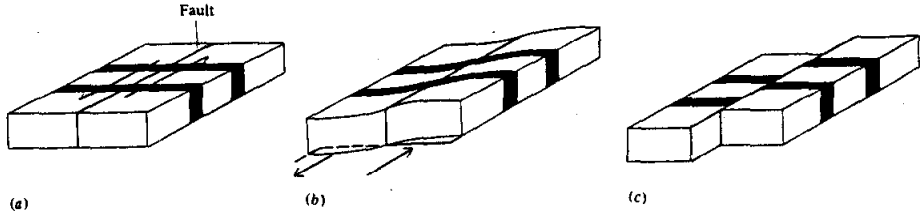
บทที่ 14
แผ่นดินไหวและส่วนในของโลก
(EARTHQUAKES AND INTERIOR OF THE EARTH)

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แผ่นดินเกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากคลื่นที่กระจายออกมาจากส่วนลึกภายในโลกอย่างทันทีทันใด และอาจเกิดการเคลื่อนไหวบนเปลือกโลก ทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก นอกจากนี้ยังทำให้ทราบเกี่ยวกับโครงสร้างส่วนในของโลก การศึกษาเกี่ยวกับแผ่นดินไหวเรียกวิทยาแผ่นดินไหว (seismology)

14.1 การเกิดแผ่นดินไหว

14.1.1 ทฤษฎีการหดตัวกลับ (Elastic rebound theory) การเกิดแผ่นดินไหวยังไม่แน่ชัด แต่เชื่อว่าเกิดจากแรงภายในโลกกระทำต่อหิน เมื่อหินทนต่อแรงที่มากระทำไม่ได้มันก็จะแตกออกและทำให้เกิดแผ่นดินไหว เราใช้ทฤษฎีการหดตัวกลับช่วยอธิบายเกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว ผู้ที่ใช้คนแรกคือ ไรด์ (H.F.Reid) ซึ่งศึกษาแผ่นดินไหวในแคลิฟอร์เนีย ในปี ค.ศ.1906 ทฤษฎีการหดตัวกลับแสดงในรูปที่ 14.1



รูปที่ 14.1 การเกิดแผ่นดินไหวตามทฤษฎีการหดตัวกลับ

a. ก่อนการเกิดรอยเลื่อน

b. หินเกิดการเปลี่ยนรูปตามแนวรอยเลื่อน

c. หินแตกและกลับคืนรูปเดิมแต่มีการเคลื่อนที่ไป

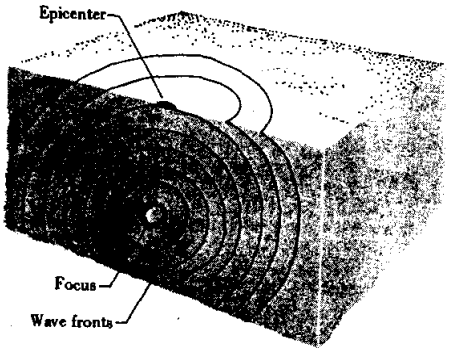
(ที่มา : Ludman & Coch, 1982 หน้า 422)

การเปลี่ยนรูปของหินตามแนวรอยเลื่อน (fault) ในตอนแรกจะไม่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างผนังตลอดแนวรอยเลื่อน ต่อมามีการสะสมความเครียดยืดหยุ่น (elastic strain) ภายในชั้นหินเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนชนะแรงเสียดทานหินจะแตกอย่างทันที ช่วงนี้หินจะคดโค้งตามความยืดหยุ่นเมื่อแรงหมดลงหินจะคืนกลับสู่สภาพเดิม แต่หินสองข้างรอยเลื่อนจะเคลื่อนที่ออกจากกัน

ไรด์เชื่อว่าพลังงานถูกกักเก็บไว้ในหินขณะที่ความเครียดยืดหยุ่นค่อย ๆ สะสมก่อนการเกิดรอยเลื่อนและพลังงานจะถูกปลดปล่อยออกมาขณะหินเกิดการแตก พลังงานนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นมาบนผิวโลกในลักษณะคลื่นไหวสะเทือนหรือคลื่นแผ่นดินไหว (seismic or earthquake wave) และเป็นสาเหตุให้พื้นผิวโลกสั่นสะเทือนเกิดแผ่นดินไหวขึ้น โดยทั่วไประยะเวลาในการสั่นสะเทือนเพียงไม่กี่วินาที ทฤษฎีนี้อธิบายได้กับการเกิดแผ่นดินไหวที่ระดับตื้น และจากการศึกษาแผ่นดินไหวตามรอยเลื่อนในบางบริเวณพบว่าการเคลื่อนที่ออกจากกันของแผ่นดินตามรอยเลื่อนเกิดหลังจากเกิดแผ่นดินไหว

ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ตามแนวรอยเลื่อนหรือตำแหน่งกำเนิดการสั่นสะเทือนเรียกโฟกัส (focus) หรือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว จะลึกลงไปจากผิวโลกหลายกิโลเมตร และตำแหน่งบนผิวโลกที่อยู่เหนือจากโฟกัสตรงดิ่งขึ้นมาในแนวตั้งฉากเรียก อิพิเซนเตอร์ (epicenter) หรือจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว จะเป็นจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวหรือศูนย์กลางการสั่นสะเทือนบนผิวโลก (ดูรูปที่ 14.2)

โฟกัสของแผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นที่ความลึกต่าง ๆ กันจากผิวดินสามารถวัดได้เป็น 3 พวกคือ ระดับตื้นลึกน้อยกว่า 60 กิโลเมตร ระดับปานกลาง อยู่ระหว่าง 60-300 กิโลเมตร และระดับลึกสุดอยู่ลึกมากกว่า 300 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 700 กิโลเมตร แผ่นดินไหวที่เกิดส่วนมากจะมีโฟกัสอยู่ระดับตื้น



รูปที่ 14.2 แสดงตำแหน่งโฟกัสและอิพิเซนเตอร์ของแผ่นดินไหว

(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 388)

14.1.2 **สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว** แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นคนโบราณเชื่อกันว่าเกิดจากสัตว์ประหลาดชนิดต่าง ๆ ตามความเชื่อของแต่ละประเทศ เช่น เป็นปลายักษ์ กบยักษ์ เต่ายักษ์ แบกโลกไว้เกิดการพลิกขยับตัวทำให้เกิดแผ่นดินไหวขึ้น

แต่นักวิชาการบอกว่าการเกิดแผ่นดินไหวมีหลายสาเหตุเช่น แผ่นดินไหวที่เกิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (plate) ตามแนวรอยเลื่อนหรือตามทฤษฎีเพลดเทกโทนิก (Plate tectonic) ซึ่งจะทำให้พื้นดินเคลื่อนตัวสูงขึ้นหรือยุบตัวลงต่ำ หรือเคลื่อนที่ผ่านกันในแนวราบ จะเกิดเป็นบริเวณกว้างและรุนแรง

แผ่นดินไหวอาจเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟเนื่องจากการเคลื่อนไหวของแมกมาและก๊าซ จะเกิดเป็นบริเวณแคบไม่สู้จะรุนแรงหรือก่อให้เกิดอันตรายมากนัก

ส่วนแผ่นดินถล่มหรือถ้ำถล่ม อาจทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ แต่จะเป็นบริเวณแคบและก่อความเสียหายได้น้อยมาก

แผ่นดินไหวอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งนับว่าเป็นการช่วยเร่งแรงธรรมชาติอีกแรงหนึ่ง เช่นการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ใต้พิภพ ทำให้เกิดแผ่นดินไหวขนาดย่อมขึ้นได้ การกักเก็บน้ำตามเขื่อนต่าง ๆ น้ำหนักของน้ำจะมีแรงกดดันมหาศาลต่อผิวเปลือกโลกที่มีรอยแตก

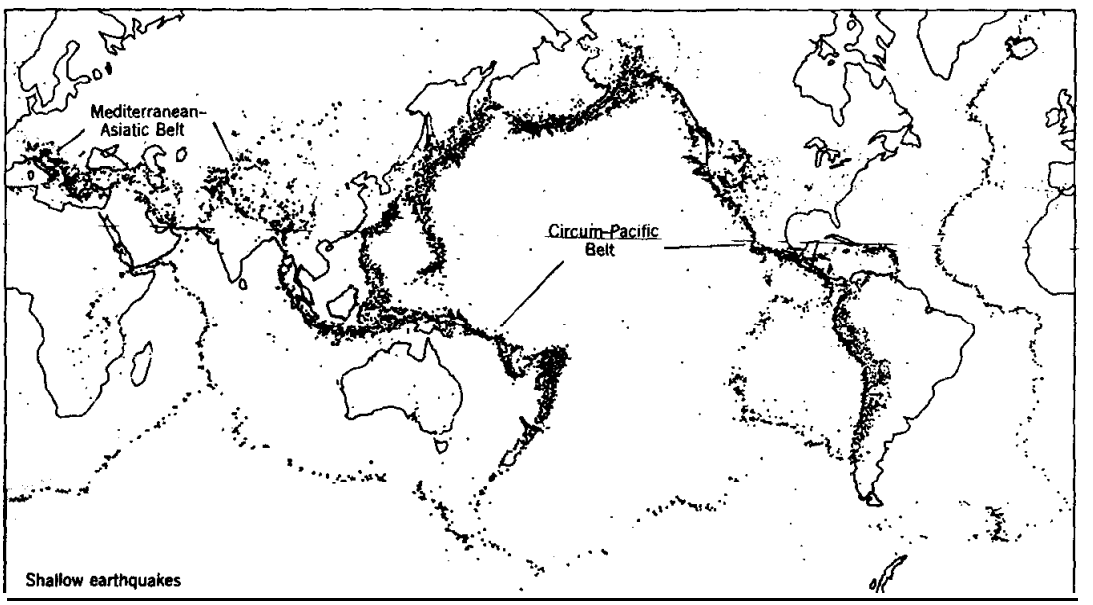
ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกเป็นเหตุทำให้เกิดแผ่นดินไหว

14.1.3 **แนวแผ่นดินไหว** แผ่นดินไหวมักเกิดเป็นแนวโดยเฉพาะตามแนวขอบของเพลตที่มีการเคลื่อนที่ ในโลกแนวแผ่นดินไหวที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 แนวด้วยกัน คือ

1. แนวรอบมหาสมุทรแปซิฟิก (circum pacific belt) แผ่นดินไหวเกิดขึ้นตามขอบของมหาสมุทรและหมู่เกาะที่อยู่ตามขอบมหาสมุทร เป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเพลตหลายแผ่นมาชนกัน แผ่นดินไหวจะเกิดขึ้นมากและรุนแรงมีโฟกัสอยู่ในระดับต่าง ๆ กันทำให้เกิดพลังงานประมาณ 80 เปอร์เซนต์ ของพลังงานที่เกิดจากแผ่นดินไหวทั้งหมด

2. แนวเมดิเตอร์เรเนียน - เอเชียติก (Mediteranean - Asiatic belt) เป็นแนวที่เกิดแผ่นดินไหวมากเป็นอันดับสองพลังงานที่เกิดจากแผ่นดินไหว 15 เปอร์เซนต์ ส่วนมากโฟกัสของแผ่นดินไหวจะอยู่ตามแนวของเทือกเขาซึ่งเป็นบริเวณที่เพลตมาชนกัน

3. บริเวณแนวแคบ ๆ ตามสันเขาใต้สมุทร (oceanic ridge) มีพลังงานเกิดจากแผ่นดินไหว 5 เปอร์เซนต์



รูปที่ 14.3 บริเวณตำแหน่งอิพิเซนเตอร์ของแผ่นดินไหวระดับตื้น (ปี ค.ศ.1961-1967)

(ที่มา : Robinson, 1982 หน้า 84)

14.1.4 ความรุนแรงของแผ่นดินไหว ความรุนแรงของแผ่นดินไหววัดได้จากความรู้สึกปรากฏการณ์รอบ ๆ และสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นว่ามีการสั่นสะเทือนมากน้อยเพียงใด ความรุนแรงในแต่ละแห่งจะมากน้อยต่างกันตามระยะใกล้ไกลจากศูนย์กลางแผ่นดินไหวและสภาพสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ขณะนั้น

มาตราวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีหลายแบบ เช่น มาตราของรอสซี-ฟอเรล (Rossi-Forel scale) มี 10 อันดับ มาตราของเมอร์คัลลีดัดแปร (Modified Mercalli scale) มี 12 อันดับ เริ่มแรกเมอร์คัลลีได้แบ่งความรุนแรงไว้ 10 อันดับ ต่อมาวูด (H.O.Wood) และนิวแมนน์ (F.Neumann) ได้นำมาตราของเมอร์คัลลีมาดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็น 12 อันดับ ดูตารางที่ 14.1

ตารางที่ 14.1 มาตราเมอร์คัลลีดัดแปร

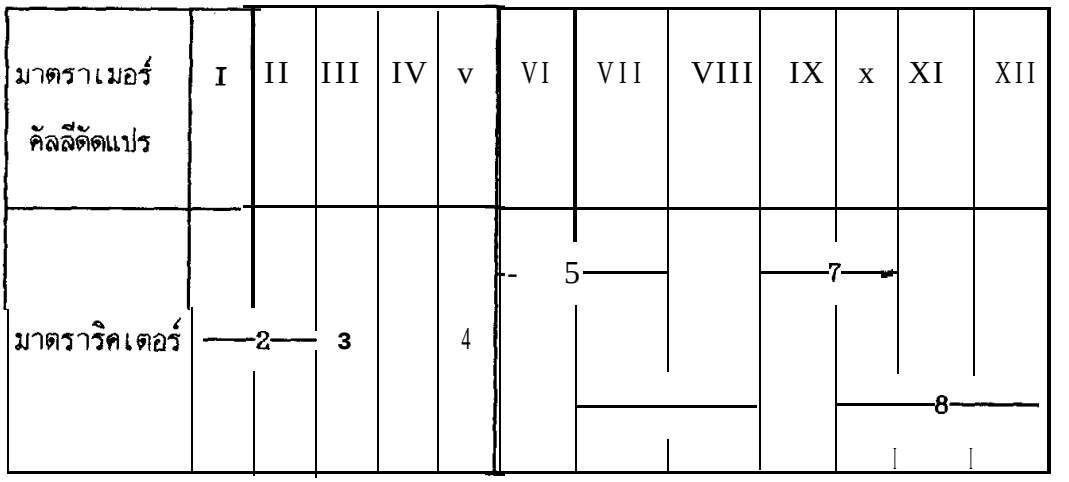
	ความรุนแรง	ผลจากแผ่นดินไหว
I	ไม่รู้สึก (Negligible)	เครื่องวัดความไหวสะเทือนวัดได้
II	อ่อน (Feeble)	ผู้มีความรู้สึกไวรู้สึกได้
III	เบา (Slight)	ผู้ที่อยู่กับที่รู้สึกพื้นสั่น
IV	พอควร (Moderate)	ผู้ที่สัญจรไปมารู้สึกตัว
V	ค่อนข้างแรง (Rather strong)	ผู้ที่นอนหลับตกใจตื่น
VI	แรง (Strong)	ต้นไม้สั่น บ้านไหว สิ่งปลูกสร้างบางชนิดพัง
VII	แรงมาก (Very strong)	ฝาห้องร้าว กรุเพดานร่วง
VIII	ทำลาย (Destructive)	ต้องหยุดขับรถ ตึกร้าว ปล่องไฟพัง
IX	ทำลายสูญเสีย (Ruinous)	บ้านพัง แผ่นดินเกิดรอยแยก ท่อน้ำท่อก๊าซเสียหาย
X	วินาศภัย (Disastrous)	แผ่นดินแตกกว้าง ตึกแข็งแรงพัง ทางรถไฟคดโค้ง แผ่นดินถล่มในบริเวณความลาดชัน

XI	วินาศภัยใหญ่ (Very disastrous)	ตึกถล่มเหลือแต่ตึกที่แข็งแรงมาก สะพาน ทางรถไฟ ท่อน้ำ สายไฟ ขาดเสียหาย แผ่นดินถล่ม
XII	มหาวิบัติ (Catastrophic)	ทุกสิ่งถูกทำลายสิ้น วัตถุกระเด็นขึ้นไปในอากาศ

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Wyllie, 1976 หน้า 45)

14.1.5 **ขนาดของแผ่นดินไหว** ขนาดของแผ่นดินไหว หมายถึงจำนวนหรือปริมาณของพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการเกิดแผ่นดินไหวแต่ละครั้ง ค่าขนาดแผ่นดินไหวนี้หาได้โดยวัดแอมพลิจูดของคลื่นแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครื่องวัดแผ่นดินไหวหรือเครื่องวัดความไหวสะเทือน (Seismograph) แล้วคำนวณจากสูตรขนาดแผ่นดินไหวแต่ละแห่งมีขนาดเดียว การหาขนาดแผ่นดินไหวซึ่งคิดค้นโดยริคเตอร์ (C.F. Richter) จึงนิยมใช้หน่วยของขนาดแผ่นดินไหวว่าริคเตอร์ ตามมาตราริคเตอร์ขนาดแผ่นดินไหวมีค่าตั้งแต่ 0-9 ขนาด 2 เป็นแผ่นดินไหวขนาดเบาที่คนเรารู้สึกได้ ขนาด 6 จัดว่าเป็นขนาดที่แรง ขนาด 8.9 เป็นขนาดใหญ่สุดที่เคยบันทึกได้

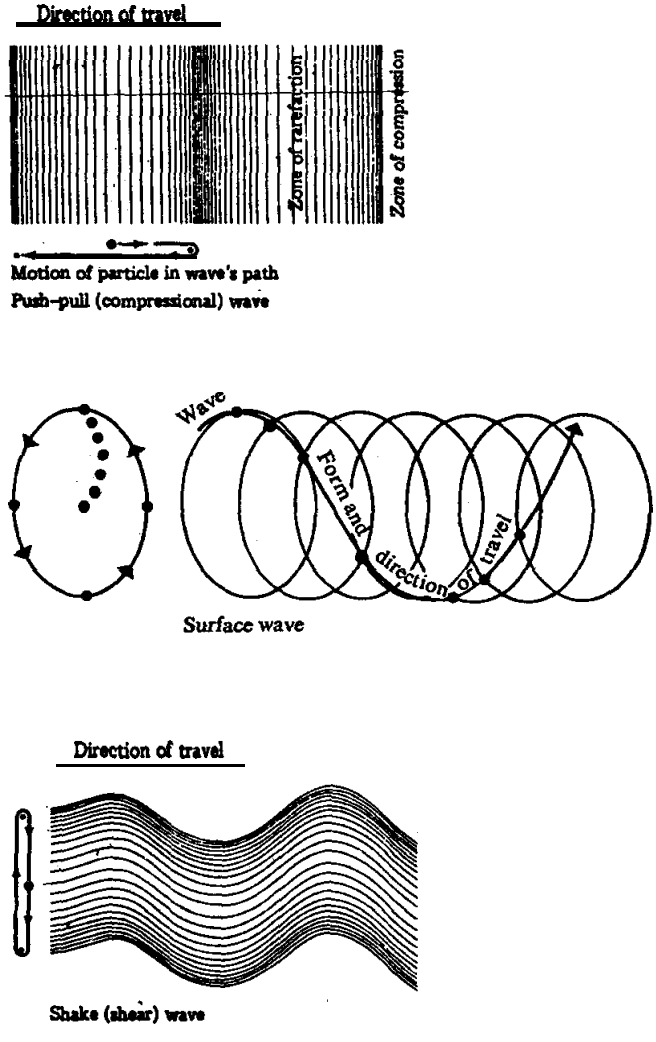
ตารางที่ 14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตามมาตราริคเตอร์กับความรุนแรงตามมาตราเมอร์คัลลีดัดแปร ของแผ่นดินไหวที่ตำแหน่งอิพิเซนเตอร์



(ที่มา : ดัดแปลงจาก Foster, 1983 หน้า 258)

14.2 คลื่นแผ่นดินไหว

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้นที่บริเวณใดพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของคลื่นแผ่ออกไปรอบตัว คลื่นที่เกิดจากแผ่นดินไหวมีแตกต่างกัน 3 แบบ ซึ่งมีอัตราความเร็วต่างกันและวิ่งไปในแนวทางต่างกัน (ดูรูปที่ 14.4)



รูปที่ 14.4 การเคลื่อนที่ของคลื่นแผ่นดินไหวแบบต่าง ๆ

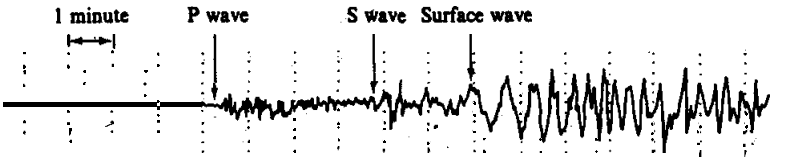
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 413)

1. **คลื่นปฐมภูมิ** (Primary or P-wave or Push pull wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ในแผ่นดิน (body wave) สามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ มีลักษณะเป็นคลื่นตามยาวคล้ายคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ในแนวราบ โดยคลื่นจะไปข้างหน้าและถอยหลังตามแนวที่คลื่นเคลื่อนที่ไป เป็นคลื่นที่สถานีวัดความสั่นสะเทือนสามารถรับได้ก่อนชนิดอื่น

2. **คลื่นทุติยภูมิ** (Secondary or S-wave or Shake wave) เป็นคลื่นที่เดินทางอยู่ในแผ่นดิน คลื่นนี้สามารถเคลื่อนผ่านเข้าไปได้เฉพาะตัวกลางที่เป็นของแข็งเท่านั้น มีลักษณะเป็นคลื่นตามขวาง เคลื่อนที่ขึ้นลงตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป เป็นคลื่นที่เดินทางมาถึงเครื่องวัดความสั่นสะเทือนช้ากว่าคลื่นปฐมภูมิ คลื่นนี้ทำให้พื้นผิวดินสั่นทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

3. **คลื่นพื้นผิว** (Surface wave or L-wave) เป็นคลื่นซึ่งเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวโลกมีหลายชนิด เช่น คลื่นเรย์ลี (Rayleigh wave) เคลื่อนไหวในแนวดิ่งคล้ายคลื่นในทะเล เคลื่อนเป็นรูปวงรีซึ่งมีแกนตั้งยาวกว่าแกนนอน และคลื่นเลิฟ (Love wave) เคลื่อนไหวในแนวราบโดยตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นผ่านขนานกับพื้นผิวโลกคล้ายคลื่นทุติยภูมิ คลื่นพื้นผิวจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ช้ากว่าคลื่นปฐมภูมิ และคลื่นทุติยภูมิ เป็นคลื่นที่สร้างความเสียหายได้มากกว่าเวลาเกิดแผ่นดินไหว

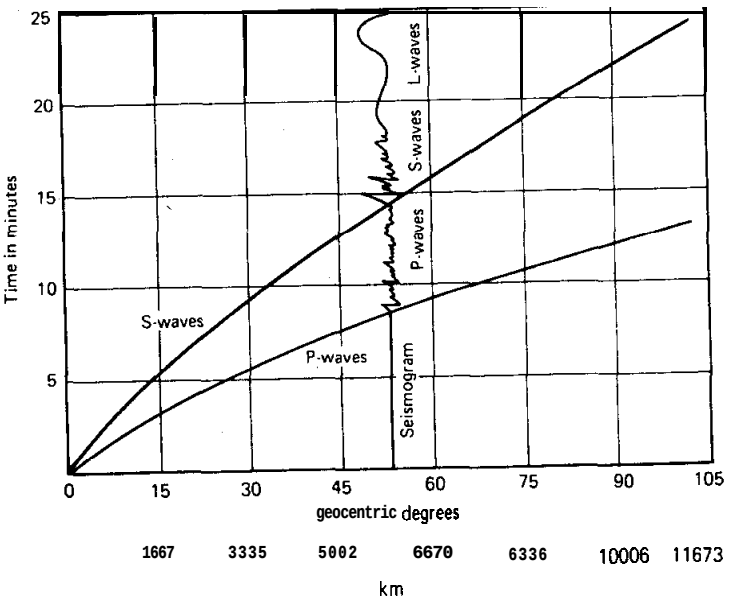
การบันทึกคลื่นแผ่นดินไหว คลื่นแผ่นดินไหวจะถูกบันทึกลงบนแผ่นกระดาษ (seismogram) โดยเครื่องวัดแผ่นดินไหว ประกอบด้วยคลื่น 3 ชนิดคือคลื่นปฐมภูมิ คลื่นทุติยภูมิ และคลื่นพื้นผิว โดยทั่วไปมักใช้คำว่า P-wave, s-wave และ L-wave (Large wave) เป็นคำย่อของคลื่นทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวคลื่นแต่ละชนิดจะเดินทางถึงเครื่องวัดที่สถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวในเวลาต่างกัน P-wave จะเป็นคลื่นแรกที่เดินทางมาถึงก่อน โดยมีแอมพิจูด (amphitude) สั้น P-wave ถ้าเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางที่มีส่วนประกอบไม่เหมือนกันจะมีความเร็วต่างกัน S-wave จะเดินทางมาถึงหลังจาก P-wave แต่มีแอมพิจูดยาวกว่า ส่วน L-wave เป็นคลื่นที่เดินทางมาถึงหลังจาก S-wave ทั้งนี้เนื่องจากมีความเร็วช้าและเดินทางในระยะทางที่ไกลกว่า แต่มีแอมพิจูดยาวกว่า P-wave และ S-wave (ดูรูปที่ 14.5)



รูปที่ 14.5 แสดงคลื่น 3 ชนิดที่เครื่องวัดแผ่นดินไหวบันทึกไว้

(ที่มา : Foster, 1983 หน้า 254)

กราฟระยะทาง-เวลา (travel-time curve) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่คลื่นชนิดต่าง ๆ ใช้ในเดินทางมาถึงสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวกับระยะทางระหว่างจุดอิพิเซนเตอร์กับสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหว ระยะทางดังกล่าวมีหน่วยเป็นกิโลเมตรตามความโค้งของโลกหรือเป็นค่ามุมที่จุดศูนย์กลางของโลกที่รองรับความโค้งการสร้างกราฟระยะทาง-เวลา นี้ต้องมีข้อมูลจากสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวจำนวนมาก (ดูรูปที่ 14.6)

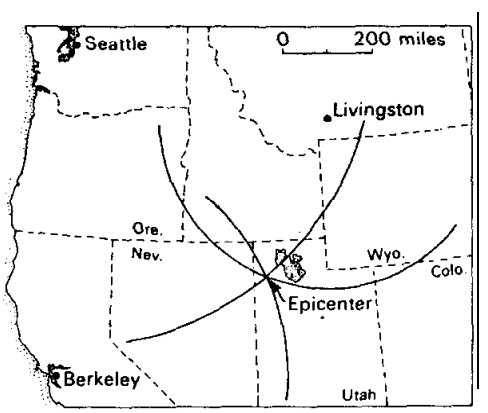


รูปที่ 14.6 แสดงกราฟระยะทาง-เวลาของ P-wave และ S-wave

(ที่มา : Robinson, 1982 หน้า 81)

การหาตำแหน่งของอิพิเซนเตอร์ S-wave จะใช้เวลาในการเดินทางถึงสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวช้ากว่า P-wave ช่วงเวลาที่ต่างกันในการบันทึกคลื่นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงของระยะทางจากสถานีตรวจสอบกับจุดอิพิเซนเตอร์ ดังนั้นจากกราฟระยะทาง-เวลา เรานำค่าที่แตกต่างของคลื่นมาเทียบหาระยะทางระหว่างสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวกับจุดอิพิเซนเตอร์และระยะเวลาที่คลื่นแต่ละชนิดใช้ในการเดินทางมาถึงสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหว (ดูรูปที่ 14.6) นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณเวลาที่เกิดแผ่นดินไหวได้ด้วย โดยหักเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นออกจากเวลาที่คลื่นถูกบันทึก

จากการที่จะหาระยะทางระหว่างสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวกับจุดอิพิเซนเตอร์ได้ ถ้ามีผลการบันทึกคลื่นจากสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวที่ตั้งอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ ตั้งแต่ 3 สถานีขึ้นไป ซึ่งบันทึกแผ่นดินไหวที่เดียวกัน เราก็สามารถที่จะคำนวณหาระยะทางได้ถึง 3 ระยะทาง ดังนั้นตำแหน่งของอิพิเซนเตอร์จึงสามารถหาได้ โดยการเขียนเส้นรอบวงของวงกลม 3 วง มีสถานีตรวจสอบแผ่นดินไหวเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม รัศมีเท่ากับระยะทางที่คำนวณได้จากข้อมูลของสถานีนั้นบนแผนที่ จุดที่วงกลมทั้ง 3 ตัดกันนั้น จะเป็นตำแหน่งของอิพิเซนเตอร์ (ดูรูปที่ 14.7)



รูปที่ 14.7 ตำแหน่งของอิพิเซนเตอร์ จากผลการบันทึกคลื่น 3 สถานี

(ที่มา : Gilluly & Others, 1966 หน้า 468)

14.3 ผลของแผ่นดินไหว

ได้มีการบันทึกความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินไหวที่มีผลทำให้มนุษย์ต้องเสียชีวิตและ

สิ่งก่อสร้างพังทลายเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้แผ่นดินไหวยังทำให้สภาพทางธรณีวิทยาเปลี่ยนแปลงไปด้วย

1. ไฟไหม้ ภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหวอาจมีไฟไหม้ เกิดขึ้นตามมา เนื่องจากสายไฟถูกทำลาย ท่อก๊าซขาด ถ้าแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในบริเวณที่มีผู้คนอยู่อย่างหนาแน่น ความรุนแรงของแผ่นดินไหวจะทำความเสียหายน้อยกว่าไฟไหม้ เพราะนอกจากไฟไหม้จะทำลายอาคารบ้านเรือนแล้ว ยังทำลายชีวิตมนุษย์อีกด้วย

2. ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างต่าง ๆ อาคารบ้านเรือน ถนนและโครงสร้างอื่น ๆ จะได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้าง พื้นที่ที่รองรับโครงสร้างว่าเป็นพื้นที่แบบใด นอกจากนี้ความเสียหายยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความรุนแรงของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนที่ต่อเนื่องกันจะทำให้อาคารบ้านเรือนที่แข็งแรงพังทลายได้เช่นกัน

3. คลื่นใต้น้ำ (seismic sea wave or tsunami) แผ่นดินไหวที่เกิดใต้ทะเลอาจทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีความเร็วของคลื่นสูงมาก จะทำลายชีวิตมนุษย์และทรัพย์สินตามชายฝั่งทวีปและตามหมู่เกาะต่าง ๆ คลื่นใต้น้ำนี้อาจเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟหรือแผ่นดินถล่มใต้ทะเล

4. แผ่นดินถล่ม จะเกิดภายหลังการเกิดแผ่นดินไหว เกิดขึ้นในบริเวณที่เป็นเนินเขามีความลาดมากหรือบริเวณที่พื้นดินร่วนเกิดการสั่นสะเทือนได้ง่าย มักเกิดเป็นบริเวณแคบจะพามวลสารเคลื่อนลงสู่ที่ต่ำหรือลงสู่ทะเล การพังทลายของแผ่นดินถล่มสามารถทำให้เกิดแอ่งใหญ่ขึ้นได้

5. รอยแตกบนพื้นดิน แผ่นดินไหวทำให้พื้นดินแยกออกจากกันกลืนเอาผู้คนและบ้านเรือนลงไป และอาจกลับมาประกบเข้าด้วยกันอีก

6. แผ่นดินเปลี่ยนระดับ แผ่นดินไหวบางครั้งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นดินตามรอยเลื่อน ทำให้ส่วนหนึ่งยกตัวสูงขึ้นและอีกส่วนหนึ่งลดระดับลง เกิดเป็นบริเวณกว้าง

7. เสียง ขณะที่เกิดแผ่นดินไหวจะมีการสั่นสะเทือนทำให้เกิดคลื่นเสียงที่สามารถได้ยิน จะแตกต่างไปจากเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอาคารบ้านเรือน แต่ในบางกรณีก็แยกกันไม่ออก

14.4 การพยากรณ์แผ่นดินไหว

การพยากรณ์แผ่นดินไหว (earthquake prediction) ยังเป็นสิ่งที่เรายังไม่สามารถทราบได้อย่างชัดแจ้ง แม้จะมีความพยายามศึกษาเรื่องนี้มาเป็นเวลานาน โดยเริ่มศึกษาจากการสังเกตธรรมชาติสิ่งแวดล้อมรอบตัว อาศัยประสาทสัมผัสต่าง ๆ จนปัจจุบันด้วยความรู้ทางเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทำให้สามารถพอที่จะรู้ถึงแนวที่จะเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ทั่วโลกว่าจะเกิดขึ้นที่ไหน แต่เมื่อไรยังไม่ทราบ

ในการศึกษาเหตุการณ์ต่าง ๆ เพื่อพยากรณ์ว่าจะมีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นเท่าที่สังเกตได้คือพฤติกรรมของสัตว์ต่าง ๆ จะผิดปกติไปก่อนที่จะมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น เนื่องจากสัตว์มีประสาทสัมผัสไวต่อการเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลของโลกพบว่า ก่อนเกิดแผ่นดินไหวระดับน้ำทะเลที่อยู่ใกล้จุดกำเนิดแผ่นดินไหว มีการลดระดับลงอย่างเห็นได้ชัดโดยตลอด

การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลกในมวลหิน ซึ่งปริมาณความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กโลกในบริเวณนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและระดับของพื้นผิวโลกซึ่งเราไม่อาจสังเกตได้นอกจากเครื่องวัดโดยละเอียด และใช้เป็นข้อมูลแสดงว่าอาจจะเกิดแผ่นดินไหวได้ เช่น วัดการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูง การวัดระดับความเอียง (Tilmeters) การวัดความเคลื่อนตัวของชั้นหินโดยตรง (Creep meter) การวัดความเครียดในหิน (strain gauge) การวัดระดับการนำประจุไฟฟ้าในชั้นหิน วัดการเปลี่ยนแปลงความดันของเหลว (Dilatometer) และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำใต้ดินโดยการวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ปล่อยออกมาจากชั้นดินหิน ระดับน้ำขึ้น-ลงในบ่อ

การเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวที่เครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวบันทึกได้ตามสถานีที่ติดตั้งไว้ตามแนวแผ่นดินไหวใหญ่ของโลก ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวจะลดลงจากระดับปกติ ช่วงระยะเวลาหนึ่งและหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดเข้าสู่ระดับปกติก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหว

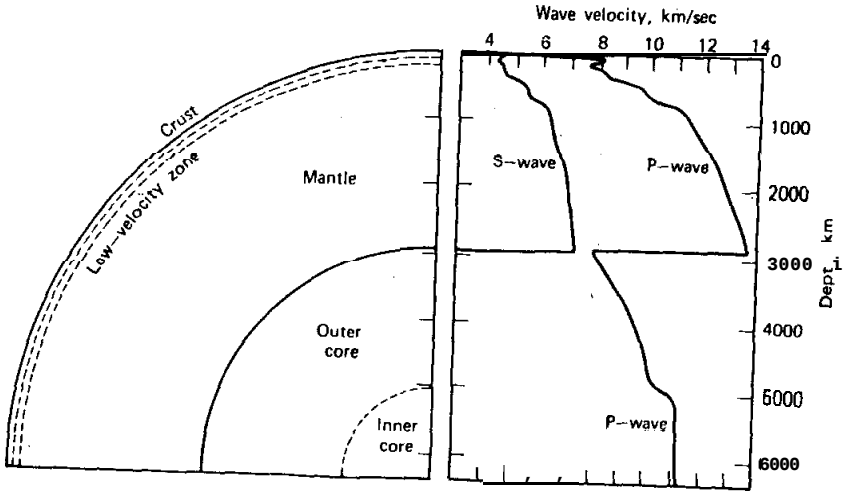
การพยากรณ์แผ่นดินไหวโดยการสังเกตเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ อาจใช้ได้ผลในบางพื้นที่และบางครั้งเท่านั้นเอง

ทฤษฎีการขยายขนาด (Dilatancy theory) ทฤษฎีนี้ถือว่าเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาเกือบทั้งหมด กล่าวคือเมื่อมวลหินตามแนวรอยเลื่อนได้รับและสะสมแรงสูงสุดจนใกล้ถึงจุดแตกหัก มักจะขยายตัวและแตกแยกออกเป็นช่องว่าง มวลของเหลวเช่น น้ำใต้ดินโดยรอบจะไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้ความดันของเหลวในมวลหินเพิ่มขึ้น แรงในหินจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ปรากฏการณ์การเคลื่อนตัวของชั้นหิน การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกหรือแผ่นดินไหวก็จะติดตามมาในที่สุด

ความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวจะลดลงเมื่อมีการขยายตัวของช่องว่างในมวลหินและจะเกิดความเครียดถึงขีดสุด น้ำใต้ดินที่เข้าไปแทนที่ทำให้เร่งความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวใหม่ การแตกหักจะเกิดตามมาอย่างรวดเร็วในช่วงระยะสั้น ๆ ตามมาด้วยการเกิดแผ่นดินไหว

14.5 โครงสร้างส่วนในของโลก

ความรู้จากการศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างส่วนในของโลก เพราะความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวที่ผ่านเข้าไปในโลกจะมีค่าต่างกัน พบว่าคลื่นจะเดินทางด้วยความเร็วสูงหรือความเร็วต่ำขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลาง ถ้าตัวกลางมีความหนาแน่นมากขึ้นคลื่นก็จะมีความเร็วเพิ่มขึ้น ทางเดินของคลื่นจะเป็นเส้นตรงถ้าคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียว แต่ถ้าผ่านตัวกลางต่างชนิดกันคลื่นจะเกิดการหักเห (refraction) และการสะท้อน (reflection) คลื่นเหล่านี้ทำให้ทราบว่าภายในโลกมีส่วนประกอบของหินที่มีคุณสมบัติต่างกัน เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวที่ความลึกต่าง ๆ กันอย่างทันที เราเรียกขอบเขตบริเวณนี้ว่าแนวไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคลื่นซึ่งกำเนิดมาจากแผ่นดินไหวที่ความลึกบางช่วงภายในโลกพบแนวไม่ต่อเนื่องใหญ่ ๆ 2 แนว ทำให้แบ่งชั้นต่าง ๆ ภายในโลกออกเป็น 3 ส่วนคือ ชั้นเปลือกโลก (crust) ชั้นแมนเทิล (mantle) และชั้นแกนโลก (core) (ดูรูปที่ 14.8)



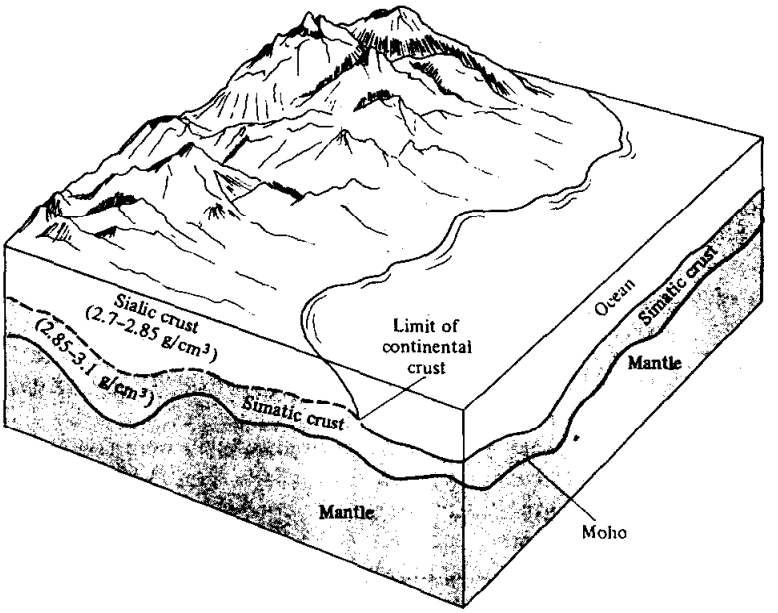
รูปที่ 14.8 แสดงความเร็วคลื่นต่อความลึกในโลก

(ที่มา : Wyllie, 1976 หน้า 93)

ความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่ความลึกระหว่างชั้นเปลือกโลกกับชั้นแมนเทิล ทำให้เกิดแนวไม่ต่อเนื่องชั้น ซึ่งจะอยู่ใกล้ ๆ กับผิวโลก มีความลึกต่าง ๆ กันไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม

นอกจากนั้นเรายังพบแนวไม่ต่อเนื่องที่ระดับลึกประมาณ 2900 กิโลเมตร ทำให้สามารถแบ่งเขตระหว่างชั้นแมนเทิลกับชั้นแกนโลกและที่ความลึกประมาณ 4980 กิโลเมตร ความเร็วของคลื่น P-wave จะเปลี่ยนเล็กน้อย เราเรียกบริเวณนี้ว่า โซนการเปลี่ยนแปลง (transition zone) จะเป็นแนวแบ่งชั้นแกนโลกส่วนนอก (outer core) กับชั้นแกนโลกส่วนใน (inner core)

14.5.1 **ชั้นเปลือกโลก** เป็นชั้นเปลือกนอกสุดของโลกที่เราอาศัยอยู่และรู้จักดี เป็นของแข็ง ชั้นเปลือกโลกจะแยกออกจากชั้นแมนเทิลโดยแนวไม่ต่อเนื่องที่ค้นพบโดยนักธรณีฟิสิกส์ชาวยูโกสลาเวีย ชื่อ Andrija Mohorovicic ในปี 1910 ภายหลังที่ศึกษาคลื่น P-wave และ S-wave ที่เกิดจากแผ่นดินไหวระดับตื้น แนวไม่ต่อเนื่องนี้มีชื่อเรียกว่า Mohorovicic discontinuity หรือ Moho หรือ M-discontinuity แนวนี้จะอยู่ลึกประมาณ 10 กิโลเมตร จากระดับน้ำทะเลในบริเวณท้องมหาสมุทรและประมาณ 32 กิโลเมตรจากพื้นทวีป (ดูรูปที่ 14.9)



รูปที่ 14.9 ชั้นเปลือกโลกส่วนทวีปและส่วนมหาสมุทร

(ที่มา : Ludman & Coch, 1982 หน้า 444)

ชั้นเปลือกโลกแบ่งเป็น 2 ชั้นได้แก่ ชั้นเปลือกโลกส่วนทวีป (continental crust) และชั้นเปลือกโลกส่วนมหาสมุทร (oceanic crust) ชั้นเปลือกโลกส่วนทวีปจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้นรอยต่อระหว่างชั้นไม่ชัดเจนนัก ชั้นบน (upper crust) ประกอบด้วยหินที่มีส่วนประกอบของซิลิกาและอะลูมินัมสูงจึงเรียกส่วนนี้ว่าไซแอล (Sial or sialic layer) จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับหินแกรนิต มีค่าความหนาแน่นประมาณ 2.7-2.85 กรัม/ซม^3 และชั้นล่าง (lower crust) มีส่วนประกอบของซิลิกาและแมกนีเซียมอยู่มาก เรียกหินส่วนนี้ว่าไซมา (Sima or Simatic layer) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับหินบะซอลต์ มีความหนาแน่นประมาณ 2.85-3.1 กรัม/ซม^3 และชั้นเปลือกโลกส่วนมหาสมุทรจะประกอบด้วยชั้นหินไซมาเพียงอย่างเดียว

ความหนาของชั้นเปลือกโลกจะไม่สม่ำเสมอ ความหนาเฉลี่ยประมาณ 5-40 กิโลเมตร จะมีความหนามากบริเวณภูเขาและความหนาจะค่อย ๆ ลดลงในบริเวณที่ราบและที่ราบเก่า (shield) และจะบางลงในบริเวณไหล่ทวีปและบางที่สุดในบริเวณพื้นมหาสมุทรใกล้สันเขา ชั้นหินไซแอลจะขยายออกไปถึงแค่ส่วนไหล่ทวีป ดังนั้นขอบเขตของทวีปจะอยู่ที่ส่วนขอบไหล่ทวีปมากกว่าแนวชายฝั่ง

14.5.2 **ชั้นแมนเทิล** เป็นชั้นที่อยู่ลึกลงไปจากชั้นเปลือกโลก มีความหนาลึกลงไปจนถึงประมาณ 2900 กิโลเมตร ส่วนประกอบของชั้นนี้จะเป็นของแข็ง คลื่นแผ่นดินไหว P-wave และ S-wave ผ่านได้เร็วกว่าชั้นเปลือกโลกและความเร็วจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงความลึกประมาณ 2900 กิโลเมตร ความเร็วของคลื่น P-wave จะลดลงและ S-wave หายไป เกิดแนวไม่ต่อเนื่องชั้นระหว่างชั้นแมนเทิลกับชั้นแกนโลก เรียกแนวนี้ว่า Gutenberg discontinuity

ชั้นแมนเทิลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชั้นแมนเทิลส่วนบน (upper mantle) และชั้นแมนเทิลส่วนล่าง (lower mantle) ชั้นแมนเทิลส่วนบนอยู่ที่ความลึกประมาณ 650 กิโลเมตรจากเปลือกโลก หินที่ประกอบอยู่ในชั้นนี้มีความหนาแน่นและแข็งมากกว่าหินชั้นเปลือกโลก ค่าความหนาแน่นที่วัดได้ในบริเวณที่ใกล้ชั้นเปลือกโลกประมาณ 3.3 กรัม/ซม^3 และลึกลงไปในชั้นแมนเทิลส่วนล่างใกล้กับชั้นแกนโลก ค่าความหนาแน่นประมาณ 5.5 กรัม/ซม^3 เชื่อกันว่าในชั้นแมนเทิลจะมีส่วนประกอบคล้ายกับลูกอุกกาบาตหิน (stony meteorites) ประกอบด้วยแร่โอลิวีนและแร่ไพรอกซีน เป็นหินชนิดอัลตราเบสิก เช่น หินเพริโดไทต์ โดยเฉพาะในชั้นแมนเทิลส่วนบนจะประกอบด้วยหินเพริโดไทต์ และยิ่งลึกลงไปแร่ที่เป็นส่วนประกอบในหินเพริโดไทต์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความกดดันและท้ายสุดแร่โอลิวีนอาจแตกตัวออกเป็นออกไซด์ของเหล็ก แมกนีเซียมและซิลิกอน การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหิน สังเกตได้จากความเร็วของคลื่นแผ่นดินไหวที่เปลี่ยนความเร็วอย่างทันที ในชั้นแมนเทิลส่วนล่างที่ความลึกมากกว่า 700 กิโลเมตร คลื่นแผ่นดินไหวจะเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอเนื่องจากส่วนประกอบคงที่

ในชั้นแมนเทิลส่วนบนที่ความลึกประมาณ 70-100 กิโลเมตร จะมีแนวไม่ต่อเนื่องที่เรียกโซนความเร็วต่ำ (low-velocity zone) เกิดขึ้น หินที่อยู่เหนือโซนความเร็วต่ำประกอบด้วยส่วนของชั้นเปลือกโลกและชั้นแมนเทิลส่วนบนรวมเรียกธรณีภาคชั้นนอกหรือชั้นลิโทสเฟียร์ (lithosphere) หินในส่วนนี้จะเปราะ และส่วนที่อยู่ใต้ชั้นลิโทสเฟียร์คือธรณีภาคชั้นกลางหรือชั้นแอสทิโนสเฟียร์ (asthenosphere) ซึ่งคือโซนความเร็วต่ำ เป็นส่วนของหินที่อ่อนไหวได้ในชั้นแมนเทิลส่วนบน

14.5.3 **ชั้นแกนโลก** เป็นบริเวณส่วนในสุดของโลกตั้งแต่ระดับความลึก 2900 กิโลเมตรเป็นต้นไปจนถึง 6370 กิโลเมตร ชั้นแกนโลกแบ่งออกเป็น ชั้นแกนโลกส่วนนอกและชั้นแกนโลกส่วนใน ในชั้นแกนโลกนี้ความเร็วคลื่น P-wave จะลดลงในตอนแรกและค่อย ๆ

เพิ่มขึ้นเมื่อเดินทางลึกลงไปถึงระดับประมาณ 4890 กิโลเมตร จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างทันที เกิดโซนการเปลี่ยนแปลงขึ้น ส่วนคลื่น S-wave ไม่สามารถเคลื่อนผ่านเข้าไปได้เลย แสดงว่าในชั้นแกนโลกส่วนนอกประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะหลอมเหลวและในชั้นแกนโลก ส่วนในประกอบด้วยวัตถุที่เป็นของแข็ง จากการศึกษาลูกอุกกาบาตเหล็ก (iron meteorites) มีส่วนประกอบที่สำคัญเป็นเหล็กและนิกเกิล และค่าสนามแม่เหล็กโลก รวมทั้งค่าความหนาแน่นที่วัดได้ประมาณ 10-13.5 กรัม/ซม^3 ส่วนประกอบของชั้นแกนโลกควรจะเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและนิกเกิล ทั้งสภาพของเหลวและของแข็ง

14.6 สรุป

แผ่นดินไหวเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเมื่อแผ่นดินถูกทำให้ผิดรูปจนกระทั่งแตกหัก ทฤษฎีการหดตัวกลับอธิบายว่าหินมีการสะสมความเครียดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนหินแตกอย่างทันทีและเกิดการเคลื่อนที่พร้อมทั้งปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ออกมาในรูปของคลื่นแผ่นดินไหว

โฟกัสหรือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวจะอยู่ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กันแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ ระดับตื้น ระดับปานกลาง และระดับลึก และตำแหน่งบนผิวโลกที่อยู่เหนือจากโฟกัสตรงดิ่งขึ้นมาในแนวตั้งฉากคืออิพิเซนเตอร์ หรือจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว

สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหวมีหลายสาเหตุ เช่น การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกตามแนวรอยเลื่อนหรือตามทฤษฎีเพลตเทกโทนิก การระเบิดของภูเขาไฟ แผ่นดินถล่มหรือถ้ำถล่ม และจากการกระทำของมนุษย์

แผ่นดินไหวส่วนมากเกิดขึ้นตามขอบของเพลตในแนวรอบมหาสมุทรแปซิฟิก แนวเมดิเตอร์เรเนียน-เอเชียติก และแนวสันเขาใต้สมุทร

ความรุนแรงของแผ่นดินไหววัดได้ตามมาตราเมอร์คัลลิดัดแปรโดยอาศัยความรู้สึกของมนุษย์และสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว

ส่วนขนาดของแผ่นดินไหวใช้มาตราริคเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดขนาดของพลังงาน โดยอาศัยแอมพลิจูดที่บันทึกจากเครื่องวัดแผ่นดินไหว

คลื่นที่เกิดจากแผ่นดินไหวประกอบด้วย คลื่นปฐมภูมิ (P-wave) คลื่นทุติยภูมิ (S-wave) และคลื่นพื้นผิว (L-wave) จะถูกบันทึกได้โดยเครื่องวัดแผ่นดินไหว คลื่นทั้ง 3

ชนิดจะเดินทางมาถึงเครื่องรับในเวลาที่ต่างกัน ทำให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งอิพิเซนเตอร์หรือจุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหวได้

ผลของแผ่นดินไหว ทำให้เกิดไฟไหม้ ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างต่าง ๆ คลื่นใต้น้ำ แผ่นดินถล่ม รอยแตกบนพื้นดิน แผ่นดินเปลี่ยนระดับ เสียง

การพยากรณ์แผ่นดินไหวยังคงศึกษากันอยู่โดยอาศัยสังเกตพฤติกรรมของสัตว์ต่าง ๆ การเปลี่ยนระดับน้ำทะเลของโลก การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลกในมวลหิน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและระดับของพื้นผิวโลก การเปลี่ยนแปลงของคลื่นแผ่นดินไหว การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้เป็นไปตามทฤษฎีการขยายขนาด

การศึกษาคลื่นแผ่นดินไหวทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างส่วนในของโลกว่าประกอบด้วย ชั้นเปลือกโลก ชั้นแมนเทิล และชั้นแกนโลก ชั้นเปลือกโลกแบ่งเป็นชั้นเปลือกโลกส่วนทวีปประกอบด้วย หินไซแอลตอนบนและไซมาตอนล่าง และชั้นเปลือกโลกส่วนมหาสมุทรประกอบด้วยหินไซมา ชั้นแมนเทิลจะมีความหนามากกว่าชั้นเปลือกโลก แบ่งเป็นชั้นแมนเทิลส่วนบนประกอบด้วยหินเพริโดไทต์ และชั้นแมนเทิลส่วนล่างประกอบด้วยออกไซด์ของเหล็ก แมกนีเซียมและซิลิกอน ชั้นแกนโลก แบ่งเป็นชั้นแกนโลกส่วนนอกประกอบด้วยวัตถุที่เป็นของหลอมเหลว และชั้นแกนโลกส่วนในประกอบด้วยวัตถุเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและนิกเกิลในสภาพของเหลวและแข็งตามลำดับ

แบบฝึกหัดบทที่ 14

1. อธิบายการเกิดแผ่นดินไหวตามทฤษฎีการหดตัวกลับ
2. โฟกัสและอิพิเซนเตอร์คืออะไร อธิบาย
3. แผ่นดินไหวเกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง
4. มนุษย์สามารถทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้อย่างไร
5. บอกแนวแผ่นดินไหวที่สำคัญในโลกและอธิบาย
6. อธิบายความแตกต่างของการวัดระหว่างความรุนแรงของแผ่นดินไหวกับขนาดของแผ่นดินไหว
7. อธิบายชนิดและคุณสมบัติของคลื่นแผ่นดินไหวต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการเกิดแผ่นดินไหว และมีการบันทึกคลื่นแผ่นดินไหวอย่างไร
8. คลื่นแผ่นดินไหวใช้หาตำแหน่งอิพิเซนเตอร์ได้อย่างไร
9. อธิบายผลของแผ่นดินไหว
10. แผ่นดินไหวสามารถพยากรณ์ได้อย่างไร
11. อธิบายทฤษฎีการขยายขนาด
12. อธิบายพฤติกรรมของ P-wave และ S-wave เมื่อผ่านเข้าไปในโลกเป็นอย่างไร และใช้แบ่งโครงสร้างส่วนในของโลกอย่างไร
13. ชั้นเปลือกโลกแบ่งออกเป็นส่วนใดบ้าง มีความหนาเพียงใดและประกอบด้วยหินอะไรบ้าง
14. ชั้นแมนเทิลแบ่งออกเป็นกี่ส่วน ประกอบด้วยอะไร และหลักฐานใดที่สนับสนุนส่วนประกอบนี้
15. ชั้นแกนโลกแบ่งออกเป็นส่วนใดบ้าง มีส่วนประกอบเป็นอย่างไร และหลักฐานใดที่สนับสนุนส่วนประกอบนี้