

## บทที่ 24

### กำเนิดของโลก

ตั้งที่เราทราบกันอยู่แล้วว่าโลกเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งในสุริยจักรวาล การศึกษาถึงกำเนิดของโลก จึงมีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับการกำเนิดของสุริยจักรวาลด้วย เพื่อให้ผู้ที่เริ่มศึกษาวิชาธรณีวิทยาได้มีความเข้าใจลักษณะต่าง ๆ ปრაกฏการณ์ทางธรณีวิทยาเกิดอยู่ทั่วไปบนผิวโลก และส่วนประกอบของโลกดีขึ้น จึงจำเป็นต้องศึกษาการกำเนิดของโลกไว้ก่อนด้วย

ทฤษฎีต่าง ๆ ที่กล่าวถึงกำเนิดของโลกหรือของสุริยจักรวาลนั้น มีมากมายหลายทฤษฎีด้วยกัน ทฤษฎีเหล่านี้อาจจัดเป็น 2 หมู่ใหญ่ ๆ ด้วยกัน ทฤษฎีหมู่แรกกล่าวถึงการที่มีแรงจากภายนอกมารบกวน แล้วทำให้เกิดโลกและดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ทฤษฎีนี้เรียกว่า Second-body Theories อีกทฤษฎีหนึ่งเชื่อว่าไม่มีแรงภายนอกมาเกี่ยวข้องเลย หรือที่เรียกว่า Single-body Theories

#### 24.1 Second-body and Planetesimal Theories

ทฤษฎีแรกที่จะกล่าวถึงเป็นทฤษฎีของ Georges de Buffon นักธรรมชาติวิทยา ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1750 กล่าวว่า โลกเกิดจากดวงอาทิตย์ โดยเนื่องจากการโคจรผ่านเข้ามาของดาวหางอีกดวงหนึ่ง และโดยแรงดึงดูดของดาวหางดวงนี้ได้ดึงเอาส่วนหนึ่งของดวงอาทิตย์แยกออกไป แม้ว่าจะเป็นการยาก ที่จะคิดว่ามีดาวหางผ่านเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ แล้วทำให้เกิดโลกขึ้นก็ตาม แต่ความคิดดังกล่าวก็เป็นบรรทัดฐานของอีกหลายทฤษฎี

ในปี ค.ศ. 1905 T.C. Chamberlain และ F.R. Moulton ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก เสนอทฤษฎีอีกทฤษฎีหนึ่งว่าในขณะที่มีดวงดาวดวงที่สองผ่านเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซลอยสูงขึ้นและวิ่งเข้าสู่อำนาจแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ เมื่อกกลุ่มก๊าซนี้เย็นตัวลงก็ทำให้เกิดเป็นวัตถุแข็งก้อนเล็ก ๆ หรือเรียกว่า Planetesimals และเมื่อวัตถุแข็งเหล่านี้

รวมกันเข้าก็เกิดเป็นดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ โดยทฤษฎีดังกล่าว โลกเกิดจากวัตถุที่เย็นตัวแล้ว หลายก้อนรวมตัวกันในขณะที่โคจรอยู่รอบดวงอาทิตย์

ในปี ค.ศ. 1917 นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษสองนาย ชื่อ Sir James Jeans และ Harold Feffreys สรุปว่า ดวงดาวที่โคจรผ่านดวงอาทิตย์ดังที่กล่าวมาแล้วโดย Chamberlain และ Moulton นั้น แท้จริงเกิดจากการเสียดสีระหว่างดาวหางกับดวงอาทิตย์ และมีบางส่วนถูกเหวี่ยงออกไปเป็นเส้นใยบาง ๆ มีรูปคล้ายกับซิกการ์แบน ๆ ดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ เกิดจากการรวมตัวของใยก๊าซเหล่านี้ ทฤษฎีนี้เป็นที่เชื่อถือกันมากจนกระทั่งปี ค.ศ. 1930 หลังจากการค้นพบว่าดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ ก็มีการหมุนรอบตัวเองอยู่ และมี Momentum เกิดขึ้นด้วย ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวจะอธิบายไม่ได้ แต่ก็มีผู้พยายามอธิบายว่าดวงอาทิตย์ เป็นดาวดวงหนึ่งในสองดวง ซึ่งดวงที่สองคงได้ปะทะกับดาวดวงอื่น ๆ และแตกสลายไปคงเหลือแต่แรงดึงดูดให้ดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ หมุนรอบตัวเองอยู่ ในปัจจุบันทฤษฎีนี้ไม่เป็นที่เชื่อถือกันนัก โดยเหตุผลที่ว่ามวลสารจากดวงอาทิตย์จะรวมตัวกันเข้า แต่แท้จริงแล้วกลับจะขยายตัว นอกจากนี้ทฤษฎีนี้ยังไม่สามารถอธิบายถึงความแตกต่างในส่วนประกอบของดวงอาทิตย์ และดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ดวงอาทิตย์มีส่วนประกอบของก๊าซ Hydrogen สูงมาก แต่ธาตุดังกล่าวพบเป็นส่วนน้อยในโลกและดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ และในทางตรงกันข้ามโลกประกอบด้วยธาตุที่ค่อนข้างหนัก เช่น Silicon และเหล็กมาก ซึ่งธาตุเหล่านี้พบเป็นส่วนน้อยในดวงอาทิตย์ จากเหตุผลต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้เกิดความไม่เลื่อมใสในทฤษฎีที่ว่า ดาวเคราะห์ต่าง ๆ เกิดจากดวงอาทิตย์ โดยการแตกแยกตัว

## 24.2 The Single-body, or Nebular, Theories

ทฤษฎีนี้เชื่อว่าทั้งดวงอาทิตย์และโลกเกิดจากมวลก๊าซ หรือ Nebular ผู้เสนอทฤษฎีนี้คนแรกได้แก่ Immanuel Kant นักปรัชญาชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1755 ได้เสนอความคิดว่า ดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ เกิดจากการแข็งตัวของมวลก๊าซ ซึ่งถูกเหวี่ยงออกมาจากกลุ่มก๊าซ (Nebular) และหมุนรอบตัวเองอยู่ ในปี ค.ศ. 1796 นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Pier Laplace ได้กล่าวโดยอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ว่า ในขณะที่กลุ่มก๊าซหดตัวจะมีการหมุนตัวเร็วขึ้น จนในที่สุดจะมีวงแหวนรูปแบบ ๆ บาง ๆ ดังเช่นที่เกิดหุ้มรอบดาวพระเสาร์อยู่เกิดขึ้น และจากวงแหวนดังกล่าวก็จะแตกออกเป็นชิ้นย่อยลงไปอีก อันเป็นวิธีการเดียวกับที่ดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ เกิด

ทฤษฎีของ Laplace ได้เป็นที่เชื่อถือกันอยู่นาน เกือบหนึ่งศตวรรษ จนต่อมาเมื่อมีการค้นพบใหม่และมีการคำนวณที่ดีขึ้นจึงพบว่าทฤษฎีดังกล่าวไม่เหมาะสมนัก ข้อขัดแย้งที่สำคัญคือ ทฤษฎีว่าด้วยการคงตัวของ Momentum นั้นคือแรงหมุนของดวงอาทิตย์ แต่เดิมจะเท่ากับแรงหมุนของดวงอาทิตย์ในปัจจุบัน กับแรงหมุนรอบดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ รวมกัน เมื่อรวมแรงลัพธ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะเห็นว่าแรงที่หมุนรอบดวงอาทิตย์แต่เดิมนั้นมีไม่มากพอที่จะเหวี่ยงมวลก๊าซต่าง ๆ ออกมาให้เกิดเป็นดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ได้ และไม่มีปรากฏการณ์หรือเหตุผลใดที่จะทำให้เชื่อว่าแรงหมุนของดวงอาทิตย์ได้ลดน้อยลงมาจากเดิม ทั้งนี้เพราะดวงอาทิตย์มีรูปร่างคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

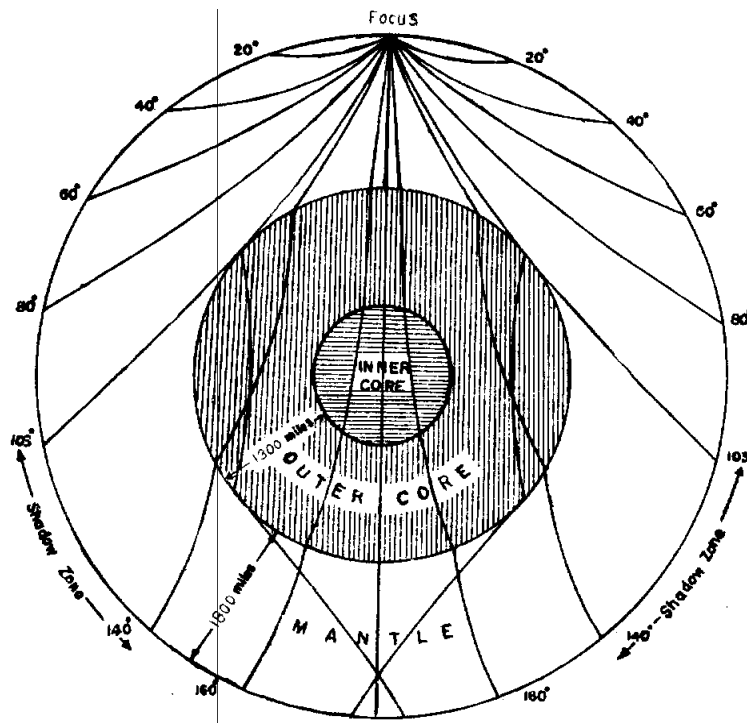
ข้อขัดแย้งอีกอันหนึ่งคือจากผลการค้นคว้าพบว่า แรงหมุนที่เกิดภายในกลุ่มก๊าซ (Nebular) มักจะทำลายการรวมตัวเองในทันทีที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่น่าจะมีการรวมตัวเกิดขึ้นได้เลย นอกเสียจากว่ามวลสารที่มีรูปแบบนั้นจะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รวมกันถึงหนึ่งร้อยเท่า

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้ทฤษฎีที่อ้างถึงมวลก๊าซ หรือ Nebular หดความเชื่อถือไป และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพิจารณาถึงทฤษฎีแรกกันใหม่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งพบว่าทฤษฎีที่อ้างถึงดาวหางดวงที่สองนั้นเป็นที่น่าเชื่อถือมากกว่าเดิม ทฤษฎีเดิมของ Kant-Laplace ที่อาศัยสมมติฐานที่ว่า Nebular ประกอบด้วยก๊าซเป็นส่วนใหญ่ นั้น จากปรากฏการณ์ที่พบไม่เป็นเช่นนั้น Nebular ประกอบด้วยก๊าซเป็นส่วนน้อย แต่มีฝุ่นละอองรวมอยู่เป็นจำนวนมาก ความคิดดังกล่าวสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่พบว่ามีฝุ่นละอองเป็นจำนวนมากในระหว่างดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง ๆ ทั่ว galaxy ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีทฤษฎีอ้างต่อไปว่า เหตุที่ทั้งโลกและดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ขาดธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียม ก๊าซที่พบมากในจักรวาลนั้น น่าจะเกิดจากการที่ธาตุที่หนักบางธาตุ เช่น เหล็ก จะรวมตัวกันเข้าแล้วปล่อยให้ธาตุที่เบากว่า เช่น ไฮโดรเจนและฮีเลียมถูกเหวี่ยงออกไป

ในมวลก๊าซ (Nebular) ที่มีขนาดใหญ่โตเท่าสุริยจักรวาลนั้น ส่วนประกอบที่เป็นก๊าซ มักจะถูกเหวี่ยงออกสู่อวกาศ หรือรวมเข้าหาดวงอาทิตย์ ส่วนฝุ่นละอองนั้นในทางตรงกันข้าม จะพยายามหมุนเป็นรูปร่างรอบดวงอาทิตย์ การชนกันนับครั้งไม่ถ้วนของวัตถุลอยเหล่านี้เป็นเหตุให้ มวลสารต่าง ๆ รวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นได้ และในที่สุดก็เกิดแรงดึงดูดขึ้น สารที่ใหญ่กว่าก็จะใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนสารที่เล็กกว่าก็จะสลายตัวไป ด้วยเหตุนี้ทั้งขนาดและส่วนประกอบของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์ผ่านไป ดาวเคราะห์ดวงใหญ่จะสะท้อนให้เห็นสภาพของสิ่งแวดล้อมในอวกาศ และมวลสารที่ลอยอยู่ ทั้งนี้เพราะมันประกอบด้วยสารจำนวนมาก ยิ่งใกล้ดวงอาทิตย์เข้าไป ยิ่งมีสารมากขึ้น แต่จะมีช่องว่างในอวกาศน้อยลง จึงทำให้สารมีโอกาสการรวมตัวกันน้อยลง ด้วย ยิ่งห่างไกลไปจากดวงอาทิตย์ก็มีช่องว่างในอวกาศมากขึ้น สารจึงมีโอกาสรวมตัวกันได้มาก แต่มีสารลอยอยู่น้อยมากโดยอาศัยเหตุผลดังกล่าวเราจึงสามารถอธิบายว่าทำไมดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้และไกลจากดวงอาทิตย์มีส่วนประกอบต่างกัน ดาวเคราะห์ดวงที่ใหญ่กว่าเกิดก่อนดวงที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงมีโอกาสสะสมตัวมวลสารต่าง ๆ ได้มากกว่า ในระหว่างที่ก๊าซในอวกาศยังมีอยู่มาก

ความยุ่งยากในทฤษฎี Nebular นี้คือการอธิบายกระแสการหมุนของมวลก๊าซและมวลสารในส่วนที่ประกอบด้วยฝุ่น เป็นที่เชื่อกันว่าในกลุ่ม Nebular นี้ มีกระแสหมุนเวียนอยู่หลายวงจรเกิดขึ้น วงจรที่เล็กหรือแคบมักจะเกิดใกล้กับดวงอาทิตย์ ส่วนกระแสหมุนเวียนที่มีวงจรมีขนาดใหญ่กว่าจะอยู่ห่างไกลออกไป การเกิดกระแสหมุนเวียนเหล่านี้ทำให้อุณหภูมิที่ประกอบเป็นฝุ่นรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นดาวเคราะห์ในที่สุด ทฤษฎีนี้สามารถอธิบายคำถามเกี่ยวกับ Angular Momentum ได้เป็นอย่างดี โดยอนุมานว่ากระแสหมุนเวียนของก๊าซนั้นเกิดจากการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ ซึ่งได้ส่งแรงดึงดูดออกมาดึงดูดดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ ในสุริยจักรวาลด้วย ทฤษฎีเกี่ยวกับ Nebular นี้ แม้ว่าจะมีความสลับซับซ้อนมาก แต่ก็สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในระบบสุริยจักรวาล ซึ่งรวมทั้งการกำเนิดของโลก ได้ดีกว่าทฤษฎีอื่น ๆ



รูปที่ 24-1 ภาพแสดงส่วนประกอบของโลกและทิศทางการหักเหของคลื่นสั่นสะเทือน

#### 24.4 ส่วนประกอบของโลก

ความรู้ต่างๆ ได้จากการศึกษาทาง Seismic ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว หรือการสั่นสะเทือนบนผิวโลก เนื่องจากการจุดระเบิดสามารถนำมาใช้หาส่วนประกอบของโลกได้ คลื่นจากการสั่นสะเทือนดังกล่าว จะกระจายไปทุกทิศทาง บางส่วนจะผ่านทะลุเข้าหาใจกลางโลกด้วย การสั่นสะเทือนต่างๆ เหล่านี้จะบันทึกได้ด้วยเครื่อง Seismograph การสั่นสะเทือนอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Compression wave และ Shear wave Compression wave คือคลื่นที่สั่นสะเทือนสะท้อนกลับไปกลับมา ระหว่างจุดสองจุด คลื่นแบบนี้สามารถส่งทะลุตัวกลางที่เป็นของแข็งหรือของเหลวได้ ส่วน Shear wave นั้นเป็นคลื่นที่เกิดในแนวตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่ส่ง Shear wave สามารถผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งเท่านั้น

ความเร็วของคลื่นการสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับความแข็งและความหนาแน่นของตัวกลาง ยิ่งมีความแข็งและความหนาแน่นมากเท่าใด คลื่นก็จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ในชั้นกรวดร่วน คลื่นผ่านได้ด้วยความเร็ว 1.5-2.5 km/วินาที ในหินชั้น 3.0-3 km/วินาที

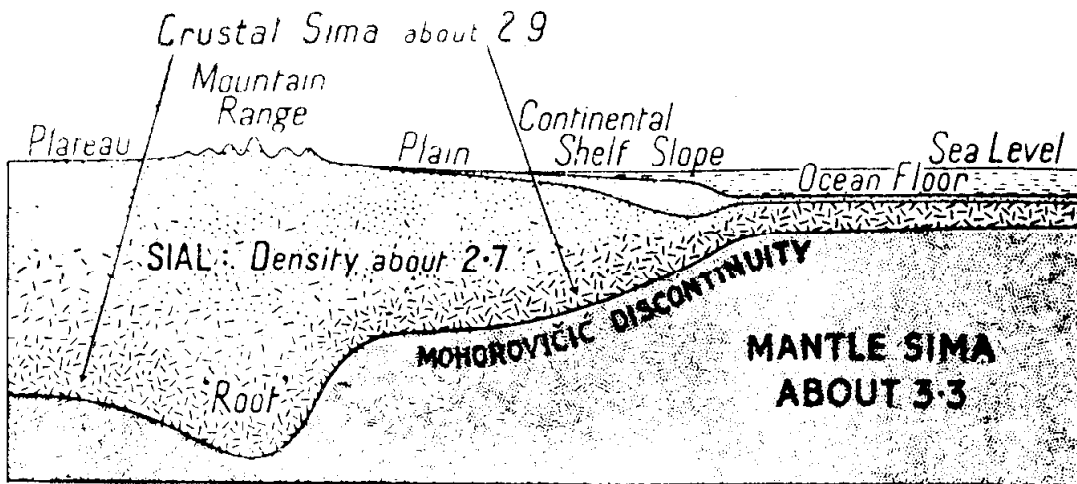
หินแกรนิต 6.2-6.7 km/วินาที และหิน gabbro 6.7 km/วินาที ดังนั้นในขณะที่ส่งคลื่นการสั่นสะเทือนผ่านโลก คลื่นดังกล่าวจะไม่เดินเป็นเส้นตรง แต่จะโค้งออกดังรูป จากผลดังกล่าวทำให้เราทราบว่า หินที่ประกอบเป็นโลกนั้นมีความแข็งและหนาแน่นต่างกัน คลื่นการสั่นสะเทือนผ่านใจกลางของโลกด้วยความเร็ว ประมาณ 8.1-8.2 km/วินาที

ความรู้จากการศึกษาทาง Seismic ดังกล่าว ทำให้เราทราบโครงสร้างของโลกดีขึ้น ในปัจจุบันเราเชื่อว่าภายในโลกมีส่วนประกอบของหินหรือสสารที่มีคุณสมบัติต่างกัน และเราสามารถจะแบ่งโลกออกเป็นชั้น ๆ ได้ดังนี้

24.4.1 Crust หรือชั้นเปลือกนอกสุดของโลกชั้นนี้มีความหนาประมาณ 40 กิโลเมตร (22 miles) เป็นชั้นที่บางที่สุดและมีความหนาไม่สม่ำเสมอ จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี ตัวอย่างหินในชั้นนี้ สามารถเฉลี่ยส่วนประกอบได้ดังนี้

ออกซิเจน (O)	46.7 %	แคลเซียม (Ca)	3.65%
ซิลิกอน (Si)	27.69%	โซเดียม (Na)	2.75%
อะลูมิเนียม (Al)	8.07%	โพแทสเซียม (K)	2.58%
เหล็ก (Fe)	5.05%	แมกนีเซียม (Mg)	2.08%
รวม 98.58%			

นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ อีก 27 ชนิด โดยมีที่เตเนียมมากที่สุด (0.62%)



รูปที่ 24.2 ภาพตัดขวาง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นเปลือกนอกสุดของโลก และส่วนบนของชั้น Mantle

ส่วนล่างของ Crust ประกอบด้วยชั้นหิน Basalt ซึ่งหนาประมาณ 5 miles และส่วนล่างสุดของ Crust มีแนวที่เรียกว่า Mohorovicic discontinuity นี้แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่างชั้น Crust และชั้นต่ำลงไป (Mantle) อย่างแน่นอน Mohorovicic discontinuity พบโดยนักธรณีฟิสิกส์ชาวฮังการีชื่อ Andrya Mohorovicic ในปี ค.ศ. 1909

24.4.2 Mantle เป็นชั้นที่อยู่ลึกถัดลงไปจาก Crust ชั้นนี้อาจแบ่งได้เป็น Upper mantle และ lower mantle ความหนาของชั้น Mantle นี้ประมาณ 1,800 ไมล์ จากการทดลองให้คลื่นผ่านชั้น Mantle นี้ปรากฏว่าคลื่นการสั่นสะเทือนผ่านได้เร็วกว่าชั้นเปลือกนอกจึงอาจสรุปได้ว่าหินที่ประกอบอยู่ในชั้นนี้มีความแน่นและแข็งกว่าหินชั้น Crust เชื่อกันว่าหินในชั้น mantle ประกอบด้วยหิน Dunite เป็นส่วนมาก Dunite เป็นหินสีคล้ำเนื้อแน่นประกอบด้วยแร่ Olivine เป็นส่วนใหญ่และแร่ชนิดนี้เป็นแร่ประเภท Silicate ของเหล็กและ Magnesium หิน Dunite มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า หิน granite และหิน basalt

หิน Dunite มักไม่ค่อยพบบนผิวโลก แต่พบในบริเวณที่มีภูเขาไฟระเบิด จากพื้นทะเล ในบริเวณดังกล่าวจะพบเศษเล็ก ๆ หรือก้อนหิน Dunite ปนอยู่ใน lava ที่ไหลออกมาซึ่งแสดงว่า Dunite น่าจะเป็นหินที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไป และถูกนำพาขึ้นมาระหว่างภูเขาไฟระเบิด เหตุผลอีกข้อหนึ่งที่ทำให้เชื่อว่าหิน Dunite น่าจะเป็นหินในชั้น Mantle ก็เพราะว่าหินชนิดนี้มีความถ่วงจำเพาะและความแข็งเหมาะสมกับความเร็วของคลื่นสั่นสะเทือนที่ผ่านไปชั้นของ Mantle นอกจากนี้จากผลการทดลองของ N.L. Bowen แห่ง Geophysical Laboratory ณ กรุงวอชิงตัน เขาสรุปว่าส่วนประกอบของโลกมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับหิน Gabbro และถ้าหินที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเย็นตัวลง แร่ที่จะตกผลึกแรกที่สุด ถึง Olivine แร่ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหิน Dunite นั้นเอง เมื่อ Olivine ตกผลึกและแยกตัวออกแล้ว ส่วนที่เหลือจะมีส่วนประกอบของ Silica มากขึ้น เขาจึงให้ความเห็นว่า ถ้าหากโลกเคยเป็นของเหลวมาก่อน แล้วเกิดแข็งตัวขึ้นโดยเริ่มจากใจกลางของโลก ซึ่งมีความดันสูงมาก หิน Dunite จะเกิดขึ้นในชั้น Mantle ส่วนของเหลวที่เหลือซึ่งมี Silica มาก จะเกิดเป็นหิน Basalt และ Granite ในชั้น Crust

แม้ว่าความคิดที่ Dunite เป็นหินประกอบของ Mantle จะมีเหตุผลดี แต่ก็ยังมีผู้คัดค้านผู้คัดค้านเป็นนักธรณีฟิสิกส์ ซึ่งให้เหตุผลว่า อนุ (Atom) ต่าง ๆ มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมและในผลึกต่าง ๆ ของแร่ธาตุเหล่านี้จับกันด้วยแรงอันหนึ่ง ทำให้เกิดการเรียงตัวซึ่งเรียกว่า Space lattice อนุของธาตุแต่ละชนิดมีขนาดที่แน่นอนและวัดได้ รัศมีของอนุของธาตุหนึ่ง

อาจจะใหญ่หรือเล็กกว่าอีกธาตุหนึ่งและเขาเชื่อว่าถ้าหากมีแรงอันใดอันหนึ่งซึ่งมากกว่าแรงที่  
อณูแต่ละอันจับกันแล้วแรงนั้นจะสามารถอัดอณูให้แน่นเข้าไปอีก อณูที่มีขนาดเล็กกว่าอาจ  
จะถูกบีบอัดให้แทรกเข้าไปในช่องว่างของอณูที่ใหญ่กว่า และแรงใหม่อาจเกิดขึ้นมาได้ การ  
อัดตัวของอณูดังกล่าวจะทำให้สารมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่มิได้มีการเปลี่ยนแปลงส่วน  
ประกอบทางเคมีแต่อย่างใด ข้อเสนอดังกล่าวแม้จะมีเหตุผลดีแต่ก็ยังไม่เหมาะสมนัก เพราะ  
การเปลี่ยนแปลงของความกดดันย่อมเกิดขึ้นสม่ำเสมอในความลึกที่เท่ากัน แต่ความจริงแล้ว  
รอยแตกระหว่างชั้น Crust และ Mantle ที่พบในใต้มหาสมุทร มีความลึกน้อยกว่าส่วนที่  
เป็นทวีปถึง 4-5 เท่า

24.4.3 Core เป็นส่วนที่อยู่ใจกลางของโลกเชื่อกันว่า Core ประกอบด้วยธาตุโลหะ  
เหตุผลต่าง ๆ ที่สนับสนุนความคิดดังกล่าวมีดังนี้ คือ ประการที่หนึ่ง โดยเหตุที่ความถ่วง  
จำเพาะของโลก โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.5 ซึ่งหนักประมาณ 2 เท่า ของหินที่หนักที่สุดที่เรารู้จัก  
แม้ว่าความกดดันภายในโลกจะมีมากมหาศาลและสามารถบีบอัดสารใดก็ตามให้มีความหนาแน่น  
มากกว่าภายใต้ความกดดันบนผิวโลก สารที่จะประกอบเป็นใจกลางโลกนั้นจำเป็นจะต้อง  
เป็นสารอื่นที่หนักกว่าหินเพื่อจะทำให้ความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นดังกล่าว และถ้าหากความ  
กดดันเป็นตัวการสำคัญในการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของใจกลางโลกแล้ว การเปลี่ยนแปลง  
ของความถ่วงจำเพาะระหว่างชั้นผิวนอกถึงใจกลางโลกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นแทนที่จะเปลี่ยน  
ทันทีทันใดอย่างที่ทราบกันอยู่แล้ว นอกจากนี้ถ้าใจกลางโลกยังหลอมเหลวแล้ว จะต้อง  
ประกอบด้วยสารที่ผุดไปจากชั้น Mantle คือจะต้องมีความถ่วงจำเพาะสูงและจุดหลอมตัว  
ต่ำกว่า ซึ่งถ้าจะพิจารณาถึงเหล็กแล้ว จะมีคุณสมบัติเหมาะสมมาก

เหตุผลประการที่สอง เนื่องมาจากการวิเคราะห์สารที่ประกอบเป็นลูกอุกกาบาตซึ่ง  
เชื่อกันว่าเป็นสะเก็ดดาว ส่วนประกอบเฉลี่ยของลูกอุกกาบาตน่าจะใกล้เคียงกับส่วนประกอบ  
ของโลก ซึ่งเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่ง โดยสัดส่วนทั่วไป ใจกลางของโลกมีปริมาตรประมาณ  
15% ของปริมาตรของโลกทั้งหมด และส่วนที่เป็นชั้น Mantle มีถึง 85% จึงทำให้คิดว่า  
ใจกลางของโลกน่าจะประกอบด้วยเหล็กเป็นส่วนมาก นอกจากนี้ถ้าสมมติว่าในช่วงระยะ  
เวลาใดเวลาหนึ่งโลกเคยอยู่ในสภาพที่หลอมเหลวแล้ว เหล็กซึ่งมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า  
แร่พวก Silicate ก็จะไปอยู่ใจกลางของโลก

แต่เดิมมีผู้คิดว่าความร้อนที่ประจู่อยู่ภายในโลกเกิดจากสสารที่ยังคงหลอมเหลวอยู่  
ภายในโลก แต่หลังจากที่มีการค้นพบปรากฏการณ์ของ Radioactivity แล้ว ทำให้เชื่อว่า



ความร้อนดังกล่าวเกิดจากสารพวกกัมมันตรังสี (Radioactive minerals) ที่ประกอบอยู่ในหิน และแผ่มายังผิวโลกโดยการนำความร้อน แต่เนื่องจากหินเป็นตัวนำความร้อนที่เลวจึงมีการสะสมตัวอยู่ภายในโลกมาก นอกจากความร้อนจากใจกลางของโลกจะแผ่ขึ้นมายังผิวโลกโดยการนำความร้อนของหินดังกล่าวแล้ว ยังมีการแผ่ออกมาโดยการดันหินชั้น Mantle ให้สูงขึ้นมาอีกทั้งนี้เนื่องจากหินชั้น Mantle เข้าใจว่าลอยอยู่บนชั้น Core ดังนั้นเมื่อความร้อนเกิดสะสมตัวมากจึงจะดันใน Mantle ลอยสูงขึ้น แล้วความร้อนจึงแผ่เข้าไปในชั้น Crust ต่อไป

จากการทดลอง เหล็กหลอมเหลวที่ 1,500°ซ. ภายใต้ความดันบนผิวโลก แต่ถ้าเพิ่มความกดดันขึ้นมาก ๆ จุดหลอมเหลวจะสูงขึ้นด้วย และอาจถึง 3,000°ซ. ที่ความกดดันเช่นเดียวกับใต้ชั้น Mantle แต่คงไม่เกิน 4,000°ซ. ภายใต้ความดันที่ศูนย์กลางของโลก และเนื่องจากชั้นในสุดของ Core ไม่หลอมเหลว ดังนั้นเราจึงสรุปว่า ชั้นนอกของ Core มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 3,000°ซ. ถึง 4,000°ซ.

Core อาจแบ่งออกเป็น Inner Core และ Outer Core ดังรูปที่ 1

ชั้นหินต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นโลกนั้น มีส่วนประกอบที่ต่างกันมาก และแม้แต่ภายในชั้นเดียวกันก็ยังมีแตกต่างกันด้วย ดังเช่นในชั้นเปลือกนอกสุด หรือ Crust พบว่า หินของส่วนที่ประกอบเป็นทวีปและส่วนที่เป็นพื้นมหาสมุทรนั้นแตกต่างกันอย่างมาก หินที่เป็นส่วนของทวีป มีส่วนประกอบของซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) สูง หรืออาจเรียกหินส่วนนี้ว่า Sial ก็ได้ มีความหนาแน่นประมาณ 3 หรือน้อยกว่าเล็กน้อย หินที่ประกอบเป็นพื้นมหาสมุทรหรือที่เรียกว่า Sima นั้นประกอบด้วยซิลิกอน (Si) และแมกนีเซียม (Mg) เสียส่วนมาก หินที่ประกอบเป็นทวีปมีความหนาแน่นประมาณ 8 กิโลเมตร วางอยู่บนชั้น Sima อีกทีหนึ่ง

จากหลักฐานต่าง ๆ ที่ปรากฏ นักธรณีวิทยาเชื่อกันว่า ชั้นเปลือกนอกสุดของโลกนี้ ไม่อยู่นิ่งเสมอไป หากแต่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ที่ได้มีการทับถมของสิ่งตกจม (Sediments) น้ำและน้ำแข็งมาก ที่นั่นก็จะจมลงไป ที่ได้มีน้ำหนักที่ทับถมอยู่น้อย ที่นั่นก็จะลอยตัวขึ้น ส่วนที่ลอยตัวขึ้นก็เกิดเป็นทวีป ภูเขา ส่วนที่จมลงไปก็เป็นมหาสมุทร ในระหว่างที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดจมลงไปจะมีการไหลหรือการเคลื่อนตัวของหิน ส่วนที่ลึกลงไปในโลกที่ยังไม่แข็งตัวดีออกไปทางข้าง ๆ เพื่อให้เกิดการสมดุลขึ้น ขบวนการดังกล่าวเรียกว่า Isostasy ขบวนการนี้มีความสำคัญต่อการอธิบายการคงอยู่ หรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดบนผิวโลกได้อย่างดีที่สุด ดังเช่นการเกิดเกาะขึ้นใหม่กลางทะเล เป็นต้น

## 24.5 ภูเขา

ภูเขาเกิดจากการยกตัวขึ้นของทวีป แต่ขบวนการนี้เกิดขึ้นในระยะเวลาอันยาวนาน และสลับซับซ้อนมาก การยกตัวของทวีปเป็นปรากฏการณ์ที่ช้าเกินไปสำหรับเวลาชั่วชีวิตหนึ่งจะสังเกตได้ และแม้แต่ทราบช่วงระยะเวลาที่ประวัติศาสตร์ได้บันทึกมาก็ได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของภูเขาที่ปรากฏให้เห็นชัดเจน (ยกเว้นภูเขาไฟ) มีหลักฐานที่จะพิสูจน์ได้ว่าตั้งแต่ Pleistocene Epoch (ประมาณหนึ่งล้านปีหรือน้อยกว่านั้น) เทือกเขาหลายเทือกได้มีระดับสูงขึ้นไปถึง 1 ไมล์หรือมากกว่านั้น ในหุบเขา Kashmir ซึ่งอยู่ในเทือกเขาหิมาลัยนั้น ได้มีการค้นพบซากของพืชในชั้นหินที่เกิดในทะเลสาบ มีอายุราวกลางยุค Pleistocene ชั้นหินที่พบซากพืชดังกล่าวมีระดับสูง 10,000 ฟุต และในบริเวณโดยรอบก็พบเพียงแต่พืชที่เกิดในบริเวณ Subtropical ในระดับสูงน้อยกว่า 6,000 ฟุตทั้งนั้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้มีผู้สรุปว่า ในบริเวณเทือกเขาหิมาลัยนี้มีการยกตัวตั้งแต่กลางยุคไม่น้อยกว่า 4,000 ฟุต บนที่ราบสูงตอนกลางของเทือกเขา Andes ได้มีการพบซากพืชของปลายยุค Pleistocene ในหินที่เกิดในทะเลน้ำจืดเช่นเดียวกัน และมีระดับสูงถึง 12,000 ฟุต พืชดังกล่าวให้นักธรณีวิทยาชื่อ Berry กล่าวว่าไม่น่าจะเกิดในบริเวณที่มีระดับสูงกว่า 6,000 ฟุต หลักฐานนี้ชี้ให้เห็นว่าที่ราบสูงแห่งนี้ได้ถูกยกตัวให้สูงขึ้นมากกว่า 1 ไมล์ ในระหว่างยุค Pleistocene นอกจากบริเวณที่กล่าวมาข้างต้นแล้วในเทือกเขา Sierra Nevada ก็มีเหตุการณ์การยกตัวของภูเขาให้สูงขึ้นถึง 6,000 ฟุต เช่นกัน

เมื่อเราพิจารณาเทือกเขาและทวีปต่าง ๆ แล้ว จะพบว่าทั้งทวีปและเทือกเขาประกอบด้วยหินเป็นชั้น ๆ เสียส่วนมาก ดังจะเห็นได้จากหน้าผา เหมือนหิน หรือด้านข้างหน้าตัดของภูเขา ในที่บางแห่งหินจะวางตัวในแนวระดับ หรือทำมุมเอียงเล็กน้อย บางแห่งชั้นหินจะมีความชันหรือมีการคดโค้งมาก เนื่องจากถูกแรงบีบอัดตัว หินที่คดโค้งมากมักจะเกิดเป็นแนวยาว ซึ่งเกิดเป็นทิวเขายาวเรียกว่า Range หรือ Belt และถูกคั่นด้วยที่ราบ ซึ่งหินส่วนมากวางตัวในแนวราบเรียบ เทือกเขาสูงบางแห่ง เช่น แอลป์ หิมาลัย แอนดีส และรอกกี เหล่านี้ประกอบด้วยหินคดโค้งเป็นส่วนมาก เทือกเขาสูงเหล่านี้มีอายุน้อยกว่าเทือกเขาบางแห่งซึ่งมีความสูงน้อยกว่า ดังเช่นบริเวณ Scandinavia ที่ราบสูงสก็อตแลนด์ เป็นต้น เทือกเขาบริเวณหลังนี้จัดเป็นเทือกเขาที่เก่าแก่กว่า แต่เนื่องจากถูกอำนาจการกักความร้อนธรรมชาติจึงทำให้ระดับความสูงลดลง กระบวนการกักความร้อนธรรมชาติ ได้แก่ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ น้ำ ลม สิ่งเหล่านี้จะทำให้หินซึ่งแข็งนั้น แตก ผุ และสึกกร่อนไป น้ำฝนธรรมชาติจะมีก๊าซ

CO<sub>2</sub> จากในอากาศและกรดอินทรีย์บางอย่างซึ่งเกิดจากการผุพังของเยื่อของพืชบนอยู่ น้ำดังกล่าวจะมีอำนาจกัดกร่อนสูง ทำให้แร่ประกอบหินเปลี่ยนแปลงไป หรือถูกละลายไปได้ง่าย ด้วยเหตุนี้เทือกเขาสูงต่าง ๆ จะมีระดับต่ำลงตามกาลเวลาที่ผ่านไป ด้วยเหตุนี้เทือกเขาที่เก่าแก่กว่าจะมีระดับต่ำ แต่หินต่าง ๆ ที่พบมีความคดโค้งและความสลับซับซ้อนมากกว่า โดยทั่วไปการพิจารณาอายุหรือความเก่าแก่ของเทือกเขานั้น นอกจากจะสังเกตจากลักษณะทั่วไปและความสูงแล้ว ยังจำเป็นจะต้องทราบความสลับซับซ้อนของหินต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นอีกด้วย หินบางอย่างมีซากดึกดำบรรพ์บนอยู่ ก็อาจใช้เป็นตัวชี้อายุของหินนั้น ๆ ได้ ความสัมพันธ์กับหินอัคนีที่ทราบอายุก็อาจเป็นเครื่องชี้อายุได้อย่างดีอีกด้วย

แม้ว่าภูเขาต่าง ๆ จะมีการเกิดที่สลับซับซ้อนก็ตาม แต่ส่วนมากจะมีขบวนการเกิดเช่นเดียวกัน ตัวอย่างที่ได้มีการศึกษากันอย่างดีแล้วนั้น คือเทือกเขาร็อกกีในทวีปอเมริกาเหนือ เทือกเขานี้มีอายุน้อยกว่าเทือกเขาบางเทือกในยุโรป ขบวนการเกิดของเทือกเขาร็อกกีนี้ พอจะเรียบเรียงเป็นขั้น ๆ ดังนี้

ขั้นแรก การเกิด Rocky Mountain Geosyncline แอ่งสะสมบนผิวโลกที่มีความกว้างหลายร้อยไมล์ และยาวถึง 2,000 ไมล์ Geosyncline อันนี้ เกิดในตอนต้นยุค Jurassic และมีการจมตัวลงเรื่อย ๆ จนเกือบปลายยุค Cretaceous ซึ่งในระยะนั้น ส่วนกลางของแอ่งมีความลึกถึง 3-5 ไมล์ และทะเลที่เกิดจากแอ่งนี้ได้แบ่งทวีปอเมริกาเหนือออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ในระหว่างนั้น ตะกอนและสิ่งตกจม (Sediments) ซึ่งเกิดจากส่วนที่เป็นทวีปในบริเวณใกล้เคียง ถูกพัดพาลงทับถมในแอ่ง การเพิ่มพูนของตะกอนมีอัตราความเร็วทัดเทียมกับการจมตัวของแอ่ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แอ่งมีความตื้นเขินอยู่เสมอ ช่วงของ Geosyncline นี้มีระยะเวลาจนถึงหนึ่งร้อยล้านปี

ขั้นที่สอง คือช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ โดยพื้นของแอ่งสะสม (Geosyncline) ได้ถูกยกตัวให้สูงขึ้น เกิดเป็นสันโค้ง และในขณะเดียวกันหินชั้นหรือหินตะกอน (Sedimentary Rocks) ก็ถูกบีบอัดตัวจนคดโค้ง แตก และเกิดการเลื่อนตัวขึ้นด้วยแรงที่มาจากทางทิศตะวันตก ทำให้เกิดภูเขาซึ่งประกอบด้วยหินที่สลับซับซ้อนมาก ส่วนทางตะวันออกนั้นหินไม่มีการบีบอัดตัวมากนัก นอกจากเกิดการคดโค้งธรรมดาโดยถูกแรงดันและยกตัวให้สูงขึ้นโดยหิน Granite ที่ผุดขึ้นมาจากภายในโลก ในที่บางแห่งยังคงมีหินตะกอนวางทับอยู่ตอนบน ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในตอนปลายยุค Cretaceous และเกิดอยู่เป็นระยะเวลาถึง 10-15 ล้านปี เหตุการณ์นี้เพิ่งจะสงบลงเมื่อปลายสมัย Paleocene

ขั้นที่สาม เป็นช่วงเวลาที่ค่อนข้างจะคงตัว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก นอกเสียจากเกิดการกัฏกร่อนขึ้น ระหว่างสมัย Paleocene ถึง Eocene มวลสารที่ถูกกัฏกร่อนจากเทือกเขาต่าง ๆ ได้ถูกพัดพาไปสะสมอยู่ในแอ่งระหว่างเขาเป็นจำนวนมาก และนอกจากนี้ยังมีการนำพาไปสะสมตัวในที่ที่ไกลจากเทือกเขาออกไป จนก่อให้เกิดที่ราบสูงขึ้น หลักฐานต่าง ๆ ที่จะพิสูจน์ปรากฏการณ์นี้ยังคงมีอยู่ ก่อนถึงต้นสมัย Oligocene เทือกเขาต่าง ๆ ในแถบนี้ได้ถูกกัฏกร่อนลงจนมีระดับต่ำเท่าพื้นราบที่เกิดขึ้นอย่างกว้างใหญ่ไพศาล และมีมอนเนา (Monadnocks) เตี้ย ๆ กระจายตัวอยู่ห่าง ๆ ในระยะเวลาที่ระดับความสูงของทวีปมีความสูงประมาณ 3,000 ฟุต จากระดับน้ำทะเล การเปลี่ยนแปลงระดับของภูเขามาเป็นระดับของที่ราบสูงในบริเวณนี้ใช้เวลาประมาณ 30 ล้านปี

เหตุการณ์ในขั้นที่สี่ เกิดขึ้นในขณะที่มีการยกตัวขึ้นอย่างช้า ๆ ของที่ราบสูงเกิดเป็นเทือกเขาสูงถึง 10,000-11,000 ฟุต ไหล่เขาทั้งทางด้านตะวันออกและตะวันตกมีความสูงถึง 8,000 ฟุต และด้วยความแตกต่างของระดับความสูงนี้เอง ทำให้เกิดล้าธารขึ้นและอำนาจการกัฏกร่อนก็ตามมา โครงสร้างส่วนใหญ่ของเทือกเขาร็อกกีนี้เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ปลายมหายุค Mesozoic แต่ความสูงที่ปรากฏอยู่ขณะนี้ เป็นผลจากการยกตัว และการกัฏกร่อนที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นในครึ่งหลังของมหายุค Cenozoic

#### 24.6 มหาสมุทร (Ocean)

เมื่อเราพิจารณาเปลือกนอกสุดของโลก จะเห็นว่ามีส่วนที่ประกอบเป็นทวีป (Continents) และมหาสมุทร (Oceans) ส่วนที่เป็นมหาสมุทรนี้ปกคลุมเนื้อที่ถึง 3/4 ของพื้นที่ทั้งหมดของผิวโลก หรือประมาณ 143,000,000 ตารางไมล์ นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เหลื่อมล้ำของทะเลเข้าไปในทวีปอีก ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 10,000,000 ตารางไมล์ ส่วนนี้เรียกว่า Epicontinental Seas ความกว้างใหญ่ของ Epicontinental Seas นี้แตกต่างกันในที่ต่าง ๆ และมีความลึกถึง 600 ฟุต

ปริมาณของน้ำทะเลทั้งหมดประมาณ 323,722,150 ลูกบาศก์ไมล์ หรือประมาณ 1/4,500 ของปริมาณของโลก ความลึกโดยเฉลี่ยของน้ำทะเล ประมาณ 2.5 ไมล์ (13,000 ฟุต) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงโดยเฉลี่ยของแผ่นดินซึ่งสูงเพียง 0.5 ไมล์ (2,500 ฟุต) เนื่องจากทะเลต่าง ๆ มีความต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงถือระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นระดับ

มาตรฐานที่จะใช้วัดความสูงของแผ่นดิน ส่วนที่ลึกที่สุดของทะเลพบอยู่ทางตะวันออกของ หมู่เกาะฟิลิปปินส์ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ลึกกว่า 34,400 ฟุต

#### 24.6.1 ส่วนประกอบของน้ำทะเล

โดยปกติเรามักพูดกันว่า น้ำทะเลเค็ม ส่วนประกอบของน้ำทะเลประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ 35 ส่วนในน้ำ 1,000 ส่วน และประมาณ 3/4 ของแร่ธาตุประกอบด้วยเกลือ การที่มีแร่ธาตุต่าง ๆ ละลายอยู่ในน้ำทะเลมาก ก็จะทำให้ความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น (จาก 1 ถึง 1.026) ได้มีผู้ศึกษาและเปรียบเทียบแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลและน้ำในแม่น้ำซึ่งได้ผลดังนี้

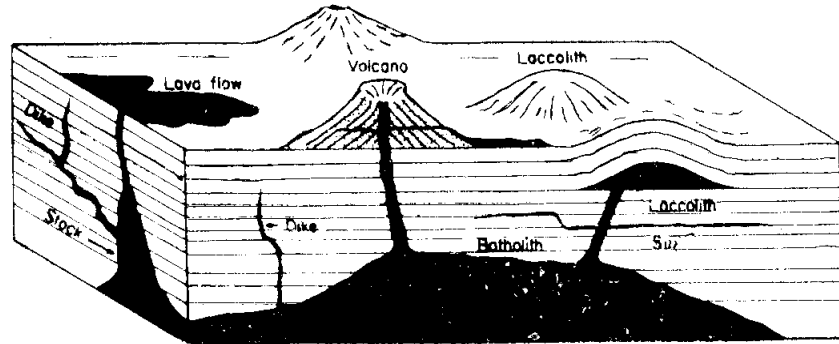
ส่วนประกอบ	ส่วนต่อพัน	
	น้ำแม่น้ำ	น้ำทะเล
แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO <sub>3</sub> )	0.077	0.123
สารรวมของแมกนีเซียม	0.026	5.540
ซิลิกา (SiO <sub>2</sub> )	0.01:	0.004
แคลเซียมซัลเฟต (CaSO <sub>4</sub> )	0.008	1.260
สารรวมของโพแทสเซียม	0.005	0.863
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	0.004	27.200
เหล็กออกไซด์	0.003	เล็กน้อย
อะลูมิเนียมออกไซด์	0.003	เล็กน้อย
รวมจำนวนสารละลาย	0.143	I 35.00

นอกจากแร่และสารละลายอื่น ๆ แล้ว ยังมีก๊าซชนิดต่าง ๆ ละลายอยู่ในน้ำทะเล ก๊าซเหล่านี้คือ ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลมีส่วนประกอบของออกซิเจนสูงกว่าอากาศในบรรยากาศ น้ำทะเลที่เย็นมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าน้ำทะเลที่อุ่น ในน้ำทะเลมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในอากาศถึง 18 - 27 เท่า

#### 24.6.2 แหล่งกำเนิดของแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำทะเล

แร่ธาตุจำนวนมากถูกนำพาลงสู่ทะเลโดยน้ำในแม่น้ำ ลำธารและน้ำใต้ดิน และมี

เป็นส่วนน้อยที่ได้จากการกระทำของคลื่นหรือกระแสน้ำ ตามริมหรือขอบทะเล การนำพาโดยน้ำในแม่น้ำ ลำธาร เป็นเหตุทำให้ทะเลเป็นแอ่งสะสมตัวที่ใหญ่โตของแร่ธาตุบางอย่าง ซึ่งอาจจะมีคุณค่ามากทางเศรษฐกิจ



รูปที่ 3 ลักษณะต่าง ๆ ของ Magma ซึ่งมักพบบนผิวโลก และความสัมพันธ์กับการเกิดภูเขาไฟ

## 24.7 ภูเขาไฟ

การเกิดของภูเขาไฟเป็นสิ่งที่มนุษย์ได้ให้ความสนใจมากกว่าภูเขาชนิดอื่น ๆ มนุษย์มักถือเป็นสิ่งแปลกประหลาด ภูเขาไฟบางแห่งเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้น แต่บางแห่งมีปรากฏการณ์ที่ยาวนาน ด้วยเหตุนี้ภูเขาไฟจึงอาจก่ออันตรายอย่างร้ายแรงให้แก่มนุษย์ได้ คำว่า “ภูเขาไฟ” มีความหมายตรงกับคำว่า “Burning Mountains” ซึ่งมนุษย์ในสมัยโบราณใช้เรียกภูเขาที่เกิดในแบบนี้ บางทีก็เรียกเป็น “Lakes of Fire and Brim stone” (ทะเลเพลิงและกำมะถัน) โดยที่บริเวณที่มีภูเขาไฟเกิด มักเป็นบริเวณที่มีดินอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเพาะปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ประกอบกับมีธรรมชาติโดยรอบที่สวยงาม มนุษย์จึงชอบอาศัยอยู่ใกล้กับบริเวณดังกล่าว เมื่อมีการระเบิดของภูเขาไฟขึ้นมาครั้งใด ก็มักจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่มวลมนุษยชาติที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ด้วยเหตุนี้มนุษย์จึงให้ความสนใจแก่การเกิดของภูเขาไฟเป็นอันมาก ได้มีการถกเถียงกันมากมายถึงขบวนการที่เกิดปะทุขึ้นมาอย่างรุนแรงของภูเขาไฟ และรวมทั้งขนาดต่าง ๆ ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีผู้ให้ความเห็นว่าขบวนการดังกล่าวเกิดจากการพ่นขึ้นมาของฟองก๊าซขนาดใหญ่ซึ่งลอยอยู่เหนือถ้าใต้ดิน ที่ Lava หรือน้ำแร่และหินเหลวได้ไหลออกไปแล้ว แต่ถ้าใหญ่นี้ยังคงติดต่อกับส่วนของ Lava ที่อยู่ลึกลงไปสู่ใจกลางของโลก

ขณะแรกเกิด ภูเขาไฟมักจะพ่นเอาควัน ซี้่ถ้าหรือฝุ่นภูเขาไฟ เศษแร่ เศษหิน

ขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงมีน้ำแร่หรือหินเหลว ที่เรียกกันว่า Lava ตามมา นอกจากนี้ยังมีก๊าซหรือธาตุบางชนิด เช่น กำมะถัน ปะปนออกมาด้วย ในขณะที่ Lava ไหลอยู่ Lava จะมียุณหภูมิสูง มีลักษณะร้อน แดง อุณหภูมิของ Lava ที่เกิดกับภูเขาไฟแต่ละแห่งไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของ Lava นั้น ๆ และด้วยเหตุนี้ Lava จึงมีความเข้มข้นความหนืดต่างกันด้วย ความหนืดของ Lava จะเป็นตัวการสำคัญในการสร้างสรรค์ลักษณะปล่องของภูเขาไฟให้มีความสูงชัน หรือมีความราบเรียบต่างกัน

ในขณะที่ภูเขาไฟกำลังพ่นวัตถุร้อนเหลวต่าง ๆ ขึ้นมาจากปล่องนั้น จะมีก๊าซร้อนต่าง ๆ ออกตามมาด้วยแรงดันที่สูง วัตถุเหลวต่าง ๆ อาจถูกพ่นสูงขึ้นไปคล้าย ๆ ลูกไฟ ในขณะที่จุดฟูไฟ บางครั้งวัตถุเหลวเหล่านี้ จะกับตกลงมาและแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีลักษณะต่าง ๆ กัน บางทีมีลักษณะทรงกลมคล้ายลูกบอล ซึ่งเราเรียกว่า “Volcanic bombs” ส่วนขี้เถ้าหรือฝุ่นภูเขาไฟนั้น เมื่อหล่นลงมาแล้วแข็งตัวจะเกิดเป็นหินชนิดต่าง ๆ เช่น Tuff, Pumice, Volcanic breccia ฯลฯ แล้วแต่ส่วนประกอบของหินนั้น ๆ ส่วน Lava ที่ไหลออกจากปล่องจะแผ่ขยายออกทั่วทุกทิศทาง บางทีแผ่ออกไปไกลมากโดยอยู่กับส่วนประกอบความร้อนและความหนืดของ Lava และถ้าหากไหลลงสู่ทะเลก็จะมีลักษณะเป็นลูกฟูกหรือเป็นลอน เรียกว่า Pillow lava หินที่เกิดจาก Lava มักจะมีรูพรุน ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของฟองอากาศที่มีอยู่เดิมในน้ำแร่และหินเหลว เมื่อสารดังกล่าวเย็นตัวและแข็งตัวขึ้น ก๊าซต่าง ๆ ก็จะระเหยออกไป คงเหลือแต่รูพรุนอยู่เท่านั้น หินภูเขาไฟที่เรารู้จักดี คือ Basalt, Granodiorite, Andesite และ Rhyolite เป็นต้น ตามที่บริเวณข้างปล่องภูเขาไฟนั้น มักจะพบว่ามีการทับถมของวัตถุต่าง ๆ ที่ถูกพ่นออกมาจากปล่องสลับกันหลายครั้งหลายคราด้วยกัน ชั้นต่าง ๆ เหล่านี้จะมีความหนาบางไม่เท่ากัน บางชั้นอาจหนาเพียงไม่กี่นิ้ว แต่บางชั้นอาจหนาตั้งหลายร้อยฟุตก็ได้

ตัวอย่างภูเขาไฟที่มีชื่อเสียงมากในโลก ได้แก่ภูเขาไฟ Vesuvius ในประเทศอิตาลี และ Mauna Loa บนหมู่เกาะฮาวาย

24.7.1 Vesuvius เป็นภูเขาไฟที่ใหญ่ที่สุดอันหนึ่งในโลก มีปรากฏการณ์ย้อนหลังไปถึงปีคริสต์ศักราช 63 เมื่อบริเวณนี้มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น ก่อนหน้านี้นี้คือประมาณ 72 ปีก่อนคริสต์กาล บริเวณที่เกิดเป็นภูเขาไฟเป็นดินแดนที่ชาวโรมันได้เคยประลองสงครามกับนักรบชาว Spastacus เมื่อราวเดือนสิงหาคม ค.ศ. 79 ภูเขาไฟ Vesuvius ได้เริ่มเกิดขึ้นและทำลายเมือง Pompeii และเมือง Herculaneum และเมือง Herculaneum ระหว่างปี

ค.ศ. 79 ถึง 1036 Vesuvius ได้มีการระเบิดออกมาถึง 7 ครั้ง และมี Lava ไหลออกมา ระหว่างปี ค.ศ. 1139 - 1631 เป็นระยะเวลาที่ภูเขาไฟ Vesuvius สงบเงียบนานที่สุด ในปี ค.ศ. 1631 ได้มีการระเบิดที่รุนแรงมากทำให้ผู้เสียชีวิตหลายพันคน และหลังจากนั้น Vesuvius ก็ไม่เคยสงบลงอีกเลย การระเบิดที่รุนแรงที่สุดในศตวรรษที่ 20 นี้เกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1944

เมื่อพิจารณาภูเขาไฟแห่งนี้ทางด้านธรณีวิทยาแล้ว จะเห็นว่าประวัติปรากฏการณ์ ที่มนุษย์ได้บันทึกไว้นี้เป็นเพียงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระยะหลังของภูเขาไฟแห่งนี้เท่านั้น ก่อนหน้านี้เราไม่ทราบว่าภูเขาไฟแห่งนี้ได้มีการระเบิดมาก่อนเป็นจำนวนกี่ครั้ง ทั้งนี้จากการพิจารณาชั้นหินต่าง ๆ ที่สะสมตัวอยู่ข้างปล่องภูเขาไฟพอจะประมาณได้ว่ามีปรากฏการณ์ ของภูเขาไฟระเบิดมาเมื่อประมาณ 2,000 ปี ก่อนประวัติศาสตร์ได้บันทึกไว้ ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า Vesuvius เกิดขึ้นจากการระเบิดทั้งอย่างรุนแรง และไม่รุนแรงเป็นระยะเวลา ยาวนานและคงไม่มีทฤษฎีอื่นใดที่จะอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ดีกว่าการเกิดภูเขาไฟ

**24.7.2 Mauna Loa** เป็นภูเขาไฟที่ใหญ่มากในหมู่เกาะฮาวาย สูงประมาณ 13,680 ฟุตจากระดับน้ำทะเล ปกคลุมเนื้อที่ประมาณ 200 ตารางไมล์ มีลักษณะของปล่องที่ค่อนข้าง ราบเรียบไม่ชันเหมือน Vesuvius บริเวณรอบปล่องประกอบด้วยหินที่เกิดจากการแข็งตัวของ Lava เสียส่วนมาก และมีสารอินทรีย์ (Organic materials) ปะปนอยู่เพียงเล็กน้อย จากการศึกษาหินที่อยู่รอบ ๆ ภูเขาไฟแห่งนี้ พบว่า Mauna Loa ได้มีการระเบิดขึ้นหลายครั้งหลายหน เช่นกัน ทั้งนี้เพราะพบว่าบนผิวของหินแต่ละชั้นมักพบร่องรอยของการกัดกร่อนของธรรมชาติ ในระหว่างที่ไม่มี Lava ไหลมาทับถมเหลืออยู่ ในปัจจุบันภูเขาไฟแห่งนี้ตกอยู่ภายใต้อำนาจ การกัดกร่อนอย่างรุนแรง ประกอบกับภูมิภาคแห่งนี้อยู่ในเขตมรสุม จึงมีฝนตกหนัก มีแม่น้ำ ลำธารหลายสายไหลผ่าน ทางน้ำบางแห่งได้กัดเซาะหินจนเป็นร่องลึกลงไป

ในประเทศไทยจากผลการสำรวจธรณีวิทยา เราได้พบหินภูเขาไฟบางอย่าง เช่น Volcanic tuff, Volcanic breccia, Basalt, Andesite, Rhyolite ฯลฯ ทางภาคเหนือ และภาค ตะวันออกเฉียงเหนือด้วยเหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้มีการพบ Volcanic bombs, Pillow basalt และ Scoria ในเขตจังหวัดลำปาง หลักฐานต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่สนับสนุนความคิดที่ อาจนำไปสู่การค้นพบปล่องภูเขาไฟ (Crater) เก่า ๆ ในบริเวณดังกล่าวได้ ในปัจจุบัน งานสำรวจและค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องนี้ยังคงดำเนินการอยู่ และหวังว่าในอนาคตเราอาจทราบ ถึงภูเขาไฟต่าง ๆ ที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยได้ดีขึ้น



## 24.8 แผ่นดินไหว

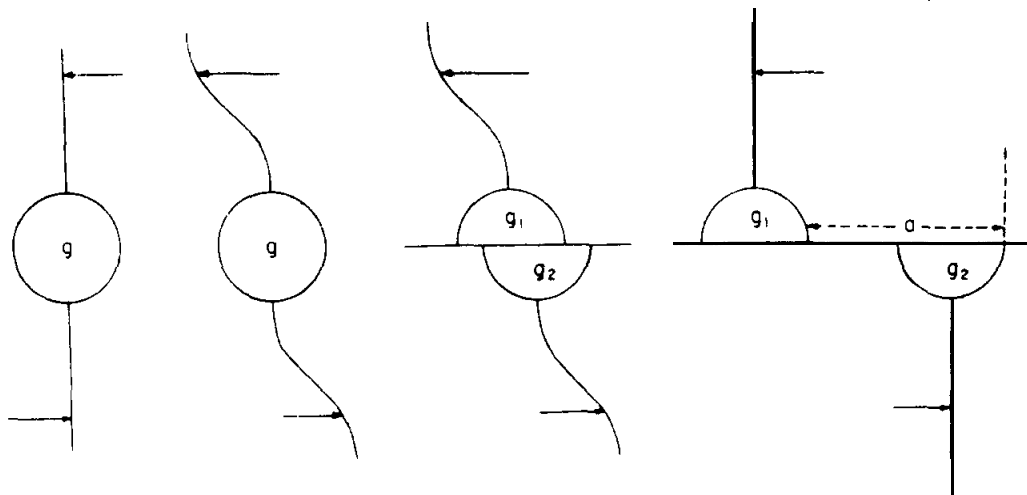
Diastrophism หมายถึง ขบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Faulting folding และ Warping เป็นขบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนเปลือกโลก แรงต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากภายในโลก และเป็นผลทำให้มีการผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างมากมาย เป็นต้นว่าการผุพัง และการกัดกร่อน ภายหลังจากที่เกิดปรากฏการณ์ เช่น รอยเลื่อนหรือ fault แล้ว จะมีร่องรอยของการผิดปกติดังกล่าว รอยผิดปกตินี้จะลึกลงสู่เบื้องล่างเข้าหาศูนย์กลางของโลกด้วย และแม้ว่าส่วนบนจะถูกอำนาจการกัดกร่อนทำลายไปก็ตาม ส่วนล่าง ๆ ยังคงมีร่องรอยของรอยเลื่อนเหลืออยู่เช่นเดิม การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่สำคัญ ๆ ได้ถูกบันทึกไว้อย่างมากมาย และหลายครั้งที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว การเกิดแผ่นดินไหว เป็นการเปลี่ยนแปลงที่จะทำให้เกิดการสมดุลขึ้นภายใต้เปลือกโลก จึงมีการเคลื่อนไหวของหินขึ้นอย่างรวดเร็ว และรุนแรง

การเคลื่อนไหวต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนี้อาจจะจำแนกออกได้เป็นสองชนิด ชนิดแรกได้แก่การเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่มีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย ชนิดที่สองได้แก่การเคลื่อนไหวที่เชื่องช้าแต่มีแรงมาก คำว่า “แผ่นดินไหว” นี้หมายถึงการเคลื่อนไหวชนิดแรก เนื่องจากเกิดแผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทันทีทันใด โดยปราศจากสิ่งเตือน จึงทำให้เกิดความเสียหายแก่มวลมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นอย่างมากมาย และมากกว่าในบริเวณที่เกิดภูเขาไฟระเบิดเสียอีก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่เกิดภูเขาไฟระเบิดนั้น จะมีควัน หรือเขม่าถูกพ่นออกมาก่อนที่จะน้ำแร่หรือหินเหลวจะไหลออก ซึ่งเป็นการเตือนให้มนุษย์ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงให้หลบหนีไปก่อน ได้มีการบันทึกความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวที่ทำให้มนุษย์ต้องเสียชีวิตไปเป็นจำนวนหลายครั้งหลายหน ในจำนวนนี้มีเหตุการณ์ที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1556 ในประเทศจีน ณ มณฑลซานซี เซนซี และฮูนาน เป็นผลทำให้มนุษย์เสียชีวิตไปถึง 830,000 คน ในปี ค.ศ. 1920 ได้เกิดแผ่นดินไหวในประเทศจีนอีก ทำให้คนเสียชีวิต 200,000 คน

ในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว คลื่นการสั่นสะเทือนจะกระจายออกทั่วทุกทิศทุกทาง คลื่นบางชนิดเคลื่อนตัวไปตามผิวโลก บางชนิดเคลื่อนตัวผ่านจุดศูนย์กลางของโลก ระยะทางที่วัดได้ของการเคลื่อนไหวของแผ่นดินเรียกว่า “The Amplitude of the Vibration” นี้ส่วนมากจะมีค่าเล็กน้อย ความยาว  $\frac{3}{4}$  นิ้ว ถือว่าเป็นการเคลื่อนไหวที่รุนแรง และมีอันตรายมาก ความยาว  $\frac{3}{8}$  นิ้ว ถือเป็นการเคลื่อนไหวที่ค่อนข้างรุนแรง ในปี ค.ศ. 1923 ระหว่างที่เกิด

แผ่นดินไหวครั้งใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น ระยะที่เคลื่อนไหววัดได้ 3.5 นิ้ว และในการเกิดแผ่นดินไหวอีกครั้งหนึ่งวัดได้ 7.1 นิ้ว แต่ในการเกิดครั้งนี้ไม่ก่อวินาศกรรมมากนัก เนื่องจากการเคลื่อนไหวมีอัตราความเร็วช้า เครื่องมือที่วัดการสั่นสะเทือนเกิดจากแผ่นดินไหวนี้เรียกว่า “Seismograph” ระยะเวลาที่เกิดการสั่นสะเทือนนั้นมักเกิดขึ้นในเวลาอันสั้น เพียงไม่กี่วินาทีเท่านั้น น้อยครั้งที่จะมีระยะเวลาการสั่นสะเทือนนานถึง 2 นาที การเกิดแผ่นดินไหวซึ่งได้ทำลายเมือง Messina, Sicily ใช้เวลาเพียง 35 วินาทีเท่านั้น

24.8.1 กำเนิดของแผ่นดินไหว แผ่นดินไหวอาจจะเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เป็นต้นว่า การเกิดรอยเลื่อน (Faulting) การเกิดภูเขาไฟระเบิด (Volcanism) การเกิดแผ่นดินเคลื่อน (Landslides) และการเกิดการถล่มของเพดานถ้ำ (Collapse of Cavern roofs) ขบวนการเกิดสองประเภทหลังที่กล่าวมาเป็นการเกิดแผ่นดินไหวในบริเวณแคบ ๆ เฉพาะแห่งซึ่งไม่มีความสำคัญเท่าไรนัก แผ่นดินไหวส่วนมากเกิดอยู่ในช่วง 10 ไมล์ จากผิวโลก ในขณะที่กำลังจะเกิด fault จะมีแรงกระทำในหิน แรงที่ดันนี้จะมีทิศทางตรงข้ามตั้งรูป และด้วยแรงนี้เอง ที่ทำให้หิน  $g$  มีแรงดัน (Strain) เกิดขึ้น แรงดันนี้จะพยายามแยกวัตถุหรือหิน  $g$



รูปที่ 4 ภาพสังเขป แสดงแรงดันที่มีต่อหิน และการเกิดแผ่นดินไหว

ให้แยกออกจากกันเป็น  $g_1$  และ  $g_2$  ถ้าแรงดันนี้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ วัตถุหรือหิน  $g$  นี้ จะแยกออกจากกันเป็น  $g_1$  และ  $g_2$  ในขณะที่เกิดแยกออกจากกันหรือเกิด fault นี้เอง จะมีคลื่นแผ่นดินไหวเกิดขึ้นเพราะในขณะที่เกิดแยกตัวอย่างทันทีทันใดนั้น จะมีคลื่นสั่นสะเทือนเกิดขึ้น

และแม้ว่าวัตถุหรือหิน  $g_1$  และ  $g_2$  จะหยุดนิ่งแล้วก็ตาม คลื่นการสั่นสะเทือนนี้ก็ยังคงมีอยู่ การเกิดแผ่นดินไหวที่เนื่องมาจากการเกิดรอยเลื่อน หรือ faulting นี้ มักมีแนวทางในแนวราบ แต่คลื่นสั่นสะเทือนในแนวตั้งก็เกิดขึ้นด้วย

การเกิดแผ่นดินไหวที่มีสาเหตุมาจากการเกิดภูเขาไฟระเบิดนั้นได้เป็นที่รู้จักมานานแล้ว วิธีนี้เกิดเนื่องจากการเคลื่อนไหวของ Magma และก๊าซชนิดต่างๆ ที่อยู่ภายใต้เปลือกโลก โดยทั่วไปก่อนที่จะมีภูเขาไฟระเบิดมักมีคลื่น  $g_1$  สั่นสะเทือนเกิดขึ้นก่อนแล้วจึงเกิดการระเบิดตามมา หรือนั่นก็คือการเกิดแผ่นดินไหวเป็นสิ่งเตือนให้ทราบว่าจะมีภูเขาไฟระเบิดเกิดขึ้นนั่นเอง แต่ภายหลังจากที่ภูเขาไฟได้ระเบิดแล้วก็ยังมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเนื่องจากการปรับตัวระหว่าง Magma กับหินบริเวณข้างเคียง แต่แผ่นดินไหวที่เกิดภายหลังจากภูเขาไฟระเบิดนี้ไม่รุนแรง และไม่อันตรายเท่ากับที่เกิดโดยรอยเลื่อน

นับตั้งแต่มีเครื่อง Seismograph สำหรับวัดปรากฏการณ์ของแผ่นดินไหวเป็นต้นมาได้มีการเกิดแผ่นดินไหวครั้งที่สำคัญที่สุด และใหญ่ยิ่งที่สุดในคืนวันที่ 15 สิงหาคม 2493 ในแคว้นฮัสสัม ประเทศอินเดียตอนใกล้เขตแดนธิเบต ซึ่งนอกจากในวันนั้นแล้วยังมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นอีกถึง 22 ครั้งใน 11 วันต่อมา แต่ก็นับว่าโชคดีมากที่มีผู้เสียชีวิตน้อยกว่า 1,500 คน ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวไม่มีเมืองใหญ่ ซึ่งมีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น