

## 지진과 지각변동<sup>1)</sup>

김 주 환<sup>2)</sup>

한국자연환경보전협회부회장 · 동국대학교 명예교수

### 개 관

지각변동이 일어날 때는 지진이 수반되는 경우가 대부분이기 때문에 지진과 지각변동과는 불가분의 관계이다. 따라서 지진과 지각변동에 관한 이해는 지표의 지형형성작용을 이해하는 데 필수적인 과정이라고 할 수 있다.

지진은 지각이 끊어질 때 생기는 막대한 양의 에너지가 일시적으로 지구에 주는 충격으로 일어난다. 가장 유력한 학설은 판구조운동에 의한 이론이다. 지진이 많은 곳을 지진대라고 하며 환태평양지진대와 유라시아지진대를 들 수 있다. 또한 지진은 활단층과도 밀접한 관계를 가지고 있으며 그 피해는 지반조건과도 밀접한 관계가 있다고 생각된다.

세계 곳곳에서는 크고 작은 지진이 일어나고 그에 따른 결과로 다양한 크기의 재해를 입고 있다. 따라서 세계 여러 나라에서는 지진의 방재와 대피요령에 대한 관심이 크다. 그러나 현 단계에서는 지진을 정확하게

예보하는 것이 불가능하다.

이러한 지진 등은 지각변동과 직간접으로 연결되어 있으며 이러한 지각변동은 판구조운동과도 밀접한 관련이 있다. 현재 지각변동이 진행되고 있는 지대를 변동대라고 하며 그 예로는 환태평양 변동대, 알프스 히말라야 변동대, 그리고 해저에는 중앙해령과 해구지대를 들 수 있으며 지각의 광역운동으로는 조산운동과 조륙운동이 있다.

현재 대륙판들은 해양판과 두께 및 열전도의 차이, 지구의 자전 등에 의해 해마다 몇cm 씩 움직이고 있다. 안정대륙의 내부는 대륙지각 하부로 넓고 오래되었으며 평탄할 뿐 아니라 안정된 선캄브리아계대로 되어 있는 강괴인 순상지로 되어 있다. 이것은 오래된 결정질 기반암이며 대륙지각의 핵심을 이루기도 한다.

지각변동의 증거로는 해안의 상하운동, 해안단구, 수몰육지, 육지의 상하운동, 심성암과 변성암의 노출, 단층이나 습곡 등과 같이 퇴적암에서 볼 수 있는 증거 등 매우 다양한 예를 찾아볼 수 있다.<sup>3-6)</sup>

1)Earthquake & Diastrophism

2)KIM, Joo Hwan, Vice President, KACN · Emeritus Professor of Dongguk University

3)<http://www.keercis.snu.ac.kr/keerc/korean/front/keerc-k.html>

4)<http://www.eqstory.skku.ac.kr>

5)<http://www.safe.or.kr>

6)<http://www.ysgeo.yunsei.ac.kr/iegschool/geology/crest01.htm>



지진 경관(1889, California)<sup>7)</sup>



고베지진



고베지진

<sup>7)</sup>H. J de Blij, Peter O, Muller, 1966, *ibid.*, p. 369



터키의 지진피해(1889.8, 17,000명 실종 California)<sup>8)</sup>



고속도로 피해(1971, 미국)<sup>9)</sup>



지진에 의한 피해(1964, 알래스카)<sup>10)</sup>



빌딩의 붕괴(1985, Mexico지진)<sup>11)</sup>

8)E. J. Tarbuck etc, 2008, *Earth*, Pearson Education, Inc., p. 297

9)C. W. Montgomery, 2006, *Environmental Geology*, McGraw-Hill Book & Co. Ltd., p. 34

10)S. Chemicoff etc, 2003, *Essentials of Geology*, Houghton Mifflin Co., p. 205

11)C. W. Montgomery, 2006, *Environmental Geology*, McGraw-Hill Book & Co. Ltd., p. 74

## I. 지진에 관한 이해

### 1. 지진의 원인과 다발지역

지진은 지각이 끊어질 때 생기는 막대한 양의 에너지가 일시적으로 지구에 주는 충격으로 일어난다. 지진의 원인으로는 화산폭발·핵실험·관구조론 등 여러 학설이 있으나 이 중 가장 유력한 것은 관구조운동에 의한 이론이다. 지구의 지각은 크게 태평양판·아메리카판·유라시아판 등 13개의 판으로 나뉘어져 있으며 세계 지진의 90% 이상은 이들 판의 경계부분에서 일어난다. 이들 판이 밀치고 밀릴 때 모서리가 서로 맞부딪쳐 생겨나는 충격과 지진으로 나타나는 것이다. 이들 판은 지표에서 5~65 km의 두께로 그 밑의 액체 상태로 되어 있는 맨틀 위를 떠다니고 있다.

지진은 지구상의 어느 곳에서나 발생하는 것이 아니다. 지진이 발생하는 장소는 한정되어 있으며 이같이 지진이 많이 발생하는 곳을 지진대라고 한다. 세계 지진의 약 80% 이상은 환태평양지진대에 집중되어 있다. 환태평양지진대 다음으로는 유라시아지진대에서 지진이 많이 발생한다.

지진은 활단층(活斷層, active fault)과 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 활단층이란 제4기(약 200만 년 전) 이후 현재까지의 사이에 단층활동이 있었고 또한 앞으로도 활동을 할 것으로 예상하는 단층이다. 그런 의미에서 가장 전형적인 활단층은 아메리카 캘리포니아 주의 길이 1,200 km에 이르는 산안드레아스단층(San Andreas)이다. 활단층은 주변의 지형·지질로부터 몇 년 간격으로 나타날지 그리고 그 규모가 어느 정도일지 추정할 수 있으며 또한 단층의 길이와 1회의 변위량(變位量, displacement)을 추정하여 어느 정도 규모의 지진이 발생하는지를 예측할 수 있다.

그러나 개개의 활단층에서 가장 알고 싶은 즉 ‘언제 활동하여 지진을 발생시킬 것인가’하는 것은 지금으로서는 정확하게 알기 어렵다. 그러나 몇 년 후에 활동할 것인가 하는 것은 대략 예측할 수 있게 되었다. 이것은 활단층의 주향(走向)에 직각 방향으로 구(溝, trench)를 파고 단층의 변위량이나 변위 연대, 활동시기 등을 조사하는 것이다. 이들 연구가 진행되면 현재보다 더 장기적인 지진예보가 가능해질 것으로 생각된다.

### 2. 지진 피해와 지반조건

지반과 지진재해의 관계성에 대해서는 오래 전부터 인식되어 왔고 여러 지역에 상당히 오래된 기록들이 남아 있다. 이러한 종류의 기록을 일찍부터 수집해 왔던 존 밀튼(1850~1913)의 논문에 따르면, 가장 오래된 기록은 1692년 카리브 해 자마이카섬의 대지진 기록이다. 당시 지진으로 저습지에 비해 암반(岩盤, bedrock)상의 건축 피해가 적었다는 기록이 남아 있다. 여기서 암반이란 암석으로 이루어진 지반(地盤)을 말하며 암반에 대하여 개개의 암괴를 암석이라고 한다. 개개의 암석은 단단하여 단성체에 가까우나 암반의 역학적인 성질은 절리, 단층, 풍화에 의해 지배한다.

지반 조건에 따라 지진재해의 크기가 결정된다. 지반조건이 나쁘면 재해도 그만큼 커지게 되는 것이다. 지진재해적인 측면에서 좋은 지반은 층적층이 없든가 아니면 극히 얇은 장소이며, 나쁜 지반이란 층적층이 두꺼운 장소를 말한다.

결론적으로, 균일하고 단단한 지층이 훨씬 지하 깊은 곳까지 연속되어 있으면 좋은 지반이고 결국 지진에 강하다. 반대로 부드럽고 물을 함유한 지층이 깊은 장소, 혹은 부드러운 지층과 단단한 지층이 교대로 겹쳐져 있는 장소는 지반이 나쁘며 지진에 약하

다. 그러나 우리가 직접 볼 수 있는 지표의 지층만으로는 쉽게 판단하기 어렵다. 지표의 흙은 오랜 기간 동안 풍화되었거나 다른 장소로부터 운반되어온 흙이 쌓여 있는 경우가 많기 때문이다.<sup>12)</sup>

지진재해와 관련하여 소위 연약지반(軟弱地盤)이라는 말을 많이 사용한다. 말 자체는 단단한 지반에 대해 부드럽고 지진에 약한 지반이라는 어감을 갖지만 정확하게는 무엇

을 말하는 것일까. 실제로는 지질학이나 토질학에서 연약지반이라는 말을 명확하게 정의하고 있지는 않으나 일반적으로 충적층이 두꺼운 장소를 말한다.

그러나 선상지·하안단구·자연제방·범람원 등에 나타나는 사력층(砂礫層)은 견고한 지반으로서 결코 연약지반이라고 볼 수는 없다. 연약지반은 저지·요지(凹地)·물과 관계 있는 장소 등이라고 생각하면 좋을 것이다.

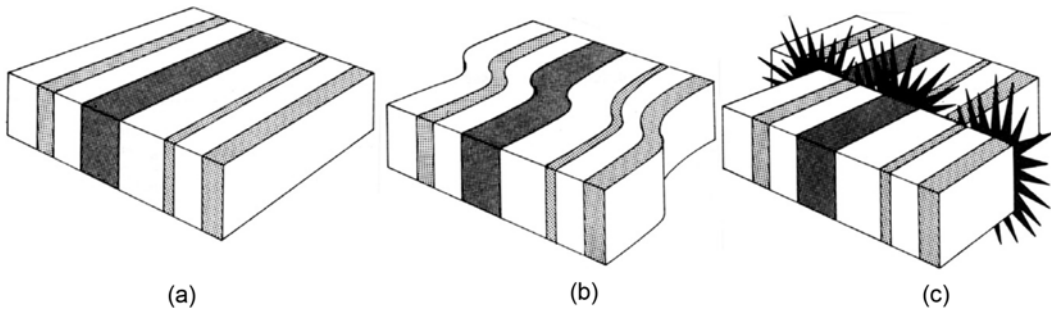


그림 1. 지진의 기원<sup>13)</sup>

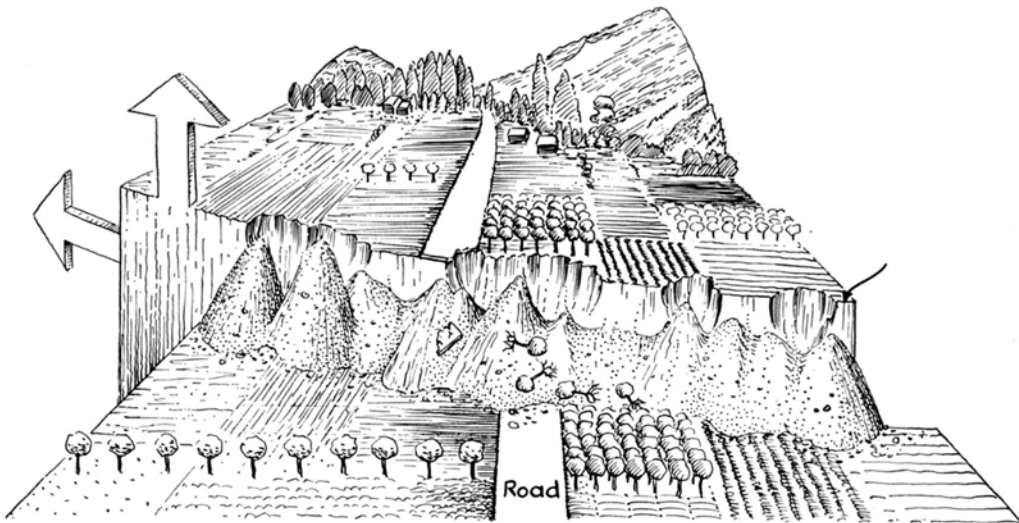


그림 2. 지진이 일어나는 동안 절벽의 형성

12)김주환·권동희, 1990, 환경재해, 신라출판사, pp. 137~144

13)W. Kenneth Hamblin, 1975, *The Earth's Dynamic Systems*, Burgess Publishing Co., p. 345

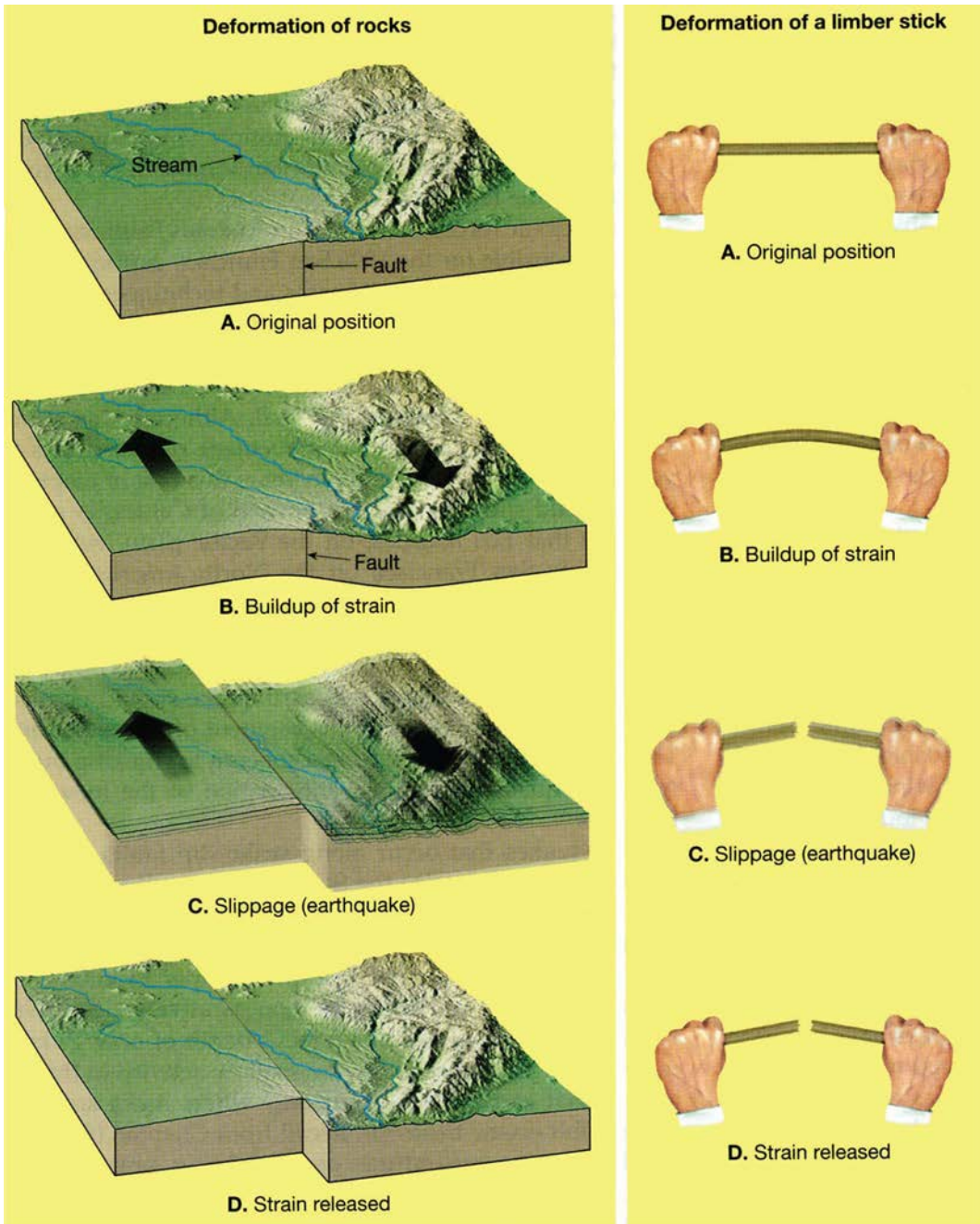


그림 3. 탄력의 만회<sup>14)</sup>

암석이 변형될 때 암석은 휘면서 탄력에너지를 저장한다. 한때 그것이 탄성 한계를 넘으면 부서지고 저장되었던 에너지는 지진파의 형태로 방출된다.

14)E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 299

하구의 삼각주·하천연안의 저지·곡저지·구하도·자연제방이나 사구의 배후습지·선상지의 말단 등이 여기에 해당된다. 또한 간척지·매립지·성토지(盛土地) 등 인공지반도 대부분 연약지반에 속한다고 할 수 있다.

### 3. 지진재해의 예

세계 곳곳에서는 크고 작은 지진이 일어나고 그에 따른 결과로 다양한 크기의 재해를 입고 있다. 몇 가지 예를 들면 다음과 같다.

일본 관동대지진은 1923년 9월 1일 오전

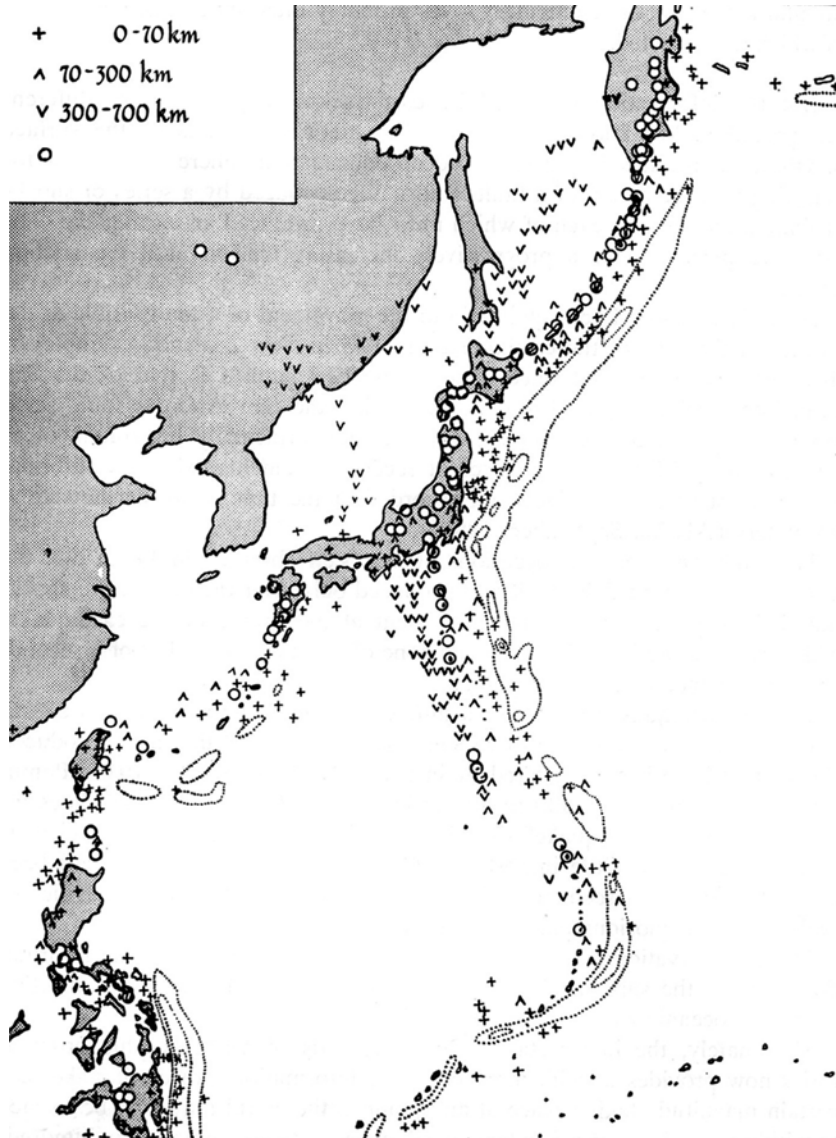


그림 4. 지진과 화산 분포 지역(일본 지역)<sup>15)</sup>

15) Jean Goguel, 1952, Tectonics, W. H. Freeman and Company, p. 320

11시 58분 상모만(相模灣) 북부에 진원을 갖는 진도 7.9의 지진이 발생하였다. 이 지진은 신내천현(神奈川縣), 동경부(東京府), 천엽현(千葉縣)을 중심으로 많은 구조물에 피해를 주었다. 그리고 사망자와 행방불명자 14만 명이라는 인명피해를 가져왔다. 이 같은 큰 재해를 가져온 것은 지진 자체의 피해라기보다는 지진 후에 동경(東京)과 횡빈(橫濱)에서 맹위를 떨쳤던 화재에 의한 피해가 심했기 때문이다.

샌프란시스코 지진은 1989년 10월 17일 오후 5시 4분, 15초 동안 샌프란시스코 일대를 강타한 진도 6.9의 강진으로 샌프란시스코 항만지역과 시내중심가 및 금융가가 완전히 마비되었다. 최소한 272명이 사망하고 1,400여명이 부상했으며 재산피해는 10억 달러 이상으로 집계되었다. 대지진이 강타한 캘리포니아주는 세계에서 지진 관측망이 가장 잘 되어 있는 지역의 하나로 알려져 있으나 이 같은 갑작스런 지진에는 한계가 있다고 학자들은 지적하였다.

우리나라는 지진재해의 안전지역으로 알려져 왔으나 1978년 10월 7일에 있었던 흥성 지진 이후 지진재해의 위험성에 대한 인식이 높아지고 있는 실정이다. 한반도의 지진구(地震區)는 원산 아래 안변·평강·금화에 이르는 추가령(楸哥嶺)지역을 중심으로 서북부와 남부 지진구로 구분된다. 이것은 이 지구대가 지각운동에 따른 단층대이기 때문이다. 또 일부 학자들은 목포와 삼척, 전라북도 옥구와 강릉을 잇는 옥천 지향사대가 아판(亞板) 경계지역으로 지진발생이 많다고 설명한다. 이들은 모두 판구조(板構造)에 기인한 것이다. 한반도에서 피해를 일으킨 강진지역은 전체적으로 산맥과 산지보다는 하

천과 단층지대에 몰려 있다. 하천유역에 지진이 강한 것은 하천이 보통 지진구조이기 때문이다. 지진에 관한 기록은 진원에서 발생한 지진파는 전파속도가 서로 다른 S파와 P파로서 매질 속을 통과하는 동안 반사, 굴절, 분산의 현상이 일어나 관측점에는 여러 가지 서로 다른 파(波)가 도달한다. 이러한 지진파를 연속해서 기록한 것을 지진기록이라고 한다. 과거의 지진 발생통계를 볼 때 우리나라의 지진은 20세기에 들어와 증가추세를 보이고 있다. 2,000년간 기록을 추정하면, 한반도가 지진안정대라고 말하기보다는 세계의 큰 지진대처럼 대지진이 없을 뿐이라고 설명하는 것이 옳을 것이다.<sup>16)</sup>

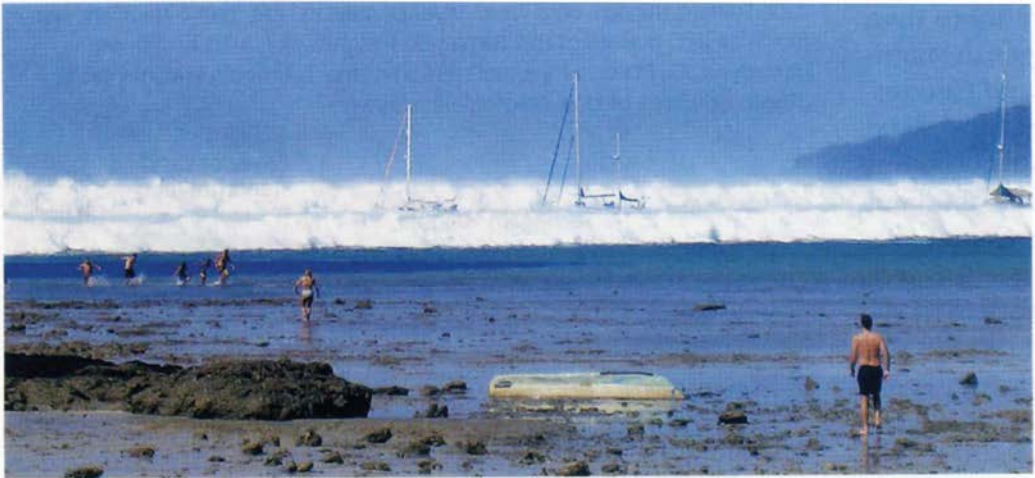
표 1. 세계 주요 지진 재해 기록 <sup>17)</sup>

발생일시	지역	사망자수	규모
1908/12/28	이탈리아, Messina	20,000	7.5
1915/1/13	이탈리아, Avezzano	30,000	7.0
1920/12/16	중 국, Kansu	180,000	8.5
1923/9/1	일 본, Kwanto	143,000	8.2
1932/12/26	중 국, Kansu	70,000	7.6
1935/5/31	파키스탄, Quetta	60,000	7.5
1939/1/24	칠 레, Chillan	30,000	7.8
1939/12/27	터 키, Erzincan	23,000	8.0
1960/2/29	모로코, Agadir	14,000	5.9
1962/9/1	이 란, Qazvin	14,000	7.3
1968/8/31	이 란	11,600	7.4
1970/5/31	페 루	66,000	7.8
1976/2/4	과테말라	22,000	7.9
1976/7/27	중 국, Tangshan	242,000	7.6
1978/9/16	이 란, Tabas	15,000	7.7
1988/12/07	아르메니아, Spitak	25,000	6.8
1990/6/20	이 란, Rasht	45,000	7.7
1999/8/17	터 키, 이즈밋	15,657	7.4
2001/1/26	인 도, 구자라트	18,000	7.7
2004/12	인도네시아	300,000	8.9
2008/5/11	중국 스촨성 동부	69,142	7.8

16)김주환·권동희, 1990, 전거서, pp. 158~164

17)http://www.kma.go.kr/sub/sub\_body93.htm

A



B



그림 5. 인도네시아 초나미 피해<sup>18)</sup>  
A: 외국인 관광객이 해안으로 들어가고 있다.  
B: 100일 후 인도네시아 거리의 모습

18) E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 313



그림 6. 멕시코 지진 때 파괴된 건물(1985)<sup>19)</sup>



그림 7. 멕시코 지진의 피해(1985)<sup>20)</sup>

19)E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 312

20)E. A. Keller etc, 2006, Natural Hazards, Pearson Education, Inc., p. 47

#### 4. 지진의 방재와 대피요령

현 단계에서 지진을 정확하게 예보하는 것은 불가능하므로 각국에서는 사전에 내진규정에 의해 규제를 가하고 있다. 지진국가인 일본은 건물높이·지반·구조·지역에 따라 철저한 내진규정을 적용하고 있다. 한 예로 원자력발전소 부지는 그 지역에서 일어날 수 있는 진도보다 1.5배의 진도를 견딜 수 있도록 하고 있다. 여기서 진도란 지진강도(地震強度, earthquake intensity)를 말하는 것으로 어느 특징지역에서 지진의 영향을 측정하는 것이다. 이는 지진규모(地震規模, earthquake magnitude)에만 의존되는 것이 아니고 진원으로부터 진앙까지의 거리와 지역 지질에도 영향을 받는다. 미국은 전 지역을 지진발생 정도에 따라 0에서 3까지 4단계로 구분하고 여기에 건물 종류에 의해 각기 다른 규정이 적용된다.

가장 전형적인 활단층(活斷層, active fault) 지대인 산안드레아스 단층대 지역의 경우, 단층을 따라 400 m 내에서는 공공건물 즉 학교나 병원 등, 그리고 항구적인 건물의 건축이 금지되어 있다. 그러나 목조 2층 가옥 정도의 개인주택은 규제를 받지 않고 있다. 원자력발전소는 특히 규정이 까다로워 300 km 안의 모든 단층과 지진구는 그 활동성 여부

를 체크하도록 되어 있다.

국내에도 내진규정은 있으나 발전소나 댐 이외에는 강력히 시행되지 않고 있다.

국내의 댐이나 원자력발전소는 진도 5에도 견딜 수 있도록 설계되어 있으며 발전소의 경우 암반위에 건설되어 2 이상의 지진도 견딜 수 있다. 국내에서의 본격적인 지진 연구는 1978년 홍성지진이 일어난 후부터이다.

우리나라는 지진에 의한 재해를 입을 확률이 매우 적지만, 과거 상당한 규모의 지진이 발생한 일이 있고 최근에는 지진 발생 건수가 증가하고 있으므로 어느 정도는 지진 재해에 대한 대피 요령을 알아두는 것이 좋을 것이다.<sup>21)</sup>

지진이 발생했을 경우 각 개인이 취해야 할 기본적인 요령은 다음과 같다.

화장실이나 욕실에 있었을 경우 이 지역은 비교적 안전지대이다. 당황하지 말고 침착하게 물을 끄고 최소한도의 옷을 입고 대기한다. 거리에 있을 경우, 간판이나 유리가 떨어져 내릴 수가 있으므로 도로 한가운데로 피한다.

자동차를 타고 있을 경우, 도로 우측에 자동차를 세워놓고 엔진을 끄며 문을 잠근 차에서 떨어진 곳으로 대피한다.

#### 지진 대피요령<sup>22)</sup>

##### 1. 실내에 있을 때

○ 탁자 등의 밑으로 들어가서 몸을 보호해야 해요.

지진이 발생하면 1분 정도만 큰 진동이 있으므로, 이 시간 동안 특히 몸을 보호하도록 노력해야 합니다.

○ 서둘러서 밖으로 뛰어나가면 안돼요.

집 밖은 떨어지는 물건 등으로 매우 위험하니, 서둘러서 밖으로 뛰어나가지 말고, 집 밖의 안전을 먼저 확인한 후 탈출해야 합니다.

21)김주환·권동희, 1990, 전거서, p. 166

22)http://www.seoul.go.kr

### 지진 대피요령 (계속)

2. 실외에 있을 때

차에 타고 있을 때에는 자동차를 길가에 세우고, 재난 방송을 청취합니다. 지진의 진동이 멈추면, 차를 지진 피해수습에 지장이 없도록 주차하고, 안전한 곳으로 대피 합니다.

3. 해안에서 지진해일을 어떻게 피해야 하나요?

○ 우리나라에서는 일반적으로 일본 서해안 바다에서 규모 7.0 이상의 지진이 발생하면, 약 1시간 30분에서 2시간 후 동해안에 지진 해일이 도달할 것으로 예상됩니다.

- 지진해일은 최대 3~4m 정도의 파고로 동해안 전역을 내습할 것입니다.
- 이러한 지진해일로 인해 해안가 저지대가 침수되고, 많은 인명과 재산 피해가 발생할 수 있습니다.
- 지진해일은 여러 차례 열을 지어 도달하는데 처음 지진해일이 도달한 후에 2~3차례 더 지진해일이 오게 됩니다.

지진해일은 처음보다는 다음에 오는 것이 더욱 강력할 수도 있으며, 지진해일에 의한 바닷물의 흔들림은 길게는 10시간 이상 지속되기도 합니다.

4. 화재가 발생하면 어떻게 피해야 하나요?

○ 지진이 발생할 때 많이 생기는 피해는 건물의 붕괴와 같은 직접적인 피해와 2차적으로 발생하는 화재 피해입니다.

- 대피 시 손수건이나 걸옷 등으로 입과 코를 막아 연기를 맡지 않도록 합니다.
- 화재 발견 시 연기가 자욱하게 깔려 있을 때에는 가까이 가지 않도록 합니다.
- 바닥에서부터 20 cm 정도는 공기가 남아 있으므로 바닥 가까이 납작 엎드려 자세를 낮추고 대피해야 합니다.
- 2층에서 뛰어 내릴 때에는 이불, 요, 담요, 방석 등을 낙하지점으로 떨어뜨리고 그 위로 뛰어 내립니다.
- 옷에 불이 붙었을 때는 침착하게 담요로 몸을 감싸거나, 방바닥이나 마룻바닥에 드러누워 뒹굴 면서 손으로 두들겨 끕니다.

## II. 지각변동에 관한 이해

### 1. 지각변동

지구 내부의 원인으로 급격하거나 완만한 지각의 움직임으로 생기는 지각의 변형 및 그 변위를 지각변동이라고도 한다. 지진·화산작용과 이에 수반하여 일어나는 단층(斷層) 또는 완만한 지각의 상하운동 같은 것은 급격히 일어나므로 그 변화량을 측정할 수 있다. 그러나 조산운동·조륙운동(造陸運動)·지괴운동과 이에 수반 하는 단층이나 습곡(褶曲) 등은 지질시대를 통하여 오랜 시

간에 걸쳐 일어나므로 그 변화 과정을 관찰하기가 어렵다. 또한 판구조운동(板構造運動)과 관련하여 나타난 중앙해령·해구·화산열도·변환단층도 지각변동의 산물이다. 해안단구(海岸段丘)·하안단구, 높은 산에서 바다에서 사는 동물화석의 산출, 리아스식해안, 습곡산맥 등은 지각변동의 증거로 관찰할 수 없는 현상이나 지형의 대표적인 것이고, 화산이나 지진은 늘 볼 수 있는 증거이기도 하다.

현재 지각변동이 진행되고 있는 지대를 변동대(變動帶)라고 하며, 이 지대에서는 화산

작용과 지진현상이 수반되고 있다. 그 대표적인 지대가 환태평양 변동대와 알프스·히말라야 변동대이고 해저에는 중앙해령대와 해구지대이다. 이와 같은 변동대에서는 지각이 항상 움직이고 화산작용과 지진현상이 일어나며, 습곡산맥이 형성된다. 지각변동의 원인에 대하여 제2차 세계대전 이전에는 지각수축설·반발설·지각평형설·대륙이동설과 맨틀대류설 등이 있었고, 제2차 세계대전 이후 특히 1960년대 초부터 해저확장설을 거쳐 70년대 중반에 이르러 판구조론(板構造論)을 정립하게 되어 그 원인이 규명되었다.

지질시대에 일어난 지각변동에서 지구상에 나타난 가장 새로운 습곡산맥은 알프스-히말라야산맥과 환태평양조산대이고, 고생대에서 중생대에 걸쳐 형성된 산맥에는 칼레도니아산맥·바리스칸산맥·우랄산맥·텐산(天山)산맥·쿤룬(崑崙)산맥, 애팔래치아산맥 등이 있는데, 이들은 모두 습곡 산맥으로서 판구조운동에 의한 지각변동에 따라 형성된 것이다. 한국에서는 중생대의 송림변동(松林變動)과 대보조산운동(大寶造山運動)에 의하여 이루어진 차령산맥·소백산맥과 옥천습곡대 등이 대표적인 것이다.<sup>23)</sup>

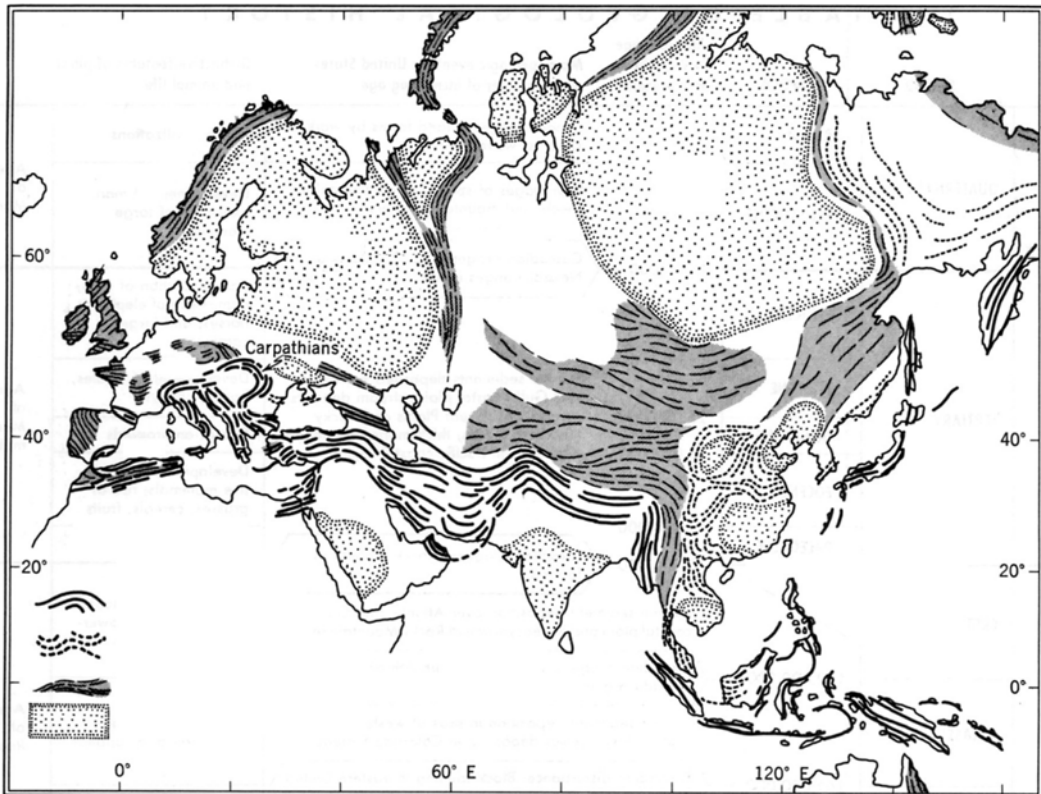


그림 8. 유라시아 지역의 산맥 도호<sup>24)</sup>

23) <http://www.ysgh.chonnam.kr/~eungok/sujunhome/dictionary/html/9-061.htm>

24) Arthur N. Strahler, 1963, Physical Geography, Wiley, p. 294

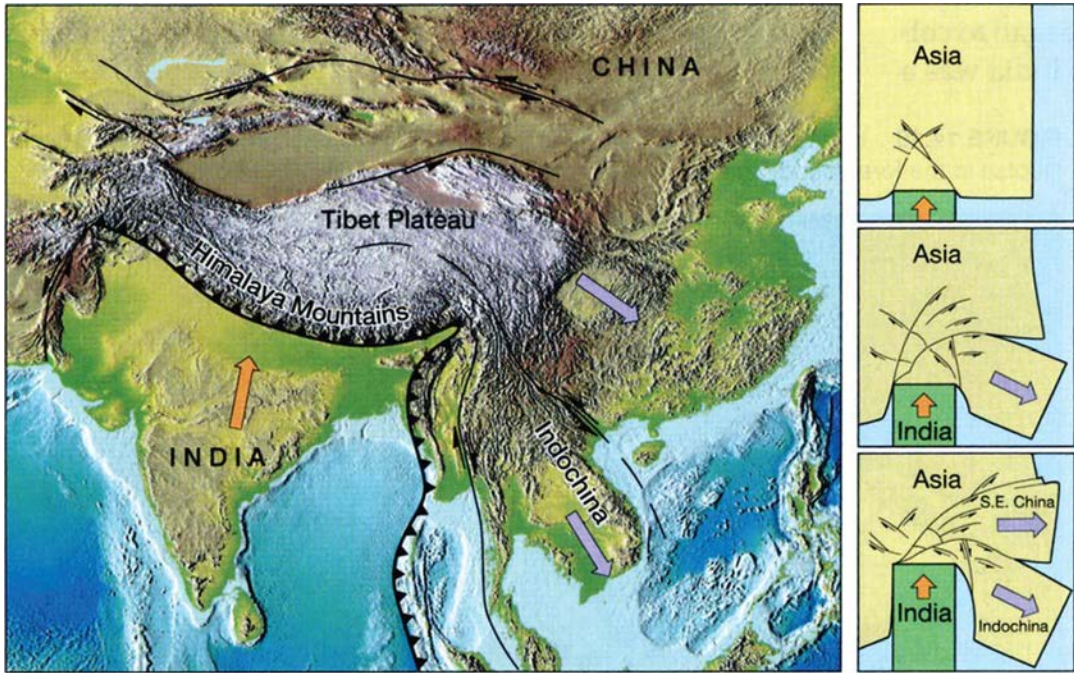


그림 9. 히말라야 산맥의 형성<sup>25)</sup>

## 2. 지각의 광역운동

지각의 광역운동에는 조산운동(造山運動)과 조륙운동(造陸運動)을 들 수 있다.

### ① 조산운동과 조산대의 특성

대륙에는 습곡과 단층 작용을 받은 지층이 길고 좁은 산맥을 이루고 있는데 이를 조산대(造山帶)라고 하며, 이와 같은 변형대를 형성시키는 운동을 조산운동(orogeny)이라고 한다. 이 조산대는 지판(地板)의 충돌에 기인하는 것으로 알려져 있다. 알프스나 히말라야 산맥 등 현재 대륙에 분포하는 대산맥은 쥐라기에서 현세에 걸쳐 형성되었다.

### ② 지향사(地尙斜)

1859년 홀(J.Hall)은 북 아팔래치아 산맥의

층서(層序)와 구조를 연구한 결과 산맥지역의 습곡된 고생대 퇴적층은 두께가 12 km에 달하는 천해성(淺海性)이며, 그 서쪽 내륙 저지에 있는 같은 지질 시대의 습곡되지 않은 지층의 두께와 비교해서 10배 내지 20배나 두껍다는 것을 알게 되었다. 1873년에 데너(J.D. Dana)는 이와 같은 장기간의 침강과 퇴적이 계속된 좁고 긴 지대를 지향사(地尙斜, geosyncline)라고 하였다.

### ③ 조산대의 융기

제3기의 조산대는 지판의 앞쪽 가장자리인 대륙 연변부에 위치하며, 이들은 지판의 충돌로 인해서 수평 방향으로 압축되는 특성이 있다. 남아메리카의 안데스 산맥과 나란히 발달해 있는 페루~칠레 해구는 그 대

25)E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 388

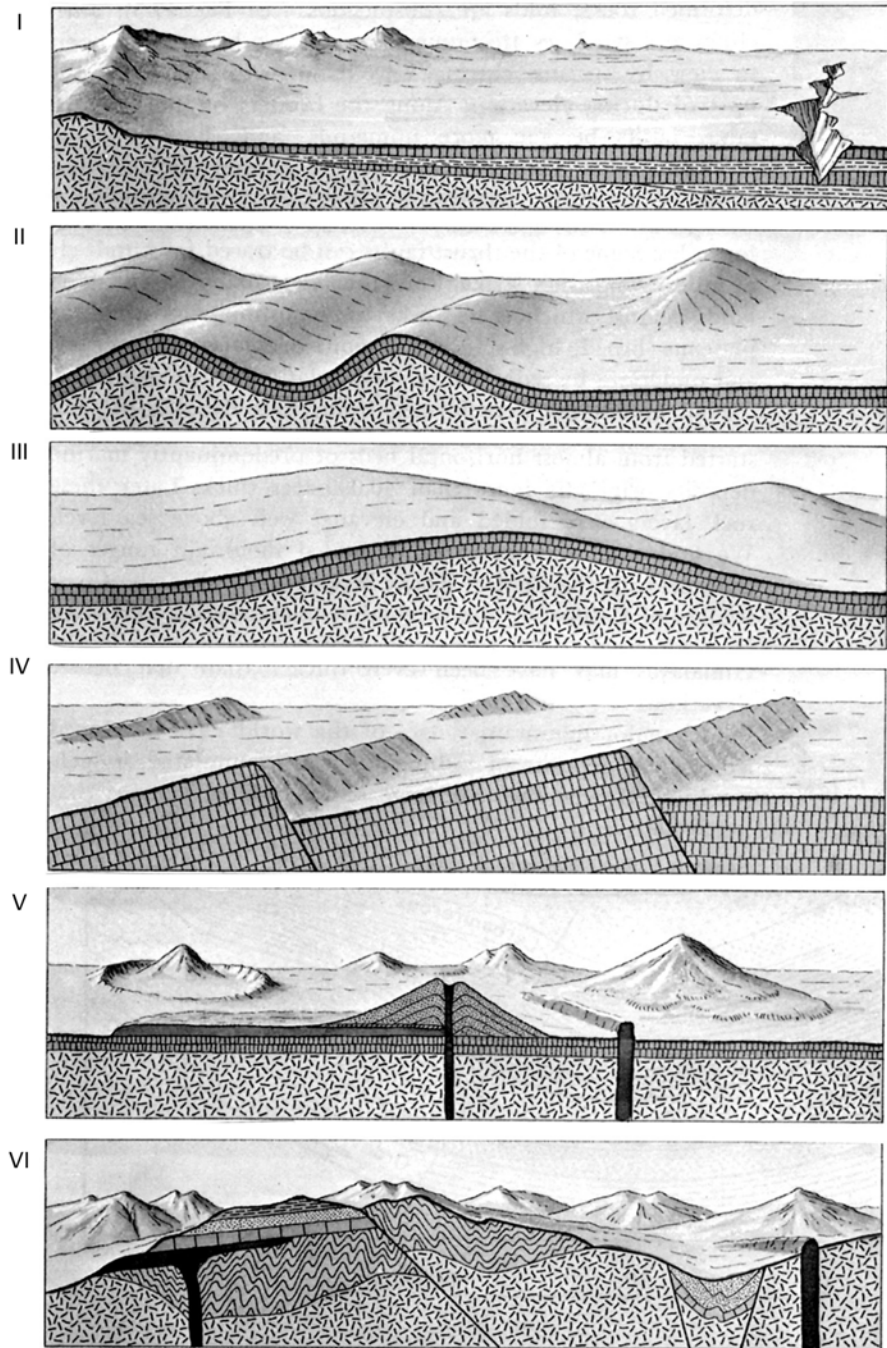


그림 10. 평지와 산맥의 종류 <sup>26)</sup>

26)L. Don Leet, 1965, Physical Geology, Prentice-Hall, INC., p. 263

표적인 예이다. 조륙운동(造陸運動)은 지각에 수직 방향의 힘이 작용하여 넓은 지역이 장기간에 걸쳐 융기 또는 침강하는 것을 말한다. 대륙에서는 가끔 얕은 바다에 퇴적된 천해성층이 광대한 면적에 걸쳐서 거의 평행하게 분포하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 융기 과정에서 심한 습곡이나 단층과 같은 작용을 받지 않았다는 증거가 된다.

조륙운동의 원인으로 가장 중요한 것은 지각평형(地殼平衡, isostasy)으로서 이는 지각이 항상 균형을 유지하려고 하는 작용이다. 즉, 오랜 세월 동안 풍화나 침식에 의해 산지가 깎이거나, 대륙의 빙하가 녹아서 육지가 가벼워지면 지각의 균형이 깨어지게 되는데, 이 때 균형을 잡기 위해서 침강이나 융기가 일어나게 된다.<sup>27)</sup>

### 3. 최근의 지각운동

광역적인 승강·요곡 운동은 과거 지질 시대에만 국한되는 것은 아니며, 이러한 현상들은 현재도 움직이는 정도가 감지될 정도로 진행되고 있다. 이탈리아의 베니스가 매년 아드리아 해로 서서히 가라앉고 있는 것은 그 대표적인 예이다. 이는 해안의 하강요곡 현상의 하나로서, 하부에 있는 퇴적물에서 물과 천연가스가 빠져 나옴으로써 일어나는 현상이다. 요곡(撓曲, flexure) 현상이란 두 지괴가 상대적으로 서로 다른 방향을 향해 움직여 단층을 수반하지 않으면서 국부적으로 휘는 현상이다.

우리가 느낄 수 있는 정도의 지각운동의 형태 중에는 단층을 따라 나타나는 지각 변동(地殼邊動, diastrophism)이 있다. 지진에 의한 변위는 큰 충격일 경우에는 10 m~15 m에 달

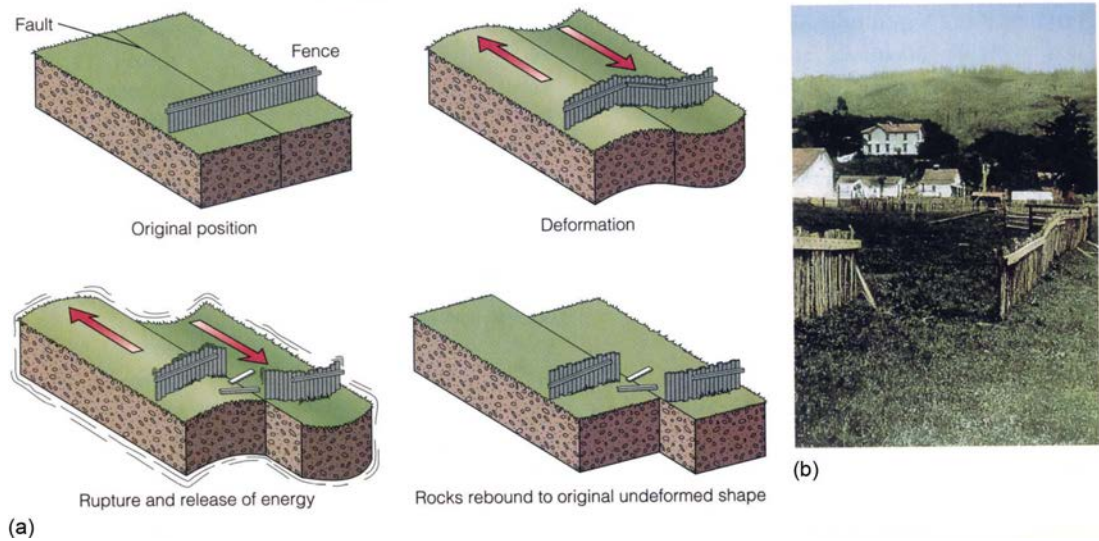
하기도 한다. 1906년에 샌프란시스코 지진 때 샌안드레아스 단층을 따라 발생한 수평 변위량은 5 m였으며, 1872년 미국 캘리포니아의 시에라네바다 동쪽에 있는 오웬스 계곡에서 발생한 지진의 경우에는 4 m 정도의 수직 변위량을 보여 주었다. 수천 년마다 이러한 지진이 발생한다면 침식을 고려해도 수백만 년 내에 높은 산맥이 치솟아 오를 수도 있을 것이다. 큰 지진에 수반되는 영구적인 변위는 단층 부근에만 한정되지 않고, 광대한 지역에 영향을 미친다. 1964년 대규모의 알래스카 지진이 발생했을 때, 20만 km<sup>2</sup> 이상의 넓은 지역에 걸쳐서 융기와 침강이 일어난 것은 그 좋은 예이다. 이때의 최대 융기량은 13 m이며 최대 침강량은 2 m였다.

이 격변은 불과 몇 분 사이에 이루어졌는데, 태평양 판(板)이 남부 알래스카 판(板) 밑으로 수 미터 미끄러져 들어갔기 때문이다. 수천 년, 수백만 년 동안 축적되었다가 발생하는 지진에 의한 변위는 광역적 변형(廣域的變形)의 중요한 요인이 된다.

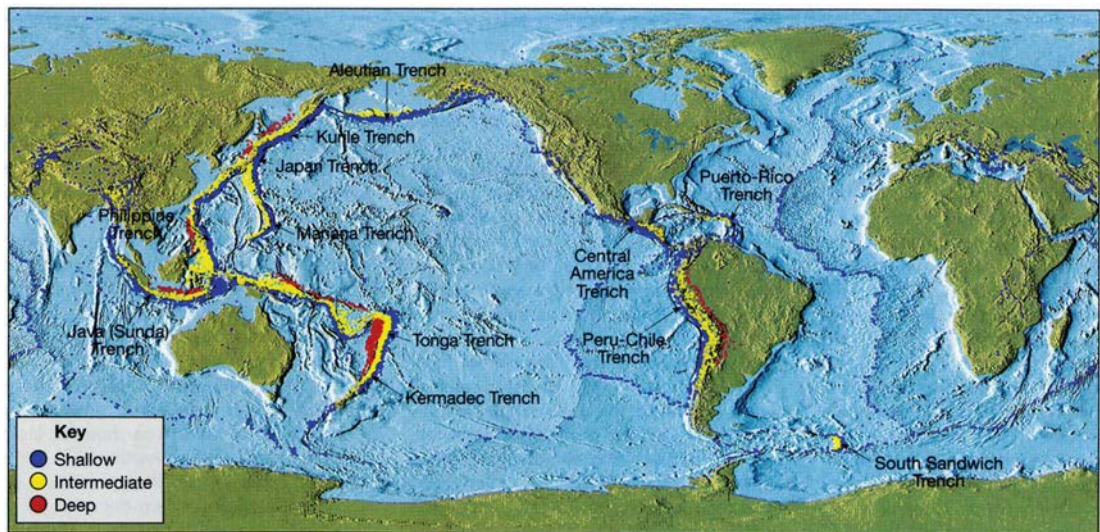
현재 대륙판들은 해양판과 두께 및 열전도(熱傳導)의 차이, 지구의 자전(自轉, rotation) 등에 의해 해마다 몇 센티미터씩 움직이고 있다. 여러 대륙판 가운데서 대륙의 이동을 실감하게 하는 암판(岩板)은 아라비아 암판과 아프리카 암판을 들 수 있다. 아라비아 암판은 유라시아를 향해 북쪽으로, 아프리카 암판은 유럽과 멀어지면서 남서쪽으로 이동하고 있다. 또한 에베레스트산은 해마다 1 cm 씩 높아지고 있어 ‘판구조론’의 타당성을 입증한다. 인도대륙은 지금도 매년 약 5 cm의 비율로 티베트고원을 향해 전진하고 있고 지진활동이 자주 일어나고 있다.<sup>28)</sup>

27)원종관 외, 1989, 상계서, p. 499

28)원종관 외, 1989, 전계서, pp. 507~508



**그림 11.** 지층에 작용하는 힘과 그 결과(1995)<sup>29)</sup>  
 (a)의 경우 원래의 위치에서 변형이 되고 갈라진다. (b)의 경우 지진으로 2~5 m의 담장의 이동이 일어났다.



**그림 12.** 천발, 중발, 심발 지진의 분포<sup>30)</sup>  
 심발지진은 판이 수렴되거나 섭입대에서만 일어난다.

29) J. S. Monroe etc, 1998, *Physical Geology*, Wadsworth Publishing Co., p. 226

30) E. J. Tarbuck etc, 2008, *Earth*, Pearson Education, Inc., p. 388

#### 4. 안정대륙의 내부

대륙지각 하부의 넓고 오래되었으며 평탄할 뿐 아니라 안정된 선캄브리아계대로 되어 있는 강괴(剛塊, craton)를 순상지(楕狀地, shield)라고 한다. 이것은 오래된 결정질 기반암(結晶質基盤岩)이며, 대륙지각의 핵심을 이루기도 한다. 순상지는 고생대 이래 지각변동이 발생하지 않은 곳이며, 주위는 퇴적층으로 된 탁상지(卓狀地)로 둘러싸여 있다. 양가라 순상지·발틱 순상지·캐나다 순상지·기니아-아마존 순상지·오스트레일리아 순상지·인도 순상지·에티오피아 순상지·남

극대륙 순상지 등이 대표적인 순상지들이다.

캐나다 순상지의 남쪽은 북미대륙 중앙의 안정 지역으로서 퇴적물로 피복된 탁상지이다. 이 탁상지는 약 2 km 미만 두께의 고생대 퇴적층(堆積層)으로 피복된 선캄브리아의 기반암(基盤岩)으로 되어 있는데, 이 기반암은 하부에서 순상지와 연결되어 있다. 이 지역의 안쪽에는 주위의 탁상지보다 다소 두꺼운 퇴적층으로 덮여 있는 넓은 퇴적 분지(堆積盆地)가 있다.

미시간 분지와 일리노이 분지에서는 퇴적층이 2.5 km 내지 3 km에 달한다. 이러한 분

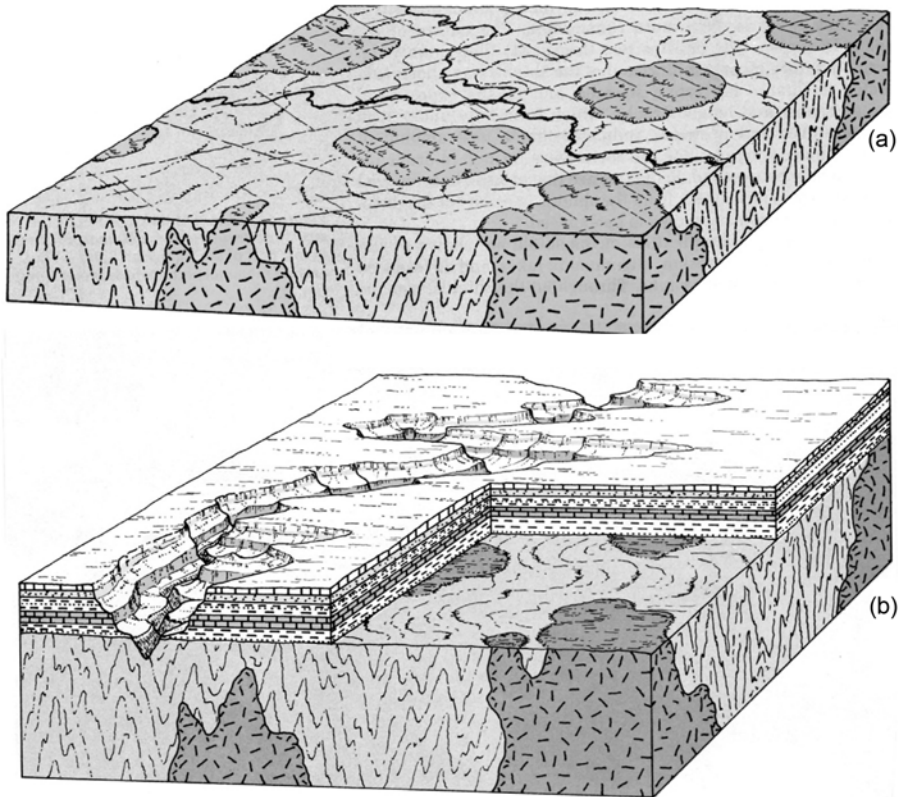


그림 13. 순상지의 일반적인 특징<sup>31)</sup>

순상지는 강괴에 넓게 분포하는 기반암 지대, 흔히 매우 완만하고 불룩한 지표면을 보여주며, 주위에는 퇴적암으로 구성된 대지가 분포한다. 실제로 모든 순상지의 기반암은 선캄브리아기의 암석이다.

31) W. Kenneth Hamblin, 1975, The Earth's Dynamic Systems, Burgess Publishing Co., p. 392

지는 냉각과 열적 수축으로 인하여 대륙의 암석권(岩石圈, lithosphere)이 신장되어 얇아짐으로서 형성되는 것으로 생각된다. 안정된 조건하에 있는 이 같은 퇴적층은 약간의 변형을 받았을 뿐이다.

칼레도니아 순상지의 주변에도 퇴적층으로 된 탁상지가 둘러 싸여 있는데, 순상지에는 심하게 변형 또는 변성된 퇴적층이 있으며, 화산암과 더불어 오랫동안 안정된 상태에 있는 다음, 선캄브리아기에 있었던 조산운동에 수반되는 편마암과 화강암질 암석 및 고도의 변성암이 나타나기도 한다. 비해성퇴적층(非海性堆積層)은 넓은 층적 평원이나 때로는 호수에, 그리고 석탄기에는 이탄층이 쌓인 소택지에 퇴적되었음을 증명해 준다. 그와는 달리 석회암과 삼각주 퇴적층 및 해성의 사암과 세일은 넓고 얇은 내해에 퇴적되었음을 말해 주는데 고립된 곳에는 증발암이 퇴적되기도 한다. 사암과 세일의 퇴적층은 대륙 주변 가까이에 고원이 솟아 있었음을 말해 주는데 이것은 지판의 충돌에 기인된 것이다. 대륙에서의 우라늄·석탄·석유 및 가스 광상의 대부분은 탁상지 퇴적층에 부존한다.<sup>32)</sup>

### 5. 연해의 기원

호상열도(弧狀列島)와 대륙과의 사이에는 연해(緣海)가 있다. 조산대의 여러 가지 유형 중에서 호상열도와 대륙의 주변에 있는 코르딜레라 조산대와와의 차이점은 연해의 존재 여부이다. 또한 호상열도의 형성에 관한 견해도 두 가지로 갈라진다. 즉 처음부터 호상열도가 대양 한가운데서 생겼다고 보는 견해와 호상열도는 대륙 주변에서 분리되어 전진했다는 생각이다.

#### 1) 호상열도가 대양 한가운데서 생겼다는 견해

호상열도는 처음부터 대양의 한가운데서 형성되었고, 따라서 그 주변 바다의 일부분이 연해라고 하는 견해이다. 이러한 내용은 오래전부터 제기되어온 것으로서 판구조론이 대두된 오늘날에도 이를 지지하는 사람의 수가 적지 않다. 예를 들면 스펀(Scholl, 1975)과 쿠퍼(Cooper, 1976) 등은 알류산 열도와 그 북쪽에 위치하고 있는 연해로서의 베링 해를 이와 같은 입장에서 설명하려고 하였다. 베링 해의 일부에는 거의 남북 방향으로 일군의 자기이상(磁氣異常)의 줄무늬가 있는데, 이 줄 무늬의 연대는 백악기에 해당한다. 따라서 이러한 현상을 해석할 때 이 줄무늬는 백악기에 북태평양에 있던 쿨라(Kula) 판과 파라론(Farallon) 지판 사이에 거의 남북의 주향이던 중앙 해령에서 만들어졌으며, 그 후에 알류산 열도가 형성되었으므로 오래된 해저가 둘러싸여서 베링 해가 되었다고 하는 것이다.

#### 2) 호상열도는 대륙 주변에서 분리되어 전진했다는 견해

연해는 호상열도가 대륙에서 분리되어 대양으로 이동함에 따라 생겼다는 견해로서 이 주장은 베게너의 대륙이동설의 시대부터 제기되었으나, 이 생각은 판구조론에 흡수되어 연해저의 확대설로 발전하였다. 마쓰다(Matsuda)와 우에다(Uyeda, 1971)는 일본 해구에서 섭입된 태평양 지판의 윗면을 따라서 마그마가 생성되었고, 이것이 상승하여 고결됨으로써 일본열도의 배후 쪽에 새로운 암석권이 형성되었다고 생각하였다. 그 곳이 동해의 해저인데, 이 해저로 말미암아 일본 열도는 태평양 방향으로 이동하였다는 것이

32)원종관 외, 1989, 전계서, pp. 509~510

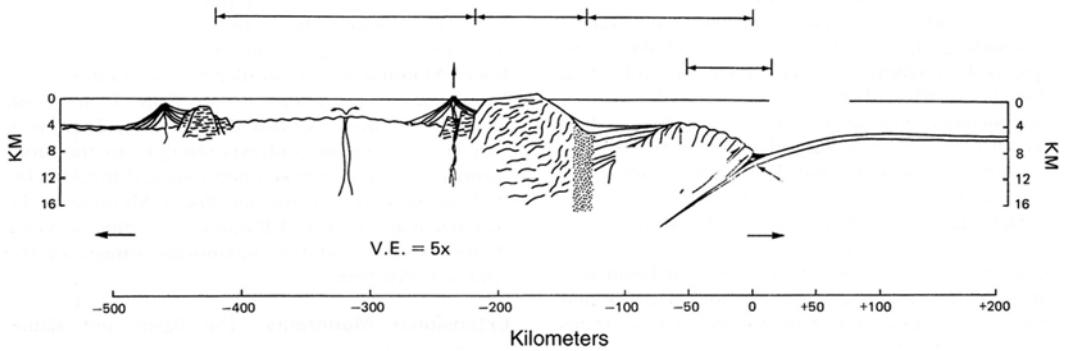


그림 14. 호상열도의 분포<sup>34)</sup>

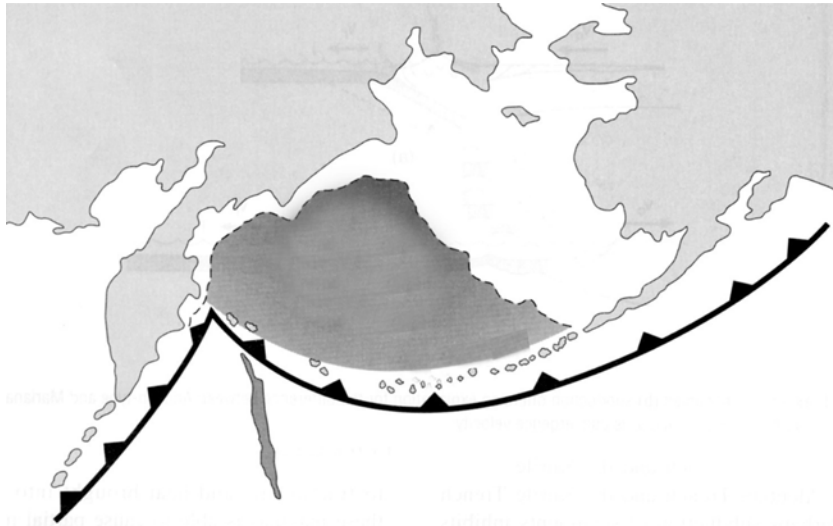


그림 15. 전형적인 호상열도 체계의 일반적인 단면<sup>35)</sup>

다. 많은 학자들은 제3기 중기에 일본이 한반도에서 떨어져 나감으로써 그 사이에 동해가 형성된 것으로 생각하고 있다. 필리핀해의 시사분지에는 호상열도와 거의 나란한 자기이상의 줄무늬가 있는데, 이 사실은 해저 확대에 의하여 연해가 생성되었다는 생각과 잘 일치된다.<sup>33)</sup>

### 6. 지각변동의 증거

지각변동의 증거로는 해안의 융기나 침강과 같은 상하운동, 해안 단구, 수몰 육지, 육지의 상하운동, 심성암과 변성암의 노출, 또한 단층이나 습곡, 변성작용 등과 같이 퇴적암에서 볼 수 있는 증거 등 매우 다양한 예를 찾아볼 수 있다.

33)원종관 외, 1989, 전계서, pp. 516~517

34)Arthur L. Bloom, 1998, Geomorphology, Prentice-Hall, p. 39

35)Ben A. van der Pluijm, 1997, Earth Structure, WCB, p. 355

특히 해안의 상하운동은 해안에서 해면을 기준으로 육지의 상하운동의 양을 측정할 수 있다. 일반적으로 융기해안·침강해안은 해안의 상하운동의 결과로 생각하는 것이 일반적이다.

침수해안(沈水海岸)은 심하게 굴곡된 해안선과 다도해(多島海)가 나타나며 이는 대체로 육지의 침강(沈降) 또는 해수면의 상승(上昇)으로 이미 존재하고 있었던 요철(凹凸) 있는 육지가 침수(沈水)되어 형성된 것이다.

해안단구(海岸段丘)는 해안에 나타나는 계단상의 구릉지이며 이곳은 과거에 평탄화된 파식대지나 퇴적대지가 상승된 것으로 높은 고도에 위치하는 것일수록 먼저 만들어진 것이고 오래된 것이다.

수몰 육지는 해저 밑으로 수몰된 지형으로 알래스카 알류산 열도 북쪽의 해저지형을 조사해 보면 산계와 곡계가 발달하여 있음이 육지의 모양과 유사하다. 이런 해저지형의 성인은 이전에 육지였던 곳이 해수면 상승 등

의 원인으로 침수된 것이라고 볼 수 있다.

육지의 상하운동은 해안에서 비교적 쉽게 측정할 수 있으나, 내륙에서는 이러한 현상을 직접 확인해 보기는 좀 곤란하다.

암석의 노출 증거로는 지하 깊은 곳에서 고결된 심성암(深成岩)이 지표에서 발견되는 것을 보고 간접적으로 확인할 수가 있다.

퇴적암에서 볼 수 있는 증거로는 육지의 높은 곳에 퇴적암이 존재한다는 것은 지각 변동이 있었다는 증거로 해석이 된다. 퇴적암은 대체로 수평으로 쌓여서 수평에 가까운 성층면(成層面)과 층리(層理)를 형성하는데 실제 우리가 확인할 수 있는 지층들은 습곡으로 물결치듯이 구부러져 있는 일이 많고 단층으로 지층들이 어긋나기도 한다.

단층운동은 지각의 틈을 따라 양쪽의 지각이 상대적으로 반대방향으로 움직이는 운동이며 이 틈을 단층(斷層, fault)이라고 한다. 단층은 지진을 동반한 경우와 지진 없이 서서히 생성되는 경우도 있다.<sup>36)</sup>

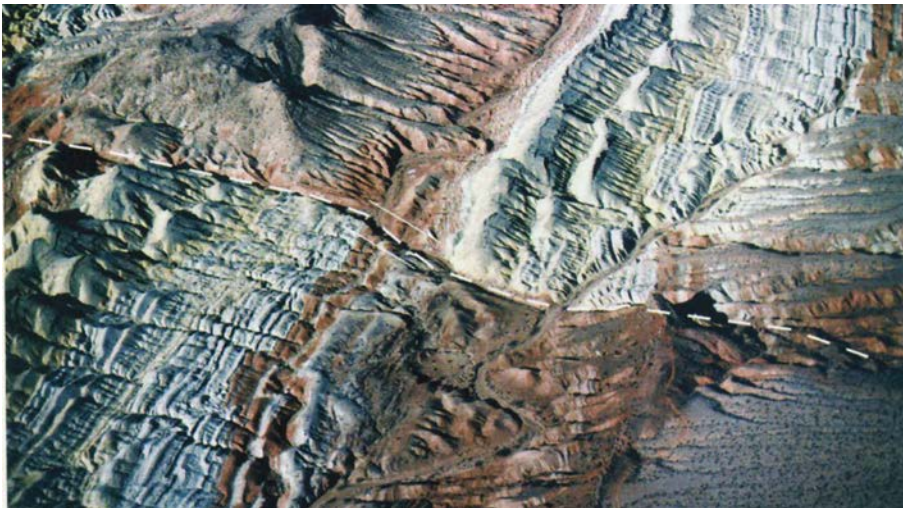


그림 16. 단층지형의 예<sup>37)</sup>

36)정창희, 1987, 지질학개론, 박영사, pp. 285~290

37)E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 288



그림 17. 습곡지형의 예<sup>38)</sup>



그림 18. 파식대와 해안단구<sup>39)</sup>

38)S. Chemicoff etc, 2003, Essentials of Geology, Houghton Mifflin Co., p. 180

39)E. J. Tarbuck etc, 2008, Earth, Pearson Education, Inc., p. 546