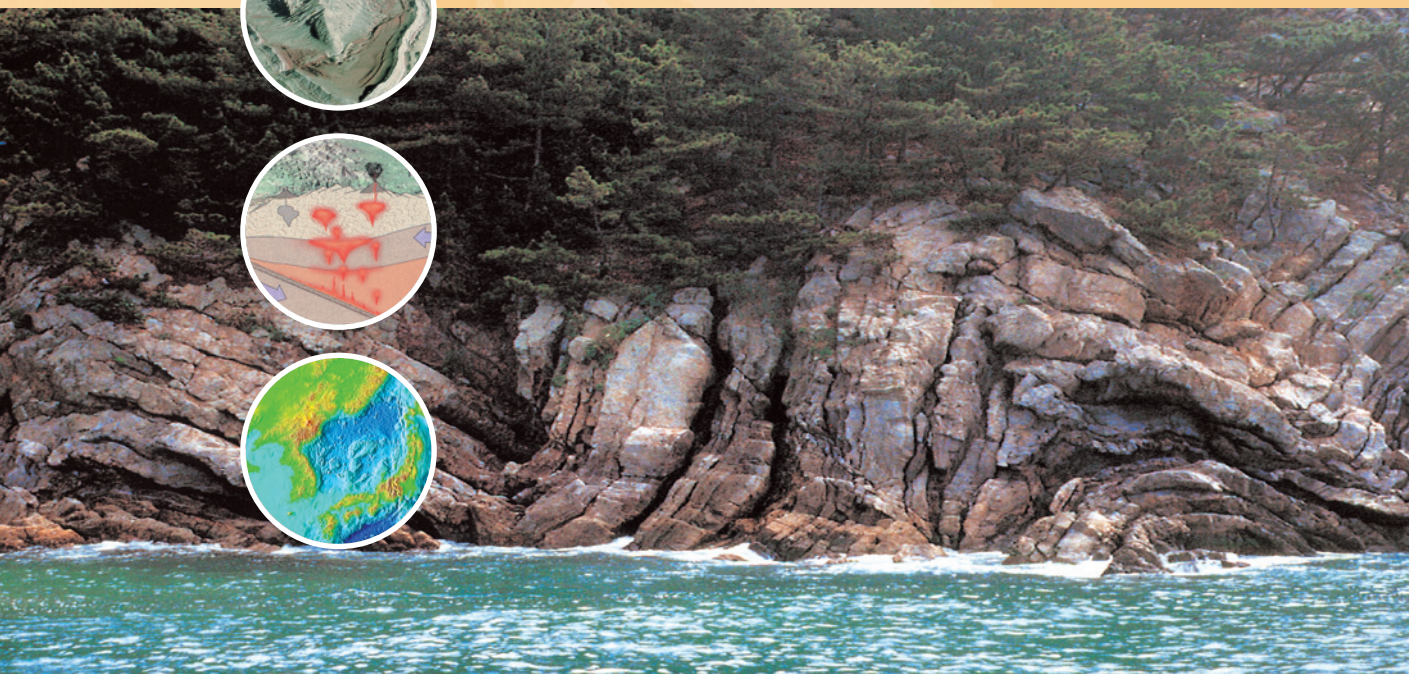
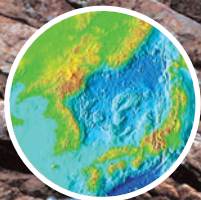
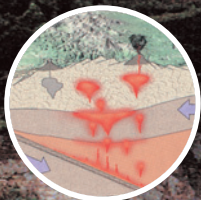


04

지질구조와 산맥의 형성



전라북도 군산시 고군사열도 해안가의 습곡구조
(한국지질자원연구원 제공)

지구표면에서 해저산맥과 해구, 습곡산맥 등 지표면이 평탄하지 않고 다양한 형태의 지형이 발달하고 있다. 판구조론이 제안되기 이전에는 지표의 지형의 형성을 지구수축설(contraction theory)로 설명하였다. 뜨거운 지구가 식으면서 마치 사과가 마르면 껍질이 쭈글쭈글하여지는 모습처럼 지표의 산맥과 같은 지형이 형성된다는 것이다.

그러나 지형의 윤회설과 함께 지구 수축설은 현재는 받아들여질 수 없는 이론이 되었다. 지표의 지층이나 물체에는 **힘**(stress)이 가해진다.

힘

압축스트레스
장력스트레스
취어스트레스
스트레인
후크법칙

스트레스에는 세 가지 유형, 즉 압축스트레스(compressive stress), 잡아당기는 장력스트레스(tensile stress)와 서로 뒤틀리게 작용하는 취어스트레스(shear stress)가 있다. 이 같은 스트레스가 물체에 주어지면 물체에는 변형이 일어난다. 이를 스트레인(strain)이라 하며 스트레스와 스트레인은 비례하는 관계에 있으며 이를 후크법칙(Hooke's law)이라 한다.

4.1 단층과 습곡

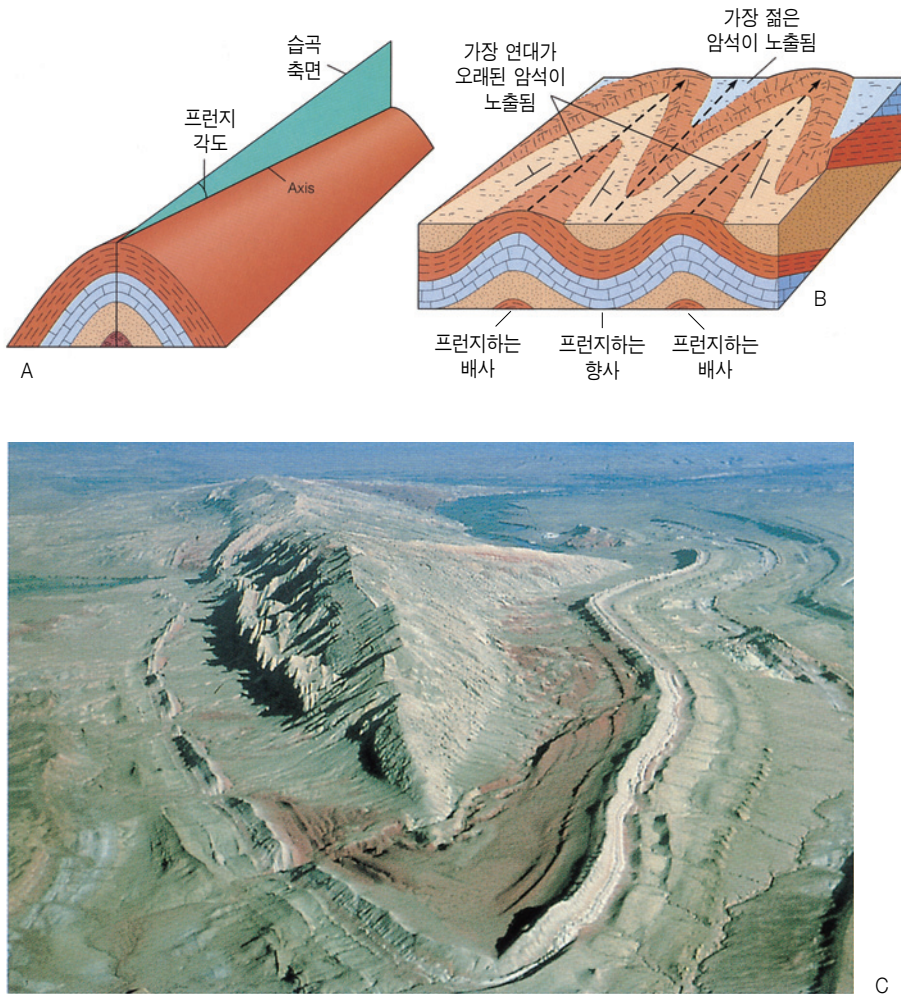
압축스트레스가 주어지면 지층은 습곡(fold)이 일어나거나 절리(joint), 단층(fault)이 일어난다. 장력스트레스가 주어지면 지구(graben)와 같은 지질구조가 형성될 수 있다. 지층이 습곡이나 단층과 같이 변형된 구조를 **지질구조**(geologic structure)라고 한다.

지질구조

지층이 습곡되면 배사구조(anticline)와 향사구조(syncline)가 형성된다. 습곡된 지층의 노두가 지표면에 노출된 형태에서 지하의 습곡구조를 해석할 수가 있다. 지층이 지표에 나타난 노두의 분포 특징에서 습곡축이 기울어진 것(plunge)인지 수평인지 등을 알아 낼 수도 있다(그림 4-1).

단층에도 여러 종류가 있다. 단층의 상반과 하반의 운동양식에 따라 정단층, 역단층, 주향이동단층, 층상단층 등이 만들어진다(그림 4-2). 우리나라에서도 경상남도 양산부근에 발달하고 있는 양산단층은 주향이동단층으로 단층운동이 역사시대에 일어난 **활단층**(active fault)으로 알려져 있다. 활단층운동 지역은 지진의 발생과 밀접한 관련이 있어 지진연구, 지질구조 연구자들이 많은 흥미를 가지

활단층

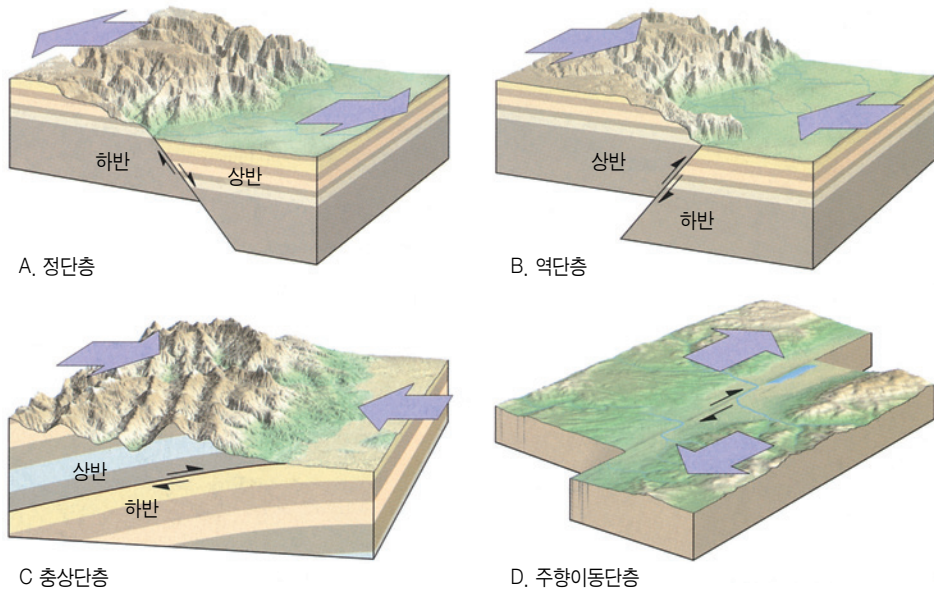


| 그림 4-1 | 프러지 된 습곡의 모식도와 실제 현장인 미국 와이오밍 주 Sheep mountain의 지형(Monroe and Wicander, 2001)

고 연구하는 지역이다.

3차원 공간상에 형성된 각종 지질구조, 지층의 분포 등을 입체적으로 표현하기 위해서는 공간 좌표계 도입이 필요하다. 지질학에서는 브란튼콤퍼스나 클리노메터로 지층의 **주향**(strike)과 **경사**(dip)를 측정하여 지층이나 지질구조의 정치위치를 표시한다. 지층의 주향과 경사 자료만 얻어지면 지표에서는 알 수 없는 지층의 지하 지질구조가 도시되어 땅속의 지층의 구조를 추론 해석할 수 있다.

주향
경사



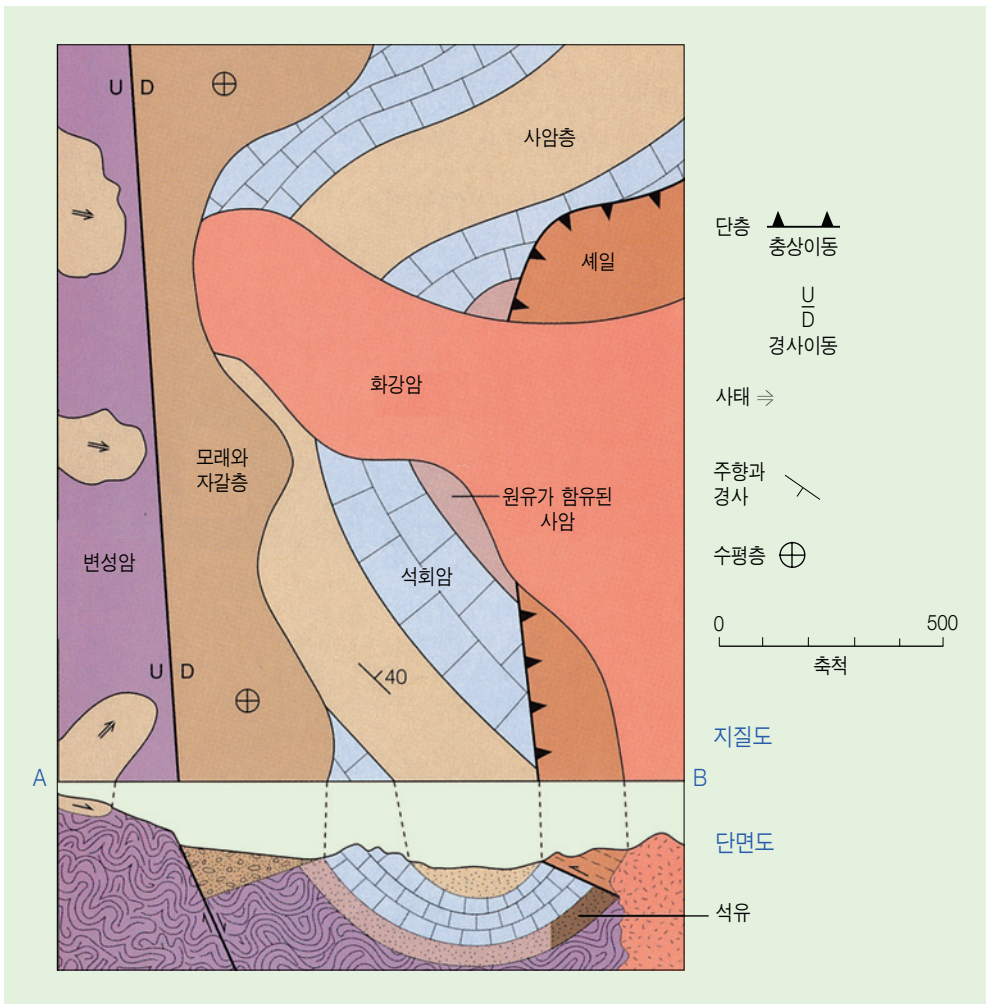
| 그림 4-2 | 단층의 종류(정단층, 역단층, 충상단층, 주향이동단층의 모식도)

주향이란 지층의 경사면과 수평면의 교차지점에 만들어진 선의 방위각으로 북쪽을 기준으로 $N30^{\circ}E$ (교선의 방향이 북쪽에서 동쪽으로 30° 각도를 이룰 때) 또는 $N50^{\circ}W$ (교선이 북쪽에서 서쪽으로 50° 를 이룰 때) 등과 같이 표기한다.

경사는 지층이 수평면과 경사면이 이루는 최대 각도로 보통 주향에 직교한 방향에서 실제 방향의 경사각을 측정한 것이다. 경사 각도의 표기방법은 주향이 $N()^{\circ}E$ 일 경우 $()^{\circ}SE$ 또는 $()^{\circ}NW$ 로 표기되며 $N()^{\circ}W$ 일 때는 $()^{\circ}NE$ 또는 $()^{\circ}SW$ 로 표기된다. 주향이 N-S일 때는 경사는 $()^{\circ}E$ 또는 $()^{\circ}W$, 주향이 E-W일 경우에 경사는 $()^{\circ}N$ 또는 $()^{\circ}S$ 로 표기된다(여기서 $()^{\circ}$ 는 브란튼콥과스나 클리노메터로 실제 측정한 각도이다).

4.2 지질도의 해석

특정 지역의 암석의 분포와 지질구조 등 각종 지질정보를 조사하여 지형도상에 기록한 도면을 **지질도**(geologic map)라 한다. 지질 도면상의 각종 지질정보를 이



| 그림 4-3 | 지질도와 A-B 간의 지질단면도(Monroe and Wicander, 2001)

용하여 평면상에서 또는 지질 단면도 상에서 지하의 입체적인 지질구조를 해석할 수 있다. 이와 같은 지질도 상의 각종 지질정보는 자원개발, 토지이용 등 각종 목적에 따라 유용하게 활용될 수가 있다.

그림 4-3의 가상의 지질도에서 지질의 특징과 지질구조, 층서, 지사를 해석하여 보자.

지질구조는 지역적인 소규모 구조에서 범지구적인 대규모의 지질구조까지 형성 발달되고 있으며 지질구조 운동이 계속됨에 따라 각종의 새로운 지질구조 유

형이 형성 발달하게 된다. 뒷장에서 설명한 판구조운동과 같이 광범위한 지구상의 지판의 운동에 의해서 거대한 지질구조가 형성된다.

인도지판이 유라시아 대륙에 충돌하여 알프스 히말라야 습곡산맥이 형성되며 태평양판과 북미판 밑으로 섭입하는 과정에 북미코디레라(North America Cordillera)가 형성된다. 해양에는 중앙 해령에서 해저 산맥이 형성된다.

환태평양 조산대 알파인-히말라야 조산대 등의 거대한 지구조의 발달은 맨틀 대류 또는 뜨거운 플룸(hot plume)과 차거운 플룸(cold plume)이 이동에 의한 지판의 이동으로 형성된 것이다.

4.3 산맥의 형성

지표에는 해발 8,000m 이상 높이의 히말라야 알프스와 같은 높은 산맥과 마리아나 해구와 일본해구 같은 깊은 해저 골짜기가 분포하고 있다. 육지뿐만 아니라 해저에도 대서양 중앙 해령이나 태평양 중앙 해령과 같은 높은 해저 산맥이 연속적으로 발달하고 있으며 해산, 기요와 같은 해수면 아래에도 많은 해저 산들이 분포하고 있다. 1830년경 프랑스의 엘리트 버몬과 미국의 J. D. Danner 등은 지표의 습곡단층을 포함한 산맥과 같은 지형이 뜨거운 지구가 냉각되면서 수축과정에 의하여 형성되었다는 수축설(contraction hypothesis, 收縮說)의 가설을 내놓았다. 판구조론이 나오기까지 수축설이 산맥의 형성 가설로 믿어 왔다. 그러나 1960년대 이후 판구조론이 소개되면서 지구상에 산맥과 화산의 분포, 지진대의 분포 등이 특정지역에 편중 분포하는 현상이 지질학적으로 잘 설명이 될 수 있게 되었다. 특히 비교적 젊은 시기의 산맥인 록키 산맥과 안데스 산맥을 중심으로 한 미국의 코디레라(Cordillera)와 지중해에서 이란과 인도북부를 거쳐 인도네시아까지 있는 알파인-히말라야 산맥, 일본, 필리핀, 수마트라와 같은 서태평양 지역에 발달하고 있는 수많은 산맥들의 생성과정이 밝혀지게 되었다. 이들 산맥들은 1억 년 전 이후에 형성되었으며 히말라야 산맥은 4,500만 년 전부터 만들어지기 시작하였다. 지금도 해저 화산 분출 등으로 새로운 지형이 해저에 만들어지고 있다. 아팔래치아 산맥이나 우랄 산맥은 형성시기가 좀 오래다. 산맥이 형성되는

수축설

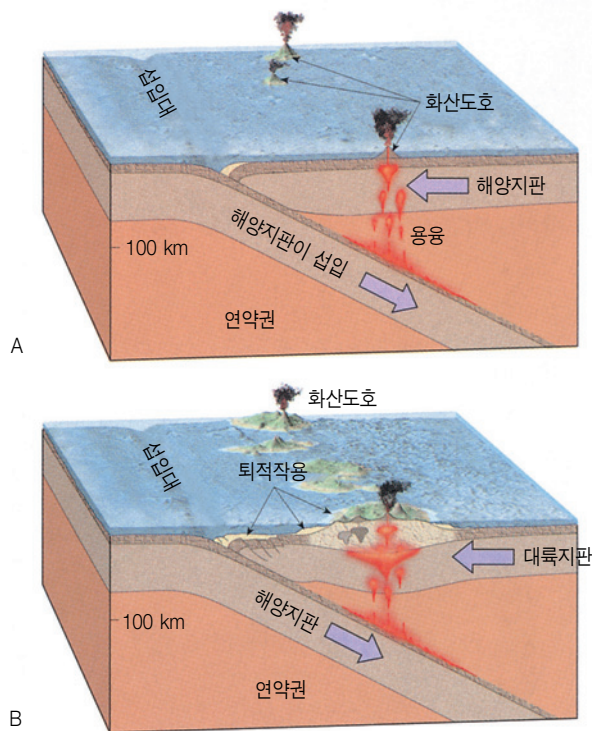
원인과 과정은 다음과 같다.

4.3-1 해양지판과 대륙지판이 수렴하는 지역

산맥은 지판과 지판이 서로 마주쳐 수렴하는 지역에서 만들어진다. 해양지판과 대륙지판이 수렴하는 안데스형 섭입대(Andean-type subduction zone)와 해양지판끼리 수렴하는 알루산형 섭입대(Aleutian-type subduction zone)로 구분된다(그림 4-4).

그림 4-4(A)에서처럼 해양지판끼리 수렴하는 섭입대에서 마그마가 형성 상승하여 **화산도호**(volcanic island arc)를 만든다. 알래스카 부근지역의 화산도호가 그 예이다.

화산도호



| 그림 4-4 | 지판들이 수렴하는 지역에서 형성되는 화산도호 지형 해양지판과 해양지판이 수렴하여 알래스카 지역의 알류산 화산섬 지형이 형성(A), 해양지판과 대륙지판이 수렴하여 안데스형 대륙 화산대가 형성(B)

그리고 해양지판과 대륙지판이 만나는 안데스산맥이나 일본 열도에서처럼 대륙화산대(cotinental volcanic arc)가 형성된다(그림 4-4(B)).

대륙지판의 가장자리 경계에는 사암, 석회암, 셰일과 같은 두터운 퇴적암층이 퇴적된다. 해양지판이 대륙지판 밑으로 섭입되면서 마그마가 형성되고, 화산활동과 함께 화산대가 형성된다. 계속적인 지판의 섭입에 의해 지각부분은 두터워져 화산활동을 수반한 산맥이 형성되어 조산대를 이루게 된다. 그리고 퇴적층은 대륙 연변부에 계속 부가(accretion)되어 대륙이 점점 성장하게 된다(그림 4-5). 이 지역은 퇴적층과 대륙지각 지층이 판운동 때문에 혼재되어 복잡한 지층을 이루며 이 부분 혼재된 지층으로 된 지각부분을 **부가왜지**(accretionary wedge)라 한다.

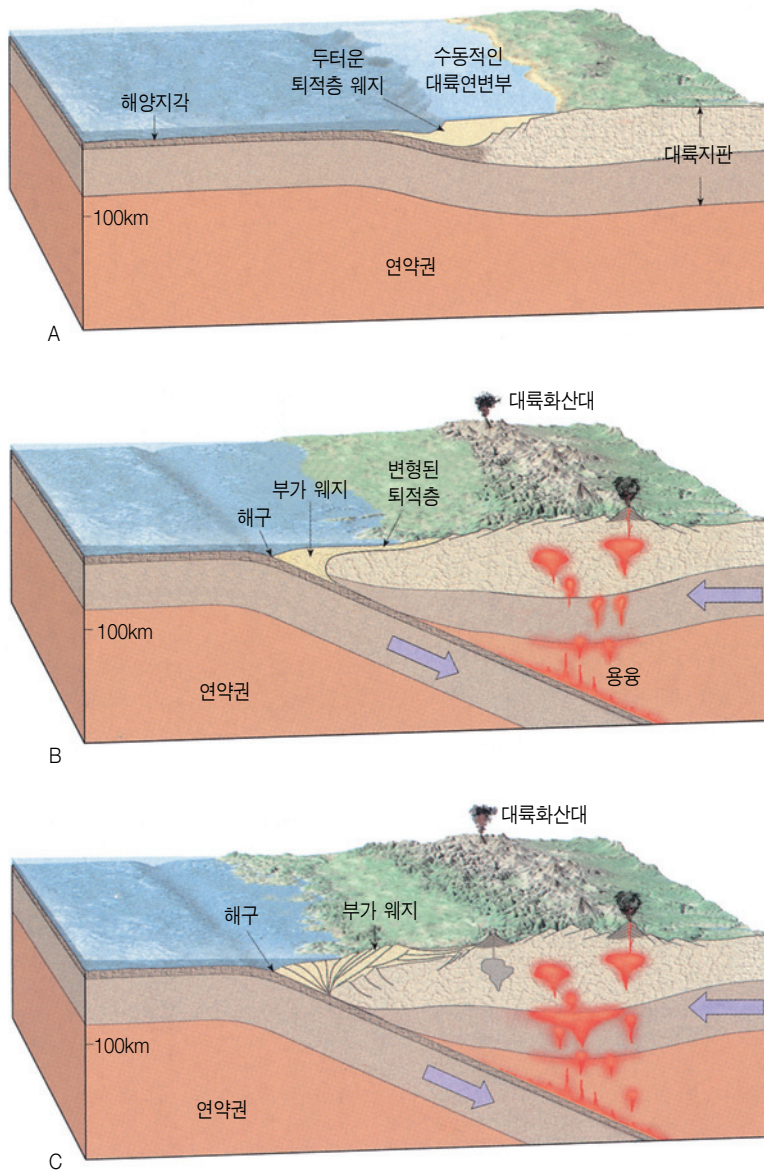
부가왜지

4.3-2 대륙지판과 대륙지판이 수렴하는 지역

대륙지판이 이동하여 대륙지판에 충돌하는 대표적인 지역은 히말라야 티베트지역이다. 대륙지각 물질은 밀도가 낮아 대륙지각은 쉽게 이동된다. 판게아 대륙에서 분리된 인도 대륙이 북쪽으로 수천 km 이동하여 유라시아판에 충돌하여 히말라야 산맥과 티베트 고원을 만들었다.

그림 4-6(A)에서처럼 인도대륙 지판이 이동하여 해양지판이 대륙지판(유라시아판) 밑으로 섭입되면서 화산활동과 지진을 일으키며 조산대를 만들게 된다. 중국 쓰촨(四川)성 대지진도 두 지판 충돌대의 동남단 룡먼산 단층대에서 일어났다. 인도대륙이 계속 북쪽으로 이동하면서 마침내 대륙과 대륙이 충돌하게 된다(그림 4-6(C)). 물론 해양지각 부분도 충돌과정에서 히말라야 산맥 중에 혼재하고 있다. 히말라야 정상을 등정하고 가져온 정상의 암편이 석회암이었다. 이런 판운동 과정에 해발 8,000m 이상의 높은 히말라야 습곡산맥과 티베트고원, 간지스평원의 지형이 만들어지게 되었다. 히말라야 습곡산맥의 서남단의 티베트, 중국의 대진(德欽)지역에서 고도 4,000m 이상 높이에 습곡된 석회암지층이 분포하고 있다. 하안단구 지형에서 이지역이 계속 융기하고 있음을 확인할 수 있다.

유럽대륙이 아시아 대륙과 충돌한 우랄 산맥도 이와 유사한 과정으로 만들어졌다. 그러나 우랄 산맥은 히말라야 산맥보다 훨씬 오래 전에 형성되었다. 애팔래치아 산맥도 대륙 지판의 충돌로 만들어진 하나의 예이다.

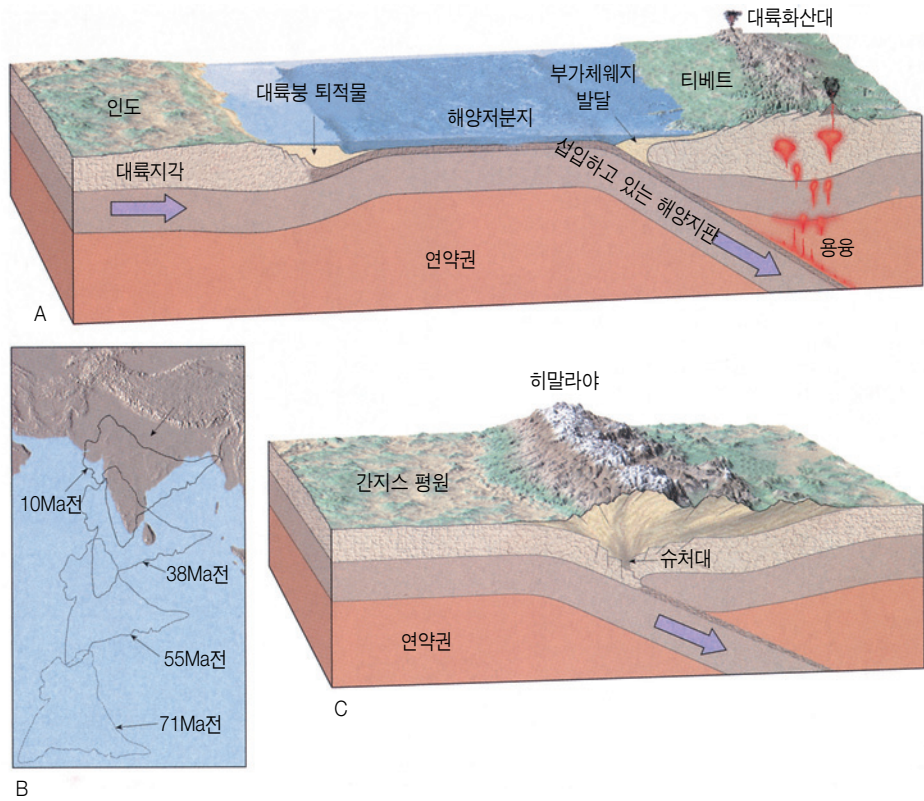


| 그림 4-5 | 안데스형 섭입대에서 일어나는 조산운동(Lutgens and Tarbuck, 2002)

A. 대륙연변부에 광범위한 퇴적지 형성

B. 해양지판의 섭입으로 베니오프대에 마그마의 생성과 대륙화산대 형성

C. 계속된 판의 섭입으로 화성활동이 일어나며 퇴적층이 부가되고 변형되어 대륙연변부가 성장하면서 융기하여 조산대를 형성함



| 그림 4-6 | 인도판이 북쪽으로 이동하여 유라시아판에 충돌

- A. 인도판이 이동 유라시아판 밑으로 섭입. 섭입대에서 화성활동이 일어나며 부가체가 발달
- B. 시대별 인도대륙이 이동한 위치
- C. 인도대륙과 유라시아 대륙이 충돌 히말라야 산맥 형성. 부가체웨이가 변형되고 용기되어 복잡한 지질구조의 높은 산맥을 형성함

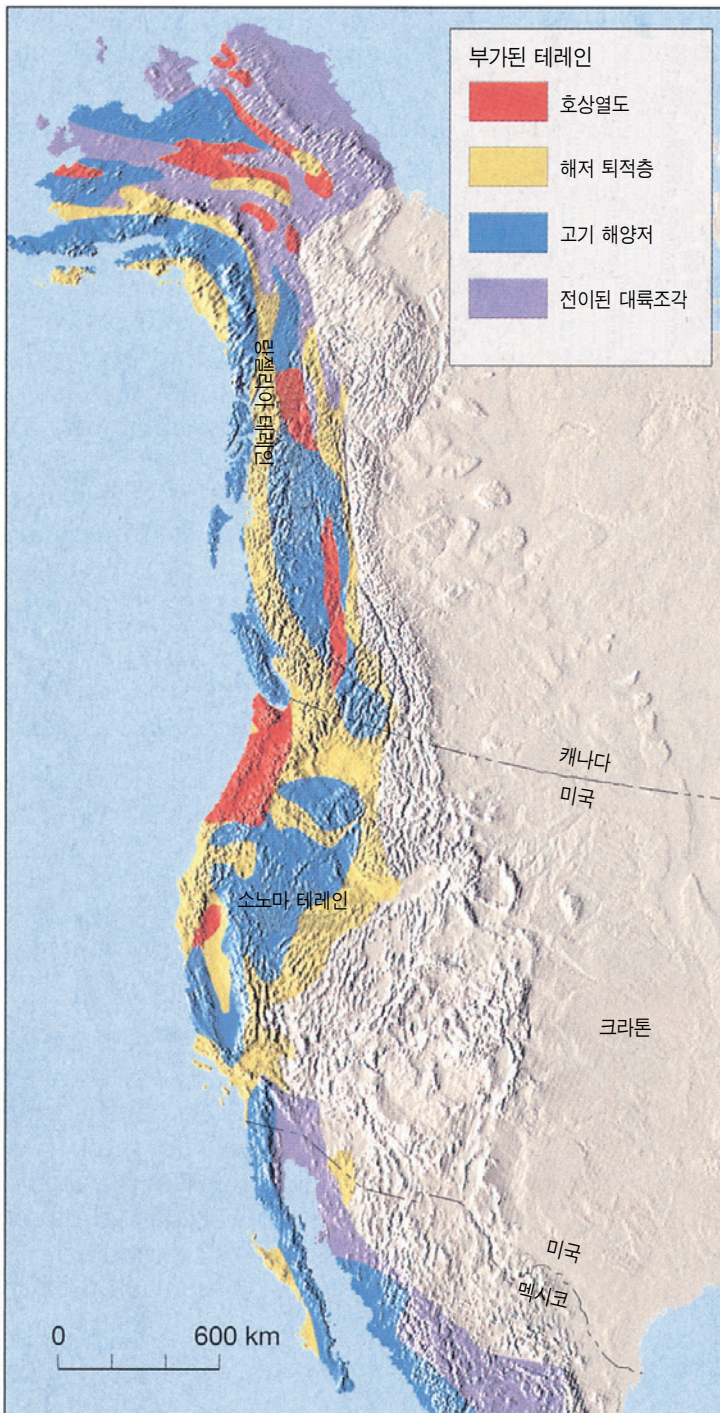
4.3-3 대륙의 부가

부가

해양지판이 대륙지판 밑으로 섭입되면서 대륙 주변부에 퇴적층 등이 **부가** (accretion)된다. 뿐만 아니라 작은 대륙 조각이나 해양대지와 같은 작은 지각조각들이 해양지판과 함께 이동하여 판의 경계 부근에 부가되기도 한다. 이 같은

테레인

지각 조각들을 **테레인**(terrane)이라 부른다. 이들 테레인들이 이동 부가되어 대륙이 점점 커지게 되어 산맥을 만들고 대륙이 성장한다고 보고 있다. 북미 대륙의 서부지역은 과거 2억 년간 서쪽으로 이동하여 태평양 분지 지역이 이 위를 덮었다. 태평양 연안지역에 이처럼 작은 테레인 조각들이 부가되어 오늘날의 새로운



| 그림 4-7 | 북미 서부지역에 지난 2억 년 동안 부가된 테레인(Lutgens and Tarbuck, 2002)

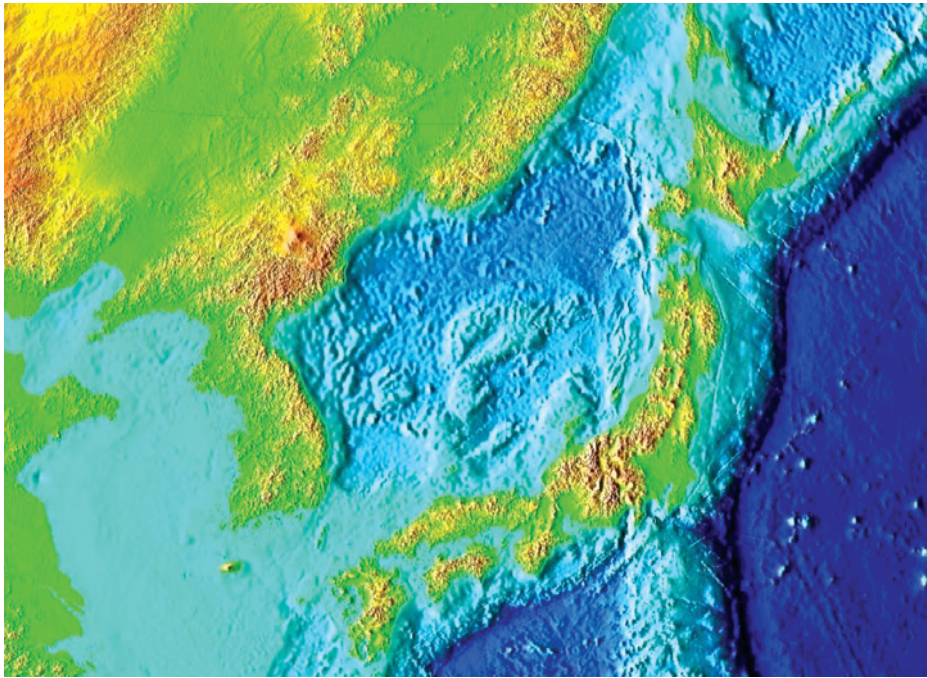
산맥지형을 만들고 있다(그림 4-7).

이와 같은 현상은 일본열도의 태평양 쪽에서도 일어나 오늘날의 일본열도를 만들었다. 태평양판이 섭입과정에 일본열도에 충돌하면서 서남 일본지역에 부가체에 의해 일본열도가 조금씩 성장하였다.

일본열도의 골격은 부가체, 변성대, 화강암류, 화산암류 등으로 이루어져 있다.

부가체는 태평양판의 섭입과정에서 변성작용을 받기도 하고 변성작용을 받지 않은 채로 붙어 있는 곳도 있다. 이와 같이 판의 섭입과정이 일어나고 있는 부가체 지역은 온도 압력 조건의 다른 변성작용이 일어나 쌍변성대를 만들기도 하였다.

한반도와 동해 그리고 일본열도 주변의 해저 지형을 조사하고 앞으로 어떻게 변 해갈 것인지 토론하여 보자(그림 4-8).



| 그림 4-8 | 한반도, 동해, 일본열도 주변의 해저지형