สภาพภูมิอากาศและอิทธิพลการแปรสัณฐาน

12.1 ข้อมูลพื้นฐาน

12.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

12.3 สาเหตุการเปลี่ยนแปลง

12.4 ผลของการเปลี่ยนแปลง

12.5 ความเกี่ยวพันกับการแปรสัณฐาน

12.6 แนวทางในการแก้ไข

รวบรวมโดย

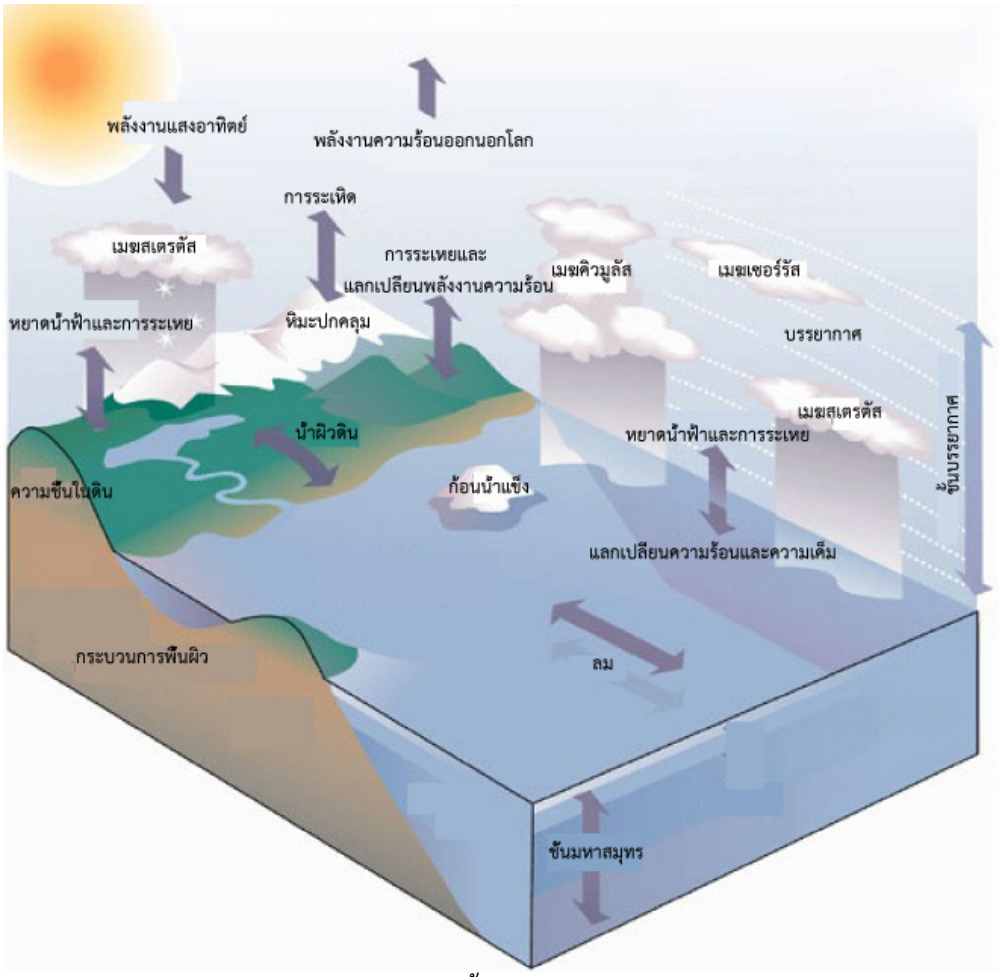
นายพีรสิทธิ์ สุรเกียรติชัย และ

รศ. ดร. ปัญญา จารุศิริ

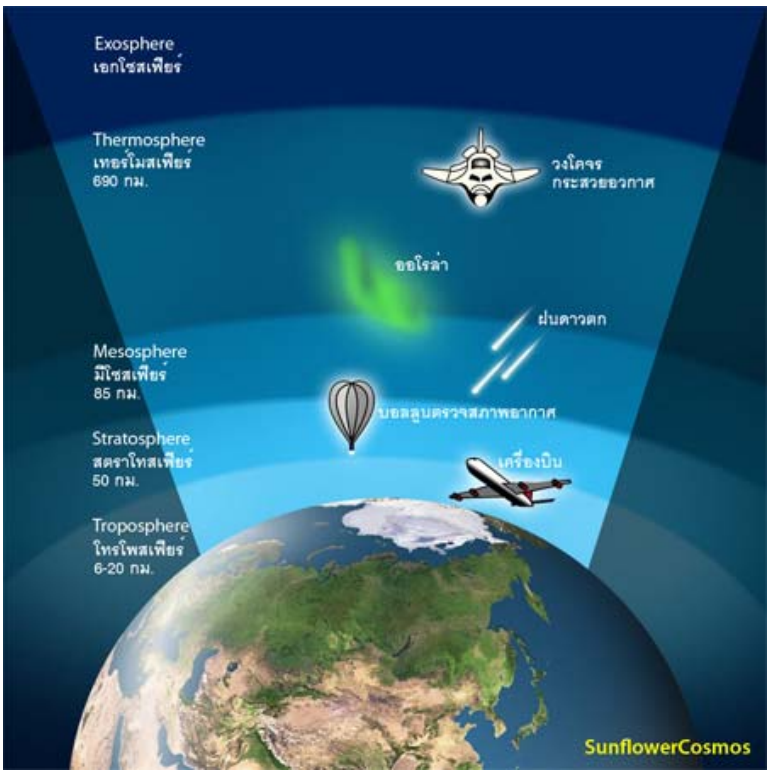
บทที่ 12
สภาพภูมิอากาศกับธรณีแปรสัณฐาน
(Climate And Effect On Tectonics)

12.1 ข้อมูลพื้นฐาน

ภูมิอากาศ (climate) หมายถึง สภาพอากาศโดยเฉลี่ยของพื้นที่แห่งหนึ่งตลอดช่วงเวลาหลายปี ดังนั้นการจำแนกภูมิอากาศจึงต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น (ปริมาณฝนหรือ precipitations) ความเร็วและทิศทางของลม (windiness) *(รูป 12.1)* และเราเรียกวิชาทางวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องภูมิอากาศ ซึ่งรวมถึงองค์ประกอบทั้งทางกายภาพและทางเคมี ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาว่า *ภูมิอากาศวิทยา (climatology)* ภูมิอากาศจึงแตกต่างจากบรรยากาศ (atmosphere) เพราะบรรยากาศเป็นสภาพอากาศที่ปกคลุมโลกอยู่ทั่วไป และแบ่งออกได้ตามช่วงความสูงจากผิวโลก *(รูป 12.2)* เราเรียกวิชาทางวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับบรรยากาศว่า *บรรยากาศศาสตร์ (atmospheric science)*



รูป 12.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น (ปริมาณฝนหรือ precipitations) ความเร็วและทิศทางของลม (windiness) (http://oceanmotion.org/html/background/climate.htm)



รูป 12.2 ชั้นบรรยากาศช่วงความสูงต่างๆของโลกพิภพ

(http://www.sunflowercosmos.org/space_news/space_science_home/space_weather.html)

อาจกล่าวได้ว่าสภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต ที่เห็นชัดคือในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันส่งผลให้มีสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นต่างกันไป และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศย่อมทำให้พฤติกรรมและการตั้งถิ่นฐาน (settlement) ของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยอาจมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศแบบใหม่นั้นๆ แต่ถ้าปรับตัวไม่ได้ก็ต้องอพยพย้ายถิ่นฐาน (migration) เพราะถ้าไม่อพยพก็อาจทำให้ตายหรือเสียชีวิตลงได้ ตัวอย่างเช่น เป็นที่ทราบกันดีว่ามนุษย์เกิดมานานตั้งแต่อนุยุค หรือสมัยไมโอซีนตอนกลาง และมีการเจริญพันธุ์ไปทั่วทั้งยุโรป อเมริกาเหนือ และ เอเชีย

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พบหลักฐานมากมายที่สนับสนุนว่ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน ได้แก่ หลักฐานทางซากดึกดำบรรพ์ เช่น การค้นพบฟันของฮิปโป ในแหล่งตะกอน (interglacial deposit) ที่อังกฤษ *(รูป 12.3)* ซึ่งหมายความว่าในอดีต บริเวณนั้นคงมีสภาพอากาศเป็นแบบร้อนชื้น (tropical) ของช่วงระหว่างยุคน้ำแข็ง (interglacial period) หรือแบบกึ่งร้อนชื้น (subtropical) เพราะเราทราบจากหลักฐานในปัจจุบันว่าฮิปโปอยู่เฉพาะในเขตร้อนของทวีปแอฟริกา จึงทำให้เราสรุปโดยใช้หลักฐานทางธรณีวิทยาที่ว่าปัจจุบันเป็นกุญแจสำคัญไปสู่อดีต นอกจากนั้นยังมีหลักฐานทางธรณีวิทยาอื่นๆ ได้แก่ ดินตะกอนจากธารน้ำแข็งหรือก้อนหินยักษ์นิรสถาน *(ดูรูป 12.4)* (erratic boulder) ซึ่งไม่รู้มาจากที่ใด ที่พบในเขตละติจูดหรือเส้นรุ้งต่ำๆ ที่แสดงว่าครั้งหนึ่งน้ำแข็งเคยปกคลุมบริเวณแถบนี้ ในไทยหลักฐานจากชั้นตะกอนทะเล (marine clay) อายุประมาณ 7-8 พันปี โผล่ให้เห็นบางแห่งแถบสิงหบุรี อ่างทอง และนครนายก ทำให้คิดว่าน้ำทะเลเคยรุกล้ำเข้ามาจากทางอ่าวไทยถึงบริเวณภาคกลางแถบนี้ในช่วงเวลานั้น และทำ

ให้เราสรุปว่ากรุงเทพฯ ณ เวลานั้นจมอยู่ใต้น้ำ จากภาวการณ์ที่ระดับน้ำทะเลค่อยๆ ถอยร่นมาจนถึงปัจจุบันทำให้ นักธรณีวิทยาไทยหลายท่าน (เช่น อาจารย์ ทิวา ศุภจรรยา) ได้ใช้หลักฐานสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ การตั้งถิ่นฐาน ตลอดจน หลักฐานจากธรณีสัณฐาน ว่าขอบชายทะเลน่าจะถอยร่นลงไปเรื่อยๆ ทางใต้จากกรุงเทพฯ ทำให้กรุงเทพฯ อาจไม่จมตัวลงอยู่ใต้ทะเลอย่างที่มีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านเชื่อกันในปัจจุบัน

จุดสำคัญของเรื่องการแปรสัณฐานสำหรับบทนี้มี 2 ลักษณะ คือ การแปรสัณฐานมีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศทั้งในอดีตและปัจจุบัน โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศในอดีตสามารถนำมาอธิบายสภาพการแปรสัณฐาน โดยที่อย่างหลังนี้เราได้อธิบายไว้ในบทต้นๆ ของหนังสือเล่มนี้จึงนำมากล่าวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในบทนี้เราพยายามเน้นถึงบทบาทแรกมากกว่า

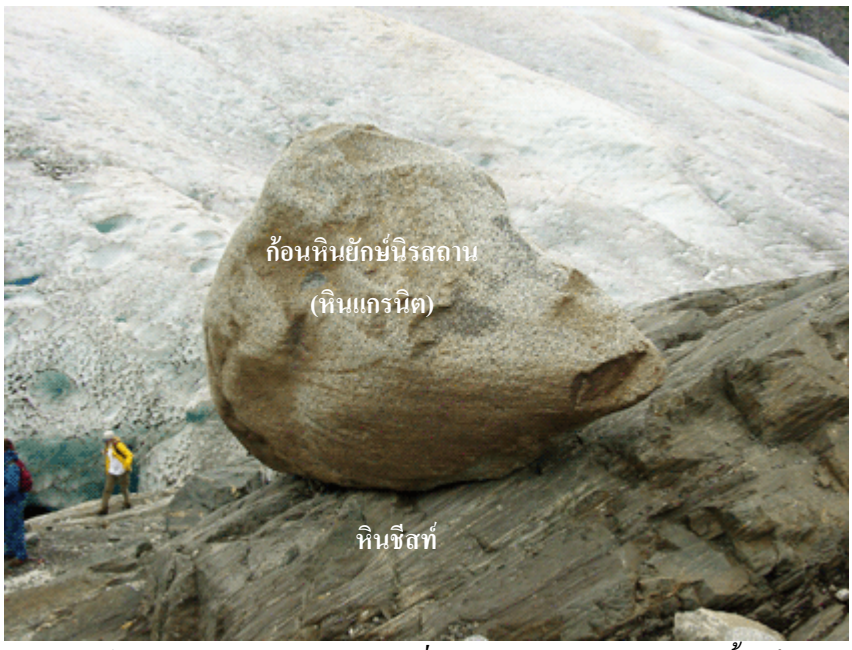
ดังนั้นเมื่อนักธรณีวิทยาตรวจสอบลักษณะตะกอน ตลอดจนชนิดหิน และโครงสร้างหิน ทำให้ทราบว่าบริเวณที่พวกเขาเหล่านั้นศึกษาเคยมีธารน้ำแข็งปกคลุม แต่ปัจจุบันพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในเขตร้อน หรือทำนองเดียวกัน เนินทรายลมหอบในทะเลทราย (desert sand dune) ที่เกิดในที่แห้งแล้ง กลับพบในเขตร้อนชื้นและอบอุ่น จนทำให้พวกเขาตั้งคำถามว่าเกิดอะไรกับพื้นที่นี้แน่ๆ ภูมิอากาศเปลี่ยนเพราะอะไร ใครทำให้เปลี่ยนหรือเพราะแผ่นดินเคลื่อนที่ได้

ดังนั้นถ้าเราสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อมนุษย์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน เราจึงควรศึกษาสภาพภูมิอากาศโบราณ (paleoclimate) เพื่อที่จะล่วงรู้หรือคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยแนวทางหนึ่งในการศึกษาก็คือศึกษาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลง และสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงในอดีตที่ผ่านมา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงนั้นทำได้ยาก เพราะมีปัจจัยหลายอย่างด้วยกันที่สัมพันธ์กันอยู่ เช่น ปัจจัยภายนอกโลก ได้แก่ความร้อนจากดวงอาทิตย์ หรือปัจจัยภายในโลก อย่างเช่น ปัจจัยทางชีวภาคและธรณีภาค

รูป 12.3 ฟันของฮิปโป ในแหล่งตะกอน (interglacial deposit) ที่เคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ

(http://www.fossiliferous.co.uk/mammalseurope.htm)



รูป 12.4 ก้อนหินยักษ์นิรสถาน (erratic boulder)ที่เกิดจากการพัดพาโดยธารน้ำแข็ง ประเทศอเมริกา (http://pubs.usgs.gov/of/2004/1216/e/e.html)

12.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change)

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโดยแท้จริงแล้วเป็นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโดยเฉลี่ย เช่น อุณหภูมิในฤดูหนาวหรือปริมาณน้ำฝนในฤดูร้อน แต่เวลาที่ใช้ในการพิจารณานั้นต้องนานพอสมควรอาจต้องเป็น 10 ปี ไม่ใช่ดูเพียงแค่ 2-3 ปี

ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณหิมะประจำปี ในหลายปีที่เกรท เซนต์เบอร์นาร์ท พาส (Great St. Bernard Pass) ในเทือกเขาแอลป์ (Alps) แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาภูมิอากาศโดยเฉลี่ยแล้วมีแนวโน้มว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นและมีหิมะตกน้อยลง *(ดูรูป 12.5)*

12.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

นักวิทยาศาสตร์หลายสาขาได้ศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไว้มากมาย ซึ่งพอสรุปได้ว่ามาจากสาเหตุสองประการคือ (1) จากการกระทำของมนุษย์และ(2)จากการกระทำจากธรรมชาติ ซึ่งในที่นี้เราจะไม่บรรยายถึงเรื่องการกระทำของมนุษย์มากนัก แต่สามารถหาอ่านได้จาก ธนวัฒน์ จารพงษ์สกุล (2552) และ มนตรี ชูวงษ์ (2553) ส่วนอิทธิพลจากธรรมชาติ อาจแบ่งย่อยได้เป็น 2 สาเหตุ คือ สาเหตุทางดาราศาสตร์ (astrological aspect) กับสาเหตุทางธรณีวิทยา (geological aspect) ซึ่งอย่างหลังนี้เป็นผลมาจากการแปรสัณฐานนั่นเอง

รูป 12.5 เกรท เซนต์เบอร์นาร์ท พาส (Great St. Bernard Pass) ในเทือกเขาแอลป์ (บน) ปี พ.ศ. 2551 (ล่าง) พ.ศ. 2554 ในเดือนสิงหาคมทั้ง 2 รูป เห็นได้ว่าปริมาณหิมะที่สะสมลดลงอย่างชัดเจน (http://www.flickr.com/photos/nicolasleroy/2787508242/sizes/o/in/photostream/, http://www.flickr.com/photos/paulrobinsonuk/6738438467/sizes/o/in/photostream/)

12.3.1 ทฤษฎีทางดาราศาสตร์ (Astronomical Theory)

แนวคิดนี้เริ่มต้นโดยนักธรณีวิทยาชาวสกอตแลนด์ ชื่อ John Croll และต่อมาได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดย Milutin Milankovitch ซึ่งเป็นนักดาราศาสตร์ชาวยูโกสลาเวีย ซึ่งพวกเขาได้เสนอว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกมีสาเหตุจาก 3 ประการหลักๆ ด้วยกัน ได้แก่

(ก) *สภาพการหมุนของโลกเปลี่ยนแปลงไป* ทั้งการหมุนรอบตัวเองและการหมุนรอบดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดภาวะก่อนอีควิน็อกซ์ (precession of the equinoxes) ซึ่งเป็นผลต่อการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลากลางวันและกลางคืนในแต่ละฤดูกาล

วิษุวัต (equinox) เป็นคำศัพท์ทางดาราศาสตร์ หมายถึงช่วงในขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งตรงได้ฉากกับเส้นศูนย์สูตรของโลกพอดี ซึ่งจะเกิดขึ้นปีละ 2 ครั้ง หรือในหนึ่งรอบที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ แกนหมุนของโลกที่ เอียง (Earth's axial tilt) จะเลื่อนมาอยู่ในระนาบที่ได้ฉากกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ เหตุการณ์นี้เรียกอีกอย่างว่า "วันราตรีเสมอภาค" หมายถึงเวลาตอนกลางคืนเท่ากับเวลากลางวันพอดี ศารทวิษุวัต (Autumnal equinox) เกิดในวันที่ 22 หรือ 23 กันยายนของทุกปี ซึ่งตรงกับฤดูใบไม้ร่วงในเขตซีกโลกเหนือ วสันตวิษุวัต (Vernal equinox) เกิดในวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคมซึ่งตรงกับฤดูใบไม้ผลิของซีกโลกเหนือ วสันตวิษุวัต (Spring equinox หรือ March equinox) ก็เรียก ในทำนองเดียวกัน ศารทวิษุวัต (Fall equinox หรือ September equinox)

อายันหรือโซลสติช (Solstice)ในการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ยังมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "อายัน" เกิดขึ้นปีละ 2 ครั้งเช่นกัน อายันเกิดขึ้นทุกปีระหว่างวันที่ 20 หรือ 21 มิถุนายน เรียกว่า ครียมายัน (summer solstice) และในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคมเรียกว่า เหมายัน (อ่านว่า "เห-มา-ยัน") (winter solstice) หรือที่ชาวบ้านเรียกกันว่า *ตะวันอ้อมข้าว* นอกจากนี้โลกยังมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันตลอดปี ช่วงที่ใกล้ที่สุดเกิดขึ้นในต้นเดือนมกราคม (147 ล้านกิโลเมตร) ส่วนช่วงที่ไกลที่สุดเกิดขึ้นในต้นเดือนกรกฎาคม (152 ล้านกิโลเมตร)

เฉพาะแกนหมุนของโลกที่เอียง(Earth's axial tilt) เมื่อโคจรรอบดวงอาทิตย์ จึงมีผลสลับขั้วโลกเหนือ กับ ขั้วโลกใต้ เข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ ขึ้น ส่วนการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่มีระยะใกล้บ้าง ไกลบ้าง นั้น เป็นอัตราส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับระยะห่างจากดวงอาทิตย์ จึงไม่ได้มีผล ต่อการเกิดฤดูกาลแต่อย่างใด

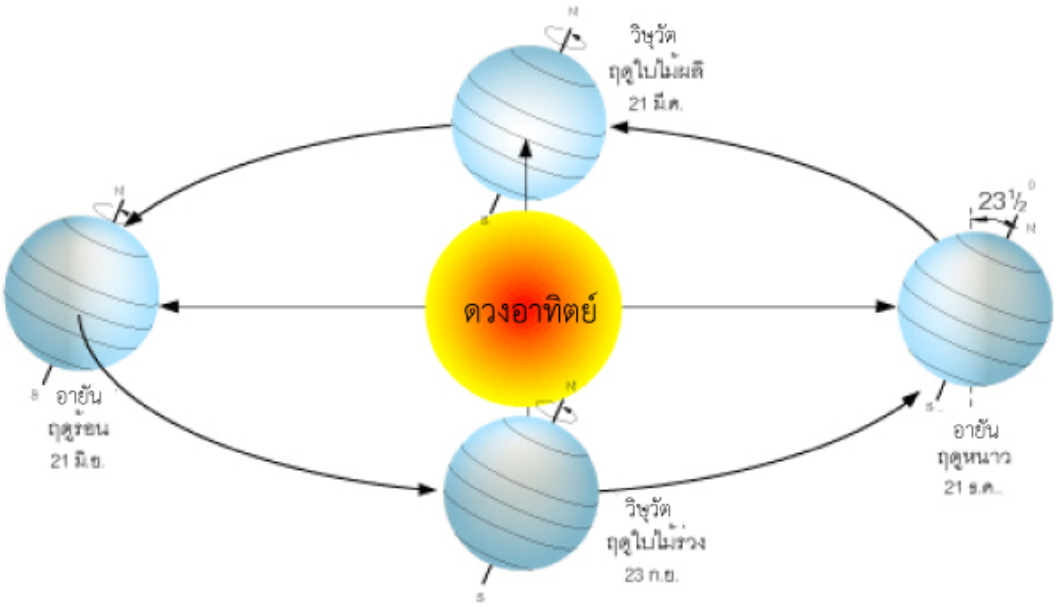
(ข) *แกนโลกที่เอียงเปลี่ยนตำแหน่งไป* ส่งผลทำให้สภาพการไหลเวียนของอากาศเปลี่ยน และ

(ค) *วงโคจรของโลกเปลี่ยนไป* (เช่น เป็นทรงกลมมากขึ้น)

12.3.2 ทฤษฎีการแปรสัณฐาน (Plate Tectonics)

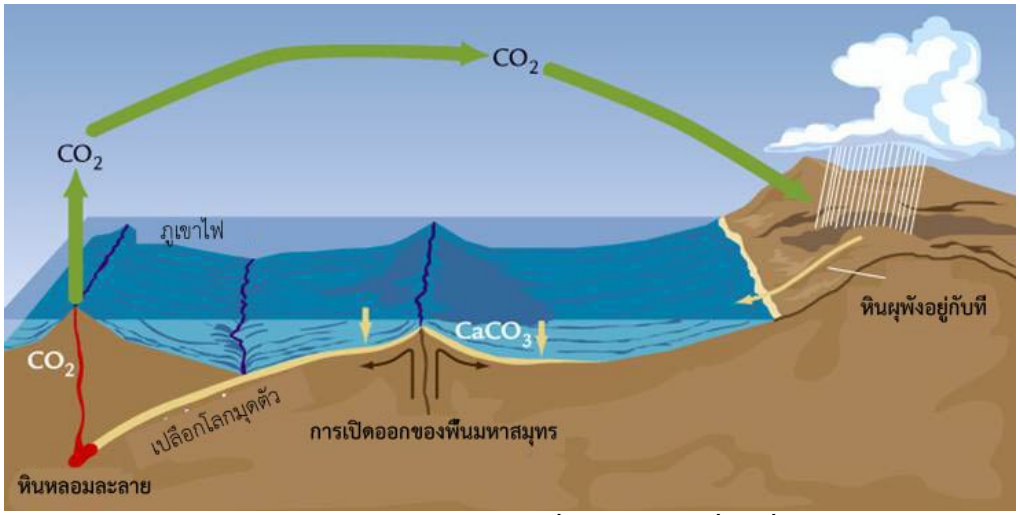
การเคลื่อนตัวของแผ่นธรณีภาคหรือแผ่นเปลือกโลกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของแผ่นที่สำคัญ ได้แก่

1. การเคลื่อนที่ของทวีป (continent)ไปพร้อมๆ กับแผ่นธรณีภาค (lithosphere)
2. การยกตัว (uplift) ของแผ่นดินเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาคแบบเข้าหากัน (convergent plate movement) และเมื่อเกิดรอยเลื่อนย้อน (thrust)
3. การเกิดเทือกเขาสูงจากการชนกันของทวีป (continental collision-related mountain ranges) และ
4. การเปิด-ปิดช่องมหาสมุทรหรือทะเลต่างๆ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่น ดังแสดงใน *รูป 12.7*



รูป 12.6 วิษุวัต เกิด 2 ครั้งในรอบ 1 ปี ศารทวิษุวัต เกิดวันที่ 23 กันยายน และ วสันตวิษุวัต เกิดวันที่ 21 มีนาคม ส่วนอายัน เกิด 2 ครั้งในรอบ 1 ปี เช่นกัน ครีษมายัน เกิดวันที่ 21 มิถุนายน และ เหมายัน เกิดวันที่ 21 ธันวาคม

(http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/LESA212/6/wind/wind/celes_equinox_earth.gif)



รูป 12.7 การเปิด-ปิดช่องมหาสมุทรหรือทะเลต่างๆ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นจนทำให้เกิดวัฏจักร CO2

(http://www2.sunysuffolk.edu/mandias/global_warming/natural_causes_climate_change.html)

12.4 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง (Effect of Climate Change)

การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาค (lithospheric pate crustal) หรือแผ่นเปลือกโลก (tectonic plate) สามารถส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศ โดยแบ่งตามช่วงเวลาออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ (1) ผลระยะยาว และ (2) ผลระยะสั้น โดยผลกระทบในระยะยาวนั้นหมายถึง ผลกระทบที่เกิดจากภาวการณ์เคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกต่อสภาวะอากาศในระยะที่ยาวนานของกาลเวลาทางธรณีวิทยา ส่วนผลกระทบในระยะสั้นนั้น หมายถึงผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอย่างต่อเนื่อง แต่กลับมีผลต่อความเป็นไปของสภาพภูมิอากาศและสภาวะแวดล้อมในโลกในช่วงเวลาต่อมา

12.4.1 ผลกระทบระยะยาว (Long Term Effects)

ความเข้าใจสภาพการแปรสัณฐานในบทต้นๆ ทำให้เราทราบว่าเหตุการณ์จากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยาได้ในระยะยาว ซึ่งเหตุการณ์ใหญ่ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ (1) การขยายตัวของแผ่นมหาสมุทร (2) บรรพตรังสรรค์หรือการเกิดภูเขา และ (3) การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (tectonic plate movement)

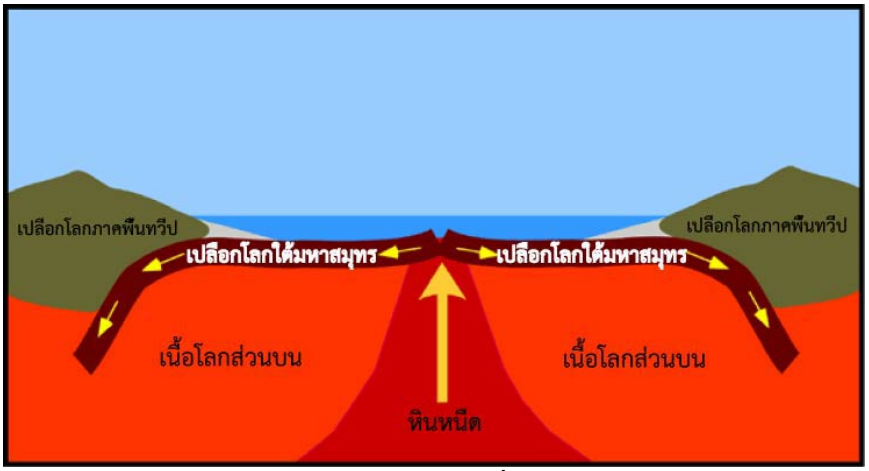
(ก) การขยายตัวของแผ่นมหาสมุทร (Sea Floor Spreading) หลักฐานจากธรณีวิทยาทำให้เราเชื่อว่าเมื่อเปลือกโลกแยกออกจากอภิมหาทวีปแพนเจีย (Pangaca) ที่ประกอบด้วยมหาทวีปลอราเซีย (Laurasia) และกอนวานา (Gonwana) ในปลายยุคไทรแอสสิกจนก่อให้เกิดทะเลทีทีส (Tethys Sea) ขึ้น มวลน้ำทะเลที่แทรกเข้าไประหว่างแผ่นทวีปทั้งสอง ย่อมก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลมและอัตราการระเหยของไอน้ำ อีกทั้งการแยกตัวของแผ่นและการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกยังส่งผลก่อให้เกิดการระเบิดของภูเขาไฟ และตามแนวรอยแยกที่มีหินหนืดก่อเกิดตามแผ่นเปลือกโลกเหล่านี้ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซหลากชนิดทั้งที่มีพิษและไม่มีพิษตลอดจนเถ้าภูเขาไฟ สู่ชั้นบรรยากาศของโลก ก๊าซและเถ้าเหล่านี้ลอยพุ่งฟุ้งกระจายในอากาศอยู่ยาวนานจนในที่สุดจึงก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาวะและสภาพภูมิอากาศของโลกในช่วงเวลาต่อมา

หลังจากนั้นแอ่งมหาสมุทรขยายตัวใหญ่ขึ้น จนทำให้แผ่นทวีปแยกตัวออกไปเรื่อยๆ ขณะเดียวกันอาจมีการสร้างขอบแผ่นทวีปออกไปจนทำให้สภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละบริเวณเรื่อยมาถึงปัจจุบัน *(รูป 12.8)*

(ข) บรรพตรังสรรค์ (Orogeny) ตัวการหนึ่งที่กำหนดความหลากหลายทางภูมิอากาศได้อย่างชัดเจน ได้แก่ สภาพภูมิประเทศที่หลากหลาย อันเป็นผลจาก บรรพตรังสรรค์หรือการเกิดภูเขา (mountain building) อันเป็นผลจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลก *(รูป 12.9)* จึงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

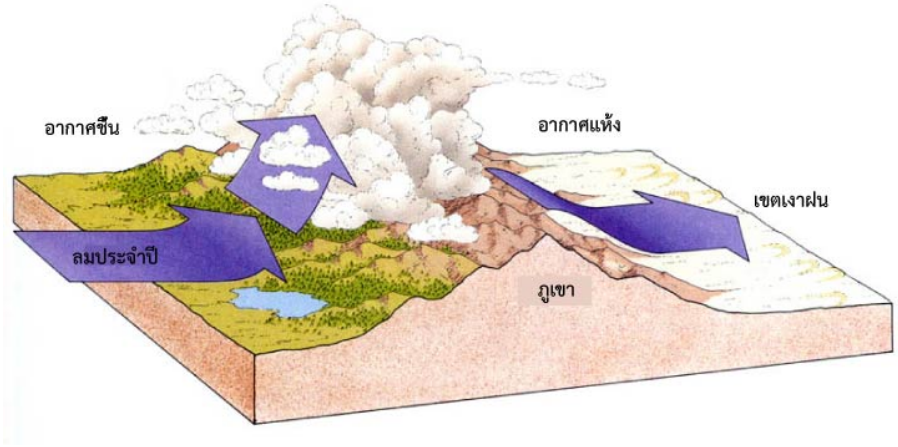
ในแง่มุมของธรณีแปรสัณฐาน เราพบว่าภูเขาสามารถเกิดได้ 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction) การยกตัวของแผ่นเปลือกโลก (uplift) และการเกิดการกัดกร่อน

ตามธรรมชาติ แต่ในรายงานฉบับนี้ขอกล่าวถึงการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกเป็นสำคัญ เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศ และธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่ชัดเจน



รูป 12.8 แอ่งมหาสมุทรขยายตัว ทำให้สภาวะอากาศเปลี่ยนแปลง

(http://mail.colonial.net/~hkaiter/platetectonics.html)



รูป 12.9 การเกิดภูเขาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

(http://www.ees.rochester.edu/fehnlab/ees215/fig16_7.jpg)

เราทราบกันดีว่าในช่วงก่อนมหายุคนวชีวิน (Cenozoic) ในบริเวณทะเลทรายโกบีของจีนและมองโกเลีย (คำว่า “โกบี” เป็นภาษามองโกเลีย แปลว่าทะเลทรายอยู่แล้ว ฝรั่งเข้ามาได้ยินคนมองโกลชี้ไปที่ทะเลทรายและพูดว่า โกบี...โกบี... เลยทึกทักเอาว่าเป็นชื่อของทะเลทราย) ในอดีตเคยเป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ และความหลากหลายทางชีวภาพสูง ซึ่งเราทราบได้จากรอยบันทึกที่ปรากฏในชั้นหินตะกอนที่มีการพบซากบรรพชีวินของสัตว์จำพวกไดโนเสาร์ และพืชในเขตอบอุ่นจำนวนมาก ไดโนเสาร์เป็นสัตว์ขนาดใหญ่จึงจำเป็นที่จะต้องอยู่ในบริเวณที่มีอาหารการกินอุดมสมบูรณ์เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ไดโนเสาร์จะต้องอยู่ในเขตอบอุ่นเนื่องจากเขตอบอุ่นเท่านั้นที่จะมีอาหารเพียงพอต่อความใหญ่โตและปริมาณของไดโนเสาร์ได้

หลังจากต้นยุคเทอเชียรีหรือยุคพาลิโอจีน (Paleogene Period) ประมาณ 45-50 ล้านปีมาแล้ว แผ่นอินเดีย(Indian Plate)ได้เคลื่อนที่เข้ามาจากทางใต้เข้ามาชนกับแผ่นทวีปยูเรเซีย

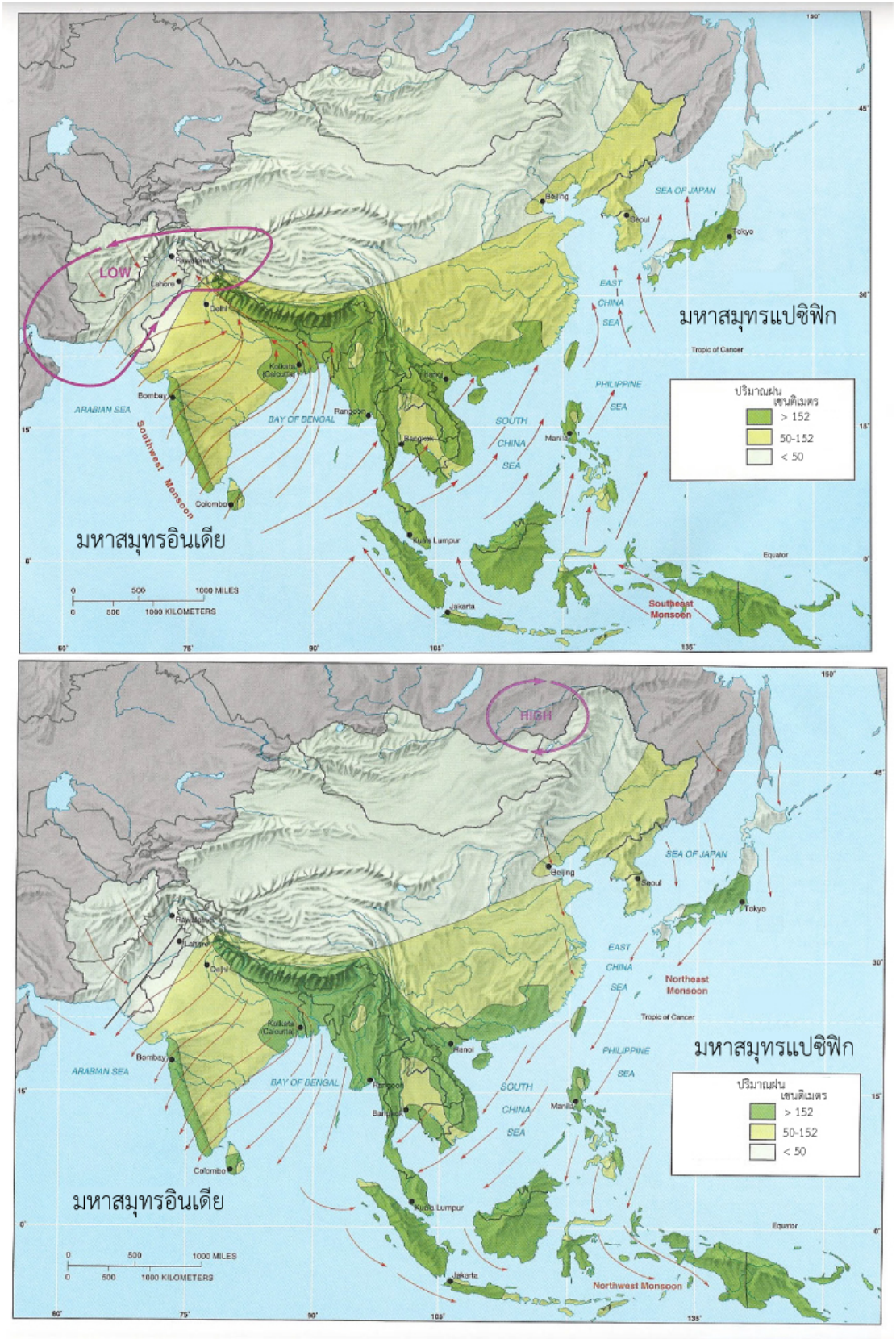
(Eurasian Plate) จนในที่สุดเกิดเป็นที่ราบสูงทิเบต (Tibet Plateau) และเทือกเขาหิมาลัยขึ้น (Himalaya Ranges) กั้นลมมรสุมที่เข้ามาทางตอนใต้ ซึ่งในอดีตเคยนำเอาความอุดมสมบูรณ์และความชุ่มชื้นมาสู่โกบี แต่การมีหรือปรากฏเป็นม่านบังฝนขนาดมหึมาทำให้พื้นดินที่ชุ่มชื้นเปลี่ยนสภาพเป็นที่ทุรกันดาร (noman land) และแห้งแล้งจนในที่สุดกลายเป็นที่แทบไม่มีพืชสัตว์อาศัยอยู่ พื้นทะเลทรายโกบีเกิดเป็นบริเวณเงาฝนขึ้นมา และเป็นทะเลทรายมาจวบจนถึงปัจจุบัน

ผลของการเกิดแนวเทือกเขาหิมาลัยยังไม่หมดแค่นี้!! เพราะการเกิดแนวเทือกเขาแนวยาวหลายพันกิโลเมตรแห่งนี้ยังก่อให้เกิดลมมรสุม (monsoon) *(รูป 12.10)* ที่มีความสำคัญต่อเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อีกด้วย เนื่องจากการเกิดลมมรสุมในแถบมหาสมุทรอินเดียทำให้เกิด การพัดพาเอาความอบอุ่นจากเส้นศูนย์สูตร ไปยังทางเหนือ แต่ลมมรสุมที่พัดพามาไปปะทะกับแนวเทือกเขาหิมาลัยทำให้ลมบางส่วนเลี้ยวเบนเข้าสู่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เกิดเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW monsoon) ยังผลทำให้ พม่า ไทย และมาเลเซีย ส่งผลให้เกิดฝนตกชุกในบริเวณนี้ขึ้นในช่วง 4 เดือน (พฤษภาคม – สิงหาคม) ของทุกปี

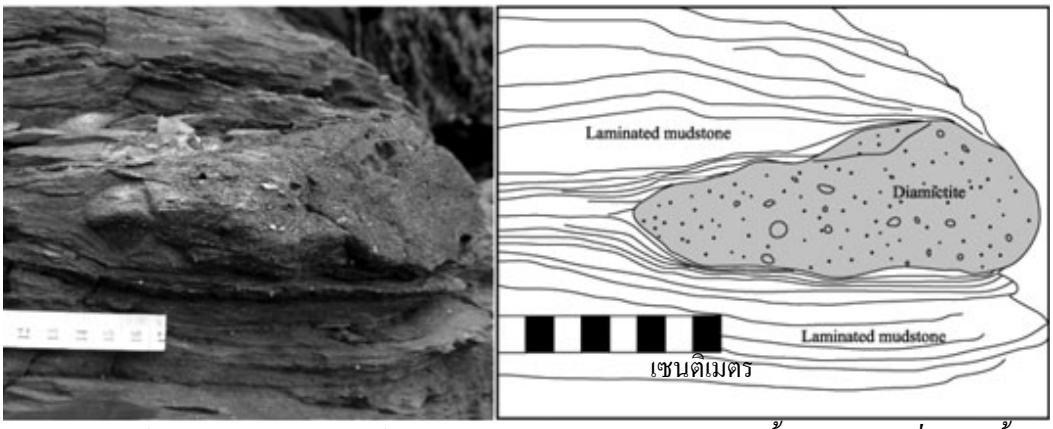
หลังจากนั้นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้สิ้นสุดลงก็ถึงช่วงฤดูหนาว เราพบว่ามีลมมรสุมอีกชุดหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่มาจากทะเลทรายโกบี และเป็นลมหนาวที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จึงเกิดลมมรสุมประจำถิ่นชื่อ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE monsoon) ลมมรสุมชนิดนี้ได้พัดพาเอาความหนาวเย็นมาด้วยโดยผ่านเข้ามาทางภาคเหนือ ภาคอีสาน และภาคกลางของประเทศไทย หลังจากนั้นจึงพัดผ่านอ่าวไทย หอบเอาความชุ่มชื้นไปด้วยและทำให้เกิดฝนตกชุก (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) บริเวณทางภาคใต้ของประเทศ โดยเฉพาะฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย

(ค) การเคลื่อนตัวของแผ่นทวีป (Continental Movement) บันทึกทางธรณีวิทยาที่จารึกลงในหินต่างๆทำให้เราทราบว่ามีพื้นที่หลายพื้นที่ในโลกในปัจจุบันที่แสดงสภาวะอากาศในอดีตที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ความแตกต่างกันของสภาวะอากาศเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกหรือแผ่นธรณีภาคเป็นหลัก แผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่นที่เคลื่อนที่ไปในเส้นรุ้งและเส้นแวงที่แตกต่างกันไปตามกาลเวลาต่างๆนี่เองที่เป็นตัวปรับเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ

บันทึกทางธรณีกาลที่สำคัญๆ ที่พบได้ในประเทศไทย ที่บ่งบอกถึงการเคลื่อนที่ของแผ่นที่มีผลต่อสภาวะอากาศได้แก่ หินตะกอนในกลุ่มแก่งกระจานที่มีอายุระหว่างปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงต้นยุคเพอร์เมียน ที่มีการกระจายตัวเด่นชัดมากเฉพาะทางตอนใต้ฝั่งทะเลตะวันตก ในขณะที่ทางใต้ฝั่งตะวันออกของแหลมไทยตลอดจนภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่ปรากฏหินตะกอนลักษณะนี้ในช่วงยุคเดียวกัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพของชั้นตะกอนและชนิดของซากหอยหลากชนิดและหลากอายุ ทำให้หลายคน เช่น Ampaiwan และคณะ (2009) *(รูป 12.11)* และ Chaodamrong และคณะ (2011) เชื่อว่าชั้นตะกอนเหล่านี้มีกำเนิดมาจากธารน้ำแข็ง และตะกอนถูกพัดพามากับก้อนน้ำแข็ง (ice raft) ทางซีกโลกใต้จนกระทั่งมาถึงเส้นรุ้งกลาง ดังนั้นเมื่อน้ำแข็งละลายหมดทำให้ตะกอนและก้อนเศษหินที่น้ำแข็งพามาตกสะสมตัวยังพื้นสมุทรและไหล่หรือบ่าทวีปได้



รูป 12.10 แผนที่แนวเทือกเขาหิมาลัยก่อให้เกิดลมมรสุม (monsoon) (บน) ลมมรสุมฤดูร้อน พัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือโดยประมาณ (ล่าง) ลมมรสุมฤดูหนาว พัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้โดยประมาณ (http://www.roebuckclasses.com/105/regions/eastasia/easiaphys/summermonsoon.jpg, http://www.roebuckclasses.com/105/regions/eastasia/easiaphys/wintermonsoon.jpg)



รูป 12.11 เลนซ์ของหินไดอะมิกไทต์ (diamictite lens) วางตัวขนานกับชั้นหินโคลนที่แสดงชั้นบาง เกาะสิเหร่ จังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย (Ampaiwan และคณะ, 2009)

12.4.2 ผลกระทบระยะสั้น (Short Term Effect)

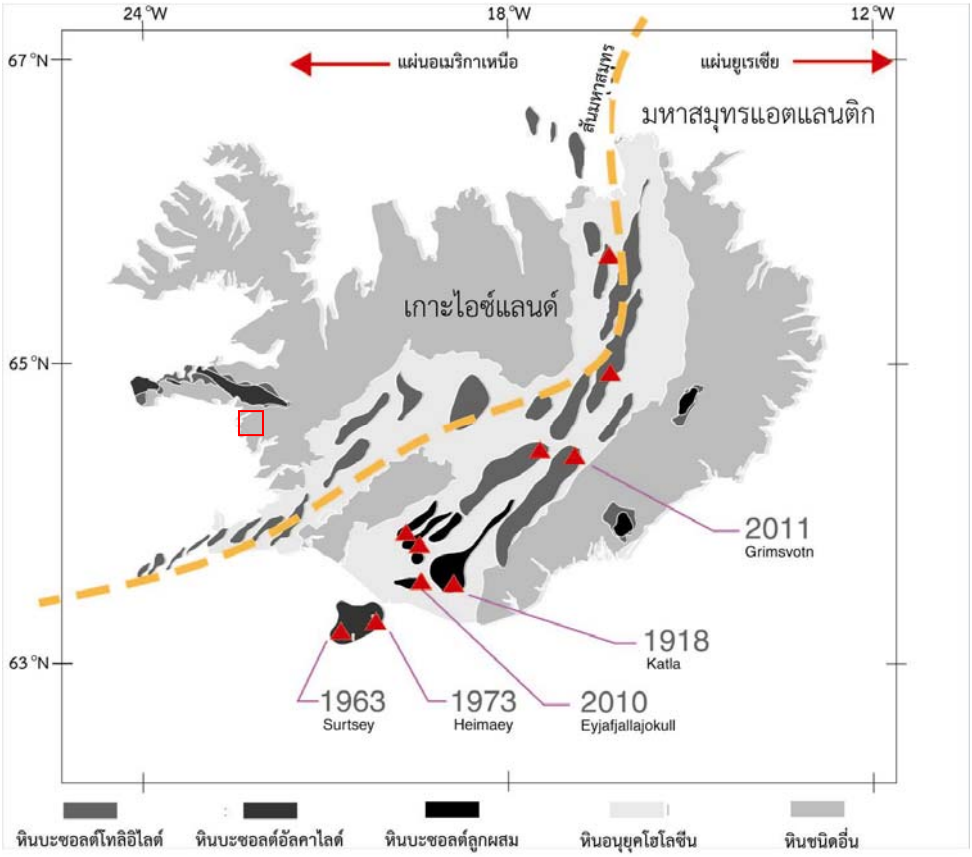
เราแบ่งผลกระทบจากการเกิดกระบวนธรณีแปรสัณฐาน (geotectonic process) ต่อสภาพภูมิอากาศในระยะสั้นได้ 2 แบบ คือ การระเบิดของภูเขาไฟ และปรากฏการณ์เอลนีโญ (Elnino) และลานีญา (Lanina)

(ก) การปะทุของภูเขาไฟ (Volcanic Eruption) การปะทุของภูเขาไฟในหลายๆแห่งปัจจุบันมักปล่อยก๊าซ CO_2, CO, O_2, SO_2, น้ำ, และเถ้าภูเขาไฟ ขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งการปล่อยก๊าซเหล่านี้มักส่งผลกระทบกับวงจรของ CO_2 และ O_2 มีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่เป็นอยู่เดิมอย่างมาก หลายคนจึงเชื่อว่าน่าจะเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์อย่างต่อเนื่องและรุนแรง รวดเร็ว เฉียบพลัน ทำให้ภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกเช่นกัน *(รูป 12.12)* หลายคนคงได้ยินข่าวเกี่ยวกับภูเขาไฟกลางเกาะไอซ์แลนด์ระเบิดเมื่อ พ.ศ. 2553 ผลของการระเบิดก่อให้เกิดสภาพอากาศในแถบยุโรปตะวันออกเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าถ่านภูเขาไฟมากมายมหาศาลถูกพัดเข้ามาที่แผ่นดินใหญ่ของยุโรป และทำให้การแข่งขันกีฬาหลายประเภทหยุดชะงักลงไป ส่งผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในภูมิภาคแถบนั้นเป็นเดือน

หลายคนอาจตั้งคำถามในใจว่า การปะทุของภูเขาไฟ (ผนวกกับกิจกรรมของมนุษย์) ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (green house effect) ได้อย่างไร ??

สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการปะทุของภูเขาไฟ คือ ก๊าซ CO_2 และ CO ซึ่งก๊าซเหล่านี้มักเรียกว่า Green House Gas (หรือก๊าซเรือนกระจก)… ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มักลอยไปอยู่ในชั้นบรรยากาศเบื้องบน และจับตัวกันทำหน้าที่คล้ายเป็นผนังกั้นไม่ให้ความร้อนจากโลกสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศได้ ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะขึ้นไปบนชั้นสตาโตสเฟียร์ (Stratosphere) และทำปฏิกิริยากับโอโซน (O_3) ตามสมการ (12.1) ข้างล่างจนทำให้โอโซนหมดไปมากหรือเหลือน้อย

$$CO + O_3 \longrightarrow CO_2 + O \qquad (12.1)$$



รูป 12.12 การปะทุของภูเขาไฟไอย์ยาฟยัลลาโยกูล (Eyjafjallajokull) ที่เกาะไอซ์แลนด์ (บน) กำลังแรงของการระเบิดทำให้ภูมิอากาศเกือบทั่วทั้งยุโรปเปลี่ยนแปลง (ล่าง) (http://mmillericeland.files.wordpress.com/2011/06/mapoverlays-tectonic3.jpg, http://www.guardian.co.uk/business/2012/mar/22/ryanair-payout-stranded-ash-passengers)

เนื่องจากก๊าซโอโซนนี้มีหน้าที่เป็นม่านในการป้องกันและควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉพาะเป็นตัวกรองรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ไม่ให้ตกลงมาสู่พื้นโลกมากเกินไป แต่เมื่อไม่มีโอโซนคอยกั้นพลังงานแสงอาทิตย์ จึงตกลงมาสู่พื้นโลกอย่างเต็มที่โดยไม่มีอะไรขวางกั้น และเมื่อแสงสะท้อนกลับขึ้นไปสู่ชั้นบรรยากาศก็ถูกชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กั้นไม่ให้ออกสู่นอกโลกได้

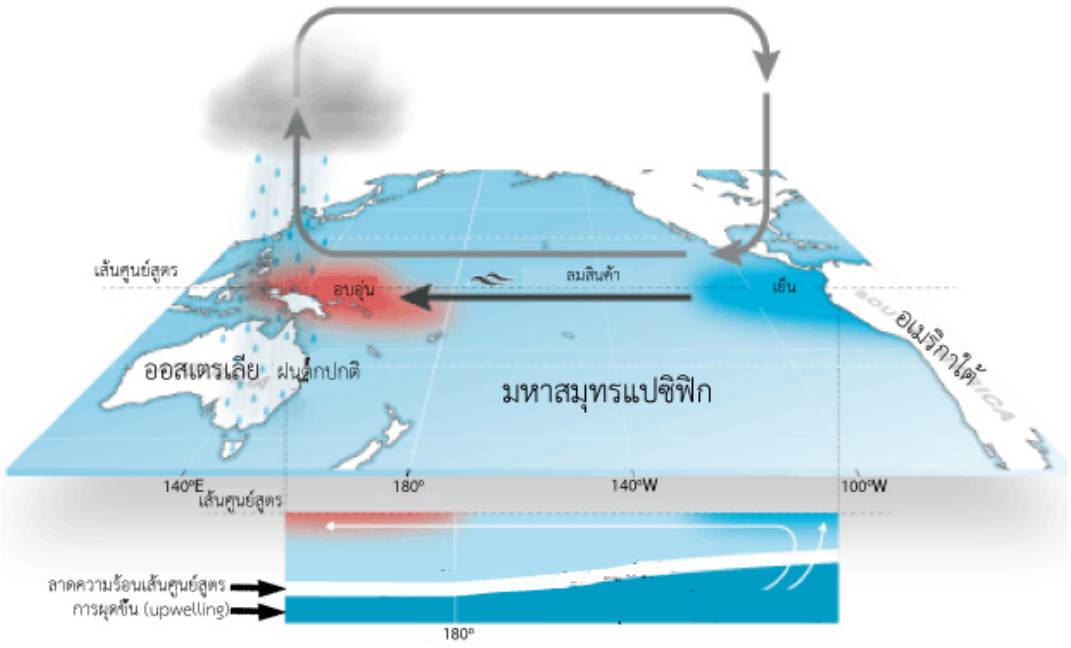
จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ และผลจากปรากฏการณ์เหล่านี้จึงทำให้น้ำแข็งที่ขั้วโลกเกิดการละลาย ทำให้น้ำทะเลสูงขึ้น และเกิดปัญหาหลากหลายอย่างตามมา เช่น การกัดเซาะชายฝั่งทะเล เกิดสภาพภูมิประเทศแห้งแล้ง จนถึงเกิดพายุขนาดใหญ่ๆได้

(ข) *ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา (Elnino & Lanina)* ในปัจจุบันเรายังหาคำตอบเกี่ยวกับการเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์ช่วงสั้นๆ ที่เพิ่งเข้ามามีบทบาทและส่งผลกระทบต่อโลกอย่างชัดเจนภายในไม่กี่ปีที่ผ่านมาเท่านั้นเอง จึงมีสมมติฐานต่างๆ ที่เข้าสนับสนุนการเกิดภัยพิบัติชนิดนี้อย่างมากมาย รวมทั้งสมมติฐานทางธรณีแปรสัณฐานด้วย (ดูรายละเอียดในหัวข้อ)

12.4.3 เอลนีโญ (Elnino) และลานีญา (Lanina)

โดยปกติบริเวณเส้นศูนย์สูตรเหนือมหาสมุทรแปซิฟิก ลมสินค้าตะวันออก (Eastern trade wind) พัดจากประเทศเปรู (ชายฝั่งทวีปอเมริกาใต้) ไปทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก แล้วยกตัวขึ้นบริเวณเหนือประเทศอินโดนีเซีย ทำให้มีฝนตกมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลียตอนเหนือ กระแสลมสินค้านี้พัดให้กระแสน้ำอุ่นบนพื้นผิวมหาสมุทรแปซิฟิกไปกองรวมกันทาง ตะวันตก จนมีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลปกติประมาณ 60 – 70 เซนติเมตร แล้วจมตัวลง กระแสน้ำเย็นใต้มหาสมุทรซึกเบื้องล่างเข้ามาแทนที่กระแสน้ำอุ่นพื้นผิวซึกตะวันออก และทำให้ธาตุอาหารจากก้นมหาสมุทรเกิดการผุดขึ้น (upwelling) มาสู่ผิวน้ำ และทำให้ปลาและสัตว์น้ำชุกชุม เป็นประโยชน์ต่อนกทะเลและการทำประมงชายฝั่งของประเทศเปรู ดังแสดงใน*รูป 12.13*

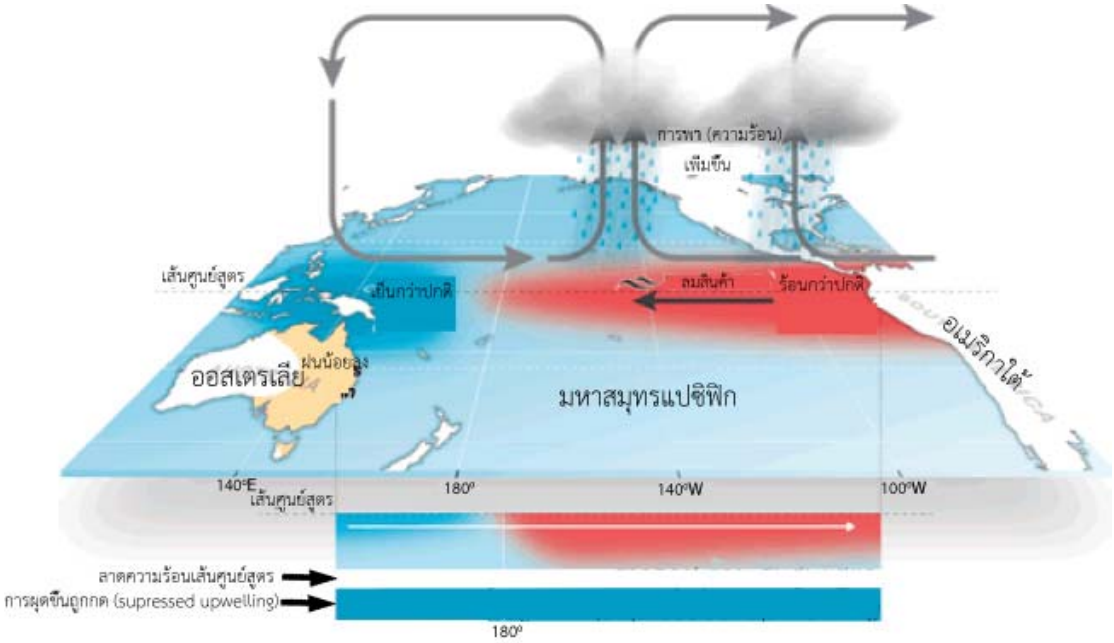
เอลนีโญมีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า "El Nino-Southern Oscillation" หรือเรียกอย่างสั้นๆ ว่า "ENSO" หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนใต้ ดังแสดงใน*รูป 12.14*



รูป 12.13 สภาวะปกติทำให้มีฝนตกมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลียตอนเหนือ

(http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml)

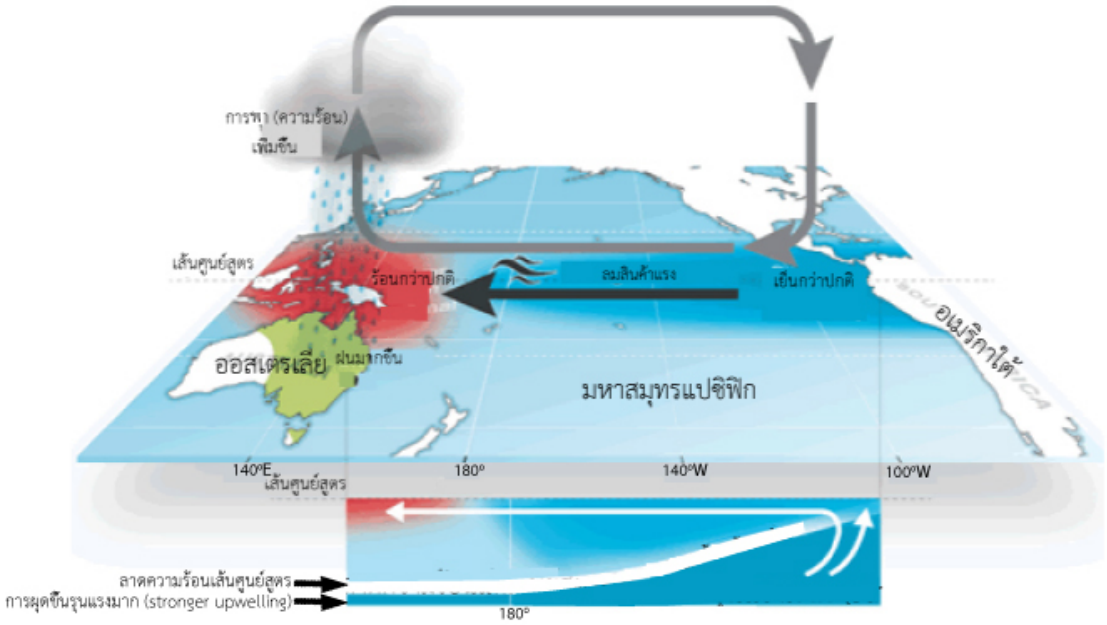
ดังนั้นเมื่อเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ กระแสลมสินค้าตะวันออกจะอ่อนกำลังลง และกระแสลมพื้นผิวเปลี่ยนทิศทาง โดยพัดจากประเทศอินโดนีเซียและออสเตรเลียตอนเหนือไปทางตะวันออก แล้วยกตัวขึ้นเหนือชายฝั่งทวีปอเมริกาใต้ ก่อให้เกิดฝนตกหนักและแผ่นดินถล่มในประเทศเปรูและเอกวาดอร์ กระแสลมพัดกระแสน้ำอุ่นบนพื้นผิวมหาสมุทรแปซิฟิกไปกองรวมกันบริเวณชายฝั่งประเทศเปรู ทำให้กระแสน้ำเย็นใต้มหาสมุทรไม่สามารถลอยตัวขึ้นมาได้ ทำให้บริเวณชายฝั่งขาดธาตุอาหารสำหรับปลา และนกทะเล ชาวประมงบริเวณแถบนั้นจึงขาดรายได้ ปรากฏการณ์เอลนีโญมักทำให้ฝนตกหนักในตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ แต่กลับทำให้เกิดความแห้งแล้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้(รวมถึงไทยด้วย) และออสเตรเลียตอนเหนือ การที่เกิดไฟไหม้ป่าอย่างรุนแรงในประเทศอินโดนีเซียจึงเป็นเพราะปรากฏการณ์เอลนีโญนั่นเอง



รูป 12.14 ปรากฏการณ์เอลนีโญทำให้ฝนตกหนักในตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ แต่ยังก่อให้เกิดความแห้งแล้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และออสเตรเลียตอนเหนือ

(http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml)

ลานีญาเป็นคำภาษาสเปน ซึ่งแปลว่า "บุตรธิดา" ลานีญาเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะตรงข้ามกับเอลนีโญ คือ มีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาวะปกติ แต่ทว่ารุนแรงกว่า กล่าวคือกระแสลมสินค้าตะวันออก(eastern trade wind)มีกำลังแรง จนทำให้ระดับน้ำทะเลชิกตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกสูงกว่าสภาวะปกติ ลมสินค้ายกตัวเหนือประเทศอินโดนีเซีย ทำให้เกิดฝนตกอย่างหนัก น้ำเย็นใต้มหาสมุทรยกตัวขึ้นแทนที่กระแสน้ำอุ่นพื้นผิวมหาสมุทรแปซิฟิกทางชิกตะวันตก ก่อให้เกิดธาตุอาหาร ฝูงปลาชุกชุม ตามบริเวณชายฝั่งประเทศเปรู ดังแสดงในรูป 12.15



รูป 12.15 ปรากฏการณ์ลานีญาทำให้ฝนตกหนักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และออสเตรเลียตอนเหนือ แต่ยังก่อให้เกิดความแห้งแล้งในตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้

(http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml)

กล่าวง่ายๆ ก็คือ "เอลนีโญ" ทำให้เกิดฝนตกหนักในตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และเกิดความแห้งแล้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในทางกลับกัน "ลานีญา" ทำให้เกิดความแห้งแล้งทางตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และเกิดฝนตกหนักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งสองปรากฏการณ์นี้เกิดจากความผกผันของกระแสอากาศโลกบริเวณเส้นศูนย์สูตรและเหนือมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งนักวิทยาศาสตร์วิเคราะห์ว่าเกิดจากภาวะโลกร้อน

ดังนั้นลมประจำฤดูจึงผันผวนและมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเดิม โดยบริเวณที่มีฝนก็จะตกเพิ่มมากขึ้นมากมายและมากขึ้นจนทำให้เกิดน้ำท่วมรวดเร็วรุนแรงเพราะฝนตกหนักนอกฤดู เช่น ที่เกิดในประเทศไทยเมื่อ พ.ศ. 2554 และเกิดภัยพิบัติต่างๆ ส่วนในบริเวณที่แห้งแล้งก็จะแห้งแล้งหนักขึ้นไปอีกเช่นกัน

12.5 ความเกี่ยวกับพันกับการแปรสัณฐาน

อาจมีคำถามว่า...แล้วทฤษฎีธรณีแปรสัณฐานไปเกี่ยวข้องอะไรกับการเกิดปรากฏการณ์ทั้งสอง สมมติฐานอย่างหนึ่งของการเกิดเอลนีโญและลานีญาตามแนวคิดของนักธรณีวิทยา ก็คือ ผลกระทบจากความร้อนของหินหนืดอาจเป็นสาเหตุสำคัญโดยเฉพาะการไหลเอ่อของหินละลายใต้ทะเลอย่างผิดปกติหรือการเกิดปฏิกิริยาจากน้ำร้อนแถบสันสมุทร ซึ่งโดยรวมส่งผลกระทบให้ทะเลในทะเลมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างเฉียบพลัน อันเป็นการเริ่มต้นของการเกิด*วัฏจักรเอลนีโญ (Elnino cycle)* การที่หินหนืดแผ่ความร้อนไปในทะเลเปรียบเทียบได้กับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อน

ของน้ำโดยเฉพาะบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร ซึ่งการเกิดความร้อนของน้ำทะเลที่ไม่เป็นเวลาและในปริมาณที่ไม่สม่ำเสมอทำให้เราอธิบายได้ว่าอาจเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟใต้น้ำก็เป็นไปได้...

12.6 แนวทางในการแก้ไข

ถ้าหากโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นผลมาจากอิทธิพลของธรรมชาติหรือกระบวนการทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะการแปรสัณฐาน ก็อาจจะเป็นการยากที่จะหาแนวทางการแก้ไข แต่ถ้าหากโลกร้อนเป็นผลมากจากอิทธิพลของมนุษย์โลกเราก็อาจจะหาทางแก้ไขได้โดยไม่ยาก หากการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหน้าที่ของคน เพียงกลุ่มเดียวคงไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะทุกคนบนโลกเป็นผู้ก่อปัญหาขึ้นมาทั้งนั้น และสาเหตุที่แท้จริงนั้นอยู่ที่การบริโภคที่เกินความจำเป็นของมนุษย์ และวิธีการลดโลกร้อนนั้น จำเป็นต้อง “ร่วมด้วยช่วยกัน” และวิธีง่ายๆ ได้แก่

(1) ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัญลักษณ์ช่วยรักษา สิ่งแวดล้อม เช่น ป้ายฉลากเขียว ประหยัดไฟเบอร์ 5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์คุณภาพสินค้าเกษตรอินทรีย์

(2) เปลี่ยนหลอดไฟจากหลอดไส้มาใช้แบบหลอด คอมแพคฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดผอมจะประหยัดไฟได้ถึงร้อยละ 75-80 เมื่อเทียบกับหลอดไส้

(3) ใช้ฝักบัวชนิดประหยัดน้ำ (water efficient showerhead) แทนการอาบน้ำแบบใช้ตัก เพราะสามารถประหยัดน้ำได้ถึงร้อยละ 25-75

(4) ขับรถด้วยความเร็วไม่เกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะช่วยลดการใช้น้ำมันลงได้ ร้อยละ 20

(5) บริโภคอาหารที่ผลิตในประเทศ เพราะการขนส่งต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและยังปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย และ

(6) ปลูกต้นไม้เพื่อเพิ่มตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

บรรณานุกรม

Ampaiwan, T., Hisada, K. and Charusiri, P. 2009. Lower Permian glacially influenced deposits in Phuket and adjacent islands, peninsular Thailand. Island Arc. V.18: p. 52-68.

http://oceanmotion.org/html/background/climate.htm

http://www.sunflowercosmos.org/space_news/space_science_home/space_weather.html

http://www.fossiliferous.co.uk/mammalseurope.htm

http://pubs.usgs.gov/of/2004/1216/e/e.html

http://www.flickr.com/photos/nicolasleroy/2787508242/sizes/o/in/photostream/

http://www.flickr.com/photos/paulrobinsonuk/6738438467/sizes/o/in/photostream/

http://th.wikipedia.org/wiki/Equinox

http://th.wikipedia.org/wiki/Solstice

http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/ei-nino.story.html

http://www.geo.cornall.edu/grads/ducan/topo/

http://www.-personal.umich.edu/~jmacaro/platetectonic.html

http://love.geology.yale.sdu/kg/brochure/climateChemGrobal/1_2.html

http://home.earthlink.net/~djbwx/projects/climate.html

http://home.earthlink.net/~djbwx/projects/volcanoes.html

http://www.agu.org/revgeophys/seep00/node1.html

http://www2.sunysuffolk.edu/mandias/global_warming/natural_causes_climate_change.html

http://mail.colonial.net/~hkaiter/platetectonics.html

http://www.ees.rochester.edu/fehnlab/ees215/fig16_7.jpg

http://www.roebuckclasses.com/105/regions/eastasia/easiaphys/summermonsoon.jpg

http://www.roebuckclasses.com/105/regions/eastasia/easiaphys/wintermonsoon.jpg

http://www.guardian.co.uk/business/2012/mar/22/ryanair-payout-stranded-ash-passengers

http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/ln-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml