

## บทที่ 7

### การเคลื่อนที่ผ่านกัน

- 7.1 คำนำ
- 7.2 การกำเนิด
- 7.3 รอยเลื่อนแปลงในมหาสมุทร
- 7.4 รอยเลื่อนแปลงบนบก
- 7.5 ขอบทวีปเลื่อน

## บทที่ 7

### การเคลื่อนที่ผ่านกัน

#### 7.1 บทนำ

ตามที่กล่าวไว้ในบทต้นๆ รอยเลื่อนแปลง (transform fault) ประกอบด้วยขอบของแผ่นเปลือกโลกสองแผ่นที่ประกบกันโดยการเคลื่อนที่ผ่านกัน และผลของการเคลื่อนที่ไม่ทำให้แผ่นเกิดขึ้นมาใหม่หรือสูญหายไป การเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้ค้นพบครั้งแรกในมหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันออกเฉียงเหนือจากความผิดปกติทางแม่เหล็ก (รูป 7.1) โดยพบว่าเกิดการเคลื่อนตำแหน่ง (offset) ตามแนวรอยแตกขนาดใหญ่ เช่น ระยะเวลาเลื่อนยาวถึง 1,450 กิโลเมตร ตามแนวรอยเลื่อนเมนโดซิโนและไฟโอเนีย ซึ่งเป็นรอยเลื่อนแบบซ้ายเข้า และระยะเวลาเลื่อนยาวกว่า 60 กิโลเมตร ตามแนวรอยเลื่อนเมอร์เรย์

ปัญหาสำคัญที่น่าขบคิดก็คือ รอยเลื่อนเหล่านี้ไปสิ้นสุดที่ใด ซึ่งคำตอบนี้ได้จากการค้นพบของศาสตราจารย์ วิลสัน ในปี ค.ศ. 1965 โดยเขาอธิบายว่ารอยเลื่อนดังกล่าวน่าจะไปสิ้นสุดที่ปลายของแผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งในลักษณะดังกล่าว วิลสันได้ตั้งชื่อรอยเลื่อนลักษณะนี้ว่า รอยเลื่อนแปลง (transform fault) ซึ่งการเคลื่อนด้านข้างของรอยเลื่อนเกิดได้โดยการสร้างแผ่นเปลือกโลกใหม่ตรงสันสมุทรหรือเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกตรงเขตมุดตัว

**รูป 7.1** แสดงภาพจากด้านบนของสันสมุทร ซึ่งเกิดการเคลื่อนที่โดยการเลื่อนแบบแปลง (transform) (a) และแบบทวนกระแส (transcurrent) (b) ซึ่งการเลื่อนแบบทวนกระแสเป็นการเลื่อนแบบเหลื่อมซ้อน (หรือซ้ายเข้า) ไปตามแนวระนาบ ซึ่งผลทำให้การเคลื่อนที่แบบไม่มีจุดจบจากสันสมุทรตามระนาบรอยเลื่อนและส่วนรอยเลื่อนแปลงจะแสดงการเลื่อนเฉพาะระหว่างระยะห่างของสันสมุทรที่แยกจากกัน โดยการเคลื่อนที่ผ่านกันแบบเหลื่อมขวา (หรือขวาเข้า) ดังนั้นรอยเลื่อนแปลงจึงต่างจากรอยเลื่อนชนิดอื่นตรงที่พื้นที่ในระหว่างที่รอยเลื่อนเคลื่อนผ่านไม่มีการสร้างใหม่หรือถูกทำลายลงเลย

ศาสตราจารย์ วิลสัน ได้จำแนกรอยเลื่อนแปลงออกเป็น 6 ชนิด ตามที่ปรากฏใน **รูป 7.2** โดยที่แผ่นที่เคลื่อนตัวออกจากสันสมุทรอาจมุดตัวลงหรือเสยเกยขึ้นในเขตมุดตัวก็ได้ ใน **รูป 7.2** (a) แสดงลักษณะ 6 แบบของรอยเลื่อนแปลงแบบขวาเข้า (การเคลื่อนที่แบบตรงข้ามคือซ้ายเข้าก็แบ่งเป็น 6 ลักษณะได้เช่นกัน) ใน **รูป 7.2** (b) แสดงวิวัฒนาการของการเคลื่อนที่ผ่านกัน ใน **รูป 7.2** (b) แสดงว่าวิวัฒนาการของการเคลื่อนที่ผ่านกัน ใน **รูป 7.2** กรณี (i) และ (v) ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปไปตามกาลเวลา ส่วน (ii) และ (iv) แสดงระยะเลื่อนที่ยาวขึ้น และ (iii) และ (vi) แสดงระยะเลื่อนสั้นลงไปตามกาลเวลาทางธรณีวิทยา

อีกสองปีถัดมา ศาสตราจารย์ ไชด์ (Sykes, 1967) ได้วิเคราะห์ทั่วโลกแผ่นดินไหวในบริเวณแถบสันกลางมหาสมุทรแอตแลนติกแถบเขตศูนย์สูตรและพบว่าแผ่นดินไหวในบริเวณแถบสันสมุทรจริงๆ เกิดจากรอยเลื่อนปกติในแนวประมาณเหนือ-ใต้ ตามแนวสันพอดี ส่วนแผ่นดินไหวที่เกิดตามแนวระยะแยกที่ขวางกับสันสมุทรพบมากกว่าและปลดปล่อยพลังงานมากกว่าถึงหนึ่งร้อยเท่า และนัยการเลื่อนเป็นแบบเหลี่ยมข้างชนิดขวาเข้า และเมื่อไกลออกไปจากแนวรอยแยกไม่พบแผ่นดินไหวเลย

## 7.2 การกำเนิด

ก่อนการค้นรอยเลื่อนแปลง (รูป 7.3) นักธรณีวิทยาส่วนใหญ่เชื่อว่ารอยแยกขนาดใหญ่ที่วางตัวขนานกันและตั้งฉากกับสันกลางมหาสมุทรแอตแลนติกในแถบเส้นศูนย์สูตรระหว่างอเมริกาใต้กับอฟริกาและมักจะเรียกกันว่ารอยเลื่อนทวนกระแสแบบซ้ายเข้า แต่ศาสตราจารย์ วิลสัน (Wilson, 1965) แย้งว่าที่ถูกต้องเราควรเรียกรอยเลื่อนแปลงแบบขวาเข้า และสรุปว่าวิวัฒนาการของรอยเลื่อนดังกล่าวน่าจะมีส่วนสัมพันธ์กับการเกิดร่องแยก (rifting) ซึ่งในที่สุดพัฒนาไปเป็นการเปิดออกของมหาสมุทรแอตแลนติก ในรูป 7.3 a แสดงถึงทวีปที่แต่เดิมประกอบด้วยแนวการอ่อนทั้ง 2 แนว ต่อมาเมื่อทวีปเกิดแรงถึงในทิศที่ขนานกับแนวอ่อนตัวนั้นจึงเกิดรอยแตกเป็นร่องลึกวางตัวตั้งฉากกับทิศทางการดึงออก และในที่สุดจึงเกิดรอยเลื่อนตามแนวการอ่อนตัว (รูป 7.3 b) หลังจากนั้น (รูป 7.3 c) สันสมุทรยังคงรักษารูปร่างเดิมไว้ และส่วนที่ขนานกับเส้นอ่อนตัวจึงพัฒนาไปเป็นรอยเลื่อนแปลง (transform fault) ซึ่งมีพลังเฉพาะในส่วนที่อยู่ระหว่างสันสมุทรที่แยกจากกัน ตำแหน่งรอยเลื่อนแปลงเหล่านี้ก็อยู่ตรงส่วนที่เป็นร่องแยกเดิมและแสดงลักษณะเหมือนว่าสันสมุทร ปรากฏอยู่ในตำแหน่งกลางสมุทรขณะที่พื้นทะเลแผ่ขยายไปเรื่อยๆ

ในรูป 7.4 เป็นตัวอย่างของรอยเลื่อนแปลงที่ไปสู่ทางตอนเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติกในยุคเทอร์เชียรีตอนต้น สันกลางมหาสมุทรแอตแลนติกแตกเป็นสองแขนง แขนงทางตะวันตกอ้อมเกาะกรีนแลนด์ไปทางอ่าวแม็ฟฟิน และสิ้นสุดที่รอยเลื่อนเวกเจนเนอร์ (Wegener Fault) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนแปลงชนิดซ้ายเข้า ส่วนแขนงด้านตะวันออกผ่านเกาะไอซ์แลนด์ และไปสิ้นสุดที่สปิตเบอร์เจน (Spitbergen) ตรงรอยเลื่อนเดอ์เกีย (De Geer Fault) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนแปลงแบบขวาเข้าที่ต่อเลยไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือจนถึงไซบีเรีย และแปลงรูปไปเป็นเขาวอร์โตยาส์อันเป็นผลจากการหมุนรอบจุดหมุนตรงเกาะนิวไซบีเรีย (ดูรูป 7.4 ในวงกลม)

หลักฐานที่สนับสนุนว่ารอยเลื่อนแปลงเกิดขึ้นตรงแนวอ่อนตัวเดิม ได้แก่ การที่แนวรอยเลื่อนแปลงที่ค้นพบโดยนักธรณีวิทยาอังกฤษ (Garson & Krs, 1976) ว่า เคลื่อนสันสมุทรของทะเลแดงไปในทวีป (อาหรับและอฟริกา) และพบว่าแนวรอยเลื่อนนี้จะวางตัวสอดคล้องกับแนวรอย

แตกที่ปรากฏในหินมหาสมุทรพรีแคมเบรียนของเขตหินเก่าอาหรับและนูเบีย (Arabian & Nubian shields) ซึ่งจากหลักฐานนี้ทำให้ Dixon และคณะ (1987) เชื่อว่า โครงสร้างของหินมหาสมุทรพรีแคมเบรียนที่วางตัวในแนวเหนือใต้เป็นตัวควบคุมรูปร่างของทะเลแดง

รอยเลื่อนแปลงนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในแผ่นทวีปและแผ่นสมุทร ในทะเลเราสามารถตรวจหาแนวรอยเลื่อนนี้ได้โดยง่าย เนื่องจากแทบไม่มีตะกอนปกคลุมในรอยเลื่อนแยก แต่บนแผ่นดินการตรวจหารอยเลื่อนแบบนี้ทำได้ยากกว่ามาก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างเดิมหลายครั้ง แต่ในทะเลก็อาจเข้าใจรอยเลื่อนได้ยากกว่าเนื่องจากต้องตรวจสอบจากหินน้ำทะเลไปหลายกิโลเมตรกว่าจะถึงพื้นทะเล และเป็นพื้นที่ทราบมานานแล้วจากการตรวจสอบรอยเลื่อนแปลงนี้โดยตรงในบริเวณเฟมัส (FAMOUS) โดย Choukroune และคณะ (1978) ว่ารอยเลื่อนแปลงเป็นกลุ่มรอยเลื่อนเล็กๆ รวมกัน (swamps) และมีขนาดกว้างโดยรวมประมาณ 30-1,000 เมตร ต่อมาจึงพบว่ารอยเลื่อนแปลงที่เป็นกลุ่มรอยเลื่อนนี้แผ่ขยายจนกว้างขึ้นกว่าที่คิดมาก และมักเกิดร่วมกับสันสมุทรที่เคลื่อนเร็ว เช่น สันสูงแปซิฟิกตะวันออก (East Pacific Rise) (ดู Searle, 1983)

### 7.3 รอยเลื่อนแปลงในมหาสมุทร

รอยเลื่อนแปลงที่ปรากฏในมหาสมุทรมักแสดงด้วยรอยแตกขนาดใหญ่ที่จับเส้นตรงลึก และเป็นแนวยาวขนานไปกับแนวโค้งที่วางตัวตั้งฉากกับสันสมุทรส่วนที่เลื่อนตัวออก (Bonati & Crane, 1984) รอยเลื่อนแปลงเป็นผลจากการหดตัวเนื่องจากการเย็นตัว (thermal contraction) ในทิศของแกนสันสมุทร โดยแรงเค้นภายในจากการหดตัวนี้มากกว่าความแข็งแรงของหินต่อการแตก จนทำให้รอยแตกพัฒนาจากแนวการอ่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกบริเวณนั้น

จากการเก็บตัวอย่างหินจากเรือขุดดำน้ำทำให้เราพบว่าแผ่นสมุทรประกอบด้วย หินบะซอลต์ปกติและหินซึ่งแสดงการแปรสภาพและความเครียดเฉือน โดยมีมวลลึกลงหินเซอร์เพนทีไนต์ปรากฏที่ฐานรอยเลื่อน

ในสันกลางมหาสมุทรแอตแลนติกบริเวณเส้นศูนย์สูตร พบหินเซอร์เพนทีไนต์มากมายในบริเวณรอยแตก ซึ่งทำให้เกิดมีหินอัลนีเอลคาไลต์แทรกดันขึ้นมาโดยมีน้ำร้อนและสินแร่ด้วย ในบริเวณหมู่เกาะเซนต์ปีเตอร์ (St. Peter Islands) กลางมหาสมุทรแอตแลนติก ซึ่งอยู่บนสันสมุทรที่ประกอบด้วยรอยแตกเซนต์พอล (St. Paul Fracture Zone) มักประกอบด้วยหินเพอร์ริโดไทท์เนื้อโลก (mantle peridotite)

ในบริเวณแถบมหาสมุทรแอตแลนติกตอนเหนือ หินในบริเวณรอยเลื่อนแปลงมีความหนาไม่เท่ากัน แต่ส่วนใหญ่มีบางไม่เกิน 2 กิโลเมตรและอาจกว้างหลายสิบกิโลเมตร และมีโครงสร้างภายในต่างกันด้วย โดยไม่ปรากฏชั้นหินแกบโบร (layer 3) ดังนั้นชั้นหินจึงประกอบด้วยหินบะซอลต์ (layer 2) ที่แสดงรอยแตกมากมาย และแปลงเปลี่ยนไปมากโดยน้ำร้อน

(hydrothermally altered) และรองรับด้วยหินอัคนีสีเข้มจัดที่กลายเป็นหินเซอร์เพนทีไนต์ เชื่อกันว่าชั้นที่บางนี้อาจมาจากหินหรือหินชนิดขาดออกซิเจน (รีดักชัน) (reduced magma) ที่เคลื่อนเข้ามาในสันสมุทร

Cannat และคณะ (1995) พบว่าหินเซอร์เพนทีไนต์ปรากฏมากกว่าที่คิดไว้ในพื้นที่สันสมุทร แม้ที่อยู่ห่างไกลจากนอยเลื่อนแปลงจากการเก็บตัวอย่างบริเวณสันสมุทรตอนเหนือแถบเส้นรุ้ง 22-24° เหนือ พบว่าบริเวณที่แสดงแรงโน้มถ่วงค่าบวก แสดงถึงเปลือกโลกที่ยาว ที่ประกอบด้วยหินเซอร์เพนทีไนต์ถึง 2.3 % ของหินทั้งหมด โดยไม่ต้องพบหินบะซอลต์เลย พวกเขาได้อธิบายว่าการที่พบหินเซอร์เพนทีไนต์สันสมุทรเพราะแผ่นสมุทรถูกแบ่งเป็นส่วนๆ ตามรอยแตกมากมาย และอาจมาจากการเคลื่อนตัวของหินหนืดเข้ามาในบริเวณสันสมุทรเคลื่อนตัวช้าด้วย ดังนั้นในบริเวณสันสมุทรลำดับชั้นหินอัคนีจึงเป็นปกติ แต่พอห่างจากสันสมุทรออกไปไกลๆ มีหินหนืดแทรกดันไปไม่ได้ไกลพอที่จะให้หินบะซอลต์ได้ จึงปรากฏเป็นหินอัคนีสีเข้มที่ต่อมาสัมผัสกับน้ำทะเลจนกลายเป็นหินเซอร์เพนทีไนต์ลักษณะดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญเพราะอธิบายได้ว่าหินเซอร์เพนทีไนต์มักปรากฏมากมายในบริเวณที่สันสมุทรเคลื่อนตัวช้า ทำให้หินเพอร์โดไทต์ ซึ่งโดยปกติทำปฏิกิริยากับน้ำทะเลได้ดีกว่าหินบะซอลต์ กระบวนการผุพังทางเคมีของหินเพอร์โดไทต์จึงปลดปล่อยโลหะ Mg, Ni, Cr, และธาตุโลหะมีค่าได้ง่าย นอกจากนั้นหินเซอร์เพนทีไนต์ที่ประกอบด้วยแร่มีน้ำในตัวมากกว่าหินบะซอลต์จึงเป็นตัวจัดหาน้ำให้กับชั้นลึมน้ำโลกได้มากมาย ขณะเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก

รอยเลื่อนแปลงเป็นตัวกลางทำให้หินมหาสมุทรอายุต่างๆ มาขนานกัน และในบทย่อยๆ ทำให้เราพบว่า ความลึกของพื้นทะเลเป็นสัดส่วนกับรากกำลังสอง (square root) ของอายุหิน จึงชัดเจนว่าเราอาจพบหน้าผาชันเมื่อมองขวางรอยเลื่อน และผาจะยิ่งชันเมื่อหินที่ทำให้เกิดผาอ่อนมากๆ (ดูรูป 7.5 และ 7.6 b) อัตราการยุบตัวของแผ่นสมุทรจึงขึ้นกับอายุหินด้วย นั่นคือ การทรุดตัวจะเกิดขึ้นน้อยลงในบริเวณผาชันที่มีอายุมากกว่าเสมอ โดยที่ผาชันนี้อาจแสดงความต่างระดับมากถึง 6 กิโลเมตร ร่องลึกในรอยเลื่อนทรุดบ่อยครั้งที่แสดงความต่างระดับมากกว่าสันนูนมาก (ดูรูป 7.6 b & c) ดังนั้นเราจึงใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับความลึกเหมือนสันกลางสมุทรไม่ได้ สันนูนในเขตรอยเลื่อนแปลงไม่ได้เกิดจากหินภูเขาไฟหรือจากจุดร้อน หรือจากการยกตัวของแผ่นสมุทรเหมือนของสันสมุทร เป็นที่เชื่อกันในปัจจุบันว่าการเกิดสันนูนน่าจะมาจากชนิดแรงเค้นทั้งแบบดึงและแบบดันที่กระทำในทิศทางกับแนวรอยเลื่อน ซึ่งแรงเค้นดังกล่าวนี้อาจมาจากการเคลื่อนตัวของแผ่นสมุทรที่เปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง เพื่อตอบสนองต่อแนวรอยเลื่อนที่ไม่ตั้งฉากกับสันสมุทร และในบางครั้งความสูงของสันนูนหรือความต่างระดับกับพื้นที่ข้างเคียงอาจมากพอที่จะทำให้อายุของมันไหลผ่านน้ำได้ เช่น ที่ปรากฏเป็นเกาะ เซนต์ปีเตอร์ (พอล) นั่นเอง Lowrie และคณะ (1986) ค้นพบว่าในแนวรอยเลื่อนแปลงบางแห่ง ผาอาจปรากฏในบริเวณเขตหินอายุ 100

ล้านปีในมหาสมุทรได้ โดยยังคงความอ่อนตัวของเปลือกโลกบริเวณนั้น และมาจากการเงินตัวของแผ่นสมุทร

มีหลายบริเวณที่พบว่ารอยเลื่อนแปลงที่มีระนาบรอยเลื่อนไม่สอดคล้องกับทิศทางการเคลื่อนที่ของสันสมุทร ด้วยเหตุนี้จึงอาจมีบางส่วนของรอยเลื่อนเกิดการดึงออกได้ จนทำให้รอยเลื่อนแปลงเกิดการปรับตัวเองใหม่เพื่อให้ตัวมันวางตัวขนานกับสันสมุทรให้ได้ โดยการแบ่งแยกรอยเลื่อนเดิมออกเป็นรอยเลื่อนย่อยๆ (ดูรูป 7.7 a) และเราเรียกระบบรอยเลื่อนที่สร้างเปลือกโลกใหม่ว่า รอยเลื่อนแปลงรั่ว (leaky transform fault) อ่าวคาลิฟอร์เนียจัดเป็นตัวอย่างที่ดีของรอยเลื่อนรั่วที่แยกแหลมบาจาจากอะฟอร์เนียออกจากประเทศเม็กซิโก (รูป 7.7 b) ในบางครั้งรอยเลื่อนแปลงรั่วอาจเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งขั้วการหมุน (pole of rotation) ตัวอย่างเช่น ที่ร่องเคย์แมน (Cayman Trough) เป็นรอยเลื่อนแปลงรั่วที่พบทางด้านตะวันตกของรอยต่อตอนเหนือของแผ่นคาบิปปิเยนกับแผ่นอเมริกาเหนือ

## 7.4 รอยเลื่อนแปลงบนบก

### 7.4.1 บทนำ

โดยปกติรอยเลื่อนแปลงนี้พบเห็นบนบกหรือเปลือกทวีปมักเรียกว่ารอยเลื่อนเหลี่ยมข้าง (strike-slip หรือ wrench fault) ซึ่งการเคลื่อนตัวเกิดในแนวระดับบนระนาบรอยเลื่อนที่เกือบอยู่ในแนวตั้ง ถ้าเป็นรอยเลื่อนที่ตัดผ่านแผ่นธรณีภาค (lithospheric plate) เราเรียกว่ารอยเลื่อนหลัก (fundamental fault) แต่เฉพาะรอยเลื่อนแปลงเท่านั้นที่แสดงรอยต่อระหว่างแผ่น ตัวอย่างรอยเลื่อนแปลงซึ่งเลื่อนแผ่นทวีปก็คือรอยเลื่อนซานแอนเดรียส (San Andreas Fault) ในรัฐคาลิฟอร์เนีย และรอยเลื่อนอัลไพนในนิวซีแลนด์ ซึ่งเลื่อนแบบทางขวา และรอยเลื่อนเดทซีที่ติดกับเขาบิตลิส (Bitlis Mountain) ในเตอร์กี (Turkey) ซึ่งเลื่อนแบบทางซ้าย รอยเลื่อนหลักไม่แสดงรอยต่อแผ่นธรณีปัจจุบัน เช่น รอยเลื่อนเกรทเกลน (Great Glen Fault) ในสก๊อตแลนด์ รอยเลื่อนไพเรเนียน (Pyrenean Fault) และรอยเลื่อนอินซุบริก (Insubric Fault) ของเทือกเขาแอลป์

รอยเลื่อนเหลี่ยมเข้มนักทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศหลากหลาย ซึ่งอาจเป็นผารอยเลื่อน (fault scarp) ร่องลึกตรงจากการกร่อนหินอ่อนที่ขนานหินแข็งหรือการกร่อนหินเบรกเซียในรอยเลื่อน หรือลักษณะจากการเลื่อนตัว เช่น ร่องน้ำ โตรกเขา (canyons) หรือสันเขา (ridges)

รอยเลื่อนในมหาสมุทรมักแสดงลักษณะเป็นร่องตรงยาว แต่บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นทวีปรอยเลื่อนแปลงแสดงโครงสร้างที่ยู่ยากกว่ามาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความหนาและความ

แข็งแกร่งของแผ่นทวีปกับแผ่นสมุทร และความเป็นวิวิธพันธ์ของแผ่นทวีปที่อาจมีแนวอ่อนตัวซับซ้อน เนื่องจากประกอบด้วยแผ่นธรณีหลากหลายชนิดประกอบกัน

สำหรับในเรื่องของรอยแปลง เราต้องแยกให้ได้ถึงชนิดของรอยเลื่อน ซึ่งได้แก่รอยเลื่อนแปลง (transform fault) ที่หมายถึง รอยแตกเลื่อนหลัก เขตรอยเลื่อนแปลง (transform fault zone) ที่หมายถึงชุดของรอยเลื่อนที่ขนานกัน โดยแผ่อกและกลับมาเชื่อมต่อกับรอยเลื่อนหลัก ภายในระยะกว้างประมาณ 10 กม และระบบรอยเลื่อนแปลง (transform fault system) ซึ่งเป็นชุดของรอยเลื่อนมุมชัน ที่ขนานกับรอยเลื่อนหลัก ภายในระยะกว้าง 500 กม และมักประกอบด้วยชุดย่อย (subset) ที่วางตัวทำมุมกับรอยเลื่อนหลัก

**รูป 7.8** แสดงถึงระบบรอยเลื่อนแปลงซานแอนเดรียสในภาคตะวันตกของอเมริกา ซึ่งเกิดมาตั้งแต่สมัยโอลิโกซีน และส่วนที่อยู่บนทวีปถูกควบคุมด้วยระบบรอยแตก ที่อยู่ระหว่างแผ่นทวีปกับแผ่นสมุทร รอยเลื่อนนี้ทำให้เกิดการเลื่อนตัวแบบขวาเข้าเป็นระยะทางถึง 1,500 กม ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีรอยเลื่อนหลัก คือ รอยเลื่อนซานแอนเดรียส (San Andreas Fault ตั้งเขต F เขียนด้วยตัวใหญ่) ในระบบรอยเลื่อนที่ยาวต่อเนื่อง 1,200 กม แต่ก็มีเพียง 300 กม เท่านั้นที่มีการเคลื่อนตัวในแนวระดับ (จริงๆ) ส่วนที่เหลืออีก 1,200 กม (จาก 1,500 กม) มีการเคลื่อนตัวตามรอยเลื่อนที่วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทั้งในเขตรอยเลื่อนและเขตหินคดโค้ง มีรอยเลื่อนบางแนวที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีการเลื่อนแบบทางซ้ายเข้า เช่น รอยเลื่อนการ์ลอค (Garlock Fault) และรอยเลื่อนบิกไพน์ (Big Pine Fault) (ดูรูป 7.8) เชื่อกันว่าแผ่นดินไหวแทบไม่เกิดลึกกว่า 15 กม ซึ่งแสดงถึงรอยต่อระหว่างแนวแตก (brittle zone) กับแนวอ่อนนุ่ม (ductile zone) ได้

Zoback และคณะ (1987) ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะลำดับของแรงเค้นในบริเวณระบบรอยเลื่อนซานแอนเดรียส โดยเฉพาะในบริเวณหุบเขาเกรทเซนทรัล (Great Central Valley) ในรัฐแคลิฟอร์เนีย (ดูรูป 7.8) รอยเลื่อนคาลาเวอรัส (Calaveras Fault) และรอยเลื่อนหุบเขาหมี (Bear Valley Fault) แสดงการเลื่อนแบบเปลือกข้างและแบบปกติ แต่ทางตะวันตกการเปลี่ยนลักษณะเป็นแบบอัดเข้า ทำให้เกิดรอยโค้งและการเลื่อนเป็นแบบเปลือกข้างและแบบย้อนขนานกับรอยเลื่อนหลัก จนทำให้แรงอัดเข้าตั้งฉากกับเขตรอยเลื่อน พวกเขายังพบว่า การเลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดความร้อนจากการขัดสี ดังนั้นรอยเลื่อนจึงเคลื่อนตัวเพื่อตอบสนองต่อตามแนวที่มีแรงเค้นต่ำมาก (10–20%) พวกเขาจึงสรุปได้ว่า รอยเลื่อนยักษ์นี้ที่มีความอ่อนตัวมาก จนทำให้เกิดการจัดตัวของแรงเค้นได้ง่าย และยังพบว่า ไกลออกจากรอยเลื่อน แรงเค้นเฉือนกลับมีค่าสูงและกักเก็บไว้ด้วยการขัดสีของหินเปลือกโลก เมื่อเทียบกับตรงรอยเลื่อนที่มีค่าต่ำมาก

## 7.4.2 การเลื่อนข้างอัด และการเลื่อนข้างดึง

รอยเลื่อนเก่าๆ อาจควบคุมตำแหน่งรอยเลื่อนในเขตรอยเลื่อนแปลง และทิศการวางตัวของรอยเลื่อนอาจแยกจากแนวตรงตามวงกลมเล็ก (small circle) ของผิวโลก แนวโค้งของรอยเลื่อนนี้ส่งผลให้เกิดเขตการเคลื่อนเข้าหากัน (convergence) และการเคลื่อนออกจากกัน (divergence) ที่แยกกันอยู่ได้ จนทำให้เราได้รูปร่างตามรอยเลื่อนที่บางส่วนก็แสดงการอัดตัว และบางส่วนก็แสดงการดึงออก (รูป 7.9 a) ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนก็คือ เทือกเขาทรานส์เวอส์ (Transverse Ranges) ในรัฐแคลิฟอร์เนีย (รูป 7.8) ซึ่งวางตัวขวางกับรอยเลื่อนหลักซานแอนเดรียส ผลที่ตามมาคือ แรงอัดตัวที่เกิดขึ้นในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดเทือกเขานี้ อันเนื่องมาจากการหดสั้นของเปลือก (crustal thickening)

เรามักเรียกการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดร่วมกับแรงดึง (extension หรือ divergent strike-slip) ว่า การเลื่อนข้างดึง (transtension) และเรียกการเคลื่อนตัวด้านข้างที่เกิดร่วมกับแรงอัด (compression หรือ convergent strike-slip) ว่า การเลื่อนข้างอัด (transtension) บริเวณที่เป็นการเลื่อนข้างดึงจึงแสดงออกด้วยรอยเลื่อนปกติ การขยายตัวของแอ่งตะกอนและการระเบิดของภูเขาไฟ ขณะที่การเลื่อนข้างอัดแสดงออกด้วยรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ การโค้งและการยกตัวและมักพบได้กับรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างที่มีความโค้ง และดังนั้นบริเวณที่ถูกยกตัวจึงเป็นตัวการนำตะกอนเข้าไปสู่ที่ต่ำหรือแอ่งตะกอนได้

## 7.4.3 แอ่งดึงออก (Pull-apart basins)

เมื่อส่วนโค้งของรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างหรือเลื่อนด้านข้างเด่นขึ้น หรือเมื่อรอยเลื่อนขนานคู่หนึ่งเข้ามาใกล้กันและสิ้นสุดเมื่อพบรอยเลื่อนอีกรอยหนึ่ง อาจทำให้เกิดการดึงออกจนเป็นแอ่ง (รูป 7.9 b) หรืออาจเกิดการดันเข้าจนเป็นสันนูน (รูป 7.9 c) ที่แสดงชั้นหินที่เปลี่ยนลักษณะไปหรือเลื่อนย้อนขึ้นได้ และโดยปกติเราเรียกแอ่งตะกอนที่เกิดจากแรงดึงออกลักษณะนี้ว่า แอ่งดึงออก (pull-apart basin) แอ่งดึงออกที่มีการศึกษามาก เช่น เดดซี (Dead sea) และแอ่งซัลตัน (Salton Trough) ทางตอนใต้ของ California ซึ่งแอ่งซัลตันตั้งอยู่บนรอยเลื่อนซานแอนเดรียสทางตอนเหนือของอ่าวแคลิฟอร์เนีย และกำลังขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการเคลื่อนตัวแบบทางขวาไปตามรอยเลื่อนเล็กๆ ที่ขนานกัน และประกอบด้วยชั้นตะกอนยุคใหม่หนาถึง 6 กิโลเมตร ซึ่งทำให้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเพราะเป็นพื้นที่ดีเยี่ยมในการหาน้ำมัน

แอ่งดึงออกเติบโตได้เรื่อยๆ ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อน โดยที่ตะกอนส่วนที่แก่ที่สุดอยู่ตรงของแอ่ง (ดูรูป 7.10) ขอบของแอ่งตอนแรกอาจเป็นเส้นตรง แต่ต่อมาโค้ง จนกระทั่ง



ถูกดึงออกเป็นส่วนๆ เหมือนเขตถักเปียหรือประสานสาย (braided zone) เชื่อกันว่าเมื่อฐานแอ่งดึงออกเติบโตขึ้น จนในที่สุดจะมีมวลหินอัคนีแทรกดันเข้ามาตรงกลางแอ่ง ซึ่งการปรากฏของหินอัคนีสีเข้มแสดงได้โดยค่าผิดปกติทางแรงโน้มถ่วงที่เป็นบวก (positive gravity anomaly) และเป็นที่ตั้งของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ แต่แอ่งที่มีความยาว 50 – 100 กม. ที่มีการดึงออกไม่มากเท่ากับความแข็งแรงของแผ่น ก็ไม่ปรากฏมวลหินอัคนีแทรกดันเข้ามา อย่างไรก็ตาม Crowell (1974) ได้พยายามวาดรูปลักษณะแอ่งดึงแบบอุดมคติขึ้น ดังแสดงในรูป 7.11

#### 7.4.4 แอ่งลึมรอยเลื่อน

รอยเลื่อนเหลื่อมข้างอาจตีบเข้าหรือบานออกได้ เหมือนรูปผสมเปียสานเกี่ยวกัน (anatomosing pattern) โครงสร้างกลีบบัว (duplex) อาจเกิดขึ้นได้ในส่วนปลายรอยเลื่อน (รูป 7.12) และก็อาจมีโครงสร้างคล้ายกลีบบัวที่เกิดบริเวณส่วนลาดของรอยเลื่อนที่ระยะเคลื่อนไปตามแนวตั้ง ในลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดแอ่งดึงออกที่ประกอบด้วย แอ่งตะกอนที่มีรูปร่างคล้ายเลนซีที่เกิดคู่กับสันนูนเด่นชัดตรงขอบแอ่ง ลักษณะเช่นนี้มีผลมาจากแรงเค้นที่ได้จากรอยเลื่อนเหลื่อมข้างสองรอย ที่ขนานกันจนทำให้แต่ละพื้นที่หรือภูเขาในรอยเลื่อนเกิดการอัดตัวและยกตัวขึ้นเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ตามรอยเลื่อนใดๆ แบบบรรจบกันหรือตีบเข้าหากัน และบางภูเขาก็จะทรุดตัวลงถ้าการเคลื่อนที่ตามแนวรอยเลื่อนเป็นแบบบานปลายออกจากกัน (รูป 7.15)

ในรอยเลื่อนที่แสดงลักษณะประสานสายเช่นนี้ พวกที่เคลื่อนที่ตามแนวหรือทิศทาง การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกจะเด่นกว่าและยาวกว่า โดยมีระยะรอยเลื่อนเกือบครึ่ง ส่วนรอยเลื่อนอื่นที่ไม่ได้อยู่ในทิศหลักก็มักหมุนตัว และมักมีระยะที่ไม่สั้นเปรียบเสมือนรอยเลื่อนหลัก จึงมักมีการเลื่อนตัวตามความลาดชัน ด้วยเหตุนี้ถ้าส่วนโค้งของรอยเลื่อนถูกนำไปสู่บริเวณยึดตัว จึงเกิดรอยเลื่อนเหลื่อมข้างชนิดเฉียงปกติ (normal oblique-slip fault) แต่ถ้าเข้าไปสู่บริเวณอัดตัวก็จะเกิดรอยเลื่อนเหลื่อมข้างชนิดเฉียงย้อน (reverse oblique-slip fault) ได้ แต่ในระดับลึกลงไปรอยเลื่อนประสานสายพวกนี้จะตีบเข้าหากันเป็นรอยเลื่อนเดียว ที่เรียกโครงสร้างดอกไม้ (Harding, 1985) (รูป 7.14) ซึ่งอาจมีทั้งพวกที่เป็นดอกบัวตูม (normal หรือ negative flower structure) ถ้าสัมพันธ์กับรอยเลื่อนปกติและอาจเป็นดอกบัวบาน (positive reverse หรือ flower structure) ได้

#### 7.4.5 โครงสร้างระดับลึก

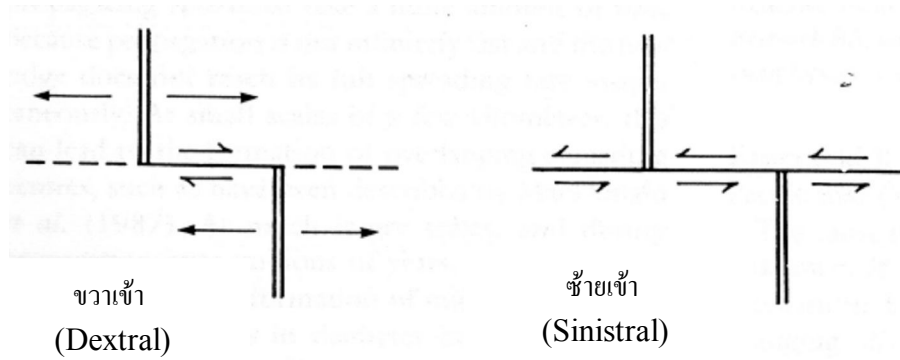
ในปัจจุบันเรามีความเข้าใจโครงสร้างระดับลึกของรอยเลื่อนแปลงอย่างมากมา โดยเฉพาะในบริเวณตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย จากการศึกษาที่เอกเขাত্রานชเวสพบมวลที่มีคลื่น

ไหวสะเทือนความเร็วสูงอยู่ลึกลงไปประมาณ 40 ถึง 400 กม และแผ่ขยายตัวเองออกไปจากรอยเลื่อนซานแอนเดรียสทางตะวันออกอีก 150 กม และดูเหมือนจะไม่ถูกตัดโดยรอยเลื่อนเลย ข้อมูลจากคลื่นไหวสะเทือนบอกเราว่า รอยเลื่อนยักษ์นี้ตัดเข้าไปในชั้นเปลือกโลกที่หนาประมาณ 35 กม และลึกลงไปใต้น้ำโคลกตอนบนอีกประมาณ 10 กม แต่ส่วนที่ลึกกว่านั้นรอยเลื่อนตัดลงไปไม่ถึง ซึ่ง Hadley & Kanomori (1977) ได้เสนอว่าทั้งนี้อาจเป็นเพราะรอยเลื่อนดังกล่าวอาจปรับระนาบเอียงเทไปเป็นระนาบแนวนอนเมื่อรอยเลื่อนปรากฏลึกไปประมาณ 40 กม อันเนื่องจากการเลื่อนซึ่งแท้จริงแล้วรอยต่อระหว่างแผ่นปรากฏไปทางทิศตะวันออกในระดับลึก (รูป 7.15) ซึ่งแนวคิดนี้ได้รับการยืนยันจากข้อมูลแผ่นดินไหว โดย Nicholson และคณะ (1986) ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงได้เกิดขึ้นมากมายจากการหมุนตัวของมวลเล็กๆ ภายในรอยเลื่อน ต่อมา Molnar (1988) ได้ค้นพบว่า การเปลี่ยนแปลงของหินใกล้ผิวโลกเป็นผลจากการเคลื่อนตัวตามแนวระดับของรอยเลื่อน ซึ่งตรวจจับไม่ได้ด้วยข้อมูลการไหวสะเทือน ซึ่งแสดงว่ารอยเลื่อนคงไม่ปรากฏลึกกว่า 10 กม จนทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างเปลือกโลกส่วนบน (upper crust) กับเปลือกโลกส่วนล่าง (lower crust) ได้ และเชื่อว่าเปลือกส่วนล่างไหลได้ แต่บางคน เช่น Lemiszki & Brown (1988) ได้แสดงให้เห็นว่า บางส่วนของรอยเลื่อนซานแอนเดรียสก็ผ่านเข้าไปในชั้นเนื้อโลกได้ โดยรอยเลื่อนมีระนาบที่เกือบตั้ง การเลื่อนตามระนาบนอนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้เราอธิบายการเลื่อนข้างอัดและการเลื่อนข้างดึงได้ และยังทำให้เราอธิบายว่าเปลือกโลกส่วนบน แต่เพราะได้ง่าย ส่วนเปลือกส่วนล่างมีลักษณะอ่อนนุ่มและไหลได้มากกว่า

## 7.5 ขอบทวีปเลื่อน

เมื่อรอยเลื่อนแปลงเกิดขึ้นขณะเกิดรอยแยกในทวีป (รูป 7.3) ขอบทวีปที่มีรอยเลื่อนแปลงนี้เรียกว่า ขอบทวีปเลื่อน (Sheared continental margin) หรือขอบทวีปแปลง (transform continental margin) บริเวณที่มีการศึกษามาก คือ ขอบชายฝั่งไอวอรี – กานา ตรงปากอ่าวกินี ของทวีปแอฟริกาตะวันตก (รูป 7.16) ซึ่งเกิดขึ้นตอนเปิดมหาสมุทรแอตแลนติกเมื่อประมาณ 125 – 130 ล้านปีมาแล้ว (Masle & Blarez, 1987) จากการศึกษาตัวอย่าง (ขุดเจาะจากเรือ) และข้อมูลไหวสะเทือน ทำให้ทราบถึงวิวัฒนาการการกำเนิดของทวีปเลื่อน ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) เปลือกโลก 2 แผ่นทวีปมาประกบกันด้วยรอยเลื่อนแปลงและประกอบด้วยส่วนแตกประาะในส่วนบนและส่วนอ่อนนุ่มในตอนกลางของเปลือกโลก ซึ่งตอนบนมีโอกาสทำให้เกิดแอ่งดึงออกและทำให้แผ่นเปลือกโลกนั้นหมุนตัว ในรูป 7.16 b เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ออกจากกัน แผ่นทวีปเกิดการเลื่อนแปลงและส่วนปลายของรอยเลื่อนแปลงติดกับสันสมุทรจะประกอบด้วยเปลือกทวีปที่บางและดึงตัวออก แอ่งร่องแยง (rifted basin) ที่เกิดใหม่จึงมีการสะสมตะกอนอย่างรวดเร็ว และการยุบตัวก็เกิดขึ้นเรื่อยๆ ในบริเวณที่ยุบตัว และชั้นตะกอนในแอ่งร่องแยงจึงเกิดการโค้งตัวและเลื่อนตัวใน

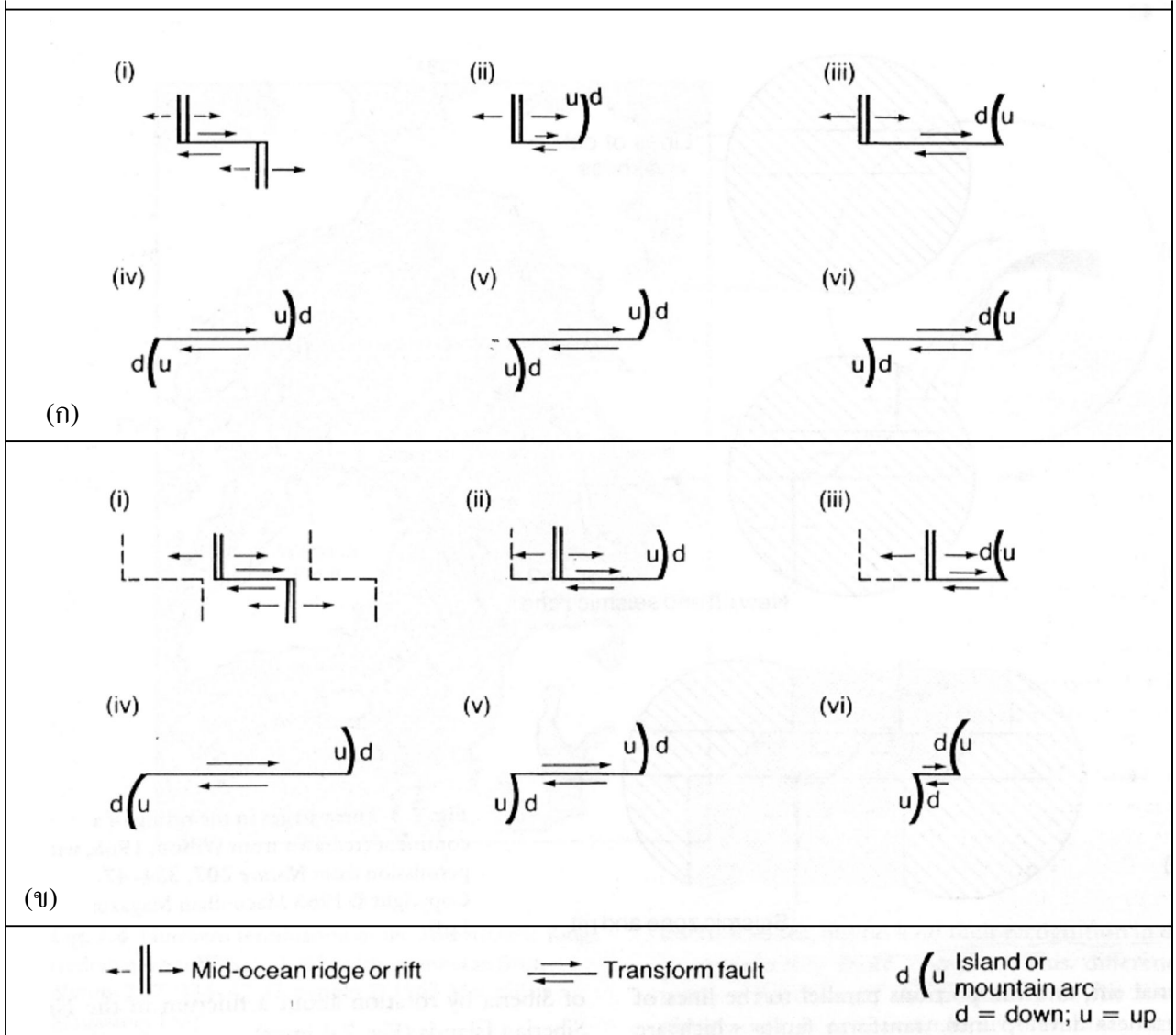
เวลาต่อมา และจึงเกิดการแตกปริทำให้ได้หินเปลือกโลกส่วนมหาสมุทรหรือสันขอบทวีป (marginal ridge) ขึ้นได้ ในรูป 7.16 c จึงเกิดรอยสัมผัสระหว่างแผ่นเปลือกทวีปกับแผ่นเปลือกสมุทร และเกิดขอบเขื่อนผ่านเข้าไปในบริเวณสันสมุทร (สันขอบทวีป) จนการยุบตัวมีอัตราช้าลง จึงเกิดการวางซ้อน (overlap) ของตะกอนบนเขตตะกอนเดิมที่เอียงเทและเปลี่ยนลักษณะ แต่ในที่สุดจึงเกิดการยกตัวของสันขอบทวีป และในขั้นสุดท้าย (รูป 7.16 d) รอยเลื่อนจะมีการเคลื่อนตัวเฉพาะที่อยู่ระหว่างแผ่นสมุทรและกลายเป็นรอยเลื่อนแปลงในที่สุด



(ก) Transform fault

(ข) Transcurrent fault

รูป 7.1.  
ลักษณะการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนแปลง Transform fault (ก) และ รอยเลื่อนทวนกระแส Transcurrent fault (ข)

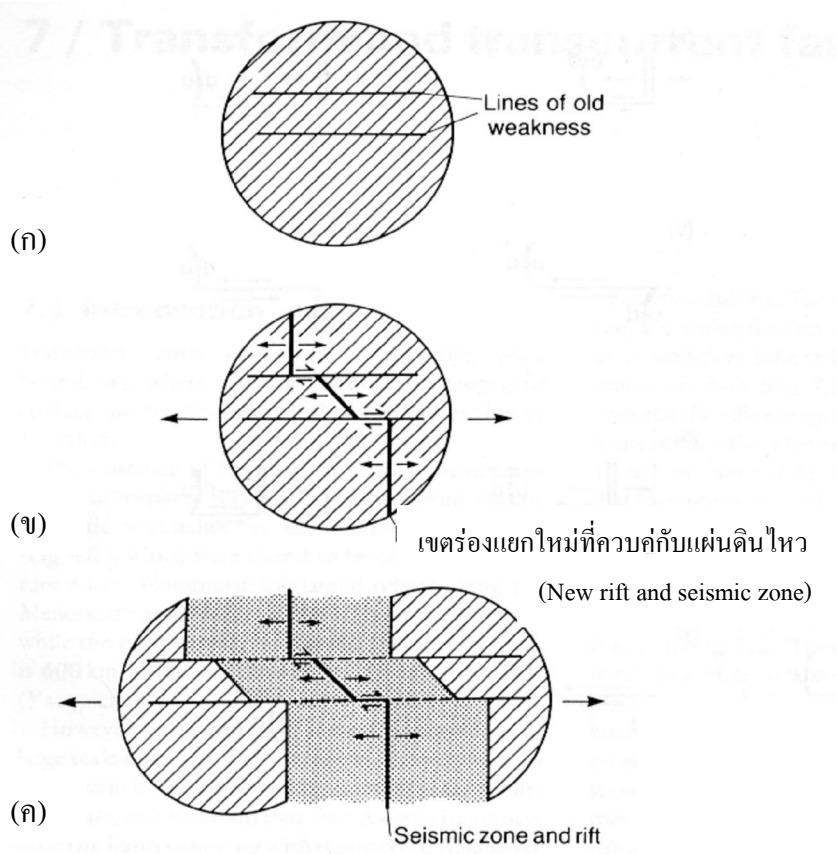


รูป 7.2 (ก) รอยเลื่อนแปลงที่แสดงนัยการเลื่อนขวาเข้าใน 6 ลักษณะการเลื่อน

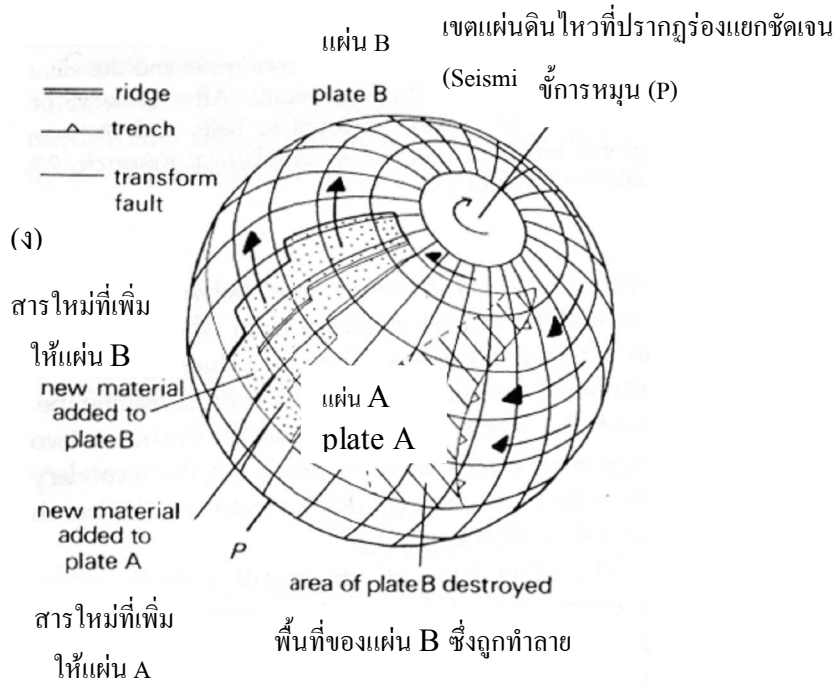
- (i) สันแยกกับสันแยก (ridge to ridge)
- (ii) สันแยกกับแนวโค้งเว้า (ridge to concave arc)
- (iii) สันแยกกับแนวโค้งนูน (ridge to convex arc)
- (iv) แนวโค้งเว้ากับแนวโค้งเว้า (concave arc to concave arc)
- (v) แนวโค้งเว้ากับแนวโค้งนูน (concave arc to convex arc)
- (vi) แนวโค้งนูนกับแนวโค้งนูน (concave convex to convex arc)

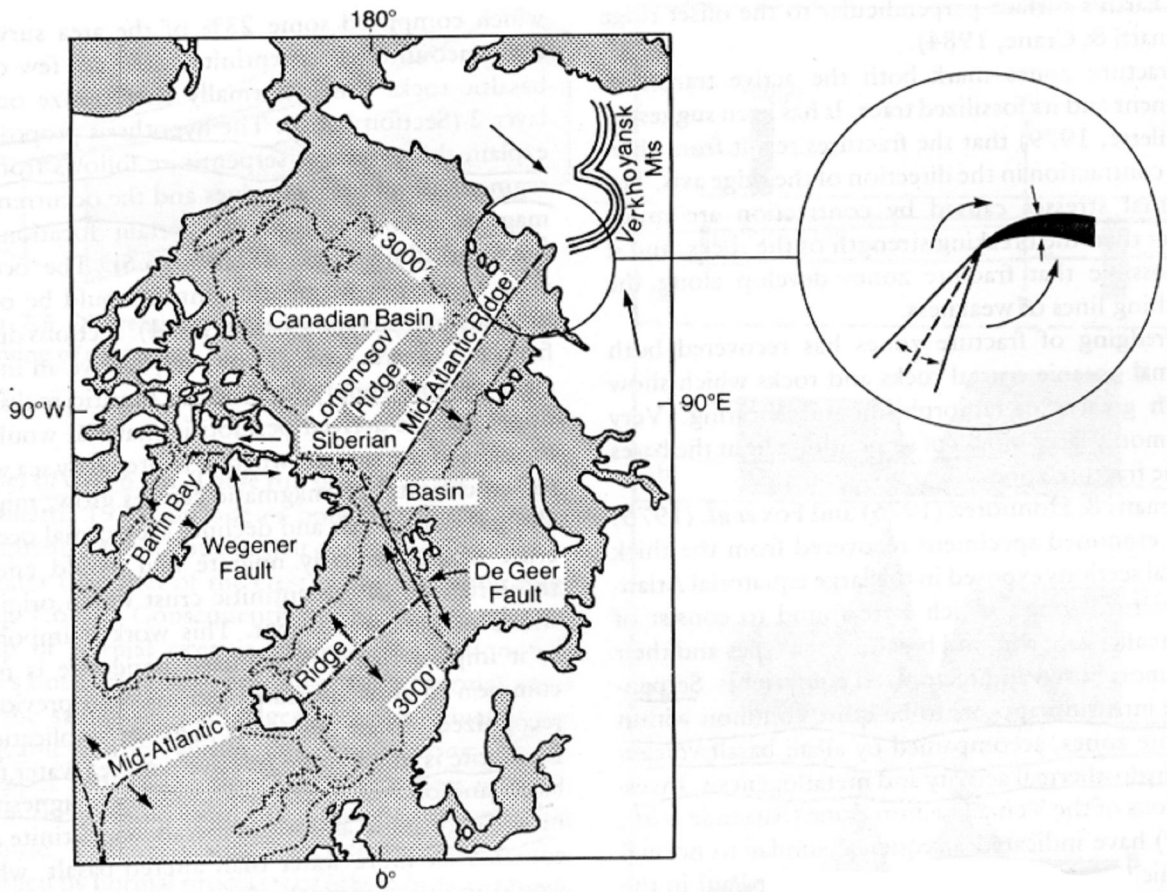
(ข) ลักษณะปรากฏของรอยเลื่อนแปลงเมื่อกาลเวลาผ่านไปชั่วระยะ

ตามแนวคิดของ Wilson (1965)

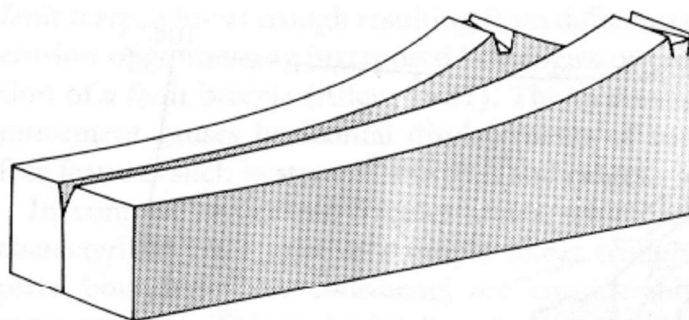


รูป 7.3  
 แผนภาพแสดง  
 วิวัฒนาการการ  
 เกิดร่องแยก 3  
 ขั้นตอนในทวีป  
 (Wilson, 1965)

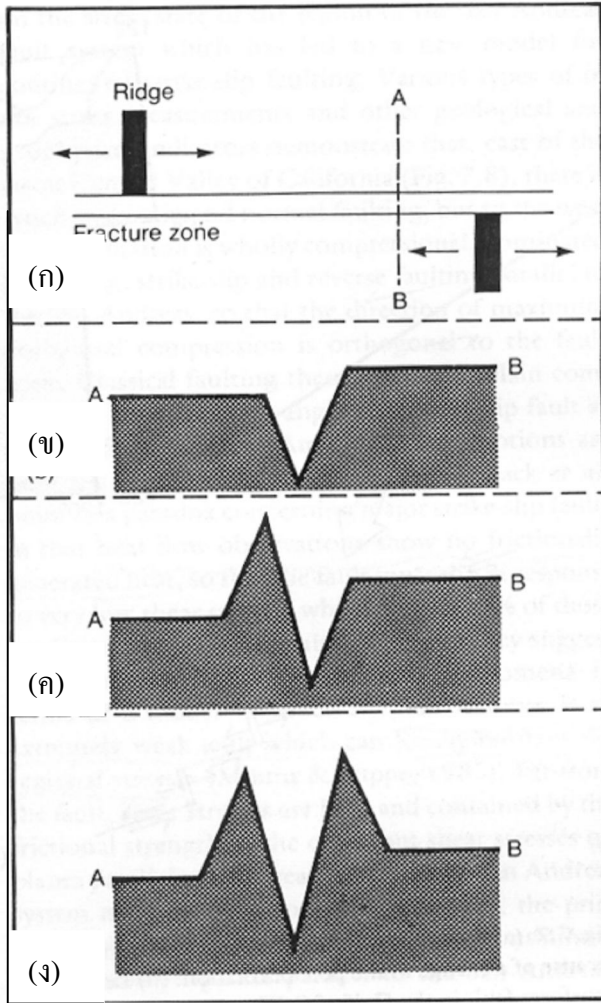




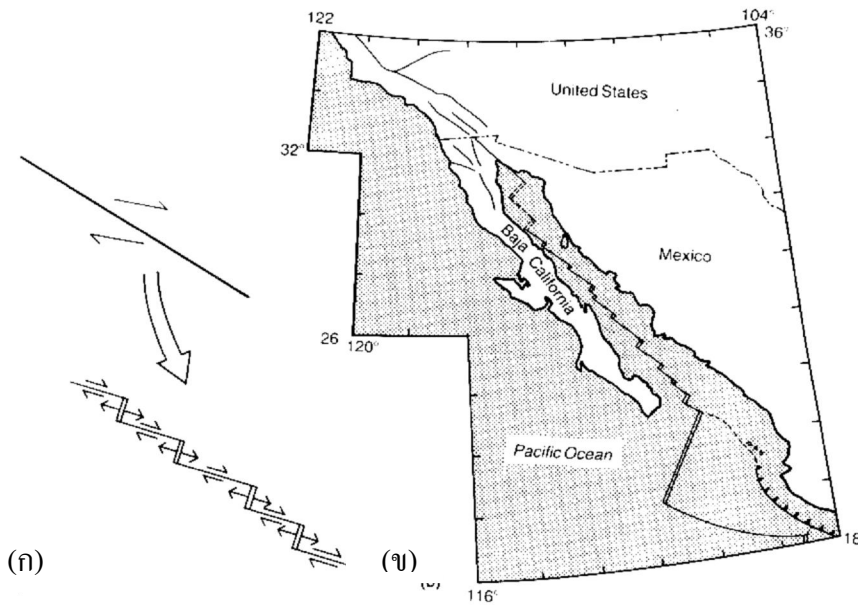
รูป 7.4 แผนที่ขั้วโลกแสดงลักษณะการสิ้นสุดสันกลางมหาสมุทรแอตแลนติก (Wilson, 1965)



รูป 7.5 ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เนื่องจากรอยเลื่อนแปลงบริเวณสันสมุทร

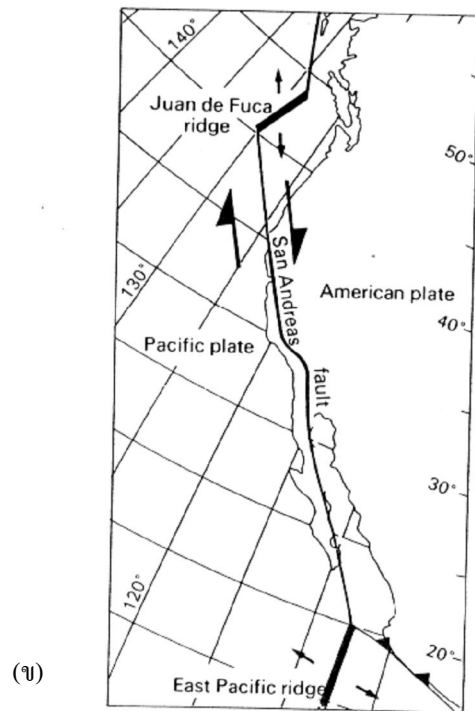
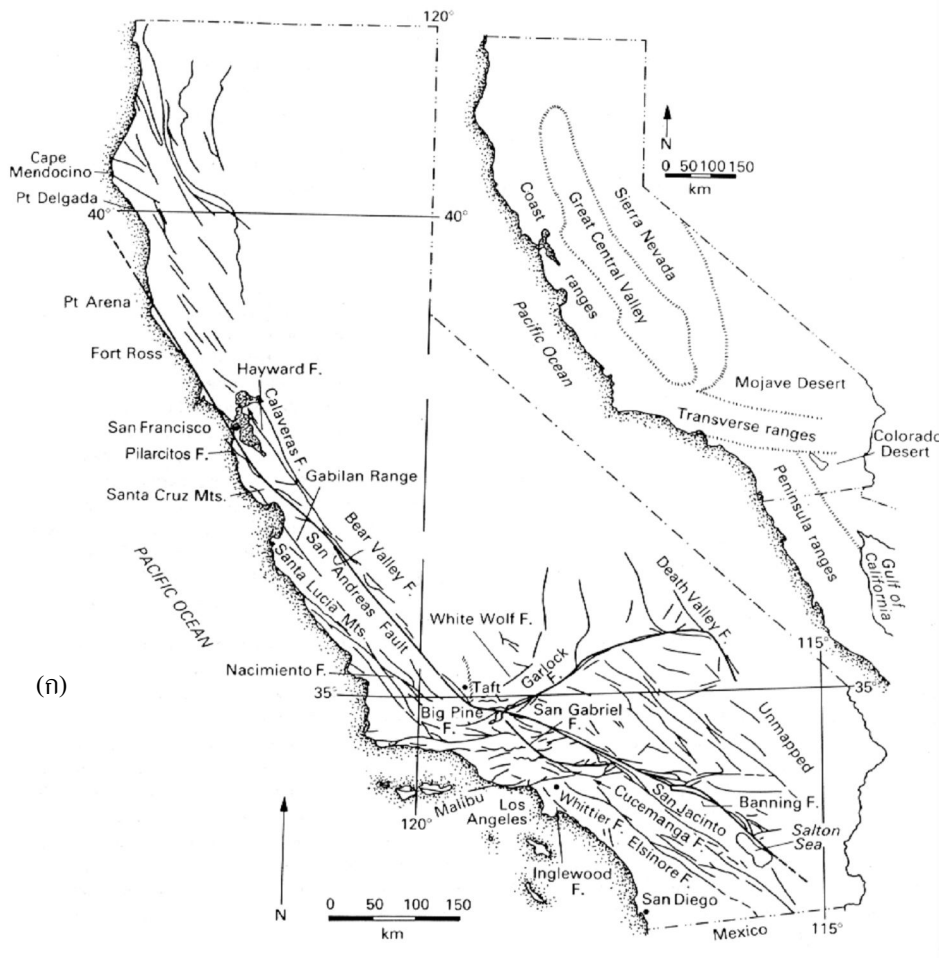


รูป 7.6  
ภาพตัดขวางรอย  
เลื่อนแปลงแสดง  
ลักษณะส่วนฐาน  
(Bonatri, 1978)



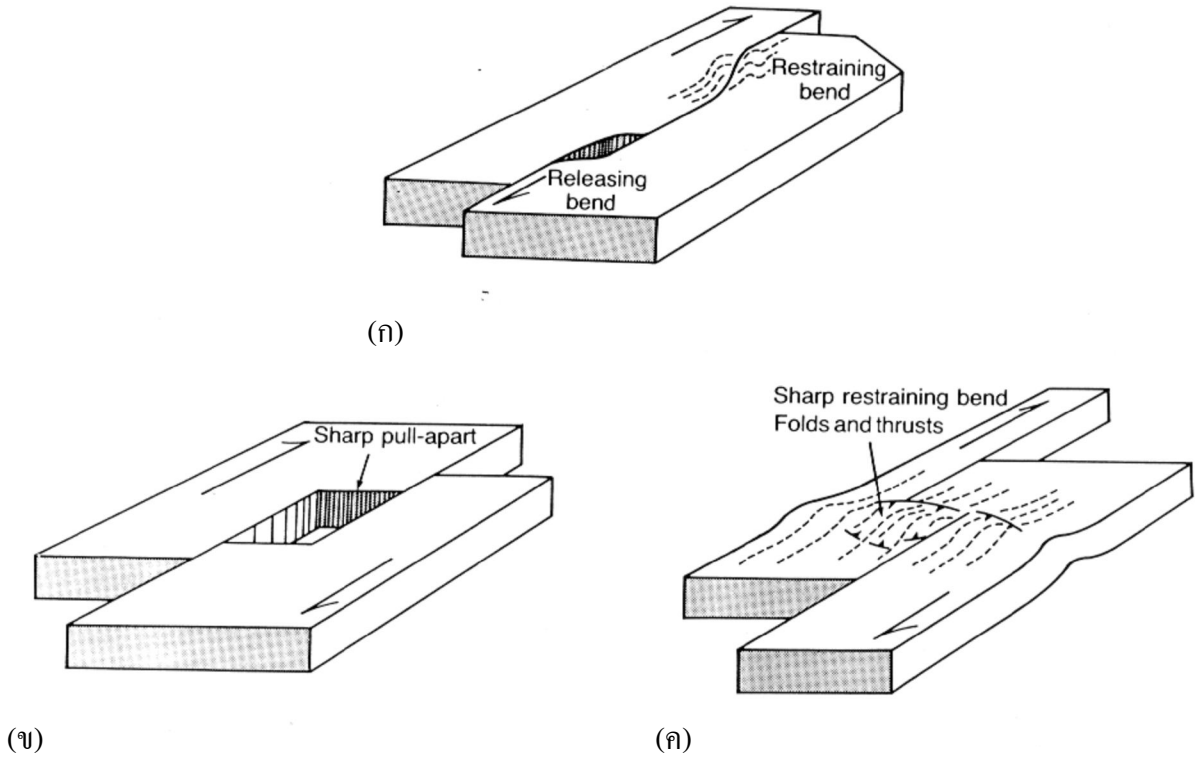
รูป 7.7 (ก) วิวัฒนาการของรอยเลื่อนแปลงรั่ว (leaky transform fault) เนื่องจากการเปลี่ยนขั้วการหมุน และ  
(ข) รอยเลื่อนแปลงรั่วในอ่าวแคลิฟอร์เนีย



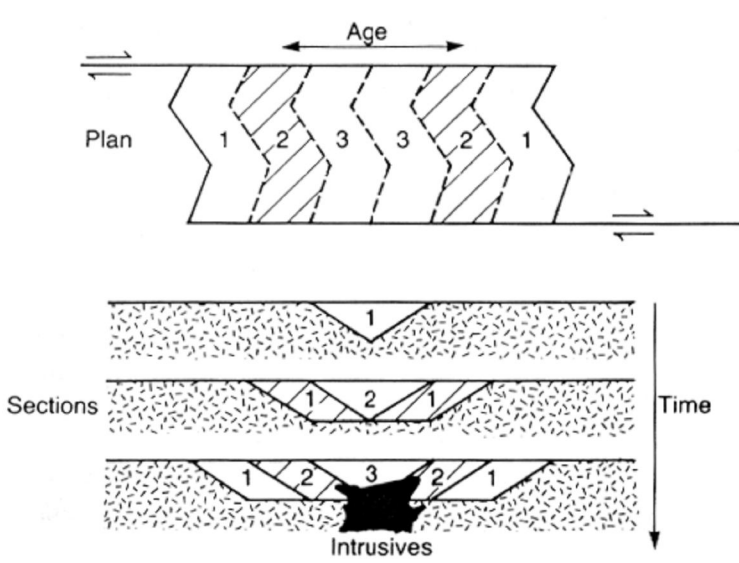


รูป 7.8

- (ก) แผนที่รอยเลื่อนอย่างง่ายบริเวณชายฝั่งแคลิฟอร์เนียทางตะวันตกของอเมริกา (Crowell, 1962)
- (ข) แผนที่ซึ่งเน้นเฉพาะรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างซานแอนเดรียส ซึ่งเชื่อมต่อกับสันสมุทรฮวนเดอฟูคา (ทางตอนเหนือ) และแปซิฟิกตะวันออก (ทางตอนใต้) (Hallam, 1973)

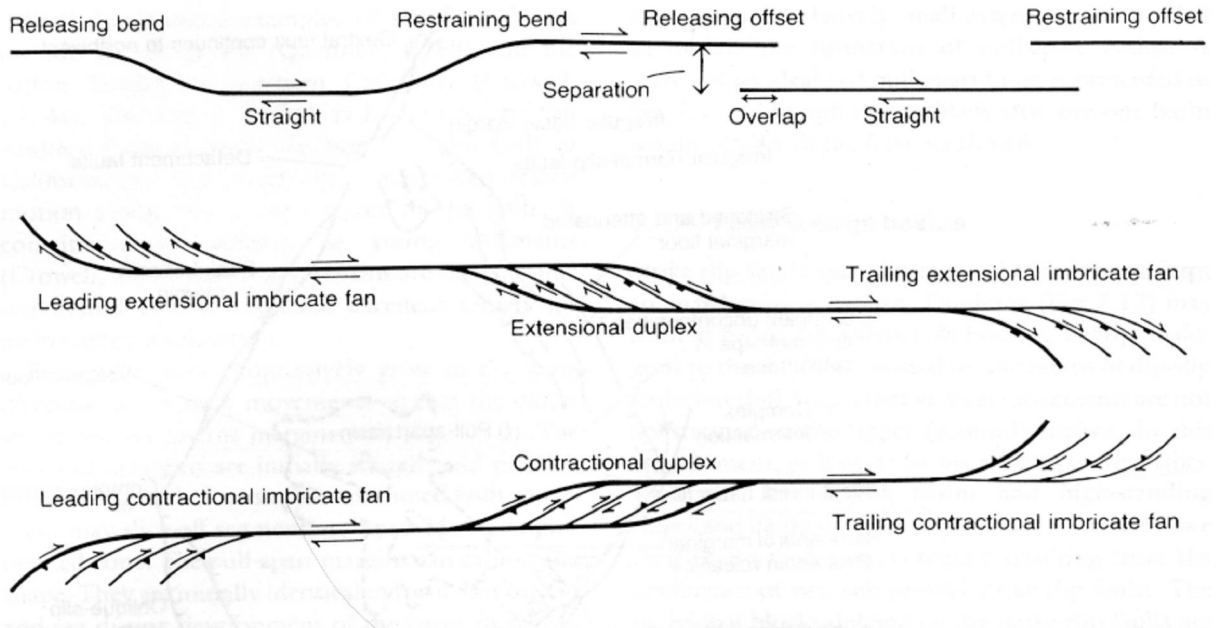


รูป 7.9 โครงสร้างที่เกิดขึ้นจากรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง (wrench fault)  
 (ก) ตรงส่วนโค้งรอยเลื่อน เกิดแอ่งดึงออก (pull-apart basin) บริเวณโค้งคลาย (releasing bend) และเกิดสันโค้งนูน บริเวณโค้งเลี้ยว (restraining bend)  
 (ข) แอ่งดึงออกที่สูงชันชัดเจน (sharp pull-apart)  
 (ค) สันโค้งนูน บริเวณโค้งเลี้ยว ทำให้เกิดโครงสร้างรอยโค้งและรอยเลื่อนย้อนได้ (Crowell, 1974)

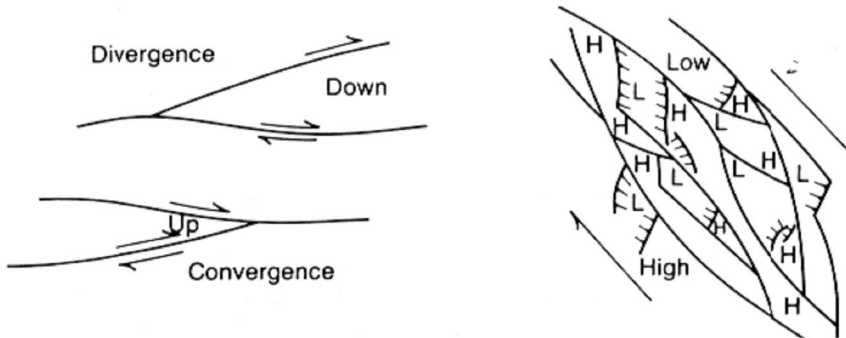


รูป 7.10 ขั้นตอนการเกิดแอ่งดึงออก เนื่องจากรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง 2 รอย ในรูปเป็นแบบเลื่อนขวาเข้า จนในที่สุดอาจสิ้นสุดอาจสิ้นสุดโดยการเกิดหินอัคนีแทรกดัน (intrusive) เข้ามา

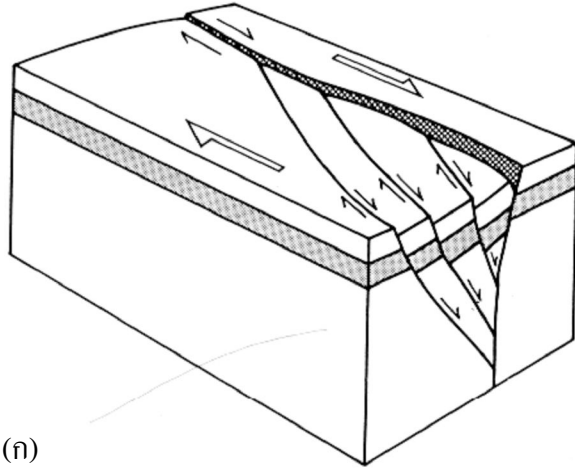
รูป 7.11 ภาพวาดแสดงแอ่งดึงออก (pull-apart basin) ในทางทฤษฎี (Crowell, 1974)



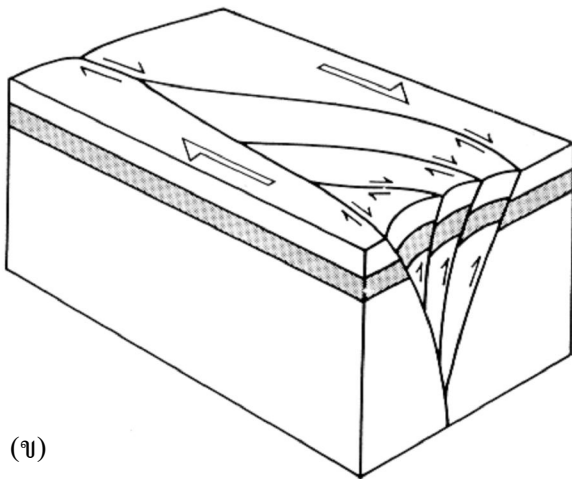
รูป 7.12 รอยเลื่อนเหลี่ยมข้างแบบขวา (dextral) เข้าชนิดต่างๆ (Woodcock & Fiber, 1986) จนทำให้ได้  
 (ก) โครงสร้างโค้งงอขยุบลง (releasing bend) และโครงสร้างโค้งงอโค้งขึ้น  
 (ข) โครงสร้างรอยเลื่อนเกยซ้อน (duplex structure) แบบดึงออก (extensional) จนเป็นแอ่ง  
 (ค) โครงสร้างรอยเลื่อนเกยซ้อน (duplex structure) แบบดันเข้า (contractional) จนเป็นเนินเขา



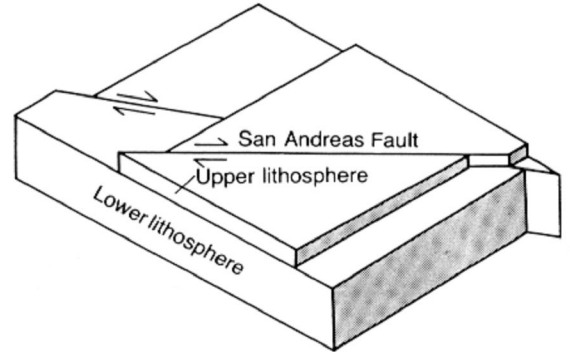
รูป 7.13 ลักษณะรูปแบบการยุบตัวอันเป็นผลมาจากรอยเลื่อนเหลี่ยมข้างที่โค้งและสานเกี่ยวกัน  
 (ในรูปรอยเลื่อนเป็นแบบขวาเข้า) (Reading, 1980)



(ก)

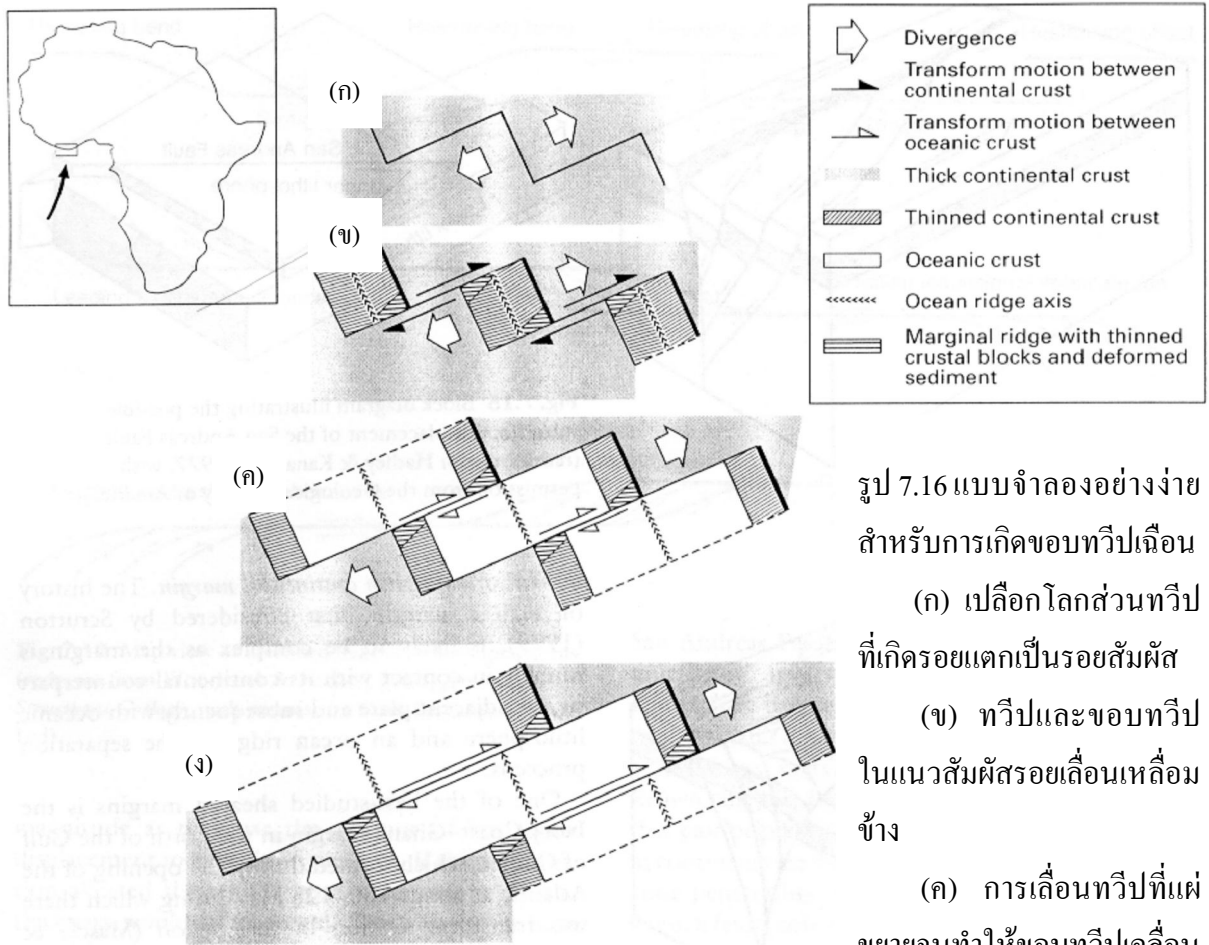


(ข)



รูป 7.15 (ขวา) แผนภาพแบบกล่อง (block diagram) แสดงถึงการเลื่อนแนวระดับใต้ดิน (subsurface displacement) ของรอยเลื่อนซานแอนเดรียสทางประเทศอเมริกาตะวันตก

รูป 7.14 (ซ้าย) โครงสร้างคอกไม้ (ก) แบบลบบซึ่งมักเกิดในพื้นที่ซึ่งมีรอยเลื่อนเหลื่อมข้างที่แสดงแรงดึงออกในโครงสร้างควบคู่ (duplex structure) และปรากฏรอยเลื่อนปกติในภาพตัดขวาง (ข) แบบบวกซึ่งมักเกิดในพื้นที่ซึ่งมีรอยเลื่อนเหลื่อมข้างที่แสดงแรงอัดเข้าในโครงสร้างควบคู่ และปรากฏรอยเลื่อนย้อนในภาพตัดขวาง (ให้สังเกตมีการ โค้งงอของชั้นหินด้วย) (Woodcock & Fishcher, 1986)



รูป 7.16 แบบจำลองอย่างง่าย สำหรับการเกิดขอบทวีปเฉียง

(ก) เปลือกโลกส่วนทวีปที่เกิดขึ้นแตกเป็นรอยสั้มผัส

(ข) ทวีปและขอบทวีปในแนวสั้มผัสรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง

(ค) การเลื่อนทวีปที่แผ่ขยายจนทำให้ขอบทวีปเคลื่อนผ่านเปลือกมหาสมุทรที่ร้อน

(ง) การเกิดรอยแตกในมหาสมุทรที่จากการแผ่ขยายซึ่งเสร็จสมบูรณ์

(Masle & Blarez, 1987)