บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐาน

1.1.1 องค์ประกอบของแผ่นเปลือกโลก

1.1.2 ส่วนประกอบภายในโลก

1.1.3 พื้นผิวเปลือกโลก

1.1.4 ขอบเขตแผ่นเปลือกโลก

1.2 ประวัติความเป็นมา

1.3 ทวีปเลื่อน

1.4 พื้นทะเลแผ่กว้าง

1.5 ธรณีแอ่นตัว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐาน

ประสบการณ์ความรู้ความเข้าใจจากการศึกษาธรณีวิทยาในหลายพื้นที่บนโลก ทำให้เกิดวิวัฒนาการของแนวความคิดที่ว่า นับตั้งแต่โลกถือกำเนิดมานั้นได้มีเหตุการณ์ต่างๆเกิดขึ้นมาโดยตลอด แนวความคิดดังกล่าวก่อให้เกิดทฤษฎีที่พยายามอธิบายปรากฏการณ์ปัจจุบันที่กำลังเกิดขึ้นกับส่วนต่างๆของผิวโลก โดยเฉพาะพิบัติภัย เช่น แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด คลื่นยักษ์สึนามิ (Tsunami) น้ำท่วม ภัยแล้ง ลมพายุ ดินถล่ม เป็นต้น ทฤษฎีดังกล่าวนี้เรียกว่า การแปรสัณฐานแบบแผ่น(plate tectonics) ซึ่งมีสาระสำคัญคือ โลกส่วนนอกประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกหลายแผ่นที่ประสานกันอยู่และแต่ละแผ่นต่างมีการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์ต่อกัน แนวความคิดตามทฤษฎีนี้เป็นพื้นฐานสำคัญที่อธิบายประเด็นปัญหาต่างๆ ของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เกิดแผ่กระจายอยู่ในแต่ละภูมิภาคของพื้นผิวโลก ทั้งนี้เพราะแนวความคิดตามทฤษฎีการแผรสัณฐานแผ่นเปลือกโลกเชื่อมโยงไปถึงกลไกและลักษณะการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกตลอดจนหินที่ประกอบขึ้นเป็นเปลือกโลก การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกจึงก่อให้มีการเสียดสี และความกดดันขึ้นตามขอบของแผ่นเปลือกโลกเหล่านั้น และส่งผลให้เกิดสภาวะแวดล้อมการกำเนิดหินแต่ละชนิดที่แตกต่างกันไปการกระทบกระแทกกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่นจน เป็นสาเหตุเบื้องต้นต่อการกำหนดคุณสมบัติ รวมทั้งประเภทและชนิดของหินในแต่ละภูมิภาคของพื้นผิวโลก การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นนั้นไม่ว่าเกิดขึ้นพร้อมๆ หรือเกิดขึ้นภายหลังจากการเกิดหินแล้วก็ตามย่อมเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อหินที่ประกอบขึ้นเป็นแผ่นเปลือกโลกในภูมิภาคนั้นๆ

1.1.1 องค์ประกอบของแผ่นเปลือกโลก

ประมาณช่วงปี ค.ศ. 1960 ได้มีการค้นพบว่าชั้นเปลือกโลกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ที่เรียกว่า แผ่นเปลือกโลก (tectonic plate) (รูป 1.1 ก.) ซึ่งมีอยู่หลายแผ่นแต่ละแผ่นอาจประกอบด้วยทั้งส่วนของเปลือกโลกภาคพื้นทวีปและภาคพื้นมหาสมุทร โดยที่ขอบแต่ละแผ่นเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ กัน (รูป 1.1 ข) โดยขอบเขตของแต่ละแผ่นสามารถกำหนดได้จากแนวการแผ่กระจายของจุดเกิดแผ่นดินไหว (hypocenter) ซึ่งแต่ละจุดที่เกิดแผ่นดินไหวมีความลึกและขนาดความรุนแรงของแผ่นดินไหวเหล่านั้นแตกต่างกันมาก

การที่แผ่นเปลือกโลกประกอบขึ้นด้วยส่วนที่เป็นภาคพื้นทวีป หรือแผ่นทวีป (continental plate) และแผ่นที่ประกอบเป็นภาคพื้นสมุทรหรือแผ่นสมุทร (oceanic plate)และภาคพื้นมหาสมุทรนี่เอง ทำให้การศึกษาธรณีวิทยาบนพื้นทวีปแต่เพียงประการเดียวจึงไม่เพียงพอสำหรับการอธิบายกฎเกณฑ์และข้อเท็จจริงเกี่ยวกับชั้นเปลือกโลกได้ทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ จากแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นมหาสมุทร เช่น ตะกอน องค์ประกอบและอายุของมหาสมุทรมาเป็นส่วนประกอบ เพื่อเสริมสร้างให้มีความรู้ความข้าใจถึงกฎเกณฑ์ตามทฤษฎีการแปรสัณฐานอย่างครบถ้วน

1.1.2 ส่วนประกอบภายในโลก

โลกพิภพสามารถแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆโดยอาศัยองค์ประกอบที่อยู่ภายในเป็นหลัก (รูป 1.2 a) ส่วนนอกสุดเรียกว่า เปลือกโลก(crust) ซึ่งโลกของเราประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกทวีป(continental crust) และเปลือกสมุทร (oceanic crust) เปลือกโลกทั้งสองชนิดนี้รองรับด้วยชั้นเนื้อโลกบนสุด (upper mantle) และเปลือกโลกชั้นนอกสุด (crust) และรวมเรียกว่า ธรณีภาค (lithosphere) รูป 1.2 b เปลือกทวีปและเปลือกมหาสมุทรมีความหนาเฉลี่ยและความหนาแน่นแตกต่างกัน ส่วนล่างสุดของเปลือกโลกในระดับความลึกที่คลื่นสั่นสะเทือน (seismic wave) ไม่อาจทะลุทะลวงผ่านไปได้ ซึ่งเรียกว่า แนวความไม่ต่อเนื่องโมโฮ (Mohorovicic discontinuity หรือเรียกสั้นๆ ว่าแนวโมโฮ (ไม่ใช่โมโห, Moho) เป็นที่เข้าใจว่าแนวนี้เข้าใจว่าเป็นรอยต่อที่แสดงว่าองค์ประกอบภายในโลกค่อยๆเปลี่ยนจากหินแกบโบร (gabbro) ไปเป็นหินอุลตรามาฟิค (ultramafic rocks)

ธรณีภาควางตัวอยู่บนฐานธรณีภาค (asthenosphere) ดังแสดงในรูป 1.2 c โดยที่ส่วนประกอบของฐานธรณีภาคตอนบนมีคุณสมบัติซึ่งอ่อนตัวกว่าธรณีภาคที่แข็งแกร่งกว่าและไหลได้ง่ายกว่า และอาจไหลได้อย่างต่อเนื่องเมื่อได้รับอิทธิพลจากแรงเครียด อย่างไรก็ตามกันถ้าหากได้รับอิทธิพลของแรงเครียดอย่างทันทีทันใดนี้ ฐานธรณีภาคนี้อาจแตกหักได้ และนี่เองที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในระดับลึกๆ โดยเฉพาะที่เกิดขึ้นที่ความลึกถึง 700 กิโลเมตร ระดับความลึกที่เกิดแผ่นดินไหวนี้เชื่อว่าเป็นส่วนล่างสุดฐานธรณีภาค

1.1.3 พื้นผิวเปลือกโลก

พื้นผิวเปลือกโลกที่กล่าวถึงต่อไปนี้ จำกัดเฉพาะส่วนที่เป็นเปลือกทวีปเท่านั้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่สามารถติดตามผลการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการกระทบกระแทกตามแนวขอบเขตแผ่นเปลือกโลก (plate boundary) ที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วตลอดช่วงระยะเวลาอันยาวนานทางธรณีวิทยาได้ รูป 1.3 แสดงพื้นที่ของเปลือกทวีปที่ปกคลุมด้วยหินเก่าแก่ (Precambrian basement) รองรับชั้นหินที่สะสมตัวปิดทับอยู่ข้างบน หินเก่าแก่ที่รองรับอยู่เบื้องล่างนั้นเป็นส่วนของเปลือกทวีปที่มีเสถียรภาพ (stable landmass) เรียกว่าเขตโล่ห์ (shield area) หรือเขตโล่ห์ทวีป (continental shield area) เนื่องจากมีลักษณะราบเรียบ และโค้งเล็กน้อยคล้าย

โล่ห์ หรืออาจเรียกเขตทวีปเสถียร (craton หรือ continental craton) ซึ่งเขตนี้มักถูกปิดทับด้วยหินคาร์บอเนตสลับด้วยหินตะกอนละเอียด ที่แสดงถึงภาวะการตกตะกอน เนื่องจากการท่วมท้นของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว การท่วมท้นของน้ำทะเลนี้มักเกี่ยวข้องกับอัตราการเปิดของเปลือกสมุทร ตะกอนที่ปิดทับอยู่บนเขตทวีปเสถียรนี้ เรียกว่า ตะกอนชานราบ (platform sediments) นอกจากนี้บนเปลือกทวีปยังมีเทือกเขาสูงเกิดขึ้นเป็นแนวคดโค้งไปมา และมีลักษณะการแผ่กระจายอย่างเป็นระบบ แนวเทือกเขาดังกล่าวแผ่กระจายทั้งในบริเวณขอบ ๆ และภายในพื้นแผ่นดินของเปลือกทวีป(รูป 1.4 a) เทือกเขาสูงเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าชั้นตะกอนที่ปิดทับบนเขตทวีปเสถียรนั้นมีการยกตัว(uplift) ให้สูงขึ้น พร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ อย่างเป็นระบบ เช่น เกิดการคดโค้งโก่งงอ (รูป 1.4 b) นอกจากนี้หินตะกอนเหล่านั้นยังถูกหินอัคนีต่างๆ แทรกดันตัดผ่านอีกด้วย การเกิดเป็นเทือกเขาสูงเหล่านี้เนื่องมาจากแรงอัดหรือภาวะกดดัน และรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างชั้นเปลือกโลกแต่ละส่วน สาเหตุการเกิดเทือกเขาสูงดังกล่าวจึงมีทั้งที่กำลังดำเนินอยู่ในปัจจุบัน เช่น เทือกเขาหิมาลัย และที่เกิดขึ้นมาแล้วในอดีต เช่น เทือกเขาแอบปาลาเชียนในสหรัฐอเมริกา นั่นก็คือ แนวเทือกเขาสูงบริเวณขอบแผ่นดินของเปลือกทวีปเกิดขึ้นเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกตามขอบของแผ่นเปลือกโลกที่มีมาในอดีตและยังดำเนินอยู่จนถึงปัจจุบัน ส่วนแนวเทือกเขาสูงที่เกิดอยู่ในพื้นแผ่นดินของเปลือกทวีปนั้นมักเกิดขึ้นเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นเปลือกโลกที่เกิดขึ้นและจบสิ้นไปแล้วตั้งแต่ในอดีต

1.1.4 ขอบเขตแผ่นเปลือกโลก

ตามที่กล่าวแล้วในตอนต้นเรากำหนดขอบเขตแผ่นเปลือกโลกขอบแผ่น (plate boundary)ได้โดยอาศัยแนวการกระจายตัวของจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน (รูป 1.1 ก) ขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกจึงมีลักษณะแตกต่างกันหลายแบบ คือ มีทั้งขอบแผ่นที่เคลื่อนที่เข้าหากัน ออกจากกันหรือ (รูป 1.1 ข) ขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกที่เห็นอยู่ปัจจุบันนี้เชื่อว่ามีรูปแบบและลักษณะเช่นที่เคยมีมาก่อนแล้วในช่วงระยะเวลาทางธรณีกาล อย่างไรก็ตามการหาขอบเขตแผ่นเปลือกโลกในอดีตจึงจำเป็นต้องอาศัยสภาพธรณีวิทยาด้านต่างๆเปรียบเทียบกับสภาพธรณีวิทยาของขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน รูปแบบและลักษณะต่างๆของสภาพธรณีวิทยาของขอบเขตแผ่นเปลือกโลกได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

ก. ขอบแผ่นที่แยกจากกัน (Divergent plate boundaries)

ขอบแผ่นเปลือกโลกที่เป็นการแยกออกจากกันเท่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเกิดอยู่ในบริเวณพื้นมหาสมุทร ซึ่งปรากฏตามสันเขาใต้สมุทร (oceanic ridge) ซึ่งสันเขาเหล่านี้เกิดเป็นแนวยาวมาก (รูป 1.5) และมีการเหลื่อมออกจากกันเป็นตอน ๆ ตามแนวรอยเลื่อน แต่บางครั้งสันเขาใต้สมุทรอาจโผล่พ้นน้ำเกิดเป็นเกาะในมหาสมุทรได้ เช่น เกาะไอซแลนด์(Iceland) โดยทั่ว ๆ ไปสันเขาใต้สมุทรแต่ละสันมีความยาวประมาณ 40,000 กิโลเมตร และอาจกว้างถึง 200 กิโลเมตร บางสันเขาอาจมีความสูงจากพื้นมหาสมุทรถึง 2,000 เมตร โดยเฉลี่ยสันเขาใต้สมุทรเหล่านี้ประกอบด้วยหินภูเขาไฟจำพวกบะซอลต์ ซึ่งแทรกสลับอยู่กับ

หินตะกอนน้ำลึก หินเหล่านี้มักมีรอยเลื่อนเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น และตามแนวรอยเลื่อนเหล่านี้มักมีหินเมฟิค(mafic rocks) แทรกตัดเข้ามาอยู่โดยทั่วไป รูป 1.5 แสดงภาพหน้าตัดของสันเขาใต้สมุทร มีลักษณะเป็นสมมาตร จากบริเวณแนวแกนกลาง โดยเฉพาะภายในบริเวณซึ่งกว้างไม่เกิน 30 กิโลเมตร เป็นบริเวณที่มีหินธรณีภาค ใหม่ๆ เกิดขึ้น โดยแทรกตัวขึ้นมาตามแนวรอยเลื่อนพร้อมกับเกิดแผ่นดินไหวระดับตื้น ด้วยเหตุนี้สันเขาใต้สมุทรจึงแสดงถึงแนวขอบเขตแผ่นเปลือกโลกที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากกัน โดยที่ทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแนวยาวของสันเขาใต้สมุทรเหล่านั้นนั่นเอง

สันเขาใต้สมุทรในบางบริเวณอาจแตกแขนงออกไปเป็นเทือกเขาใต้น้ำอีกแนวหนึ่ง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าสันเขาใต้น้ำเหล่านี้มีการบรรจบกัน (แต่มิได้ตัดกัน) จนเกิดเป็นสามแพร่ง(tripie junction) (รูป 1.6) เช่น บริเวณมหาสมุทรอินเดีย เป็นต้น

ขอบแผ่นเปลือกโลกที่แสดงการแยกตัวออกจากกันนี้มิได้เกิดขึ้นเฉพาะในพื้นมหาสมุทรเท่านั้น แต่ยังปรากฏให้เห็นบนพื้นทวีปได้อีกด้วย ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดก็คือทะเลแดงในปัจจุบัน ในกรณีเช่นนี้ขอบแผ่นเปลือกโลกประกอบด้วยส่วนที่มีการทรุดตัวลงไปของพื้นทวีปตามแนวรอยเลื่อน ผลการทรุดตัวทะเลแดงของพื้นทวีปนี้ก่อให้เกิดเป็นแอ่งยาวๆ แต่มีลักษณะค่อนข้างแคบ แอ่งเหล่านี้เรียกว่า แอ่งแยกตัว (rift basin) (รูป 1.7) ที่รองรับตะกอนบก (terrestrial sediment) ที่ถูกพัดพามาจากการกัดกร่อนของหินบนพื้นทวีปที่ยกตัวสูงตามขอบแอ่ง ตะกอนเหล่านี้กระจายตัวเป็นลิ่ม(wedge shape) คือหนามากตรงขอบและบางลงเมื่อถึงกลางแอ่ง โดยมีลักษณะเป็นตะกอนหยาบที่มีการคัดขนาดไม่ดีจนถึงมีการคัดขนาดค่อนข้างดีพอสมควร(bad to moderate sorting) ตะกอนบกหยาบเหล่านี้มักเกิดเป็นลิ่มสอดสลับ(interfinger) คล้ายนิ้วมือกับตะกอนทะเลสาป (lake sediment) และชั้นเกลือ(evaporite) ทั้งนี้เนื่องจากแอ่งตะกอนมีสภาพเป็นแอ่งปิดเป็นครั้งคราว การแยกตัวออกจากกันของพื้นทวีปจนเป็นแอ่งสะสมตะกอนนี้จึงมีการพัฒนาตัวเองเป็นแอ่งขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ พร้อมๆกันนั้นรอยแตกในเปลือกทวีปจึงถูกสอดแทรกด้วยหินเปลือกสมุทรบริเวณขอบเปลือกทวีปที่แยกจากกัน จึงเป็นแหล่งสะสมตะกอนที่เรียกขอบทวีปสถิตย์(passive continental margin) (รูป 1.8) โดยที่ส่วนล่างประกอบด้วยตะกอนหยาบ เช่น หินกรวดมน และหินทราย รวมทั้งหินภูเขาไฟที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการแยกตัวของเปลือกทวีป ต่อมาตะกอนดังกล่าวจึงถูกปิดทับด้วยชั้นหินทรายหนาๆ และสลับกับตะกอนจำพวก คาร์บอเนตที่มีการแทรกสลับด้วยชั้นตะกอนละเอียด การแทรกสลับของตะกอนดังกล่าว แสดงถึงการทรุดตัวของขอบเปลือกทวีป ขณะเดียวกันบริเวณนอกชายฝั่งจึงเป็นบริเวณสะสมตัวของตะกอนน้ำลึก (รูป 1.8)

ข. ขอบแผ่นเคลื่อนสวนทางกัน (Strike-slipb boundaries)

ในบางบริเวณขอบของแผ่นเปลือกโลกสองแผ่น เช่น บริเวณฝั่งทะเลของรัฐคาลิฟอร์เนีย มักประกอบด้วยส่วนที่เป็นการเคลื่อนที่สวนทางกันดังเช่นที่แสดงในรูป 1.9 ลักษณะขอบแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวอาจเกิดขึ้นกับแผ่นเปลือกโลกทั้งที่เป็นแผ่นเปลือกทวีปและเปลือกมหาสมุทร ถ้าเป็นขอบเขตแผ่น

เปลือกโลกที่เป็นเปลือกทวีปมักเรียกว่ารอยเลื่อนทวนกระแส(transcurrent fault) ในขณะที่ขอบเขตแผ่นเปลือกมหาสมุทรเรียกว่ารอยเลื่อนแปลงรูป(transform fault) ตลอดแนวขอบเขตนี้มักเป็นบริเวณที่มักเกิดแผ่นดินไหวระดับตื้นเกิดขึ้นอยู่เสมอ

ค. ขอบแผ่นเคลื่อนเข้าหากัน (Convergent plate boundaries)

ขอบแผ่นเปลือกโลกซึ่งเคลื่อนเข้าหากันมัก เกิดขึ้นกับแผ่นเปลือกโลกที่เป็นแผ่นสมุทร หรือระหว่างแผ่นเปลือกสมุทรกับแผ่นเปลือกทวีป ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวแผ่นเปลือกสมุทรค่อยๆมุดตัว (subduct) หายลงไปใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง รูป 1.10 แสดง การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก(plate subduction) แผ่นหนึ่งลงไปข้างใต้แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่ง (รูป 1.10) สำหรับการมุดตัวภายในแผ่นเปลือกสมุทร (รูป 1.10 ก.) ในที่สุดย่อมก่อให้เกิดแนวภูเขาเป็นแนวโค้งบางที่เรียกว่าแนวโค้งหมู่เกาะ(island arc) เช่น หมู่เกาะเอลิวเทียน (Aleutian) ซึ่งประกอบด้วยหมู่เกาะใหญ่น้อยมากมาย เรียงตัวกันเป็นแนว รวมทั้งหมู่เกาะญี่ปุ่น ฟิลิปินส์ และหมู่เกาะมาเรียนา (Mariana) ด้วย ยอดภูเขาไฟเหล่านี้ในบางแห่งสูงจากพื้นมหาสมุทรมากกว่า 10 กิโลเมตรซึ่งสูงกว่ายอดเขาเอเวอร์เรส(Mt. Everest)ที่อยู่บนทวีปเสียอีก ส่วนการมุดของเปลือกสมุทรลงใต้เปลือกทวีปนั้น (รูป 1.10 ข) จนก่อให้แนวเทือกเขาสูงขนานไปกับขอบเปลือกทวีป เช่น เทือกเขาแอนดิส Andes ในอเมริกาใต้ และเทือกเขาศิวดิงเรนซ์ Great Dividing Range ในออสเตรเลียตะวันออก(ดูรูป 1.4) ลักษณะโครงสร้าง ชนิดหิน และการได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่เกิดขึ้นในเทือกเขาเหล่านี้มีความแตกต่างกัน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของชั้นเปลือกโลกที่เกิดขึ้นก็เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆกันด้วย

การมุดตัวของแผ่นสมุทรลงใต้แผ่นทวีปนี้ ทำให้เกิดการเสียดสีภายในโลกจนเกิดแผ่นดินไหวที่ระดับต่าง ๆ กันได้ และบางครั้งอาจเกิดขึ้นที่ระดับความลึกถึง 700 กิโลเมตรได้ ถ้าแสดงตำแหน่งของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในภาพหน้าตัด จะปรากฏเห็นเป็นแนวอย่างชัดเจนและเคาเรียกแนวกระจัดกระจายตัวของแผ่นดินไหวซึ่งเป็นผลจากการยุบตัวว่า แนวการมุดตัว(subduction zone หรือ Benioff (-Wadati) zone) แนวการเกิดแผ่นดินไหวนี้เชื่อว่ามักเกิดตรงส่วนบนของเปลือกมหาสมุทรที่กำลังมุดตัวลงใต้เปลือกทวีป ร่องรอยบนผิวโลกของแนวการมุดตัวนี้เป็นผลจากการเกิดเป็นร่องลึกมหาสมุทรหรือช่องสมุทร(oceanic trench)ได้ ร่องลึกนี้เกิดขึ้นทั้งจากการมุดของเปลือกมหาสมุทรลงใต้เปลือกทวีป และระหว่างเปลือกมหาสมุทรด้วยกันเอง (รูป 1.11 ก) เช่น ร่องลึกเปรู-ชิลี (Peru-Chili Trench) หรือร่องทองก้า(Tonga Trench) เป็นต้น ร่องลึกดังกล่าวโดยเฉลี่ยลึกประมาณ 8 กิโลเมตรจากพื้นสมุทร ถ้ารวมความลึกของน้ำด้วยอาจลึกถึง 12 กิโลเมตร และมีความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 100 กิโลเมตร ในภาพหน้าตัดร่องลึกนี้ไม่สมมาตร (asymetric profiles) (รูป 1.11 ข) ผนังร่องลึกส่วนที่อยู่ด้านในที่ติดกับเปลือกทวีปมักมีความชันมากกว่าผนังด้านนอก ระหว่างที่การมุดตัวของเปลือกสมุทรกำลังดำเนินไปนั้น ตะกอนที่สะสมตัวอยู่ตามพื้นมหาสมุทรบางส่วน โดยเฉพาะตอนบน ๆ อาจถูกดึงลงไปในร่องลึกและเกิดการครูดกับขอบทวีป ประกอบกับบริเวณ

ดังกล่าวมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและค่อนข้างหนาแน่น รวมทั้งได้รับอิทธิพลจากความปั่นป่วนของน้ำทำให้ตะกอน โดนเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณขอบร่องลึกด้านในถล่มพังทลายลงไปในร่องลึก และไปกองรวมกับตะกอนน้ำลึก(deep-water sediment)ที่ถูกพามาบนพื้นมหาสมุทร เหตุการณ์ดังกล่าวทำให้ตะกอนและชั้นหินที่มีถิ่นกำเนิดต่างกันมาอยู่ร่วมกันหินเหล่านี้มีการโค้งงอฉีกขาดออกจากกันจนเป็นโครงสร้างที่ไร้รูปแบบ และมีลักษณะยุ่งยากซับซ้อนจึงเรียกหินเหล่านี้ว่า โครงหินเลื่อนผสมหรือมีลานซ์ “mélange” คำว่ามีลานซ์เป็นคำภาษาฝรั่งเศสโบราณ หมายถึง ผสม(mix) ซึ่งมาจากคำว่า “masler”

ส่วนของแผ่นเปลือกสมุทรที่มุดลงไปจนถึงความลึกระดับหนึ่งของฐานธรณีภาค จนเกิดการหลอมละลายบางส่วนและกลายเป็นหินหนืด(magma) ซึ่งหินหนืดนี้มักเกิดขึ้นที่ระดับความลึกระหว่าง 100 ถึง 150 กิโลเมตร หินหนืดที่เกิดขึ้นนี้แทรกดันขึ้นมายังที่ระดับความลึกตื้น ๆในแผ่นเปลือกโลก (รูป 1.12) ทำให้เกิดหินอัคนีบาดาล(plutonic rocks) ทั้งที่แทรกตัว(intrusion)อยู่ใต้ดิน และดันตัวทะลัก(extrusion)ออกมาสู่ผิวดินเป็นหินภูเขาไฟ(extrusive)จนเกิดเป็นแนวภูเขาโค้งซึ่งรวมเรียกว่าแนวโค้งหินหนืด(magmatic arc) ในกรณีที่แผ่นเปลือกสมุทรมุดลงใต้แผ่นเปลือกสมุทรด้วยกันทำให้เกิดภูเขาไฟเป็นแนวโค้ง(volcanic arc) ซึ่งมีทั้งส่วนที่โผล่พ้นน้ำ และอยู่ใต้น้ำ ภูเขาไฟเหล่านี้ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบเป็นหินบะซอลต์โทลีไอต์ (tholoeiitic basalt) จนถึงหินแคลอัลคาไลด์ (calc-alkaline rock) จำพวกแอนดิไซต์ ส่วนหินตะกอนภูเขาไฟ (pyroclastic) อาจสะสมตัวอยู่ในบริเวณโดยรอบปล่องภูเขาไฟ และทับถมรวมกับตะกอนน้ำลึก(volcaniclastic turbidite) เช่น หินดินดาน หรือหินเชิร์ต

1.1.5 การเคลื่อนที่และการจัดตัวของแผ่น

แผ่นเปลือกโลกที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลกต่าง ๆ ทั้งที่เป็นแผ่นเปลือกโลกขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก ๆ ดังแสดงในรูป 1.13 อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นเราสามารถกำหนดขอบเขตแผ่นเปลือกโลกเหล่านั้นได้อย่างชัดเจนจากตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหว ในบรรดาแผ่นเปลือกโลกทั้งหมดเราถือว่าแผ่นเปลือกโลกขนาดใหญ่มีทั้งหมด 7 แผ่น คือ แผ่นเปลือกโลกอเมริกาเหนือ แผ่นเปลือกโลกอเมริกาใต้ แผ่นยูเรเซีย แผ่นแอนตาร์คติค แผ่นอินเดียออสเตรเลียน แผ่นแปซิฟิค และแผ่นนัสกา ส่วนแผ่นเปลือกโลกเล็ก ๆ เช่น แผ่นฟิลิปินส์ หรือแผ่นคอร์คอส มักเป็นแผ่นเปลือกโลกที่อยู่ระหว่างแผ่นเปลือกโลกขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามขอบด้านตะวันตกของแผ่นเปลือกโลกแปซิฟิค (ดูรูป 1.13) ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละแผ่นเปลือกโลกมีหลายลักษณะดังเช่นแสดงใน (รูป 1.14 ก) กล่าวคือ แผ่นมหาสมุทรอินเดียมุดลงใต้ขอบตะวันตกของแผ่นทวีปเอเชีย ในขณะที่ในรูป 1.14 ข ขอบด้านตะวันออกของแผ่นอเมริกาใต้ซึ่งต่อเนื่องไปเป็นแผ่นแอตแลนติคที่กำลังเปิดออกอยู่ตลอดเวลาและผลักดันให้แผ่นอเมริกาใต้เคลื่อนที่ออกห่างจากแผ่นอาฟริกาไปเรื่อยๆ ส่วนแผ่นแปซิฟิคด้านตะวันตกมุดตัวลงใต้แผ่นเปลือกมหาสมุทรด้วยกันเอง

ก่อนที่แผ่นเปลือกโลกแต่ละแผ่นจะจัดตัวดังที่เห็นอยู่ในปัจจุบันนี้นั้น ครั้งหนึ่งในอดีตแผ่นเปลือกทวีปเคยรวมกลุ่มเกิดเป็นอภิมหาทวีปขนาดมหึมาที่เรียกว่า แพนเจีย(pangea) (ดูรูป 1.15 ก) ทั้งนี้ เพราะแผ่น

เปลือกสมุทรต่างๆมีอายุแตกต่างกันและอายุที่แก่ที่สุดอยู่ในช่วงมหายุคเมโซโซอิค หรือมหายุคมัชชิมวัยนั่นเอง แผ่นเปลือกทวีปที่รวมกันอยู่เป็นกลุ่มดังกล่าว เริ่มแยกตัวออกจากกันอย่างช้าๆ (รูป 1.15 ข) ด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ยเพียงไม่กี่เซนติเมตรต่อปี ประมาณช่วงกลางๆของยุคจูแรสซิค หรือประมาณ 150 - 180 ล้านปีมาแล้ว ซึ่งทำให้แผ่นอเมริกาเหนือเริ่มแยกตัวออกจากแผ่นแอฟริกาไปเรื่อยๆ การแยกตัวของแผ่นเปลือกทวีปทั้งสองดังกล่าวนี้ เป็นสาเหตุให้อ่าวเม็กซิโกเปิดออก และเกิดมหาสมุทรแอตแลนติคเหนือขึ้นในเวลาต่อมา ในตอนต้นๆของยุคครีเตเชียส (หรือประมาณ 100 - 130 ล้านปีที่ผ่านมา) แผ่นอเมริกาใต้ก็แยกตัวออกจากแผ่นอาฟริกา ทำให้มหาสมุทรแอตแลนติคได้เริ่มเปิดออก ในช่วงเวลาเดียวกันนั้นเอง เปลือกอนุทวีปอินเดีย-ออสเตรเลีย และแอนตาร์คติคก็เริ่มแยกตัวออกจากด้านตะวันออกของเปลือกทวีปอาฟริกา ในตอนปลายยุค ครีเตเชียส(หรือเมื่อประมาณ 70 - 90 ล้านปีที่ผ่านมา)กรีนแลนด์แยกตัวออกจากแผ่นอเมริกาเหนือพร้อมๆกับส่วนหนึ่งของเปลือกอนุทวีปอินเดียหลุดออกไปเป็นเกาะมาดากัสกา ต่อจากนั้นเมื่อประมาณ 50 - 55 ล้านปีที่ผ่านมาออสเตรเลีย และแอนตาร์คติคก็แยกตัวออกจากกัน ในขณะที่เปลือกอนุทวีปอินเดียเคลื่อนที่เข้าหายูเรเซีย จนกระทั่งในที่สุดเกิดชนกันขึ้นในอีก 10 ล้านปีต่อมาคือประมาณ 40 ล้านปีที่แล้วมา ส่วนทะเลแดงและอ่าวคาลิฟอร์เนียเพิ่งเปิดออกเมื่อประมาณ 10 และ 15 ล้านปีที่ผ่านมา ตามลำดับ (ดูรูป 1.16)

1.1.6 การย้ายที่ของขอบแผ่น

แผ่นเปลือกโลกต่าง ๆ มีอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลก หรือขอบแผ่นเปลือกโลกจึงมีการเคลื่อนย้ายตามไปด้วย ถ้าพิจารณาจากรูป 1.13 และรูป 1.7 ถ้าแผ่นเปลือกสมุทรของแอตแลนติคเปิดออกด้วยอัตราความเร็ว 4 เซนติเมตรต่อปี ถ้าสมมุติให้แผ่นแอฟริกาหยุดอยู่กับที่ ส่วนสันเขาสมุทรแอตแลนติคและแผ่นอเมริกาใต้เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก ด้วยอัตราความเร็วเท่ากับอัตราการเปิดออกของมหาสมุทรแอตแลนติค แต่ถ้าแผ่นเปลือกสมุทรที่เปิดออกนั้นในอีกฟากหนึ่งจากในรูป 1.13 แผ่นมีการมุดหายลงใต้เปลือกทวีป (รูป1.10 ข.) ในเวลาที่ล่วงเลยไปขอบแผ่นเปลือกโลกต่างเคลื่อนย้ายตำแหน่งเหมือนกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของแผ่นเปลือกสมุทร และการมุดลงใต้แผ่นเปลือกทวีป เช่น แผ่นเปลือกมหาสมุทรแปซิฟิคเปิด ออกในอัตราความเร็ว 7.5 เซนติเมตรต่อปี ในขณะที่อัตราการมุดลงข้างใต้เปลือกทวีปอเมริกาใต้มีเพียง 5 เซนติเมตรต่อปี ในกรณีเช่นนี้จึงทำให้สันกลางสมุทรแปซิฟิกเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกในอัตรา2.5 เซนติเมตรต่อปี ถ้าถือว่าแผ่นเปลือกทวีปอเมริกาใต้อยู่กับที่

การย้ายที่ขอบแผ่นเปลือกโลกที่เป็นสันเขากลางมหาสมุทรนี้เป็นการเคลื่อนที่ในแต่ละส่วนตามแนวรอยเลื่อนแปลงรูป (transform fault) ของแผ่นเปลือกสมุทรที่กำลังเปิดออกและทำให้เราพบว่า แต่ละส่วนของแผ่นเปลือกสมุทรมีอัตราการเปิดออกไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแผ่นเปลือกสมุทรส่วนนั้นอยู่ห่างจากขั้วการหมุน (pole of rotation) (ดูรายละเอียดในบทที่ 2) มากน้อยแค่ไหน กล่าวคือ อัตราการเปิดจะยิ่งมากขึ้นถ้าส่วนนั้นยิ่งอยู่ห่างจากขั้วการหมุน การเปิดของแผ่นเปลือกสมุทรในอัตราความเร็วที่ไม่เท่ากันดังกล่าว

นี้จึงมีผลต่อการเพิ่มและการลดความยาวของรอยเลื่อนแปลงรูปที่อยู่ระหว่างสันสมุทร (oceanic ridge) หรือแนวร่องลึกมหาสมุทร (oceanic rift) (รูป 1.17)

1.2 ประวัติความเป็นมา

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายเกี่ยวกับประวัติโดยย่อของการศึกษาธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งผู้เขียนสอดแทรกวิวัฒนาการด้านแนวคิดนี้ในอีกหลายบทแม้ว่าจะมีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 (พ.ศ. 2510) แต่แนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกได้เริ่มขึ้นมาตั้งแต่อดีตย้อนไปถึงช่วงศตวรรษที่ 16 เมื่อเริ่มพยายามต่อแผนที่ของทวีปเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากการนำเอาขอบทวีปอเมริกามาต่อกับทวีปยูโรปและอาฟริกา จากการศึกษาเรื่องราวในอดีตของ Rom (1994) เกี่ยวกับการศึกษาทวีปแยกเลื่อน (continental drift) ที่ตีพิมพ์ในวารสาร “Nature” ทำให้ทราบว่า บุคคลในยุคแรกที่กล่าวถึงเรื่องราวดังกล่าว ก็คืออับบราเฮมโอทีเลียส (Abraham Ortelius) ในปี ค.ศ. 1596 (พ.ศ.2139) ซึ่งต่อมา เซอร์ฟรานซีส เบคอน (Sir Francis Bacon) ได้อ้างไว้ในหนังสือ “Novum Organum” อธิบายความเหมือนกับขอบชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของอเมริกาใต้(มหาสมุทรแปซิฟิก)กับขอบอาฟริกา(มหาสมุทรแอตแลนติก) ที่มีความเว้าเข้าออกเหมือนกัน ซึ่งเขาได้เปรียบเหมือนกับ “โลกใหม่และเก่า” (the New and Old World) ซึ่งทั้งสองทวีปแผ่กว้างออกไปทางทิศเหนือและแคบลงในทางทิศใต้ ความเหมือนกันนี้ทำให้ เซอร์เบคอนทึกทักเอาว่าทั้งสอง “โลก” นี้น่าจะเคยชิดติดกันโดยมีชายฝั่งทั้งสองของ 2 ทวีปอยู่ติดกันมาแต่เดิม ซึ่งต่อมาจึงแยกจากกัน

ในศตวรรษที่ 17 ประมาณปี ค.ศ. 1666 (พ.ศ.2209) ฟรองซัว พลาเช่ (Francois Placet) ชาวฝรั่งเศสได้อธิบายว่าการที่ทวีปอเมริกาแยกตัวออกไปเป็นอิทธิพลของภาวะน้ำท่วมโลกที่เรียกโนอา (Flood of Noah) (ดูรูป 1.18) ซึ่งเมื่อตรวจดูในคัมภีร์ไบเบิ้ล จึงพบว่าก่อนน้ำท่วมใหญ่ครั้งนั้น โลกมีความเป็นหนึ่งไม่แยกจากกัน และเขาย้ำว่าอเมริกาเกิดจากเกาะที่แยกเลื่อนมาจากยุโรปและอาฟริกา โดยมีแผ่นแอตแลนทิส (Atlantis) แผ่นดินแทรกตัวเข้ามา และต้องไม่ลืมว่าธรณีวิทยาในสมัยนั้น ซึ่งก็เหมือนศาสตร์แขนงอื่นทางวิทยาศาสตร์ ต้องทำการทดลองหรือตรวจสอบโดยเสมียรพระหรือนักเทวนิยม ซึ่งมักเชื่อว่าการที่เขาเห็นซากดึกดำบรรพ์ที่ถูกเก็บรักษาในหินตะกอนบนที่สูงหรือตามภูเขาเป็นผลจากการที่ครั้งหนึ่งโลกพิภพเคยถูกน้ำท่วมใหญ่นั่นเอง

ในศตวรรษที่ 18 มีอีกท่านหนึ่งที่เชื่อเรื่องการประกบต่อชายฝั่งของทวีปอเมริกาใต้กับอาฟริกาก็คือ ทีโอดอร์ ครีสทอฟ ลิเลียนทัล (Theodor Christoph Lilienthal ค.ศ. 1711-1782) ศาสตราจารย์ทางเทววิทยาและคณิตศาสตร์แห่งโคนิงเบิร์ก(Koningsberg)ในเยอรมันนี ที่กล่าวไว้เมื่อปี ค.ศ. 1756 (พ.ศ. 2299) ว่า ในวันแห่งพีเลค (Peleg) โลกมนุษย์จึงแยกออก อันเป็นผลจากอภิมหาพิบัติภัย (catastrophism) ที่ปรากฏในคัมภีร์ ต่อมาประมาณ ค.ศ. 1801 และ 1845 (พ.ศ. 2343 และ 2388) นักสำรวจชาวเยอรมันชื่อ อเลกแซนเดอร์ วอน ฮัมโบล (Alexander von Humbolt) ได้พูดถึงการที่ชายฝั่งทะเลทั้ง 2 ทวีป

คล้ายคลึงกันจนทำให้เกิดมหาสมุทรแอตแลนด์ติกว่าเป็นผลมาจากการเกิดน้ำวนใหญ่ ซึ่งพัดไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและวกกลับไปตะวันตกเฉียงเหนือ และย้อนกลับมาอีกทีทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นที่เราเรียกมหาสมุทรแอตแลนด์ติก จึงเป็นเพียงหุบเขายักษ์ที่ถูกกัดลึกลงไปจนกลายเป็นทะเลขนาดยักษ์นั่นเอง จวบจน ค.ศ. 1858 (พ.ศ. 2401) ซึ่งเป็นกลางศตวรรณนักสำรวจชาวฝรั่งเศสชื่อ แอนโทนิโอ สไนเดอร์-เพลลิกรินี (Antonio Snider-Pellegrini) ได้สังเกตเห็นลักษณะที่คล้ายกัน แต่เขาสรุปว่า “การแยกเลื่อน” (drift) และอภิพิบัติภัย – โดยมีน้ำท่วมใหญ่ (น้ำท่วมโลก) ที่เรียกโนอา (Nooh Floud)เป็นอภิพิบัติภัยครั้งสุดท้าย รูป 1.18 แสดงแนวคิดของเพลลิกรินีในสมัยนั้น

ในช่วงศตวรรษที่ 19 ซึ่งจัดว่าเป็นช่วงที่ลัทธิหายนะนิยม(catastrophism)ถูกแทนที่ด้วยลัทธิภราดรภาพ (uniformitarianism) และลัทธิความถูกต้อง (actualism) (ดู ปัญญา จารุศิริ และคณะ 2542) โดยเริ่มจากนักธรณีวิทยาแห่งสหราชอาณาจักรที่ชื่อ เจมส์ ฮัตตัน (James Hutton) และเซอร์ ชาลส์ ไลแอล (Sir Charles Lyell) ซึ่งฮัตตันด้วยความเป็นนักกฎหมายได้กล่าวด้วยประโยชน์ที่แยบยลว่า “ไม่มีพลังใดๆ ที่ไม่ใช่ธรรมชาติได้ถูกใช้กับโลก และไม่มีการกระทำใดๆ ที่เป็นที่ยอมรับหากเราไม่รับรู้หลักการกระทำนั้น และก็ไม่มีเหตุการณ์พิเศษแปลกประหลาดได้ถูกกล่างอ้างที่จะอธิบายเหตุการณ์ที่รู้ว่าเกิดขึ้น” อ่านแล้วเข้าใจยากจนทำให้ เซอร์ อาร์ชิบาวด์ ไกกี (Archibald Geikie) ได้ถอดความของฮัตตันใหม่ว่าที่ฮัตตันอธิบายนั้นเขียนให้เข้าใจได้ง่ายๆ คือ “ปัจจุบันเป็นกุญแจสำคัญไปสู่อดีต” (The present is the key to the past) อันเป็นที่รู้จักกันดี และขยายความว่ากระบวนการแบบค่อยเป็นค่อยไปได้เกิดขึ้นบนผิวและในโลก และได้ดำเนินไปตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จนปรับรูปร่างลักษณะการบันทึกบนผิวโลกนั้น ซึ่งนับว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ของการคิดค้นทางธรณีวิทยา พันธมิตรคือทฤษฎีทวีปแยกเลื่อนพยายามโยงใยปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าเป็นผลจากอภิพิบัติภัย เช่น ออสวาลด์ พิชเชิร์ (Oswald Fisher) ก็อธิบายว่าทวีปแยกเลื่อนน่าจะมาจากการที่ดวงจันทร์หลุดลอยไปจากโลก จนทำให้เกิดมหาสมุทรแปซิฟิก แนวคิดดังกล่าวก็ยังคงมีผู้ค้นหาหลักฐานมาสนับสนุนจวบจตนศตวรรษที่ 20 (ดูรายละเอียดในหัวข้อถัดไป)

แนวคิดเกี่ยวกับลัทธิภราดรภาพได้เริ่มขึ้นอย่างจริงจังอีกครั้งตอนต้นศตวรรษที่ 20 เกี่ยวกับการแยกเลื่อนของทวีปหรือทวีปเลื่อน (continental drift) แบบค่อยเป็นค่อยไปมีรากฐานจากนักฟิสิกส์ชาวอเมริกา ชื่อ เอฟ บี เทเลอร์ (F.B. Taylor) ในปี ค.ศ. 1910 (พ.ศ.2453) และ แอลเฟรด เวกเจนเนอร์ นักอุตุนิยมวิทยาชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1912 (พ.ศ.2455) ซึ่งเป็นครั้งแรกที่คิดว่าทวีปทั้งสองแยกจากกันมาตั้งแต่อดีตกาล คือ 100 – 200 ล้านปีมาแล้ว โดยแนวคิดนี้การแยกเลื่อนได้อาศัยสภาพธรณีวิทยาและลักษณะทางเรขาคณิตที่คล้ายคลึงกันระหว่างทวีปอเมริกาใต้และอาฟริกา รอบมหาสมุทร และอินเดียเป็นตัวอธิบายการเกิดเทือกเขาใหม่ๆ บริเวณขอบทวีปอีกด้วย เทเลอร์ได้ไปไกลถึงขนาดอธิบายการกระจายตัวของแนวเทือกเขาใหม่ๆ นี้ และแผนการกำเนิดโลกมนุษย์ด้วยซ้ำ (ดูรูป 1.20)

นายฮัลลัม (Hallam) ประมาณปี ค.ศ. 1970 ได้เขียนเรื่องราวของเวกเจนเนอร์อย่างเป็นระบบและได้กล่าวถึงเวกเจนเนอร์ว่า นอกจากเป็นนักอุตุนิยมวิทยาแล้ว เขายังเป็นนักดาราศาสตร์ นักธรณี

ฟิสิกส์ และนักบัลลูนสมัครเล่น เวลเจนเนอร์ได้ใช้ข้อมูลทางธรณีวิทยาและลักษณะโครงสร้างใหญ่ก่อนเกิดการแยกเลื่อน(Drift)ของทั้งสองทวีปที่เคยเชื่อมต่อกันมาอธิบายการแยกเลื่อน ต่อมาจึงเป็นที่รู้กันว่าข้อมูลที่เวกเจนเนอร์นำมาเสนอก็คือการเกิดยุคน้ำแข็งที่แผ่ปกคลุมซีกโลกใต้ตอนช่วงยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก(Permo-Triassic Period) ในขณะที่ทางทวีปยูโรปและอเมริการเหนือในสมัยนั้นมีภูมิอากาศอบอุ่น ซึ่งทำให้เวกเจนเนอร์เสนอว่าช่วงนี้เป็นช่วงขณะที่ทวีปทั้งหลายประกบต่อกันเป็นทวีปใหญ่ทวีปเดียวที่เรียก อภิมหาทวีปแพนเจีย (Pangaea ที่แปลตามศัพท์ว่าโลกทั้งปวง) (ดูรูป 1.20) โดยมีศูนย์กลางอยู่ที่ขั้วโลกใต้ และทวีปทางซีกโลกเหนือกระจายตัวอยู่แถบเส้นศูนย์สูตร และแบ่งอภิมหาทวีปออกเป็น 2 มหาทวีป (ดูรูป 1.20 ก) คือ มหาทวีปลอเรเซีย(Laurasia)ทางตอนเหนือ ซึ่งมาจากรากศัพท์ Laurenta (ลอเรนเทีย) ดินแดนแห่งหนึ่งของคานาดาและเอเชีย มหาทวีปเหนือนี้ประกอบด้วยทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปยูโรป เกาะกรีนแลนด์ และทวีปเอเชีย และมหาทวีปกอนวานา (Gondwana) (ให้สังเกตว่า Gondwana ไม่ต้องต่อด้วยคำว่า “Land” เหมือนอย่างในหนังสือภาษาอังกฤษบางเล่มที่ใช้กัน เพราะคำว่า “Gondwana” แปลว่า Land of Gonds หรือดินแดนของชาวกอนส์ อันเป็นชื่อชนเผ่าโบราณทางเหนือของอินเดีย) มหาทวีปใต้นี้ประกอบด้วยทวีปอเมริกาใต้ ทวีปอาฟริกา ทวีปแอนตาร์ติก ทวีปออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ ประเทศอินเดีย และเกาะมาดากาสกา ซึ่งมหาทวีปเหนือและใต้นี้แยกจากกันในบริเวณแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนที่เรียก ทีทีส (Tethys คำที่มาจากภาษากรีก แปลว่า เทพเอร์กรีกแห่งทะเล หรือพระสมุทร) โดยมหาทวีปทั้งสอง หรืออภิมหาทวีปถูกล้อมด้วยอภิมหาสมุทรบรรพกาลที่ชื่อแพนทาลาสกา (Panthallassa) ซึงตามศัพท์หมายถึง “มหาสมุทรทั้งปวง – all ocean” การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกทวีปดังกล่าวได้เกิดต่อเนื่องจนเป็นลักษณะทวีปที่เขาเห็นในปัจจุบัน (รูป 1.20 ข.)

เวกเจนเนอร์ได้ใส่แนวคิดของเขาเกี่ยวกับเรื่องนี้ในหนังสือ “กำเนิดทวีปและมหาสมุทร” (the Origin of Continents and Oceans) จากชื่อหนังสือที่เขียนเป็นภาษาเยอรมันว่า Die Entstegurg der Kontinente and Ozeane ในช่วงปี ค.ศ. 1915-1928 แต่จุดเริ่มต้นของการวิพากษ์งานของเขาได้เกิดขึ้นหลังจากการแปลหนังสือเขาเป็นภาษาอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1922 แต่ได้เริ่มตีพิมพ์เมื่อปี ค.ศ. 1929 เนื่องจากสภาวะก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 แต่นักธรณีศาสตร์หลายคนในสมัยนั้นไม่ค่อยยอมรับทฤษฎีของเขา เนื่องจากในตอนนั้นเป็นที่ยอมรับหรือเชื่อว่าเปลือกโลกหยุดนิ่งกับที่ (static earth model) แนวคิดของเวกเจนเนอร์ไม่ได้มาจากผลงานจริงๆ ของเขา แต่ส่วนใหญ่เป็นการรวบรวมงานของผู้เชี่ยวชาญจากสาขาอื่นๆ และหลายอย่างที่เขาคิดไม่ถูกต้องนัก เช่น เขาประมาณอัตราการเคลื่อนที่ทวีปยุโรปและกรีนแลนด์ผิดไปอย่างมากมาย หลายคนในปัจจุบัน เช่น Keary & Vine (1996) จึงเชื่อว่าเวกเจนเนอร์อาจมีความรู้เพียงผิวเผิน และไม่สามารถอธิบายกลไกการเคลื่อนที่ของทวีปได้อย่างถูกต้อง เพราะเวกเจนเนอร์เชื่อว่าการที่มีทวีปในซีกโลกเหนือมากกว่าเพราะอิทธิพลของแรงหนีศูนย์กลางของโลก ซึ่งนักวิทยาศาสตร์และนักธรณีวิทยาในปัจจุบันเชื่อว่าแรงดังกล่าวมีน้อยเกินไป

ต่อมา ดูโต (Du Toit) ได้ชี้แนะถึงหลักฐานทางธรณีวิทยาต่อการเชื่อมต่อทวีป ซึ่งทำให้นักธรณีวิทยาชาวอเมริกันที่มีชื่อเสียงที่ชื่อ อาร์เทอร์ โฮม (Arther Holmes) ช่วงปี ค.ศ. 1927-1928 ได้พัฒนา

ทฤษฎีใหม่เกี่ยวกับกลไกการเคลื่อนที่ของทวีปว่าเป็นผลมาจากกระแสการพา (convection current) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่ถูกพาขึ้นมาจากเนื้อโลก (รูป 1.21)

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้เกิดสำนักใหญ่ 2 สำนัก คือ สำนักที่เชื่อการแยกเลื่อน (drifters) และสำนักที่ไม่เชื่อด้านการแยกเลื่อน (non-drifters) ซึ่งพวกหลังมีมากกว่าพวกแรกมาก เนื่องจากคิดว่ากลไกการขับเคลื่อนที่อธิบายมีความเป็นไปได้น้อยมาก ดังนั้นแนวคิดเรื่องกระแสการพาและการขยายตัวของโลกจึงเป็นได้ยาก แต่น่าสนใจที่นักธรณีวิทยาจากซีกโลกใต้ อย่างเช่น ดู โต, เลสเตอร์ คิง (Lester King) และเอสดับเบิลยู คาร์เร (S.W. Carley) กลับเชื่อเรื่องการแยกเลื่อน ซึ่งอาจเป็นเพราะบันทึกทางธรณีวิทยาของทั้งอินเดียและทวีปทางซีกโลกใต้สนับสนุนแนวคิดเรื่องมหาทวีปกอนวานาที่เกิดมาตั้งแต่ช่วงเกือบ 200 ล้านปี ขณะที่สำนักที่คัดค้าน หาเหตุผลมาขัดแย้งการเชื่อมโยงซากดึกดำบรรพ์ของ 2 ทวีป หรือการอพยพจากทวีปหนึ่งไปอีกทวีปไม่ได้ และใช้อัตถาธิบายเรื่องการกระโดดข้ามหินตามเกาะแก่งต่างๆ ว่าเป็นแนวทางแห่งการเคลื่อนย้าย ซึ่งดูจะไม่สมเหตุสมผลเลยในทางวิทยาศาสตร์

หนังสือที่ออกมาส่วนใหญ่พบน้อยมากที่เรียบเรียงเรื่องราวของ อัลเฟรด เวกเจนเนอร์ ในช่วงปีที่เขาแต่งจนถึงปี ค.ศ.1960 แต่ประมาณช่วงปี ค.ศ. 1950 จึงเริ่มมีการสืบค้นวิธีการใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์ เช่น วิธีสำรวจด้วยสภาวะแม่เหล็กโบราณ โดย ลอร์ด แบลคเกต (Lord Blackett) จนทำให้รันคอร์น (Runcorn) และคณะได้อธิบายการเคลื่อนที่เชิงเปรียบเทียบระหว่างทวีปอเมริการเหนือกับยุโรปได้ และต่อมา เค เอม เครียร์ (K.M. Creer) จึงเริ่มใช้วิธีการนี้กับทวีปอเมริกาใต้ และแผ่ขยาย ไปยังออสเตรเลีย โดย ยี เออร์วิง (E. Irring) ขณะเดียวกันเมื่อนำเอาแนวคิดเรื่องวิธีทางแม่เหล็กบีรรพกาลผนวกกับวิธีการทางอายุทั้งจากกัมมันตรังสี และจากบรรพชีวินทำให้แนวคิดเรื่องการแยกเลื่อนของทวีปมีการพัฒนาขึ้น จนทำให้เรารู้ว่าเปลือกโลกส่วนทวีปหรือเปลือกทวีปได้เก็บรักษาบันทึกทางประวัติศาสตร์อันยาวนานของโลกไว้ได้เก่าแก่ถึง 4,000 ล้านปี นอกจากนั้นแนวคิดดังกล่าวยังสามารถอธิบายถึงการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของเปลือกโลกเราได้อีกด้วย จนทำให้เราสามารถตรวจพบว่าเปลือกโลกเรามีการยกตัวหลายครั้ง และการที่แผ่นเปลือกโลกเกิดการผุพัง การกร่อน และการนำพา จนไปถึงการตกตะกอน เป็นวัฏจักรที่เกิดขึ้นไม่มีที่สิ้นสุด

1.4 พื้นทะเล แผ่กว้าง

ถ้าแนวคิดเรื่องพื้นทวีปมีการแตกแยกตัว (rifted) และแยกเลื่อน (drifted) เป็นไปได้ก็คงต้องปรากฏหลักฐานบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ในพื้นทะเลด้วย นับตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 และตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 ข้อมูลประมาณร้อยละ 60 ของพื้นทะเลโดยเฉพาะพื้นทะเลลึกได้ถูกรวบรวมไว้มากพอที่จะอธิบายสภาวะการเกิดและการพัฒนาพื้นทะเลได้ แต่กลับปรากฏว่าภาวะกลับตรงกันกับพื้นทวีป เพราะจากการหาอายุโดยกัมมันตรังสีกลับกลายเป็นว่าพื้นทะเลมีอายุอ่อนกว่ามาก กล่าวคือที่แก่ที่สุดมี

อายุประมาณ 200 ล้านปี และพบว่าการเคลื่อนที่หลักๆ เป็นแบบด้านข้าง (lateral) ตลอดช่วงเวลาที่มีพัฒนาการของพื้นทะเล

ในปี ค.ศ. 1961 จากการรวบรวมและสำรวจข้อมูลพื้นทะเลช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ทำให้ อาร์ เอส ไดเอส (R.S. Dietz) ได้เสนอกลไกการแผ่ขยายพื้นทะเลมาอธิบายการเกิดทวีปแยกเลื่อน ซึ่งเริ่มต้นจากแนวคิดของ แฮรี่ เอช เอช (Harry H. Hess) จากมหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน (เอมริกา) ที่ว่าทวีปแยกเลื่อนได้เพราะอิทธิพลการแผ่ขยายพื้นทะเล โดยที่ไดเอสคิดว่าเปลือกสมุทรเกิดขึ้นจากหินจากเนื้อโลกที่เคลื่อนตัวขึ้นมาตามแนวรอยแตกตรงสันกลางสมุทร (mid-oceanic ridge) เป็นแนวภูเขาไฟใต้น้ำ ซึ่งอยู่เกือนตรงกลางของมหาสมุทร (mid-oceanic ridge) เป็นแนวภูเขาไฟใต้น้ำ ซึ่งอยู่เกือนตรงกลางของมหาสมุทรใหญ่ๆ (ดูรูป 1.22) เปลือกสมุทรมีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่า การผุดขึ้นและการเคลื่อนที่ของเปลือกสมุทรเป็นผลจากกระแสการพาในชั้นเนื่อโลกที่ทำหน้าที่เหมือนสายพานลำเลียง (conveyer belt) ที่พาเอาทวีปเลื่อนตัวไปได้เรื่อยๆ ด้วย เพื่อให้พื้นที่ผิวของโลกที่ในที่สุดเปลือกสมุทรก็ถูกดันเลื่อนย้อนกลับไปในเนื้อโลกใหม่ เปลือกสมุทรจึงถูกกลืนกลับเข้าไปในเนื้อโลก ในบริเวณที่เป็นร่องสมุทร (oceanic trench) จนทำให้เกิดการระเบิดของภูเขาไฟ และแผ่นดินไหวได้ เปลือกทวีปที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงถูกแยกเลื่อนไปด้วยตามทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นสมุทร เปลือกทวีปจึงเป็นที่รวมของวัตถุทางธรณีวิทยาที่เก่าแก่กว่า ซึ่งอาจสลายมาจากบางส่วนของโลกที่อยู่ลึกลงไป แต่เมื่อพิจารณาในเชิงลึก คำว่า แผ่น (plate) ในที่นี้จึงกินความหมายไปถึงส่วนที่อยูลึกลงไปกว่าเปลือกโลก คืออาจหนาถึง 50-100 กิโลเมตร ความหนานี้จึงใช้กับส่วนที่แข็งของแผ่น ที่เรียกแผ่นธรณีภาค (lithospheric plate) ที่วางตัวอยู่บนส่วนที่อ่อนตัวกว่า ที่ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับอยู่ข้างใต้ เที่เรียกฐานธรณีภาค (asthemosphere) คำว่า lithosphere หรือธรณีภาค เป็นคำที่ อาร์ เอ ดาร์ลี (R.A. Dally) ได้เคยเสนอไว้นานมาแล้ว ซึ่งหมายถึงชั้นที่เป็นหิน (rock layer) ดังนั้นธรณีภาคจึงประกอบด้วยแผ่นทวีป (continental plate) และแผ่นสมุทร (oceanic plate)

ทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นทะเลได้รับการยืนยันในช่วงปี ค.ศ. 1963-1966 ตามคำแนะนำของ เอฟ เจ ไวน์ (F.J. Vine) และ ดี เฮช แมททิว (D.H. Mathews) เกี่ยวกับการจัดตัวทางสนามแม่เหล็กของพื้นทะเลจนนำไปสู่การค้นพบแถบแม่เหล็ก (magnetic strip) ที่สัมพันธ์กับการแผ่ขยายพื้นทะเล (ดูรายละเอียดในบทถัดไป)

ตัวบ่งชี้ที่แสดงถึงวิวัฒนาการของทฤษฎีการแปรสัณฐานถัดมา คือ การค้นคิดของ เจ ทูโซ วิลสัน (J. Tuzo Wilson) ศาสตราจารย์ทางธรณีวิทยาของมหาวิทยาลัยโตรอนโต ประเทศคานาดา ในปี ค.ศ. 1965 โดยการนำเสนอชนิดของรอยเลื่อนแบบใหม่ที่เป็นที่รู้จักกันดีในปัจจุบันว่า รอยเลื่อนจำแลง (transform fault) ซึ่งเชื่อมโยงกับแนวยาวของเขตการแปรสัณฐาน ด้วยเหตุนี้โลกเราจึงเปรียบเสมือนเหมือนตัวต่อ (jigsaw) ขนาดยักษ์ 6 ตัว และขนาดเล็กอีก 4-5 ตัว เชื่อมต่อกันบนผิวสันขนาดใหญ่ และมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เมื่อเทียบเคียงบกับอีกแผ่นหนึ่ง อันเป็นทฤษฎีหนึ่งเดียวที่อาศัยพื้นฐานทางเรขาคณิตอย่างแน่นหนา ตามการศึกษาของ แมคเคนซี (D.C. McKenzie), พาร์คเกอร์ (R.L. Parker) และ

มอร์แกน (W.J. Morgan) ในช่วงปี ค.ศ. 1967 – 1968 (ดู Mckenzie, 1990) ซึ่งต่อมาแนวคิดนี้ได้รับการยืนยันอย่างเนียวแน่นโดยการวิจัยของ ไอแซค (B. Isacks), โอลิเวอร์ (J. Oliver) และไซคัส (L.R. Sykes) (ดู Isacks และคณะ, 1968)

ในช่วงต่อมา การศึกษาทางธรณีวิทยา ธรณีเคมี และธรณีฟิสิกส์อย่างมากมาย ช่วยเติมเต็มทฤษฎีการแปรสัณฐาน และช่วยยังผลให้เกิดการประยุกต์ทฤษฎีนี้กับการค้นหาทรัพยากรธรณีใต้พิภพตลอดจนการพยากรณ์พิบัติภัยทางธรรมชาติต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.5 ธรณีแอ่นตัว

แนวคิดเกี่ยวกับธรณีแอ่นตัว(geosyncline) หรือแอ่งบรรพรตรังสรรค์ได้ถูกนำมาใช้อธิบายพื้นที่เกิดขึ้นในบริเวณเทือกเขาแอบปาเลเชียน (Appalacian) เมื่อ เจมส์ ฮอลล์ (James Hall) ในปี ค.ศ. 1859 ในฐานะนักธรณีวิทยาประจำรัฐนิวยอร์ค ได้ทำแผนที่ธรณีวิทยาในแถบพื้นที่แอบปาเลเชียนตอนเหนือ โดยเน้นเฉพาะการลำดับชั้นหินและโครงสร้างของหินคดโค้งอายุมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนน้ำตื้นที่มีความหนาถึง 12 กิโลเมตร ซึ่งหนามากกว่าชั้นหินอายุเดียวกันที่ไม่แสดงการคดโค้งโก่งงอหลายเท่า การสะสมตัวของตะกอนหนามากมายขนาดนั้นทำให้หลายคนคิดว่าน่าจะมีการยุบตัวหรือแอ่นตัวของฐานล่างที่รองรับตะกอนนี้ และการสะสมตัวคงกินระยะเวลาอันยาวนานควบคู่กับการยุบตัวลง ก่อนเกิดเป็นแนวเทือกเขาที่เราเห็นในปัจจุบัน และทำให้ศาสตราจารย์ ดานา (J.D. Dana) เรียกแนวแอ่งใหญ่ขนาดนี้ว่าธรณีแอ่นตัวที่ตอนนั้นเรียก “geosynclinals” ในปี ค.ศ. 1873 และต่อมาได้ผันคำนี้เป็น “geosyncline” (รูป 1.23) หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งต่อมาภายหลังก็ยังคงมีความละม้ายคล้ายคลึงระหว่างธรณีแอ่นตัวกับการสะสมตะกอนบริเวณขอบทวีป แต่ในตอนนั้น ฮอลล์เชื่อว่าน้ำนักของตะกอนที่มากมายมหาศาลเป็นตัวการทำให้เกิดการยุบตัวของเปลือกโลกบริเวณนั้นได้ (Hall, 1859) แต่ต่อมาไม่คิดเช่นนั้น ตรงกันข้ามเขาคิดว่าเปลือกโลกบริเดวณนั้นคงมาจากการที่ตะกอนสะสมในแอ่งที่มีการเตรียมพร้อมที่จะแอ่นตัวอยู่แล้ว เนื่องจากการผันแปรของเปลื่อกโลกจนทำให้เกิดการโก่งตัวได้ อีกทั้งอาจารย์ ดานา เชื่อว่าแนวคิดจของฮอลล์ไม่สามารถอธิบายการคดโค้งของชั้นหินจนกลายเป็นแนวภูเขาได้ และอาจารย์ดานายังคิดว่าการโก่งตัวของชั้นหิน ยังผลให้เกิดการกำเนิดภูเขาหรือบรรพตรังสรรค์ได้ ซึ่งเขาเรียก “geanticlinals” ซึ่งต่อมาคำนี้ขาดสั้นเหลือ “geanticline” (Dana, 1894) หรือบางท่านเรียกเป็นภาษาไทยในสมัยนั้นว่า ธรณีโก่งตัว (ผศ. ทิวา ศุภจรรยา, 2550, ติดต่อส่วนตัว)

ในช่วงสมัยเดียวกัน นักธรณีวิทยาชาวออสเตรียผู้หนึ่งชื่อ เอดวด ซุเอส (Eduard Suess, ค.ศ. 1831-1914, ดูรูป 1.24) ได้แต่งหนังสือชื่อ “Die Entstehung der Alpen” ซึ่งหนาเพียง 168 หน้า และไม่มีรูป เมื่อปี ค.ศ. 1875 ตอนเขาอายุได้ 44 ปี อันเป็นการสำรวจธรณีวิทยาสนามแถบโบฮีเมียและแอลปซ์ตะกวันออก ในบทแรกๆ เขาได้ปฏิเสธแนวคิดเก่าเกี่ยวกับการยกตัวในแนวดิ่งอันเนื่องมาจากการดันตัว

ของหินอัคนีตรงแกนกลาง (central crystalline cores) ซึ่งตอนนั้นเป็นที่นิยมมากในยุโรป นอกจากนั้นซูเอสยังเชื่อว่า ในการเกิดเป็นเทือกเขาแอลปซ์ ตัวการที่มีบทบาทมาก คือ การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (horizontal motion) มากกว่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง (vertical movement) ในบทหลังๆ เขาได้แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในแนวระดับ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่สมมาตรขึ้น ในปี ค.ศ. 1909 ในช่วงท้ายๆ ของชีวิต เขาได้ปฏิเสธการปรากฏของธรณีแอ่นตัว สำหรับซูเอสแล้วบรรพตรังสรรค์เริ่มต้นจากการพัฒนารอยแตกที่ตัดขวางแรงดันจากด้านข้าง อันเป็นผลจากการหดตัวของโลก (earth contraction) เขาได้สรุปในหนังสือขงเขาว่าการศึกษาธรณีโครงสร้าง และการลำดับขั้นหินโดยละเอียดมีส่วนช่วยไขปัญหาด้านการแปรสัณฐานเปลือกโลกได้ดี และเขายังย้ำว่าการแปรสัณฐานควรมีการศึกษาอย่างถ่องแท้ เมื่อพิจารณาในองค์ประกอบใหญ่ (large – scals)

สามปีหลังจากงานเขียนและตีพิมพ์หนังสือของซูเอส อัลเบิร์ต เฮียม(Albert Heim)แห่งนครซูริค (Zurich, ได้แต่งหนังสือ “Untersuchungen Uber der Mechanisms der Gebirgsildung in Auschluss an die Geologische Monography – Windgallen Gruppe” ซึ่งเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับการศึกษากลไกในการเกิดภูเขาของกลุ่มหินโทดี-วินกาเล ซึ่งเป็นหนังสือที่มีแผนที่เป็นภาพสีซึ่งแสดงหลักฐานสำคัญ และจัดได้ว่าเป็นจุดหักของแนวคิดเรื่องการแปรสัณฐานยุคปัจจุบัน อาจเรียกได้ว่าเป็นเสาหินหลักของการศึกษาธรณีวิทยาโครงสร้างในสมัยปัจจุบัน (Milnes, 1979 และ Miyashiro และคณะ, 1982)

หลังจากการศึกษาคันคว้าของอาจารย์ซูเอสและเสียบ ทำให้ลัทธิความเชื่อแตกแยกออกเป็น 2 สำนัก ซึ่ง Miyashiro และคณะ (1982) ได้แบ่งเป็นสำนักโกเบอร์-สตีล (Kober-Stille School ดูรูป 1.24 ข) และสำนัก เวกเจนเนอร์ อาร์กานด์ (Wegener-Argand School) ซึ่งพวกแรกนิยมการอธิบายเรื่องราวทาธรณีวิทยาว่ามาจากการผันแปร (หรือการแปรสัณฐาน) ของเปลือกโลกในลักษณะธรณีแอ่นตัว (geosyncline) เขตหินเก่า (craton) และบรรพรตรังสรรค์ โดยมีส่วนที่ตะกอนมาสะสมมากที่สุดเกิดการโก่งตัว (รูป 1.25) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากค่ายอเมริกันอย่างสำนักดานาน ลา คอน (Dana – La Conte School) และค่ายรัสเซีย อย่างอาจารย์เมลโลซอฟ (Bellossov) ซึ่งเชื่อในเรื่องการแปรสัณฐานเปลือกโลกในแนวดิ่งเป็นหลัก ดังนั้นสำนักแรกจึงนิยมส่งเสริมการกำเนิดแบบรวดเร็วฉับพลันและรุนแรง ส่วนสำนักหลังค่อนข้างนิยมมาทางลัทธิภราดรภาพ(uniformitarianism)ที่เป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป และตามแนวคิดของซูเอสเรื่องทฤษฎีโลกหดตัว จนทำให้เกิดทฤษฎีทวีปแยกเลื่อน

สำหรับแนวคิดเกี่ยวกับธรณีแอ่นตัวได้รับการพัฒนามาเรื่อยๆ จนในที่สุดทำให้แบ่งธรณีแอ่นตัวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ติดต่อกับทะเล กับส่วนที่ติดต่อกับทวีป ส่วนแรกมักเรียกว่าธรณีแอ่นตัวหลัก (eugeosyncline) และส่วนหลังเรียกธรณีแอ่นตัวรอง (miogeosyncline) โดยแยกจากกันด้วยธรณีโก่งตัว (geanticline) ตะกอนที่เข้ามาสะสมในแอ่งหลักจึงมีมากมายทำให้แอ่งหลักปรากฏความหนาของตะกอนมาก โดยที่ตะกอนส่วนใหญ่เป็นตะกอนน้ำลึก(flysch) จำพวกหินทรายสลับกับหินโคลนหรือหินดินดาน และอาจมีหินกรวดแทรกสลับด้วย ซึ่งอาจถูกตัดด้วยหินอัคนี ส่วนแอ่งรองประกอบด้วยชั้นตะกอนน้ำตื้นและตะกอนบกที่ตะกอนหนารวมกันไม่มาก จำพวกหินปูน หินทรายบก หินโคลน และ

อาจมีชั้นถ่านแทรกสลับด้วย (ดูรูป 1.23) ตามแนวคิดของอาจารย์ชาวสวิสที่ชื่อ เบอร์นฮาท สตุดเดอร์ (Burnhard Studer) ซึ่งแต่งหนังสือเรื่องธรณีวิทยาของสวิสเซอร์แลนด์ (Geologie der Schweiz) ในช่วงปี ค.ศ. 1857-1853 จนทำให้เกิดการศึกษาเรื่องธรณีวิทยาโครงสร้างของเทือกเขาแอล์ปอย่างจริงจังโดยเพื่อนร่วมชาติที่ชื่อ อาร์โนล เอชเชอร์ วอน เดร์ ลินท์ (Arnold Escher von der Linth, ดูรูป 1.1) ซึ่งในปัจจุบันแสดงถึงการโค้งพับ 2 ตอน (double folding หรือ Glarner Doppel falte) และดูเหมือนว่าแนวคิดเรื่องวิวัฒนาการธรณีแอ่นตัวในแง่ของกระบวนการแปรสัณฐาน (tectonic process) ได้ถูกทบทวนและนำเสนอใหม่โดย Mitchell & Reading (1981) ภายใต้หัวเรื่อง การตกตะกอนและการแปรสัณฐาน ในหนังสือ “Sedmentary Envisonments and Facies” ที่รวบรวมโดย Reading แนวคิดเรื่องธรณีแอ่นตัวทำให้เห็นภาพแอ่งที่ปรากฏเป็นแนวยาวที่อยู่กับที่ ซึ่งแสดงการยุบตัวของตะกอนที่หนามาก ซึ่งเป็นตัวพัฒนาไปสู่แนวเทือกเขา เมื่อชั้นตะกอนนั้นเกิดการโค้งโก่งงอจนเกิดการยกตัวของตะกอนในธรณีแอ่นตัวนั้น (ดู Dickenson, 1971)

อย่างไรก็ตามสิ่งที่แนวคิดหรือสมมติฐานธรณีแอ่นตัวไม่สามารถอธิบายได้ก็คือ ความเข้าใจและการเกิดของธรณีวิทยาโครงสร้าง หรือลักษณะการแปรสัณฐาน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนสะสมตัวกับกลไกการเคลื่อนที่จากการแปรสัณฐานทำให้เข้าใจถึงสภาวะแวดล้อม 2 ชนิด ที่จะทำให้เกิดหรือนำมาเกี่ยวโยงกับธรณีแอ่นตัวได้ ซึ่งได้แก่ แนวขอบทวีปสถิตย์ (passive continental margin) และขอบทวีปจลน์ (active continental margin) หรือแนวการมุดตัว (subduction) แม้ว่าบางคนยังคงใช้คำศัพท์ทางธรณีแอ่นตัวอยู่ เพื่ออธิบายการปรากฏส่วนของตะกอน เช่น คำว่าธรณีแอ่นตัวหลักและธรณีแอ่นตัวรอง สำหรับชั้นตะกอนที่ปรากฏและปราศจากหินภูเขไฟหรือตะกอนภูเขาไฟ แต่ผู้เขียนเสนอว่าควรละเว้นคำเหล่านี้ และไม่อยากให้ใช้คำนี้มาผสมกับการแปรสัณฐานอีกต่อไป แม้ผู้เขียนเองจะถูกฝึกและสอนมาให้รู้จักแต่เพียงคำพวกนี้สมัยเป็นนิสิตก็ตาม

1.1.6 สรุป

ทฤษฎีการแปรสัณฐาน เป็นทฤษฎีรากฐานที่ทำให้เราเข้าใจถึงกระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดวัสดุทางธรณีและการเกิดโครงสร้างในแผ่นชั้นเปลือกโลกไปตามลำดับชั้นของกาลเวลาทางธรณีวิทยา (geologic time) นอกจากนี้ยังทำให้เราเข้าใจถึงรูปทรงเรขาและลักษณะการเคลื่อนที่ที่ทำให้เกิดโครงสร้างทางธรณีวิทยานั้นๆ ผลที่ได้จากแนวความคิดเรื่องการแปรสัณฐานเปลือกโลกระดับภูมิภาค (regional tectonics) ยังทำให้เราเข้าใจถึงการเกิดเป็นแปล่งแร่และทรัพยากรธรณีต่างๆ ในแต่ละภูมิภาค เพื่อประโยชน์ต่อการสำรวจแหล่งทรัพยากรธรณีต่างๆ ได้ ซึ่งรวมถึงแหล่งแร่ แหล่งถ่านหิน และแหล่งน้ำมัน/ก๊าซธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

1) ปัญญา จารุศิริ, 2549, <u>เอกสารการสอนธรณีแปรสัณฐาน.</u> ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 300 หน้า. (ไม่ได้พิมพ์)

รูป 1.1 การกระจายตัวของจุดเกิดแผ่นดินไหว ที่มีขนาดความรุนแรง 4.5-5.5 ที่ระดับความลึกต่างๆ จนถึงระดับลึก 700 กม ที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ.1965-1975

รูป 1.2 องค์ประกอบทางกายภาพ/กลไก ของชั้นเปลือกโลกและชั้นเนื้อโลก

รูป 1.3 การแผ่กระจายของหินฐานรากมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian basement) บนภาคพื้นทวีปต่างๆ

รูป 1.4 ลักษณะและทิศทางการวางตัวของแนวเทือกเขาสำคัญๆบนภาคพื้นทวีป

รูป 1.4 (ต่อ) ลักษณะและทิศทางการวางตัวของแนวเทือกเขาสำคัญๆบนภาคพื้นทวีป

รูป 1.5 ภาพหน้าตัดของสันกลางสมุทร(ocean ridge system) ขณะที่แผ่นเปลือกสมุทรกำลังแยกตัวออกจากกัน

รูป 1.6 ระบบสันสมุทรของโลก แสดงทิศทางและการแผ่กว้างของพื้นสมุทร ผลรวมของอัตราการแผ่ออกเป็น ซม./ปี

รูป 1.7 ภาพหน้าตัดชั้นเปลือกโลกในบริเวณที่ภาคพื้นทวีปกำลังแยกตัวออกจากกัน จนเกิดเป็นแอ่งสะสมตะกอน

รูป 1.8 ขั้นตอนการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลกในภาคพื้นทวีป จนเกิดแอ่งสะสมตะกอนที่เกิดอยู่เหนือแผ่นเปลือกสมุทร

(ก)

(ข)

รูป 1.9 ภาพหน้าตัดแสดงการมุดตัวของแผ่นตัวของแผ่นเปลือกโลก (ก) ระหว่างแผ่นเปลือกสมุทรด้วยกัน และ (ข) แผ่นเปลือกสมุทรมุดตัวลงไปข้างใต้แผ่นเปลือกทวีป

รูป 1.10 (ก) การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก และการแทรกดันของหินหนืด (magma) ระหว่างการมุดตัวของชั้นเปลือกโลกในบริเวณร่องลึกมหาสมุทร (oceanic trench)
(ข) ภาพหน้าตัดของร่องลึกสมุทร

รูป 1.11 ภาพตัดขวางกว้างๆแสดงการกระทบกระทั่งของแผ่นเปลือกโลก (Plate interaction)