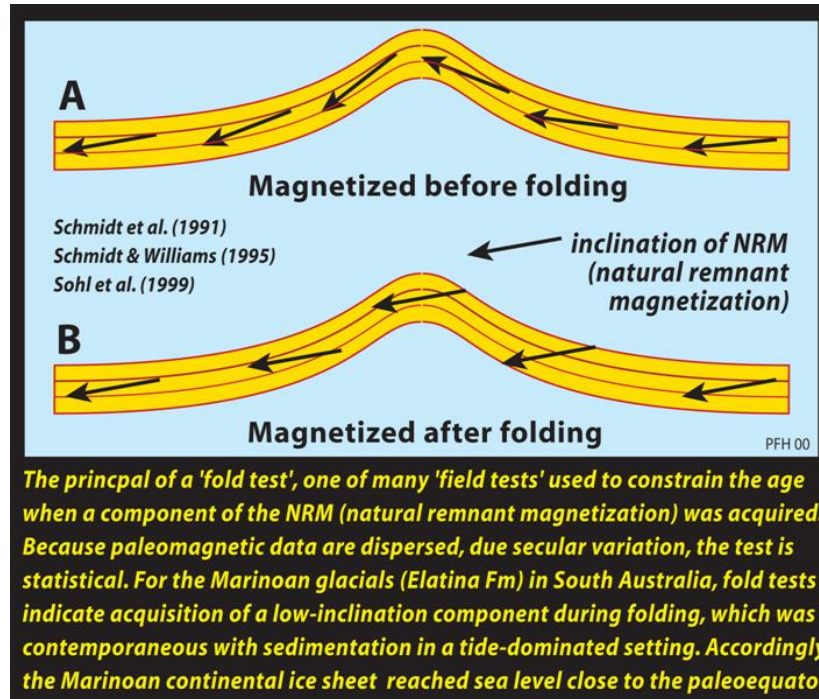


รูป 14.16

<http://www.ualberta.ca/~dumberry/geoph110/magnetiz.htm>



รูป 14.17 เม็ดตะกอนขนาดเล็กและสารแม่เหล็กที่ถูกตัวกลางการพัฒนาเช่นน้ำหรือลมมาสะสมตัวเป็นตะกอนจึงถูกสนามแม่เหล็กโลกในขณะนั้นเหนี่ยวนำ Detrital remanent magnetism หรือ (DRM)



รูป 14.18 หลักการและ การทำการทดลองการโค้ง (fold test)

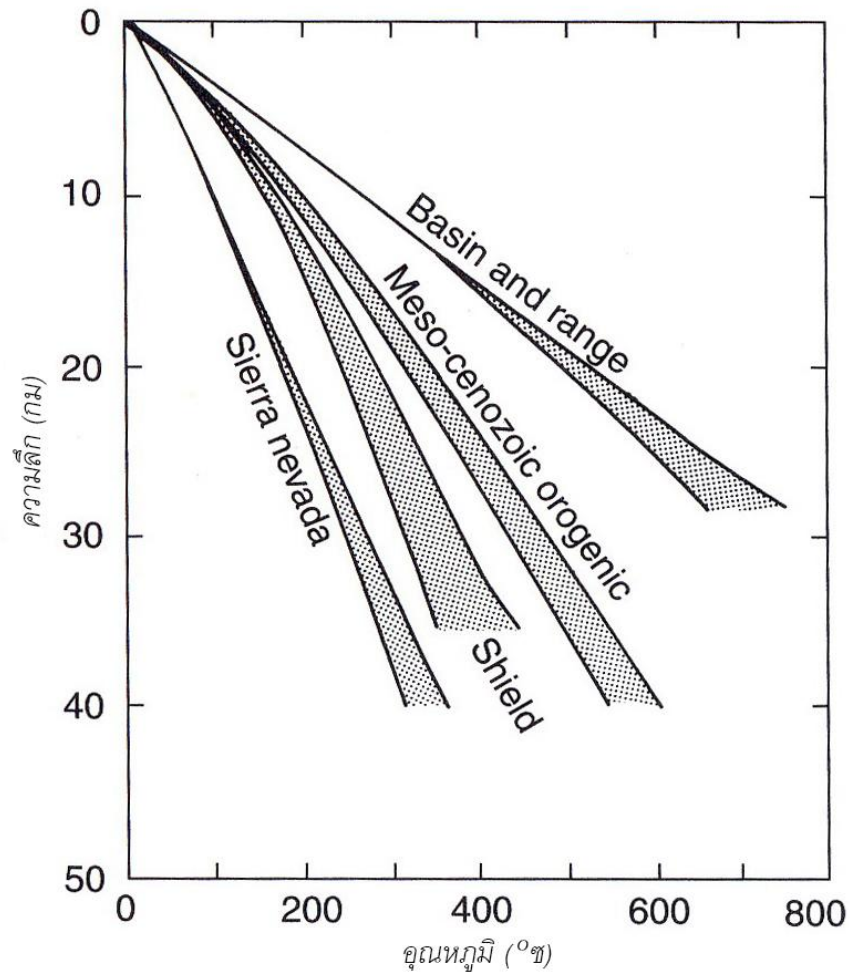


fig 14.xx ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและอูณหภูมิของความร้อนใต้พิภพในเปลือกทวีป 4 แบบ (ดัดแปลงจาก Blackwell (1971) และ Chapman (1986))

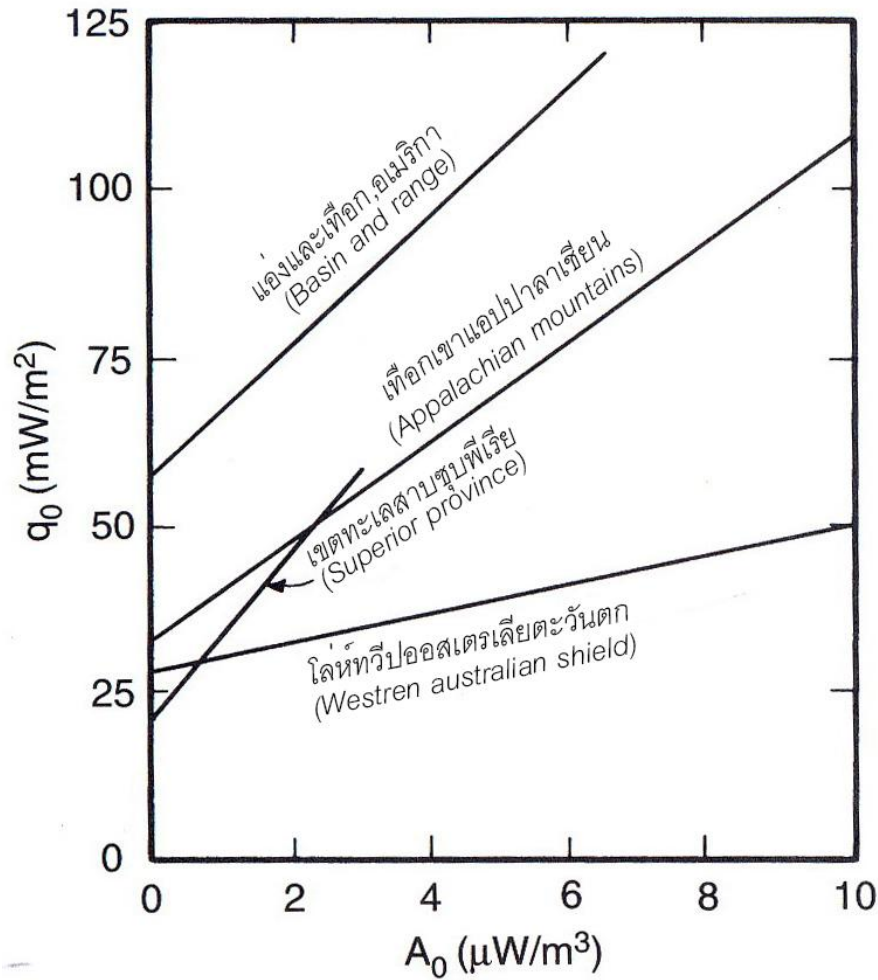


fig 14.xx กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลร้อนที่ผิว (q_0) กับการผลิตความร้อนของหินร้อนใกล้ผิว (A_0) จากเปลือกโลกหลายประเภท

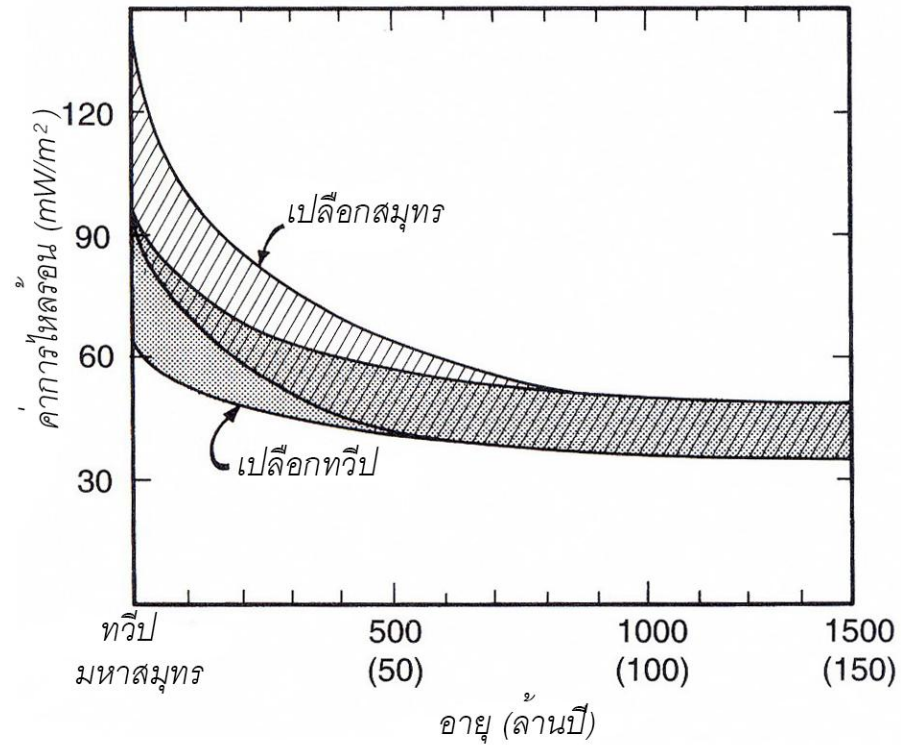


fig 14.xx ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของเปลือกโลกกับค่าการไหลร้อนตัวเลขในวงเล็บ
ในแกน x คืออายุเป็นล้านปีในแผ่นเปลือกสมุทร (คัดแปลงจาก Morgan, 1985)

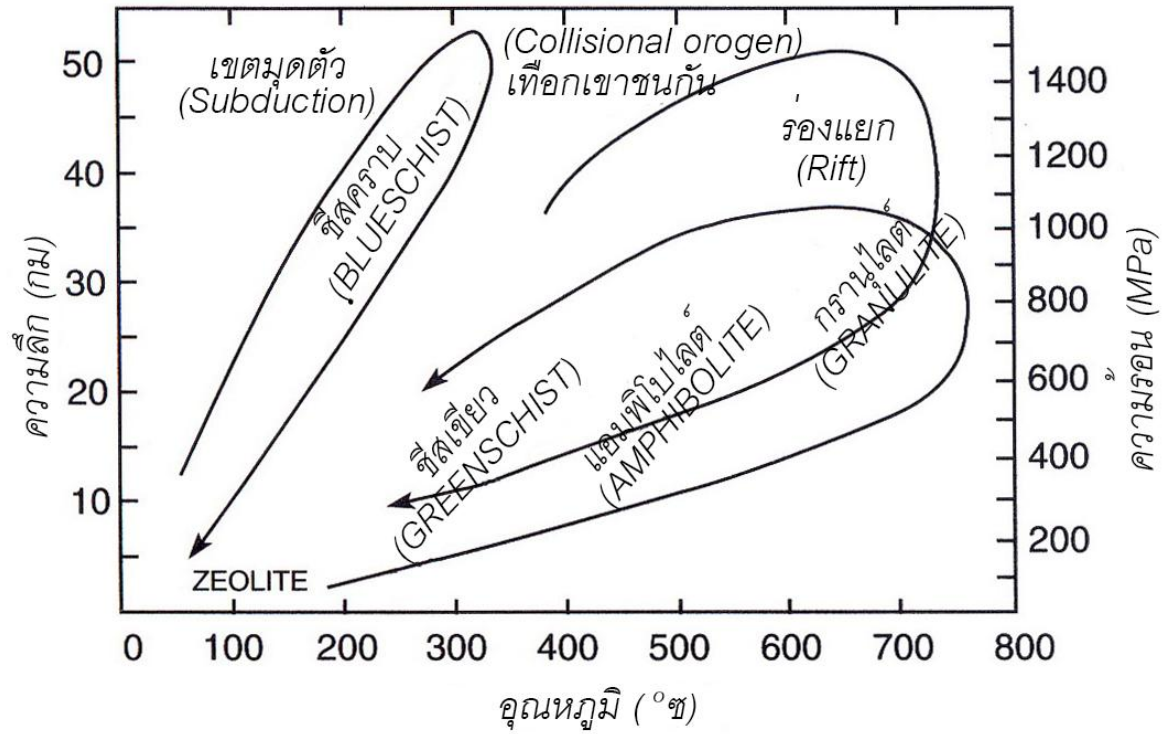


fig 14.x กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน-อุณหภูมิ (P-T diagram) แสดงการกระจายตัวของชุดลักษณะหินแปรและเส้นทางอุณหภูมิ-ความดัน-เวลา (P-T-t path)