

▶ 대륙 이동설

1. 대륙 이동설의 등장

(1) 대륙 이동에 대한 의견

17세기 초 대서양을 사이에 두고 있는 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙의 해안선 모양이 유사한 것에 의문을 제기하면서 두 대륙이 한 덩어리에서 갈라져 나온 것이라는 의견이 있었다.

(2) 1912년 베게너는 대륙 이동의 증거를 제시하며 본격적으로 대륙 이동설을 주장하였다.

2. 베게너의 대륙 이동설

(1) 베게너는 고생대 말에 판게아라는 거대한 초대륙이 존재하였고, 약 2억 년 전에 분리되고 이동하여 현재와 같은 수륙 분포가 이루어졌다고 주장하였다.

(2) 베게너가 제시한 증거

- ① 해안선 모양의 유사성 : 대서양을 사이에 두고 남아메리카 동해안과 아프리카 서해안의 해안선이 일치한다.
- ② 빙하의 흔적 분포 : 서로 떨어진 대륙을 하나로 모으면 빙하의 흔적이 남극을 중심으로 분포한다.
- ③ 화석 분포의 연속성 : 여러 대륙에서 동일한 종류의 고생물 화석이 발견된다.
- ④ 지질 구조의 연속성 : 북아메리카 대륙과 유럽에 있는 산맥의 지질 구조가 유사하다.



화석 분포



고생대 말 빙하 퇴적층의 분포



지질 구조의 연속성

(3) 베게너의 대륙 이동설의 한계

: 대륙 이동의 원동력을 제대로 설명하지 못했기 때문에 대부분의 과학자들로부터 인정받지 못했다.

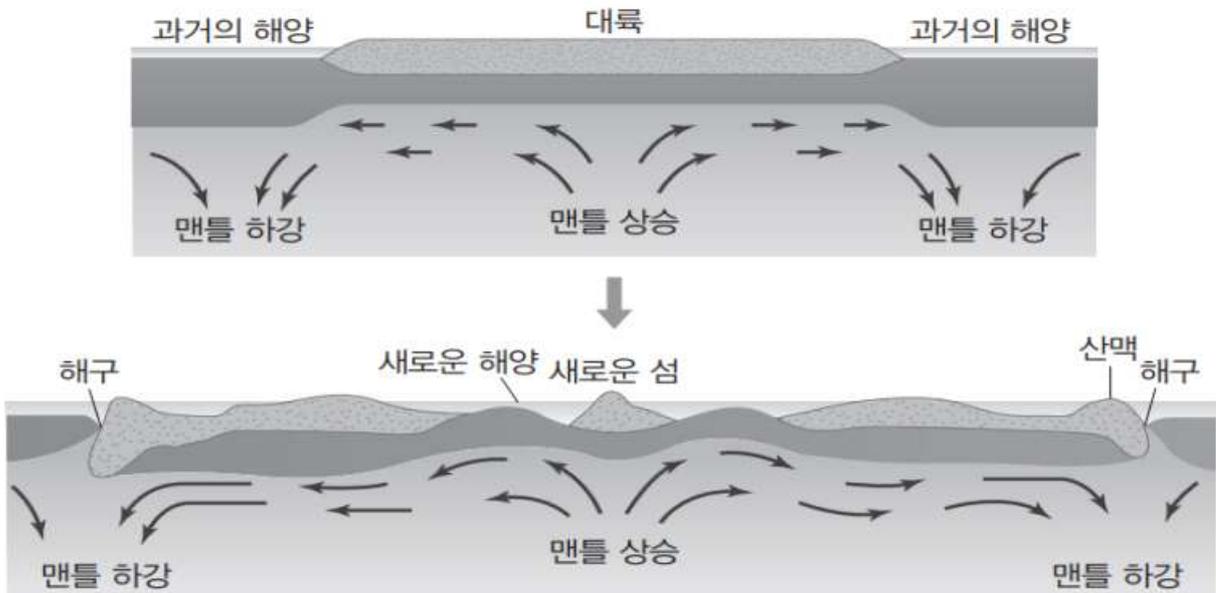
▶ 맨틀 대류설

1. 맨틀 대류설

(1) 1929년 흄스는 방사성 원소가 붕괴하여 생성된 열에 의해 맨틀의 상하부에 온도 차가 생겨 맨틀이 대류하는 과정에서 대륙이 이동할 수 있다는 맨틀 대류설을 발표했다.

(2) 맨틀 대류와 대륙의 이동

- ① 맨틀 대류의 에너지원 : 방사성 동위 원소의 붕괴열과 고온의 지구 중심부에서 맨틀로 공급되는 열
- ② 흄스의 맨틀 대류 모형



°맨틀 물질이 상승하는 곳 : 맨틀 물질이 발산하면서 대륙이 분리되고 새로운 해양과 섬이 형성된다.

°맨틀 물질이 하강하는 곳 : 지각이 맨틀 속으로 들어가고 해구와 산맥이 형성된다.

(3) 맨틀 대류설의 한계

현재 알려진 맨틀 대류의 과정과 비슷하지만 당시에는 맨틀 대류를 관찰할 수 있는 탐사 기술이 없어 대륙 이동의 원동력으로 인정받지 못했다. 흄스의 맨틀 대류설 이후에 해저에 대한 탐사 기술이 발전하면서 대류가 상승하는 부분에서는 해령이, 하강하는 부분에서는 해구가 형성되는 것이 밝혀졌다.

▶ 해양지 확장설

1. 해저 지형 탐사

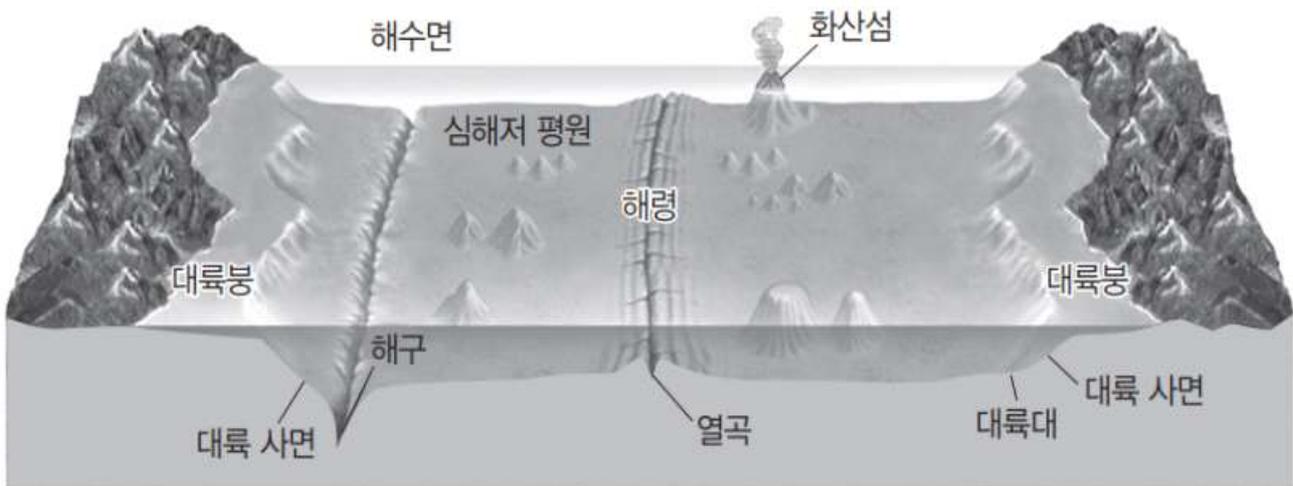
(1) 20세기 중반 탐사 기술의 발전으로 해저 지형 탐사가 활발하게 진행되었고 음향 측심 기술의 개발로 해저 지형의 높낮이를 정밀하게 측정할 수 있게 되었다.

(2) 음향 측심법

① 해양 탐사선에서 발사한 초음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 측정하여 수심을 알아내는 방법이다.

② 초음파의 왕복 시간을 t , 초음파의 속력을 v , 수심을 d 라고 하면, $d = \frac{1}{2}vt$ 이다.

(3) 해저 지형



- ① 대륙붕 : 육지와 접해 있는 부분으로 수심이 얇고 경사가 완만한 해저 지형
- ② 대륙 사면 : 대륙붕에서 심해저 쪽으로 발달한, 비교적 경사가 급한 해저 지형
- ③ 대륙대 : 대륙 사면에서 심해저로 이어지는 부분에 위치한 경사가 완만한 해저 지형
- ④ 해구 : 대륙 주변부와 심해저 평원 사이에 발달하는 수심 약 6000m 이상의 좁고 긴 골짜기
- ⑤ 심해저 평원 : 대륙대 또는 해구와 해령 사이에 있는 수심 약 4000m의 평탄한 지형
- ⑥ 해령 : 심해저에서 약 2500~3000m 높이로 솟아 있는 대규모의 해저 산맥으로, 정상부에는 V자 모양으로 깊게 파여 갈라진 열곡이 발달한다.

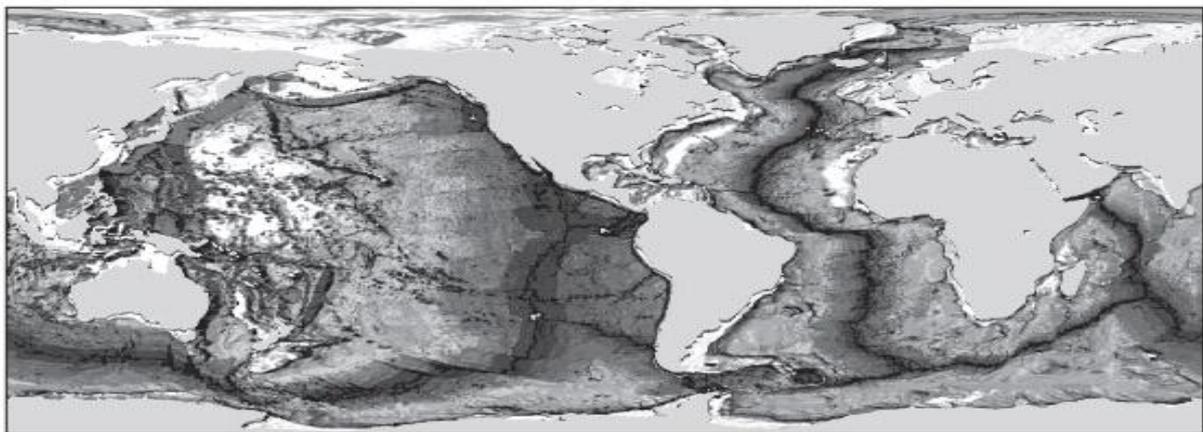
2. 해양저 확장설

(1) 해양저 확장설 : 1962년 헤스와 디츠는 해저 지형 탐사로 밝혀진 해저 지형의 특징을 설명하기 위해 해양저 확장설을 제안하였다. 해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되어 해양저가 확장 되고, 해구에서는 해양 지각이 맨틀로 섭입되어 소멸된다고 주장했다.

(2) 해양저 확장설의 증거

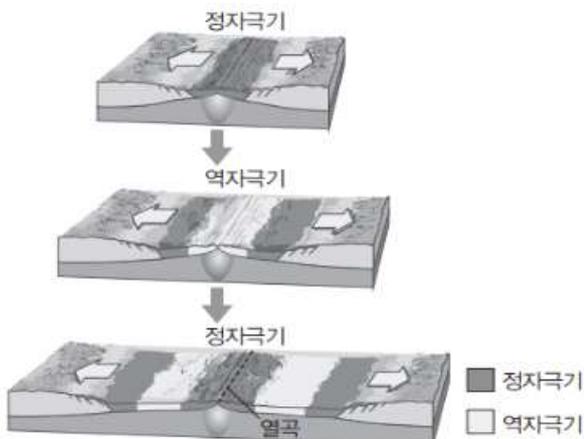
① 해양 지각 연령 분포와 퇴적물의 두께

- 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하고 퇴적물이 두꺼워진다.



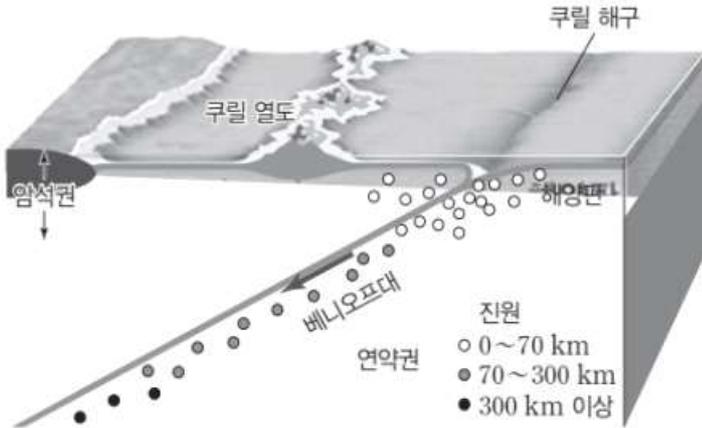
② 고지자기 줄무늬의 대칭 분포

- 고지자기 : 마그마가 냉각되어 굳거나 퇴적물이 퇴적될 때 자성을 띠는 광물은 암석 생성 당시의 지구 자기장 방향에 따라 배열된다. 이때 암석에 남아 있는 암석 생성 당시의 지구 자기를 고지자기라 한다.
- 지자기 역전 : 지구 자기장의 방향이 역전하는 현상으로, 외핵의 운동에 의해 일어나는 것으로 추정된다. 지자기 역전의 주기는 대략 25만 년 ~ 30만 년이라고 알려져 있다.
- 해령에서 생성된 새로운 해양 지각이 양쪽으로 확장되는 과정에서 정자극기에 생성된 암석과 역자극기에 생성된 암석이 반복되어 나타나 해령을 축으로 대체로 대칭을 이룬다.



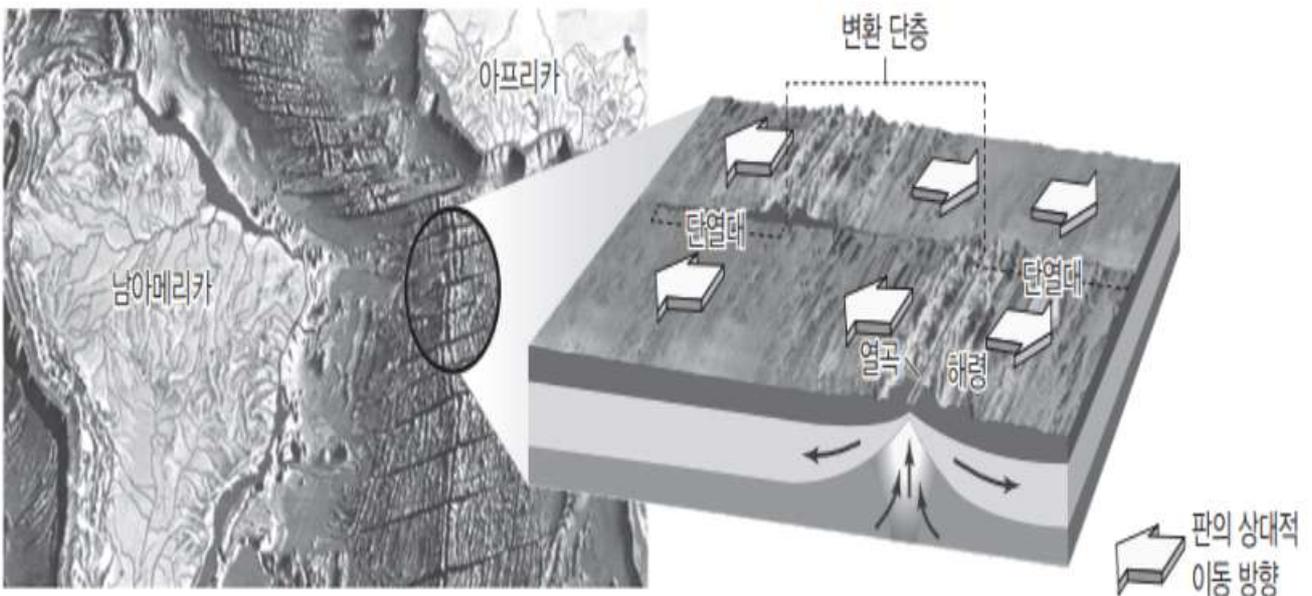
③ 섭입대에서의 지각 변동

- 해구에서는 섭입대를 따라 지진이 발생하는데, 해구에서 대륙 쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 점차 깊어진다.
- 해양저 확장설에서 해양 지각의 소멸을 설명하는 증거가 된다.



④ 열곡과 변환 단층의 발견

- 열곡 : 해령 중심부에는 해양저가 확장되면서 V자 모양의 골짜기인 열곡이 형성된다.
- 변환 단층은 해령과 해령 사이에 존재하는 단층으로 해양 지각이 서로 반대 방향으로 어긋나게 이동하는 구간이다.
- 해령에서 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 확장되는 속도가 위치에 따라 다르기 때문에 변환 단층이 나타난다.
- 변환 단층의 발견은 해저가 해령을 중심으로 양쪽으로 확장한다는 증거가 되었으며, 해양저 확장설이 판 구조론으로 발전하는 데 큰 영향을 미쳤다.



▶ 판 구조론의 정립

1. 판 구조론

(1) 판 구조론

- ① 대륙 이동설에서 시작하여 맨틀 대류설, 해양저 확장의 여러 가지 증거와 변환 단층의 발견을 거쳐 판 구조론으로 정립되었다.
- ② 지구 표면은 여러 개의 판으로 이루어져 있고, 이들의 상대적인 운동에 의해 지진, 화산 활동 등의 지각 변동이 일어난다는 이론이다.
- ③ 최근에는 인공위성을 이용한 위치 측정 기술의 발달로 판 경계의 위치와 판의 이동 속도를 정밀하게 측정할 수 있게 되었다.

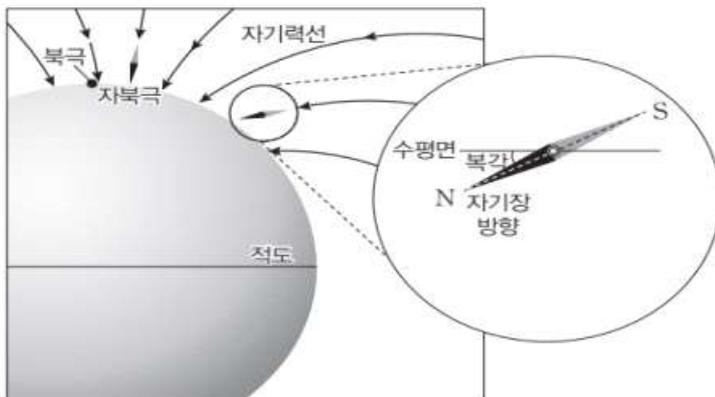
▶ 고지자기와 대륙의 이동

1. 지구 자기장과 복각

(1) 지구 자기장 : 지구 자기력이 미치는 공간

(2) 복각

- ① 지구 자기력선의 방향과 수평면이 이루는 각도
- ② 자북극에서는 $+90^\circ$, 자기 적도에서는 0° , 자남극에서는 -90°



2. 고지자기와 대륙의 이동

(1) 고지자기 : 지질 시대에 생성된 암석에 분포하고 있는 잔류 자기

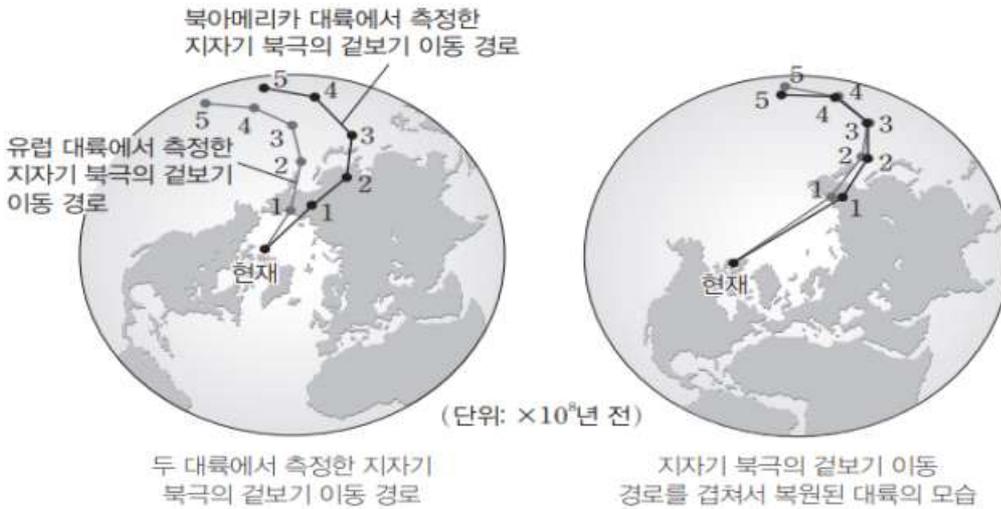
(2) 잔류 자기 : 마그마가 식어 암석이 될 때 자성을 띤 광물 입자는 당시의 지구 자기 방향으로 배열된다. 그 후, 지각 변동을 거치는 동안 암석에 기록된 자화의 방향은 암석에 그대로 보존되는데, 이를 잔류 자기라고 한다.

(3) 복각은 위도에 따라 다르므로 암석에 기록된 고지자기 복각을 측정하면 암석이 생성된 당시의 위도를 알 수 있다.

3. 고지자기극의 위치와 대륙 분포의 변화

(1) 지자기 북극의 겹보기 이동

- ① 대륙의 다양한 시대의 암석에서 고지자기로부터 지자기 북극의 위치를 파악해보면 지자기 북극의 이동 경로를 확인할 수 있다.



② 지자기 북극의 이동을 설명하는 두 가지 방법

- i) 대륙이 고정되어 있고, 지자기 북극의 위치가 크게 움직였다.

- 지자기 북극은 지리상 북극 주변에 위치하며 조금씩 이동하지만 지리상 북극에서 매우 멀리 떨어진 지점에 위치하지는 않는다.
- 지자기 북극은 두 지점이 될 수 없는데, 북아메리카와 유럽에서 측정한 지자기 북극의 이동 경로가 일치하지 않는다.

⇒ 지자기 북극의 위치가 실제로 크게 움직인 것으로 볼 수 없다.

- ii) 지자기 북극은 지리상 북극 주변에 고정되어 있고, 대륙이 이동해서 지자기 북극의 위치가 달라진 것처럼 보인다.

(2) 고지자기극의 해석

※ 고지자기극이 고지자기 방향으로부터 추정된 지리상 북극이고, 실제 지리상 북극은 변하지 않을 때

① 고지자기 북각(+)의 크기가 크다.

=

=

② 고지자기 북각(+)의 크기가 작다.

=

=

③ 고지자기 북각이 (-)이다.

=

=

④ 고지자기 북각(-)의 크기가 크다

=

=

⑤ 고지자기 북각(-)의 크기가 작다

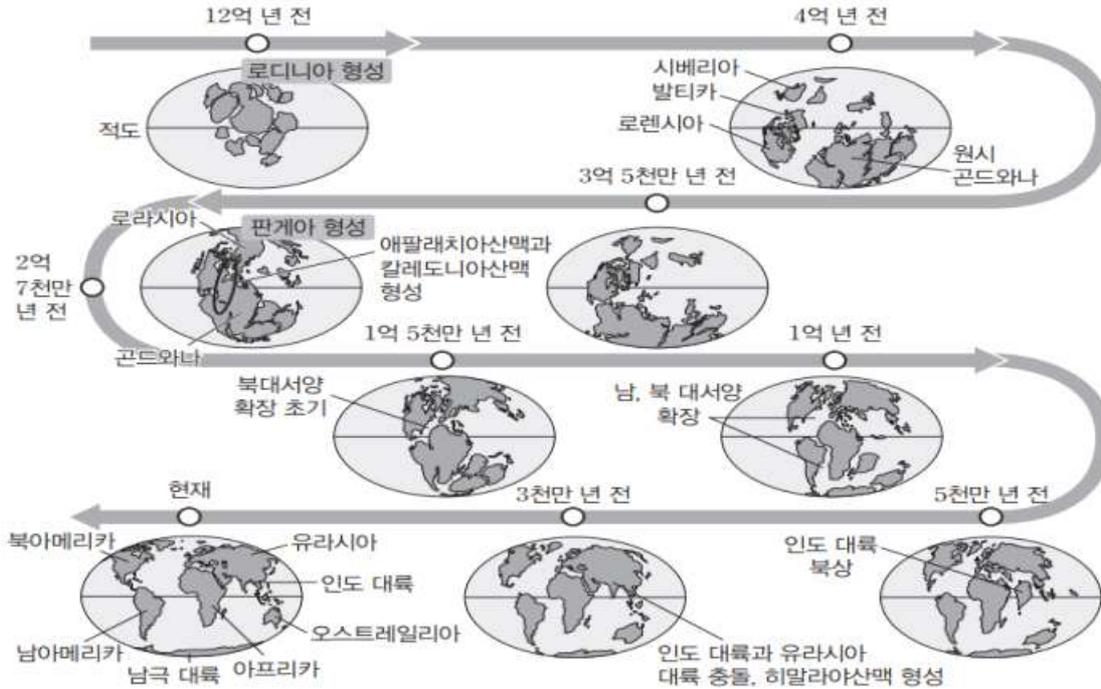
=

=

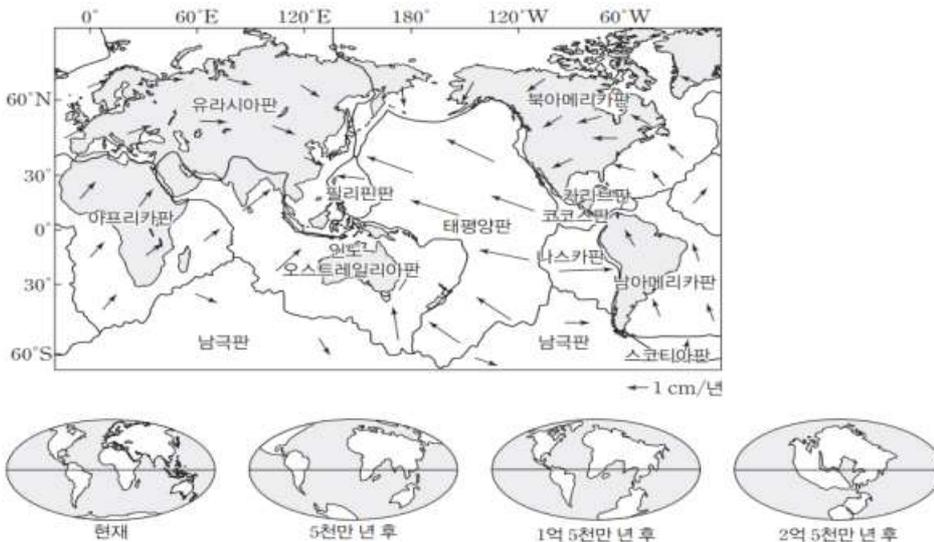
(3) 열점에서 생성된 화산암체의 고지자기 북각

: 위치가 고정된 열점에서 생성된 화산암체들은 생성 당시 위도가 같으므로 고지자기 북각이 모두 같다.

(4) 대륙 분포의 변화



- ① 로디니아의 형성과 분리: 약 12억 년 전에 형성된 초대륙인 로디니아는 약 8억 년 전부터 분리되기 시작하였다.
- ② 판게아의 형성과 분리: 약 2억 7천만 년 전에 대륙이 다시 합쳐져 초대륙인 판게아가 형성되었다. 판게아가 형성되는 과정에서 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙 및 유럽 대륙과 충돌하면서 애팔래치아산맥과 칼레도니아산맥이 형성되었다. 이후 판게아가 분리되고 대서양이 형성되면서 애팔래치아산맥과 칼레도니아산맥은 분리되었고, 해양판이 섭입하면서 로키산맥과 안데스산맥이 형성되기 시작하였다.
- ③ 히말라야산맥의 형성: 약 1억 년 전에 인도 대륙이 오스트레일리아 대륙과 분리되었고, 이후 인도 대륙은 북쪽으로 이동하여 약 3천만 년 전에 유라시아 대륙과 충돌하여 히말라야산맥이 형성되었다.
- ④ 미래의 대륙과 해양의 분포 예측

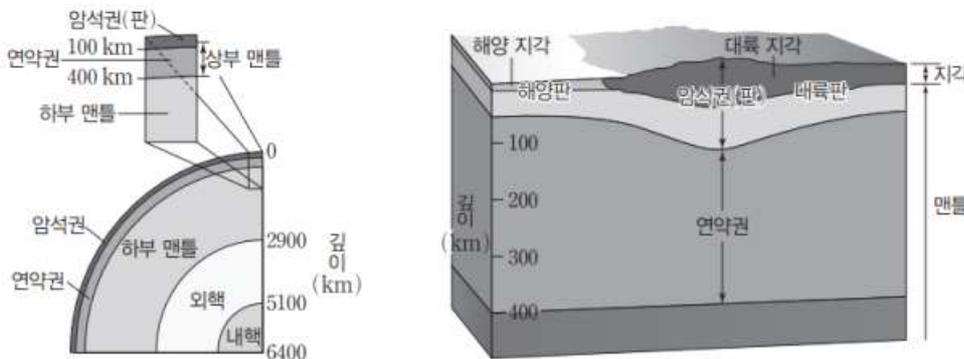


▶ 판 이동의 원동력

1. 맨틀 대류와 판의 운동

(1) 암석권과 연약권

- ① 암석권(판) : 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 평균 두께 약 100km인 부분으로 해양판은 지각의 대부분이 해양 지각인 판이고, 대륙판은 지각의 대부분이 대륙 지각인 판이다. 해양판은 대륙판보다 평균 두께가 얇고, 평균 밀도가 크다.
- ② 연약권 : 암석권 아래의 깊이 약 100km ~ 400km인 부분으로 맨틀 물질이 용융되어 있어 맨틀의 대류가 일어나고 이로 인해 판이 움직인다.



(2) 판 경계에서의 지각 변동

판의 경계		생성 지형	지각 변동	대표 지역
발산	대륙 대륙	열곡대		동아프리카 열곡대
	해양 해양	해령		대서양 중앙 해령
수렴	대륙 해양	해구, 호상 열도		일본 해구, 일본 열도
		해구, 습곡 산맥		칠레 해구, 안데스 산맥
	해양 해양	해구, 호상 열도		마리아나 해구
	대륙 대륙	습곡 산맥		히말라야 산맥
보존	해양 해양	변환 단층		대서양 중앙 해령 부근
	해양 대륙			산안드레아스 단층

2. 상부 맨틀의 운동

- (1) 맨틀 대류 : 연약권은 부분 용융 상태로 유동성을 띠고 있어 깊이에 따른 온도 차이로 인해 대류가 나타난다. 판(암석권)의 운동은 맨틀의 대류에 의해 나타난다.
- (2) 맨틀 대류와 판의 운동
 - ① 맨틀 대류의 상승부 : 판의 발산형 경계
 - ② 맨틀 대류의 하강부 : 판의 수렴형 경계
- (3) 판 이동의 원동력
 - ① 해령에서 판을 밀어내는 힘 : 맨틀 대류가 상승하는 해령에서는 지속적인 마그마의 분출로 높은 해저산맥이 형성된다. 해령이 높아짐에 따라 발생하는 중력이 해령을 중심으로 양쪽으로 판을 밀어내는 원동력으로 작용한다.
 - ② 섭입하는 판이 잡아당기는 힘 : 섭입대에서 침강하는 판은 냉각되어 밀도가 커지고 두께가 두꺼워지므로 무거운 상태로 침강하면서 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다.

▶ 플룸 구조론과 열점

1. 플룸 구조론

- (1) 플룸 : 지구 내부에서 나타나는 기둥 모양의 물질과 에너지의 흐름으로 뜨거운 플룸과 차가운 플룸으로 구분된다.
 - ① 뜨거운 플룸
 - 맨틀과 외핵의 경계부에서 가열된 암석이 주변의 맨틀 물질보다 가벼워져 상승하는 것으로 알려져 있다.
 - 남태평양과 아프리카 대륙 아래에 거대한 뜨거운 플룸이 상승하고 있다.
 - ② 차가운 플룸
 - 섭입하는 해양판은 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계부에 지속적으로 쌓이게 되는데 오랫동안 쌓인 많은 양의 해양판은 결국 하부 맨틀 속으로 침강하여 차가운 플룸을 형성한다.
 - 하강하는 차가운 플룸이 핵과 맨틀의 경계면까지 도달하면, 핵에서 차가운 플룸에 대해 열적 반응이 일어나고 경계면의 온도 구조가 교란되어 뜨거운 플룸이 생성되는 것으로 추정된다.
 - 유라시아 대륙의 아래에는 거대한 차가운 플룸이 하강하고 있다.

	온도	밀도	지진파 속도 편차	위치
뜨거운 플룸				
차가운 플룸				

▶ 열점

1. 열점

- (1) 열점 : 뜨거운 플룸 상승류와 지표면이 만나는 지점 아래에 마그마가 생성되는 곳
- (2) 열점과 화산섬의 분포
 - ① 열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 생성된 마그마가 지각을 뚫고 분출하여 화산 활동이 일어나며, 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서 상승하므로 상부 맨틀의 대류로 판이 이동해도 열점의 위치는 변하지 않는다.
 - ② 고정된 열점에서 마그마가 분출하면 화산섬이나 해산 등이 만들어지고, 판이 이동하면서 새로운 화산섬이 연속적으로 만들어져 일정한 배열을 보이기도 한다.
- (3) 열점으로 알 수 있는 것
 - ① 판의 이동 방향 : 나이가 적은 화산섬에서 나이가 많은 화산섬 방향으로 판이 이동한다.
 - ② 판의 이동 속력 = $\frac{\text{화산섬과 열점사이의거리}}{\text{화산섬의나이}}$ 로 구할 수 있다.

▶ 화성암

1. 산출 상태와 조직에 따른 화성암 분류 방법

- (1) 화성암
 - ① 마그마가 지표 부근이나 지표에서 비교적 빠르게 식어 굳어진 것
 - ② 냉각 속도가 빠르기 때문에 광물 결정이 충분히 성장하지 못하여 세립질 조직이나 유리질 조직이 됨
 - ③ 용암이 급격히 냉각되면서 수축하는 과정에서 주상 절리가 형성되기도 한다.
- (2) 심성암
 - ① 마그마가 지표까지 도달하지 못하고 지하 깊은 곳에서 냉각된 것
 - ② 광물 결정이 충분히 성장하여 조립질 조직이 됨
 - ③ 지하 깊은 곳의 심성암이 융기하여 지표로 드러나면 압력 감소에 의한 판상 절리가 형성되기도 한다.
- (3) 마그마의 종류에 따른 화성암 분류

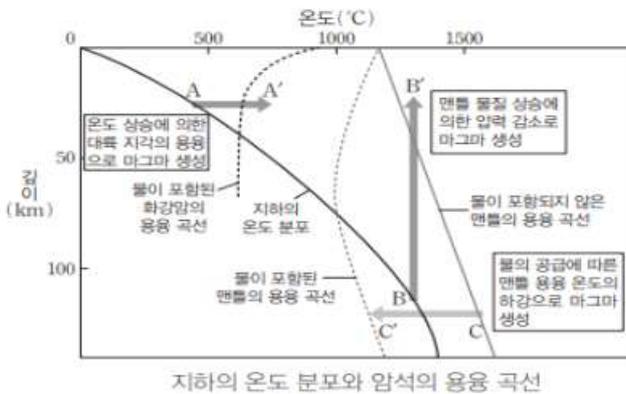
마그마의 종류	현무암질	안산암질	유문암질
SiO ₂ 함량	52 % 이하	52 % ~ 63 %	63 % 이상
온도	높다	—————	낮다
점성	작다	—————	크다

▶ 마그마의 생성

1. 마그마의 생성

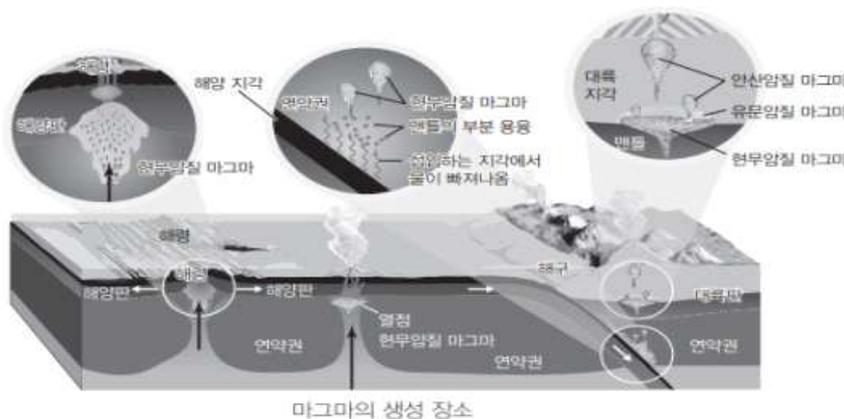
(1) 마그마의 생성 원리

- ① 온도 상승에 의한 대륙 지각의 용융 : 유문암질 마그마 생성
- ② 압력 감소에 의한 맨틀의 용융 : 현무암질 마그마 생성
- ③ 물에 의한 용융 온도 하강 : 현무암질 마그마 생성



(2) 마그마의 생성 과정

- ① 해령 하부에서의 마그마 생성 : 해령 하부에서는 맨틀 물질이 상승하여 압력이 감소하면 맨틀 물질이 부분 용융되어 주로 현무암질 마그마가 생성되고, 해령에서는 주로 현무암질 마그마가 분출된다.
- ② 베니오프대에서의 마그마 생성 : 해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 가열되어 유문암질 마그마가 생성될 수 있다. 또한 상승한 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성 될 수 있다. 베니오프대가 발달하는 수렴형 경계에서는 주로 안산암질 마그마가 분출된다.
- ③ 열점에서의 마그마 생성 : 맨틀 물질이 상승하여 압력이 감소하면 맨틀 물질이 부분 용융되어 주로 현무암질 마그마가 생성된다.



▶ 퇴적암

1. 퇴적암과 퇴적 환경

(1) 퇴적암 : 지표의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설물, 물에 녹아 있는 물질, 생물의 유해 등이 쌓인 퇴적물이 다져지고 굳어져 퇴적암이 생성된다.

① 속성 작용 : 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기 직전까지의 단계로, 압축 작용과 교결 작용이 있다.

- 압축 작용 : 퇴적물의 무게에 의해 부피가 줄어드는 작용(밀도 증가, 공극률 감소)
- 다짐 작용 : 퇴적물 내의 물이나 지하수에 용해된 석회질 성분 등에 의해 퇴적물이 굳어지는 작용

② 퇴적암의 종류

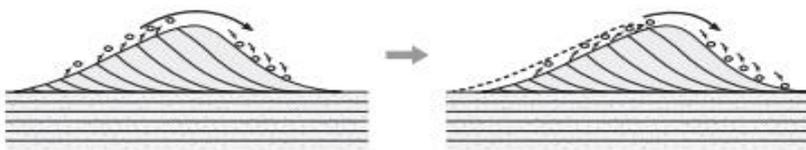
- 쇄설성 퇴적암 : 지표의 암석이 풍화와 침식을 받아 생긴 점토, 모래, 자갈 등이 운반된 후 쌓이거나 화산 분출물이 쌓여서 형성된 퇴적암
- 화학적 퇴적암 : 호수나 바다 등에서 물에 녹아 있던 물질이 화학적으로 침전되거나 물이 증발함에 따라 잔류하여 만들어진 퇴적암
- 유기적 퇴적암 : 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여 만들어진 암석

구분		주요 퇴적물	퇴적암
쇄설성 퇴적암	풍화·침식 작용	자갈(2 mm 이상)	역암
		모래($\frac{1}{16} \sim 2$ mm)	사암
		실트, 점토($\frac{1}{16}$ mm 이하)	이암, 세일
	화산 분출	화산탄, 화산암괴(64 mm 이상)	집괴암(화산 각력암)
		화산력(2~64 mm)	라필리 응회암
		화산재(2 mm 이하)	응회암
화학적 퇴적암	침전 작용	CaCO ₃	석회암
		SiO ₂	처트
		NaCl	암염
유기적 퇴적암	생물의 유해나 골격 퇴적	석회질 생물체(산호, 유공충 등)	석회암
		규질 생물체(방산충 등)	처트, 규조토
		식물체	석탄

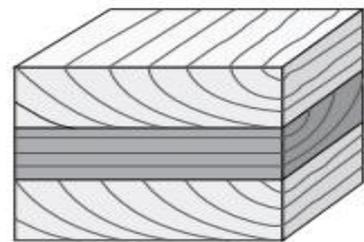
▶ 퇴적 구조

1. 퇴적 구조

- (1) 사층리 : 층리가 나란하지 않고 비스듬히 기울어지거나 엇갈려 나타나는 퇴적 구조로, 주로 수심이 얇은 물밑이나 바람의 방향이 자주 바뀌는 곳에서 물이 흘러가거나 바람이 불어가는 방향의 비탈면에 퇴적물이 쌓여 형성된다.
- (2) 건열 : 수심이 얇은 물밑에 점토질 물질이 쌓인 후 퇴적물의 표면이 대기에 노출되어 건조해지면서 가뭄이 들 때 논바닥이 갈라지는 것과 같이 갈라진 구조이다.
- (3) 연흔 : 물결 모양의 퇴적 구조로, 얇은 바다나 호수에서 물결이나 바람에 의한 퇴적물의 운동으로 형성
- (4) 점이 층리 : 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 작아지는 퇴적 구조로, 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적될 때 큰 입자가 밑바닥에 먼저 가라앉고 작은 입자는 천천히 가라앉아 형성된다.



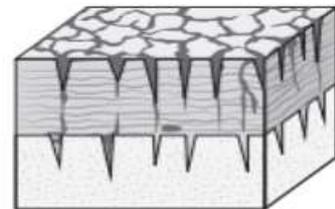
사층리의 형성 과정



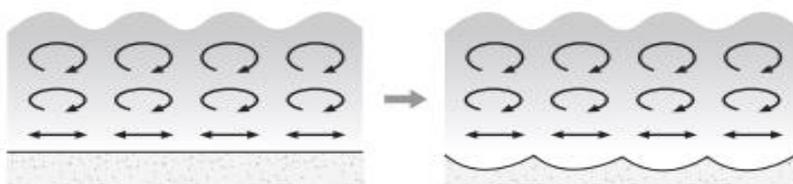
사층리



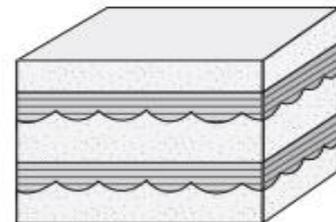
건열의 형성 과정



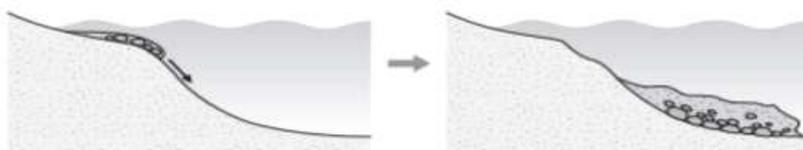
건열



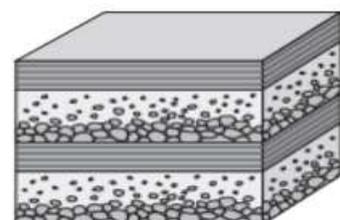
파도에 의한 연흔의 형성 과정



연흔



점이 층리의 형성 과정

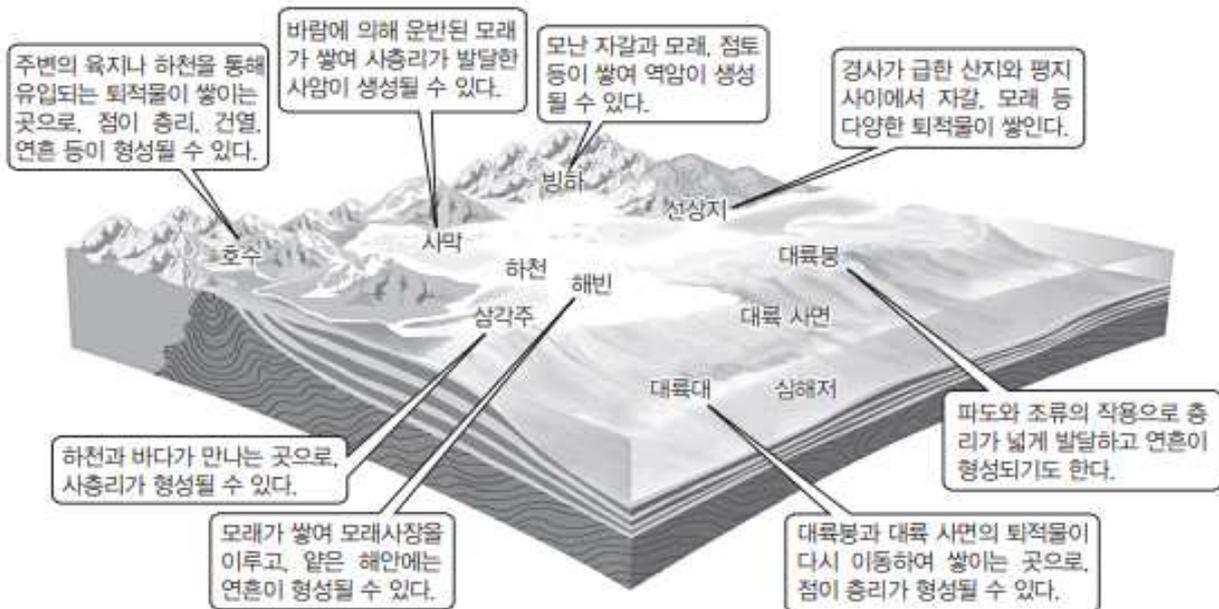


점이 층리

▶ 퇴적 환경

1. 퇴적 환경

- (1) 육상 환경 : 빙하, 선상지, 강바닥, 호수, 사막 등
- (2) 연안 환경 : 삼각주, 강 하구, 해변, 사주, 석호 등
- (3) 해양 환경 : 대륙붕, 대륙대, 심해저 등



(4) 한반도의 퇴적 지형

- ① 강원도 태백시 구문소: 고생대 바다에서 퇴적된 석회암으로 주로 이루어져 있고, 삼엽충과 완족류 화석이 발견되며, 연흔과 건열 등의 퇴적 구조가 나타난다.
- ② 전라북도 부안군 채석강: 중생대 호수에서 퇴적된 역암과 세일 등으로 이루어져 있고, 층리가 잘 발달해 있으며, 연흔과 건열 등의 퇴적 구조가 나타난다.
- ③ 경상남도 고성군 덕명리: 중생대 호수에서 퇴적된 세일층으로 이루어져 있고, 다양한 공룡 발자국 화석과 새 발자국 화석이 발견되며, 연흔과 건열 등의 퇴적 구조가 나타난다.
- ④ 제주도 한경면 수월봉: 신생대 화산 활동으로 분출된 화산재가 두껍게 쌓인 황갈색의 응회암으로 이루어져 있으며, 층리가 잘 발달해 있다.
- ⑤ 전라북도 진안군 마이산: 중생대 호수에서 퇴적된 역암, 사암, 세일 등으로 이루어져 있고, 민물조개나 고둥 같은 생물의 화석이 발견된다.
- ⑥ 경기도 화성시 시화호: 중생대에 형성된 역암, 사암 등의 퇴적암 지층에서 다량의 공룡알 화석과 공룡 뼈 화석이 발견된다.



강원도 태백시 구문소



경상남도 고성군 덕명리



제주도 한경면 수월봉

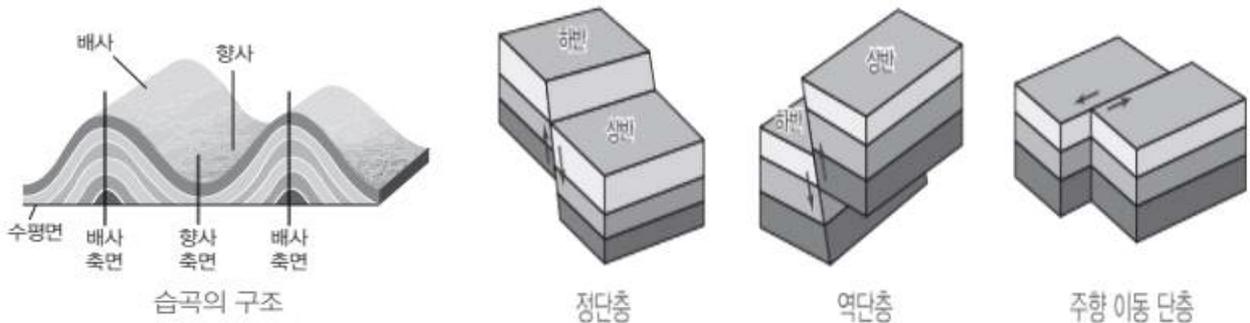
▶ 지질 구조

1. 관입암과 포획암

- (1) 관입암 : 마그마가 주변의 지층이나 암석을 뚫고 들어가는 것을 관입이라 하고, 관입한 마그마가 식어 굳어진 암석을 관입암이라고 한다.
- (2) 포획암 : 마그마가 관입하는 과정에서 깨진 주변 암석의 일부가 마그마 내부로 들어가는 경우 마그마가 식어서 만들어진 화성암 내에 깨진 암석 조각을 포획암이라고 한다.

2. 습곡과 단층

- (1) 습곡 : 횡압력에 의해 지층이 휘어진 구조
- (2) 단층 : 암석층이 힘을 받아 끊어지고, 끊어진 면의 양쪽 암석이 움직인 구조
 - ① 정단층 : 장력으로 상반이 아래로 내려간 단층
 - ② 역단층 : 횡압력으로 상반이 위로 올라간 단층
 - ③ 주향 이동 단층 : 수평 방향으로 움직인 단층



3. 절리

- (1) 주상 절리 : 지표로 분출한 용암이 빠르게 식는 과정에서 수축하여 형성된 오각형이나 육각형 기둥 모양의 절리로, 화산암에서 잘 나타난다.
- (2) 판상 절리 : 지하 깊은 곳에 있는 암석이 지표로 드러나면 암석을 누르는 압력이 감소하여 팽창하면서 생기는 판 모양의 절리로, 심성암에서 잘 나타난다.

4. 부정합

- (1) 부정합 : 인접한 상하 지층 사이에 큰 시간 차이가 있을 때 두 지층의 관계를 부정합, 두 지층의 경계면을 부정합면이라고 한다.
- (2) 부정합의 종류
 - ① 평행 부정합 : 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 부정합
 - ② 경사 부정합 : 부정합면을 경계로 상하 지층이 경사를 이루는 부정합
 - ③ 난정합 : 지하에서 형성된 심성암이나 변성암이 지표까지 용기하여 침식되고 그 위에 새로운 지층이 퇴적되어 나타나는 부정합

▶ 지층의 생성 순서

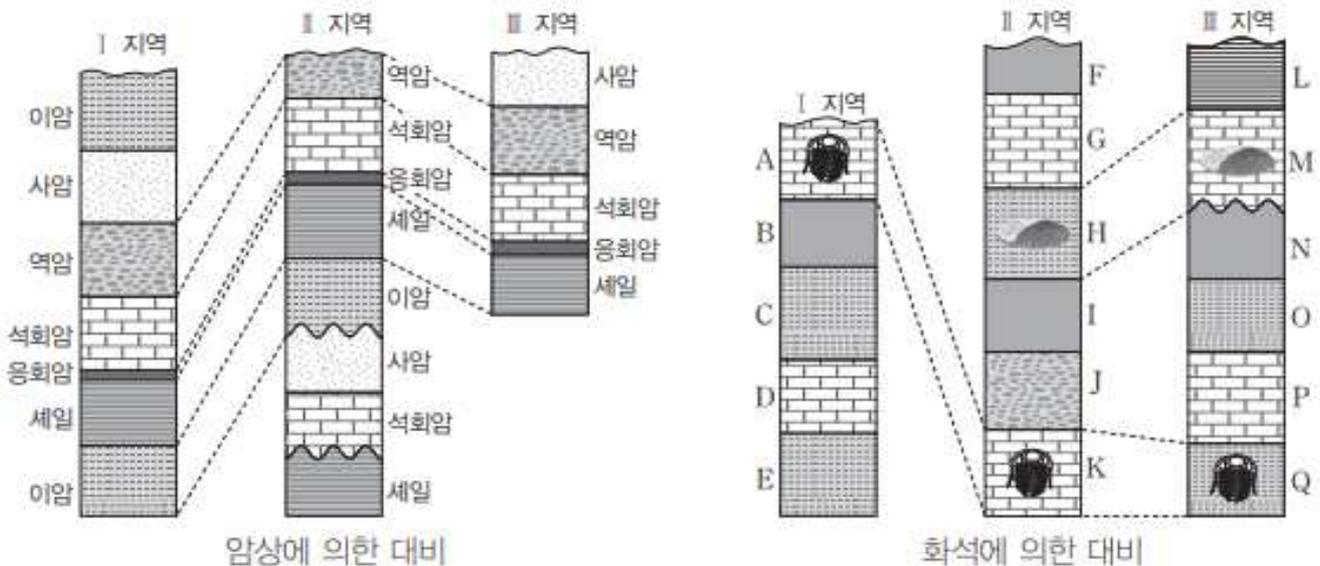
1. 지사학의 법칙

(1) 지사학의 법칙

- ① 수평 퇴적의 법칙 : 퇴적물은 일반적으로 수평으로 퇴적되는데, 중력의 영향을 받으므로 지층이 휘어져 있거나 한쪽으로 기울어져 있으면 퇴적물이 쌓인 후 지각 변동을 받았다고 판단할 수 있다.
- ② 지층 누층의 법칙 : 먼저 쌓인 지층이 나중에 쌓인 지층보다 아래에 위치한다. 이 법칙을 적용할 때 지층 내에 발달된 퇴적 구조를 이용하여 지층의 역전 여부를 판단할 수 있다.
- ③ 관입의 법칙 : 관입한 암석은 관입당한 암석보다 나중에 생성되었다.
- ④ 부정합의 법칙 : 부정합면을 경계로 상하 지층 사이에는 긴 시간 간격이 있다.
- ⑤ 동물군 천이의 법칙 : 지층에서 발견되는 화석의 종류와 진화 정도에 따라 지층의 생성 순서를 판단할 수 있다.

2. 상대 연령과 지층의 대비

- (1) 상대 연령 : 지층이 쌓이거나 마그마가 관입하는 것 등의 지질학적 사건의 선후 관계, 즉 발생 순서를 상대 연령이라 한다.
- (2) 지층의 대비 : 서로 멀리 떨어진 지층의 선후 관계를 결정하는 것으로 암석층의 특징, 포함된 화석 등의 증거들을 통해 정해야 한다.
 - ① 암상에 의한 대비
 - 건층(열쇠층) : 응회암층, 석탄층 등
 - 비교적 가까운 거리에 있는 지층의 대비에 이용된다.
 - ② 화석에 의한 대비
 - 표준 화석을 이용
 - 서로 멀리 떨어져 있는 지층에서도 적용이 가능하다.



3. 절대 연령

(1) 절대 연령 : 암석이나 광물이 생성된 시기를 구체적인 수치로 나타내는 것, 보통 방사성 동위 원소의 반감기를 이용하여 알아낸다.

① 반감기 : 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다.

- 모원소와 자원소 : 방사성 동위 원소는 시간이 지남에 따라 방사선을 방출하면서 붕괴하여 다른 원소로 변하는데, 붕괴하는 방사성 동위 원소를 모원소, 방사성 동위 원소가 붕괴하여 생성되는 원소를 자원소라고 한다.

② 반감기와 절대 연령 사이의 관계

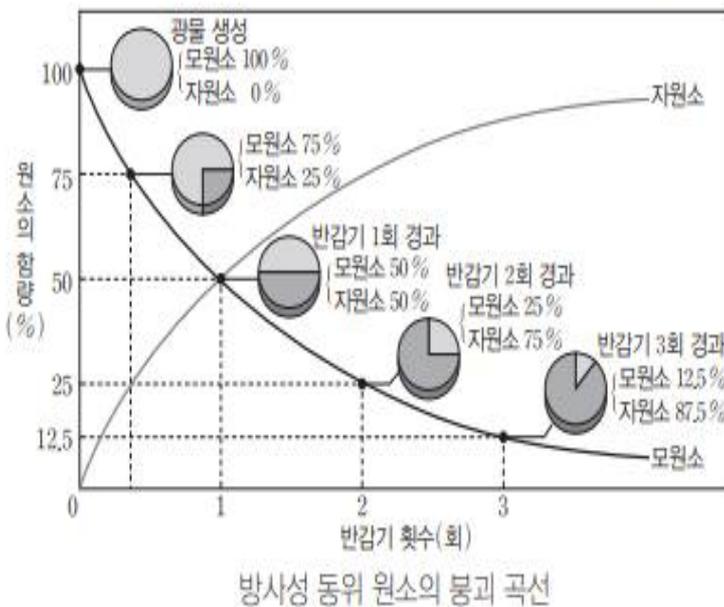
- 시간이 지남에 따라 모원소의 함량은 줄어들고, 자원소의 함량은 증가한다.

• 현재의 $\frac{\text{모원소 함량}}{\text{모원소 함량} + \text{자원소 함량}} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$

• $\frac{\text{현재 모원소 함량}}{\text{암석 생성 당시 모원소 함량}} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$

- 절대 연령 = 방사성 동위 원소의 반감기 x 반감기가 지난 횟수

$t = n \times T$ (t : 절대 연령, n : 반감기 경과 횟수, T : 반감기)



▶ 지질 시대의 환경과 생물

1. 지질 시대의 구분

(1) 지질 시대의 구분 : 누대 > 대 > 기 > 세

- ① 선캄브리아 시대 : 약 46억 년 전 ~ 약 5억 4천1백만 년 전, 시생 누대와 원생 누대를 포함한다.
- ② 고생대 : 약 5억 4천1백만 년 전 ~ 약 2억 5천2백만 년 전
- ③ 중생대 : 약 2억 5천2백만 년 전 ~ 약 6천6백만 년 전
- ④ 신생대 : 약 6천6백만 년 전 ~ 현재

지질 시대		절대 연대 (백만 년 전)	지질 시대		절대 연대 (백만 년 전)
누대	대		대	기	
현생 누대	신생대	66.0	신생대	제4기	2.58
	중생대	252.2		네오기	23.03
	고생대	541.0		팔레오기	66.0
원생 누대	신원생대	1000	중생대	백악기	145.0
	중원생대	1600		쥐라기	201.3
	고원생대	2500		트라이아스기	252.2
	신시생대	2800	고생대	페름기	298.9
중시생대	3200	석탄기		358.9	
고시생대	3600	데본기		419.2	
초시생대	4000	실루리아기		443.8	
				오르도비스기	485.4
			캄브리아기	541.0	

지질 시대의 구분

- 시생 누대 : 최초의 생명체(단세포 생물)가 처음 나타난 시기
- 원생 누대 : 원시 생물(다세포 생물)들이 나타난 시기
- 현생 누대 : 화석이 많이 발견되는 시기

2. 화석

(1) 화석 : 지질 시대에 살았던 동식물의 유해나 생물이 활동한 흔적이 암석에 보존된 것

(2) 화석의 생성 조건

- ① 생물체에 단단한 부분이 있으면 유리하다.
- ② 미생물에 의해 분해되기 전에 퇴적물 속에 빠르게 묻혀야 한다.

(3) 표준 화석과 시상 화석

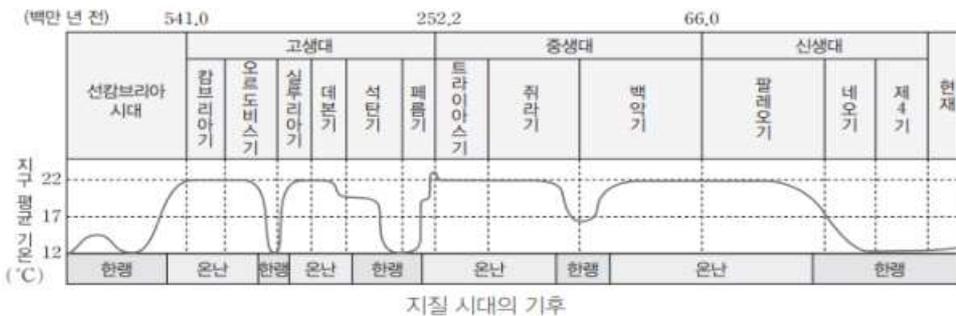
① 표준 화석

- 지질 시대의 결정과 지층 대비에 사용되는 화석
- 분포 면적이 넓어야 하며, 개체 수가 많고 생존 기간이 짧아야 한다.
고생대 : 삼엽충, 필석, 갑주어, 방추충
중생대 : 암모나이트, 공룡
신생대 : 화폐석, 매머드

② 시상 화석

- 생물이 살던 시기의 환경을 지시
- 생존 기간이 길고 특정 환경에서만 서식해야 한다.
고사리 : 온난 습윤한 육지
산호 : 맑고 따뜻한 바다

3. 지질 시대의 기후



(1) 선캄브리아 시대 : 대체로 온난했지만 중기와 말기에 큰 빙하기가 있었다.

(2) 고생대 : 중기와 말기에 빙하기가 있었다.

(3) 중생대 : 빙하기 없이 대체로 온난했다.

(4) 신생대 : 초기에는 온난했으나 점차 기온이 내려가 후기에는 빙하기가 여러 번 나타났다.

(5) 고기후 연구 방법

- ① 산소 동위 원소비 연구
- ② 빙하 코어 연구
- ③ 생물체 연구
- ④ 지층의 퇴적물 연구

4. 지질 시대의 환경

(1) 선캄브리아 시대

- ① 시생 누대 : 약 38억 년 전에 단세포 원핵생물 출현, 스트로마톨라이트(남세균 군집)
- ② 원생 누대 : 진핵생물, 다세포 생물 출현(에디아카라 동물군)
- ③ 기후 : 초기 지층에서 두꺼운 석회암층이, 중기와 후기 지층에서 빙하 퇴적물 발견
- ④ 대기 : 초기에는 주로 질소와 이산화 탄소로 이루어져 있었고, 남세균의 광합성을 통해 대기 중에 산소의 양이 증가하기 시작하면서 생명체가 육지 위에서도 탄생하게 되었다.
- ⑤ 수륙 분포 : 후기에 초대륙 로디니아가 형성되었다가 분리되기 시작하였다.

(2) 고생대

- ① 캄브리아기 : 삼엽충, 완족류 등의 해양 무척추동물 번성
- ② 오르도비스기 : 필석, 산호 등이 크게 번성, 최초의 척추 동물인 어류 출현
- ③ 실루리아기 : 갑주어, 바다 전갈 등이 번성, 최초의 육상 식물 출현
- ④ 데본기 : 갑주어를 비롯한 어류 번성, 양서류 출현
- ⑤ 석탄기 : 양치식물 번성, 양치식물이 땅속에 매몰되어 두꺼운 석탄층 형성
- ⑥ 페름기 : 따뜻하고 얕은 바다에서 방추충 번성, 겉씨식물 출현, 말기에 대멸종
- ⑦ 수륙 분포 : 전기에는 모든 대륙들이 흩어져 있었지만, 말기에는 대륙들이 모두 합쳐져 판게아 형성, 이 과정에서 애팔래치아 산맥, 칼레도니아 산맥과 같은 큰 규모의 산맥이 형성

(3) 중생대

- ① 트라이아스기 : 파충류 번성, 말기에는 포유류 출현
- ② 쥐라기 : 후기에 파충류에서 조류로 진화하는 중간 단계의 생물로 추정되는 시조새 출현
- ③ 백악기 : 공룡과 암모나이트가 크게 번성하였으나 말기에 멸종, 속씨식물 출현
- ④ 동물계 : 파충류의 시대, 바다에는 암모나이트 번성
- ⑤ 수륙 분포 : 초대륙 판게아는 트라이아스기 말부터 분리되기 시작하여 쥐라기에는 대서양이 나타나기 시작하였고, 백악기에는 인도양이 확장되기 시작

(4) 신생대

- ① 팔레오기, 네오기 : 속씨식물 번성, 넓은 초원 지대 형성, 포유류 번성, 화폐석 번성
- ② 제4기 : 매머드 번성, 초기에 인류의 조상이 출현
- ③ 수륙 분포 : 신생대에 아프리카와 인도 대륙은 계속 북쪽으로 이동하여 유라시아 대륙과 충돌하면서 알프스 산맥과 히말라야 산맥이 형성되었다. 또한 대서양과 인도양이 확장되고, 태평양이 좁아지면서 대륙과 해양의 분포가 현재와 비슷해졌다.

▶ 기압과 날씨 변화

1. 기압

- (1) 기압 : 단위 면적에 작용하는 대기의 압력, 공기의 양에 따라 달라진다.
- (2) 기압의 변화 : 기압은 측정 시간과 장소, 높이 등에 따라 계속 변한다.
- (3) 평균 해면 기압 : 해수면 높이에서 측정한 평균값으로 1기압(1013hPa)이다.

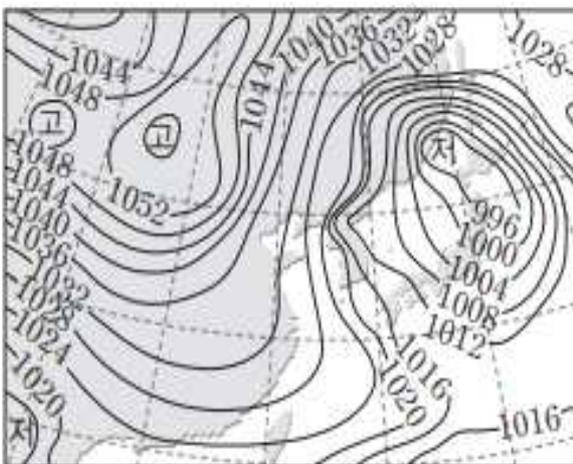
2. 고기압과 저기압

고기압	저기압
주변보다 기압이 높은 곳	주변보다 기압이 낮은 곳
	
바람이 시계 방향으로 불어 나감(북반구), 하강 기류 발달, 날씨 맑음	바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어감(북반구), 상승 기류 발달, 구름 형성, 날씨 흐림

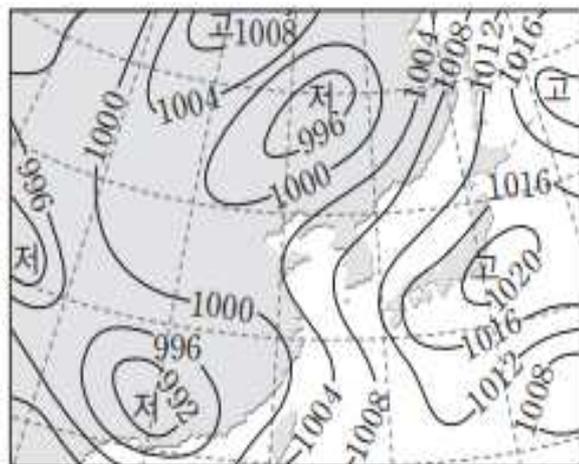
(1) 고기압의 종류

① 정체성 고기압

- 고기압의 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압
- 시베리아 고기압, 북태평양 고기압



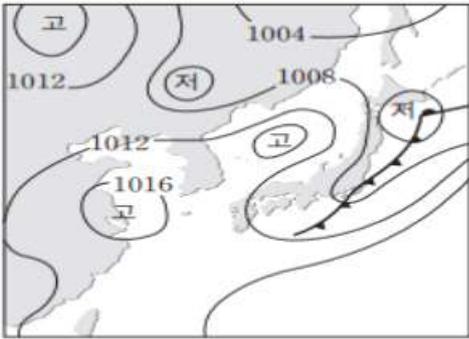
시베리아 고기압(겨울철)



북태평양 고기압(여름철)

② 이동성 고기압

- 정체성 고기압에서 떨어져 나와서 이동해 가는 고기압
- 규모가 큰 시베리아 고기압에서 일부가 떨어져 나오거나, 양쯔강 기단에서 발달하는 비교적 규모가 작은 고기압

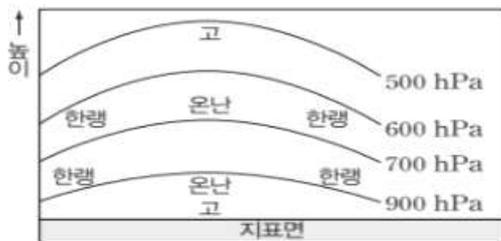


이동성 고기압(봄철, 가을철)

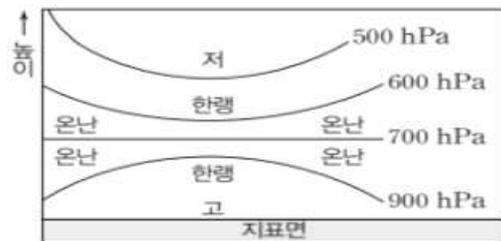
(2) 저기압의 종류

- ① 온대 저기압 : 중위도 지역에서 발생하는 전선을 동반한 저기압
- ② 열대 저기압 : 저위도 해상에서 발생하며 전선을 동반하지 않는 저기압

그림은 정체성 고기압을 연직 기압 분포에 따라 분류한 것이다. 고기압권 내의 기온이 주위보다 높은 고기압을 온난 고기압(warm high), 고기압권 내의 기온이 주위보다 낮은 고기압을 한랭 고기압(cold high)이라고 한다.



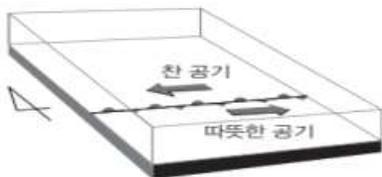
온난 고기압의 연직 구조(예)



한랭 고기압의 연직 구조(예)

온난 고기압은 '키 큰 고기압', 한랭 고기압은 '키 작은 고기압'이라고도 불린다. 우리나라의 여름철에 영향을 미치는 북태평양 고기압은 온난 고기압, 겨울철에 영향을 미치는 시베리아 고기압은 한랭 고기압에 해당한다.

(3) 온대 저기압의 일생



(가) 정체 전선 형성
남쪽의 따뜻한 기단과 북쪽의 찬 기단 사이에 정체 전선이 형성된다.



(나) 파동 형성
정체 전선을 사이에 두고 파동이 형성되면서 남하하려는 공기와 북상하려는 공기 사이에 한랭 전선과 온난 전선이 형성된다.



(다) 온대 저기압 발달
온난 전선과 한랭 전선이 발달하면서 중심부에 저기압이 형성된다.



(라) 폐색 전선 형성 시작
이동 속도가 빠른 한랭 전선이 온난 전선 쪽으로 이동하여 폐색 전선이 형성되기 시작한다.



(마) 폐색 전선 발달
폐색 전선의 양쪽에 찬 공기가 위치하게 되면 온대 저기압의 세기는 점차 약해진다.



(바) 온대 저기압 소멸
따뜻한 공기는 위로 올라가고, 찬 공기는 아래에 위치하면서 온대 저기압은 소멸된다.

▶ 전선

1. 전선면과 전선

(1) 전선면 : 찬 기단과 따뜻한 기단이 만나면서 서로 잘 섞이지 않고 경계면을 이루는 부분

(2) 전선

- ① 전선면이 지표면과 만나서 이루는 경계선, 중위도 지방에서 발달하기 쉽다.
- ② 전선 부근의 강수 구역은 대체로 전선을 경계로 찬 공기 쪽에서 나타난다.

2. 전선의 종류

(1) 한랭 전선

- ① 찬 공기가 따뜻한 공기 쪽으로 이동할 때 찬 공기가 따뜻한 공기를 밀어 올려 생기는 전선, 전선면의 기울기가 급하고 상승 기류가 강하다.
- ② 전선 뒤쪽에 적란운이나 적운형의 구름이 생겨 좁은 지역에 소나기가 내린다.
- ③ 전선 통과 후 기온은 낮아지고 기압은 높아진다.

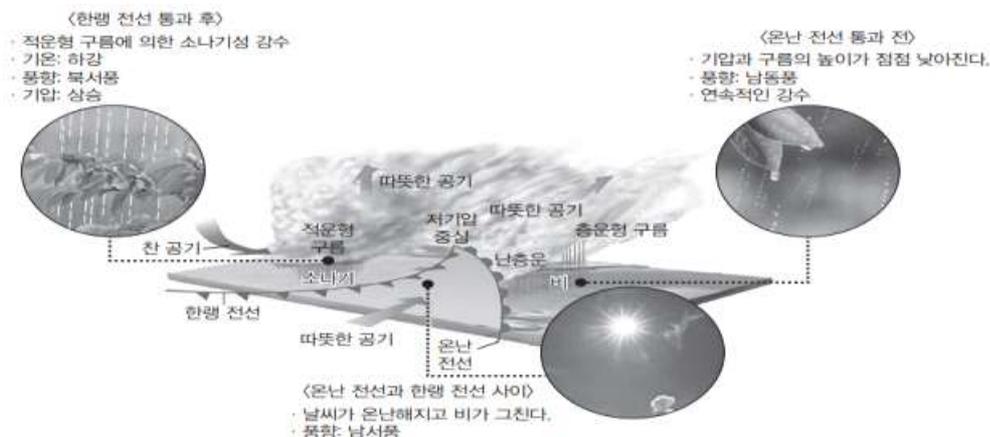
(2) 온난 전선

- ① 따뜻한 공기가 찬 공기 쪽으로 이동하여 찬 공기 위를 타고 올라갈 때 생기는 전선, 전선면의 기울기가 완만하다.
- ② 전선 앞쪽에 층운형 구름이 생기고, 넓은 지역에 오랫동안 비가 내린다.
- ③ 전선 통과 후 기온은 높아지고 기압은 낮아진다.

구분		한랭 전선	온난 전선
전선면의 기울기		급하다	완만하다
구름과 강수 형태		적운형, 소나기	층운형, 지속적인 비
구름과 강수 구역		주로 전선 후면의 좁은 구역	주로 전선 전면의 넓은 구역
전선의 이동 속도		빠르다	느리다
통과 전후의 변화	기온	하강	상승
	기압	상승	하강
	바람(북반구)	남서풍 → 북서풍	남동풍 → 남서풍

(3) 폐색 전선 : 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 이동 속도가 느린 온난 전선을 따라잡아 겹쳐진 전선

(4) 정체 전선 : 전선을 형성하는 두 기단의 세력이 비슷한 경우에는 전선이 한곳에 오랫동안 머무르게 되어 정체 전선을 형성한다.



3. 일기 기호

일기	● 비	* 눈	☔ 뇌우	☁ 안개	☂ 가림비	☇ 소나기					
운량	○ 0	◐ 1	◑ 2	◒ 3	◓ 4	◔ 5	◕ 6	◖ 7	◗ 8	◘ 9	
풍속 (m/s)	0	2	5	7	12	25	27				
전선과 기압	☁ 온난 전선	☁ 한랭 전선	☁ 폐색 전선	☁ 정체 전선	Ⓜ 고기압	Ⓛ 저기압	⚡ 태풍				

4. 등압선

- (1) 1000hPa를 기준으로 2hPa 또는 4hPa 간격으로 그린다.
- (2) 미분 가능한 곡선이 되도록 그리며, 두 등압선이 교차하거나 갈라지지 않게 그린다.
- (3) 관측값이 없는 지점은 주위 기압으로부터 거리 비례로 어림하여 그린다.
- (4) 등압선의 간격이 좁을수록 풍속이 크다.

5. 기상 위성 영상

(1) 가시 영상

- ① 구름과 지표면에서 반사된 가시광선 영역의 에너지를 나타낸다.
- ② 구름에서 반사되는 햇빛이 강할수록 밝게 보이므로 구름의 두꺼울수록 밝게 보인다.
- ③ 태양 빛이 없는 야간에는 구름을 관측할 수 없다.
- ④ 해가 뜰 무렵에는 우리나라 서쪽 일부 지역에서 구름이 관측되지 않고, 해가 질 무렵에는 우리나라 동쪽 일부 지역에서 구름이 관측되지 않는다.

(2) 적외 영상

- ① 구름에서 방출하는 적외선 영역의 에너지를 나타낸다.
- ② 구름 최상부의 온도가 낮을수록 밝게 보인다.
- ③ 구름 최상부의 온도가 낮을수록 구름 최상부에서 방출하는 적외선 에너지양이 적다.
- ④ 태양 빛이 없는 야간에도 구름을 관측할 수 있다.



가시 영상



적외 영상

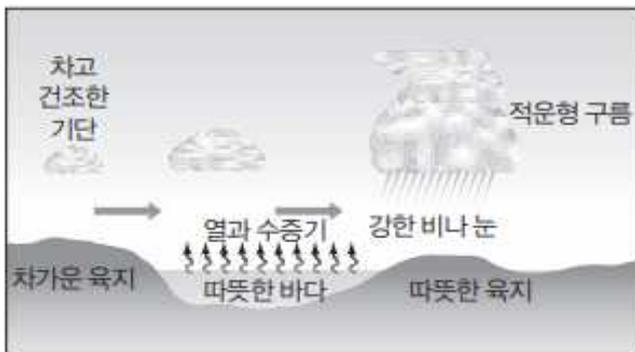
(3) 기상 위성 영상과 기상 레이더 영상

- ① 기상 위성 영상으로는 구름이 있는 지역을 알 수 있지만, 강수 구역은 정확하게 알 수 없다.
- ② 강수 구역은 기상 레이더 영상으로 판단한다.
- ③ 기상 위성 영상으로 구름의 두께와 높이를 파악할 수 있고, 기상 레이더 영상으로 강수 구역의 움직임을 실시간으로 추적할 수 있다.

▶기단과 우리나라의 계절별 날씨

1. 기단

- (1) 기단 : 공기 덩어리가 지표면의 성질이 거의 일정한 넓은 지역에 오랫동안 머물게 되면 지표면의 영향을 받아 기온과 습도 등의 성질이 거의 비슷한 공기 덩어리가 되는데, 이를 기단이라 한다.
- (2) 기단의 성질 : 기단은 발원지에 따라 다른 성질을 갖는다.
 - ① 고위도에서 형성된 기단은 한랭하고, 저위도에서 형성된 기단은 온난하다.
 - ② 대륙에서 형성된 기단은 건조하고, 해양에서 형성된 기단은 수증기가 많아서 다습하다.
- (3) 기단의 변질 : 기단이 발원지를 떠나 다른 지역으로 이동하면 지표면의 영향을 받아 성질이 변한다.
 - ① 한랭한 지역에서 형성된 기단이 따뜻한 바다를 지나 따뜻한 육지 쪽으로 이동하면 기단의 하층이 가열되어 불안정해지므로 적운이나 적란운이 생성된다.
 - ② 온난한 기단이 차가운 바다를 지나 차가운 육지 쪽으로 이동하면 기단의 하층이 냉각되어 안정해지므로 층운이나 안개가 생성된다.



한랭 기단의 변질



온난 기단의 변질

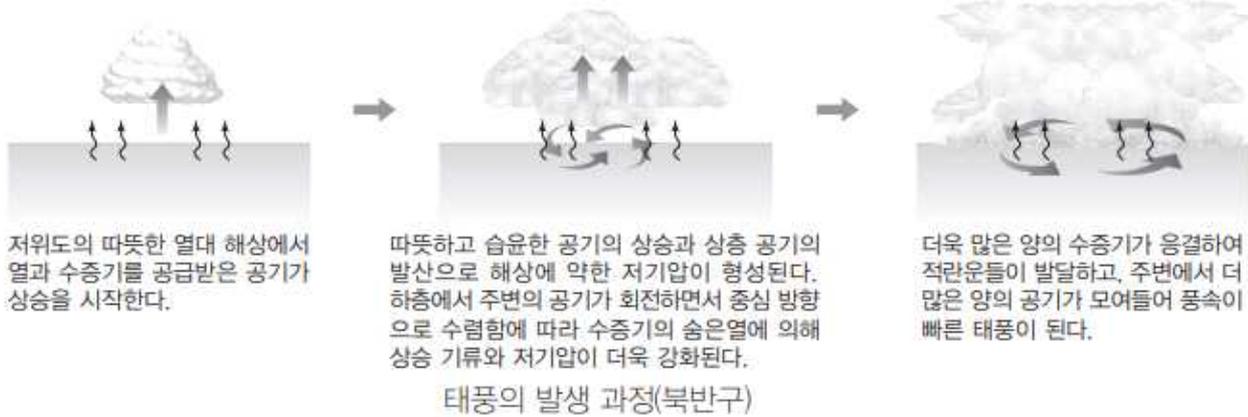
2. 우리나라에 영향을 주는 기단과 계절별 날씨

영향을 주는 공기의 성질	시베리아 기단 (한랭·건조)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
영향을 주는 공기의 성질	시베리아 기단 (한랭·건조)		양쯔강 기단 (온난·건조)		오호츠크해 기단 (한랭·다습)		북태평양 기단 (고온·다습)		오호츠크해 기단 (한랭·다습)		양쯔강 기단 (온난·건조)		
월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
계절	겨울		봄			여름			가을		겨울		
주요 기상 현상	폭설·한파		황사			장마		무더위		온난		폭설·한파	
	건조			온난			태풍·호우			건조			

▶ 태풍

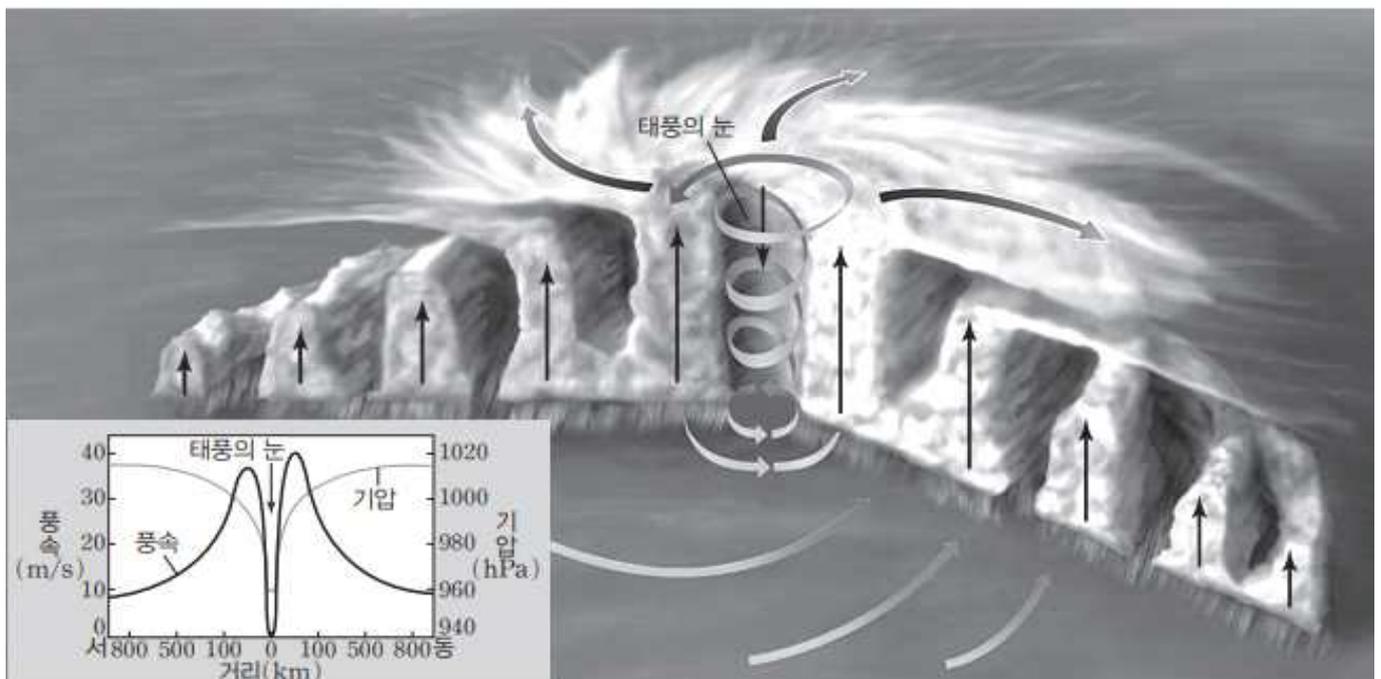
1. 태풍의 발생

- (1) 태풍은 대부분 위도 $5^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 수온이 약 $27^{\circ}C$ 이상인 열대 해상에서 수증기가 공급되어 발생하며 북태평양 서쪽에서 발생하여 중심 부근의 최대 풍속이 17m/s 이상으로 발달한 열대 저기압이다.
- (2) 태풍은 기권과 수권의 상호 작용으로 형성되며 에너지원은 수증기의 응결로 방출되는 숨은열(잠열)이다.



2. 태풍의 구조와 날씨

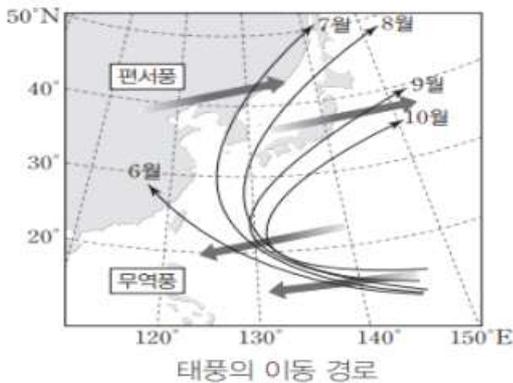
- (1) 지름은 약 200km ~ 1500km로 다양하며 평균 높이는 약 15km이다.
- (2) 태풍의 중심 쪽으로 빠르게 회전하면서 모여든 공기가 상승하여 거대한 탑 모양의 적란운이 생성된다.
- (3) 태풍의 눈 부근에는 약한 하강 기류가 있어 날씨가 맑고 바람이 약하다.
- (4) 기압은 태풍의 눈에서 가장 낮으며, 태풍의 눈 주위의 구름 벽에서 가장 강한 풍속과 강우가 나타난다.



3. 태풍의 이동 경로

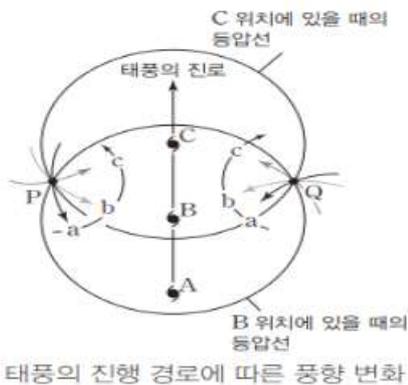
(1) 태풍의 이동 경로

- ① 태풍의 이동 경로는 대기 대순환과 북태평양 고기압의 영향을 받는다.
- ② 발생 초기에는 서쪽이나 북서쪽으로 진행하다가 북위 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 부근에 도달하면 진행 방향이 크게 바뀌어 포물선을 그리며 북동쪽으로 진행하는 경우가 일반적이다.
- ③ 우리나라에 영향을 주는 태풍은 주로 7월~9월 사이에 발생하며, 7, 8월에 통과하는 경우보다 9월에 통과하는 경우에 더 동쪽으로 치우쳐서 진행하는 경향을 보인다.



(2) 위험 반원과 안전 반원(북반구)

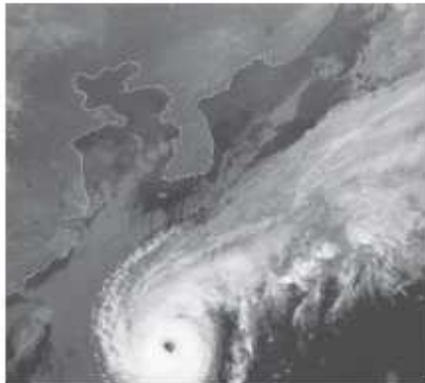
- ① 위험 반원 : 태풍이 진행하는 방향에 대하여 오른쪽 지역
 - 태풍 내 바람이 이동 방향 및 대기 대순환의 바람 방향과 모두 같은 방향이므로 풍속이 강해진다.
 - 태풍이 통과하는 동안 시계 방향으로 풍향이 변한다.
- ② 안전 반원 : 태풍이 진행하는 방향에 대하여 왼쪽 지역
 - 태풍 내 바람이 이동 방향 및 대기 대순환의 바람 방향과 모두 다른 방향이므로 풍속이 약해진다.
 - 태풍이 통과하는 동안 시계 반대 방향으로 풍향이 변한다.



4. 태풍의 소멸

태풍의 세력이 유지되거나 더 강하게 발달하려면 지속적인 에너지(수증기) 공급이 필요한데 태풍이 차가운 바다 위를 지나거나 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해진다. 또한 태풍이 육지에 상륙하면 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해진다.

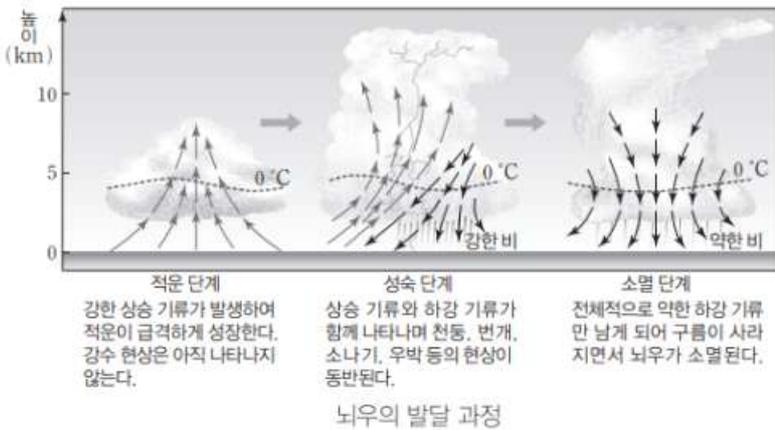
5. 온대저기압과 태풍의 비교

구분	온대 저기압	열대 저기압
발생 지역	한대 전선대	위도 5°~25°의 열대 해상
전선의 유무	전선을 동반한다.	전선을 동반하지 않는다.
등압선의 형태	등압선 간격이 열대 저기압보다 넓은 편이며 일그러진 타원형이다.	등압선 간격이 온대 저기압보다 좁고 원형에 가깝다.
풍속	풍속이 열대 저기압보다 느리다. 중심부와 주변부의 풍속이 대체로 비슷하다.	풍속이 온대 저기압보다 대체로 빠르다. 중심 부근의 풍속이 주변부보다 빠르다.
강수 지역	온대 저기압의 중심 부근과 전선 부근에서 강수 현상이 있다.	눈벽과 나선형의 구름대를 따라 강수 현상이 있다.
이동 경로	주로 편서풍의 영향을 받아 동쪽으로 이동한다.	북반구에서는 주로 북진하는데, 무역풍과 편서풍의 영향을 받아 북서쪽으로 이동하다가 전향하여 북동쪽으로 이동한다.
주요 에너지원	찬 공기와 따뜻한 공기가 만나는 과정에서 형성되는 기단의 위치 에너지	따뜻한 해양에서 공급된 수증기가 응결하면서 방출하는 숨은열(잠열)
위성 영상		

▶ 우리나라의 주요 악기상

1. 뇌우

- (1) 뇌우 : 천둥 번개와 함께 강한 소나기가 내리는 현상으로 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달한다.
- (2) 뇌우의 발달 단계
 - ① 적운 단계 : 강한 상승 기류에 의해 적운이 발달한다.
 - ② 성숙 단계 : 따뜻한 공기의 상승 기류와 함께 찬 공기의 하강 기류가 나타나고, 천둥, 번개, 소나기 등을 동반하게 된다.
 - ③ 소멸 단계 : 강수를 동반한 찬 공기의 하강이 계속되면 구름 아래쪽에서 고온 다습한 공기의 유입이 줄어들면서 강수는 약해지고 구름이 사라지게 된다.



2. 우박

- (1) 우박 : 눈 결정의 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 땅 위로 떨어지는 얼음 덩어리
- (2) 우박의 형성 : 기온이 $0^{\circ}C \sim -40^{\circ}C$ 인 적란운의 상층에서는 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 빙정에 달라붙으면서 빙정이 성장한다. 이때 빙정이 무거워져 아래로 떨어지면서 물방울과 합쳐져 더욱 성장한다.
- (3) 우박의 특징
 - ① 보통 지름이 1cm 미만이지만 훨씬 큰 것도 있으며, 핵을 중심으로 투명한 얼음층과 불투명한 얼음층이 번갈아 나타나는 층상 구조를 보인다.
 - ② 우리나라에서 우박은 주로 5월~6월이나 9월~10월에 기온이 $5^{\circ}C \sim 25^{\circ}C$ 일 때 잘 내린다.

3. 국지성 호우(집중 호우)

- (1) 짧은 시간 동안 좁은 지역에 많은 양의 비가 집중적으로 내리는 현상이다.
- (2) 일반적으로 한 시간에 30mm 이상이나 하루에 80mm 이상의 비가 내릴 때 또는 연 강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내릴 때 국지성 호우라고 한다.
- (3) 지속 시간이 수십 분~수 시간 정도이며, 비교적 좁은 지역(반경 10km~20km)에 집중적으로 내린다.
- (4) 주로 강한 상승 기류에 의해 형성되는 적란운에서 발생한다.

4. 폭설

- (1) 폭설 : 짧은 시간 동안 많은 양의 눈이 내리는 현상으로 시간당 1cm~3cm 이상 또는 24시간 이내에 5cm~20cm 이상의 눈이 내릴 때 폭설이라고 한다.
- (2) 우리나라에서는 겨울철에 저기압이 통과하거나 시베리아 고기압이 확장하면서 해수면으로부터 열과 수증기를 공급받아서 상승 기류가 발달할 때 발생한다.

5. 강풍

- (1) 강풍 : 10분 동안의 평균 풍속이 14m/s 이상인 바람을 강풍이라고 한다.
- (2) 우리나라에서 강풍은 겨울철에는 주로 시베리아 고기압이 크게 발달할 때, 여름철에는 태풍의 영향을 받을 때 잘 나타난다.

6. 황사

- (1) 황사 : 주로 봄철에 몽골이나 중국 북부의 사막 지대에서 강한 바람에 의해 상공으로 올라간 미세한 모래 먼지가 편서풍에 의해 한반도 부근까지 이동하여 서서히 떨어지는 현상이다.
- (2) 황사의 발생 과정
 - ① 발원지의 토양이 봄철에 녹으면서 잘게 부서져 미세 입자 발생
 - ② 발원지 부근에 강한 상승 기류(강한 저기압) 형성
 - ③ 발원지로부터 약 5.5km 고도의 편서풍 기류를 통해 우리나라로 이동
- (3) 황사의 발원지 : 우리나라에 영향을 미치는 황사는 주로 중국과 몽골의 경계에 걸친 사막에서 발생한다.
- (4) 황사의 영향
 - ① 기관지염, 천식 등의 호흡기 질환과 심혈관 질환, 눈병 등의 각종 질병을 유발한다.
 - ② 빨래, 음식물 등에 부착되어 일상생활에 불편을 초래한다.

▶ 해수의 성질

1. 해수의 온도

(1) 위도에 따른 해수의 표층 수온

- ① 해수의 표층 수온은 태양 복사 에너지의 영향을 받기 때문에 표층 해수의 등수온선은 대체로 위도와 나란하게 나타나며, 저위도에서 고위도로 갈수록 수온이 낮아진다.
- ② 대륙과 해양의 분포와 해류의 영향으로 표층 해수의 등수온선이 위도와 나란하지 않는 해역이 부분적으로 나타난다.

(2) 깊이에 따른 수온 분포

① 혼합층

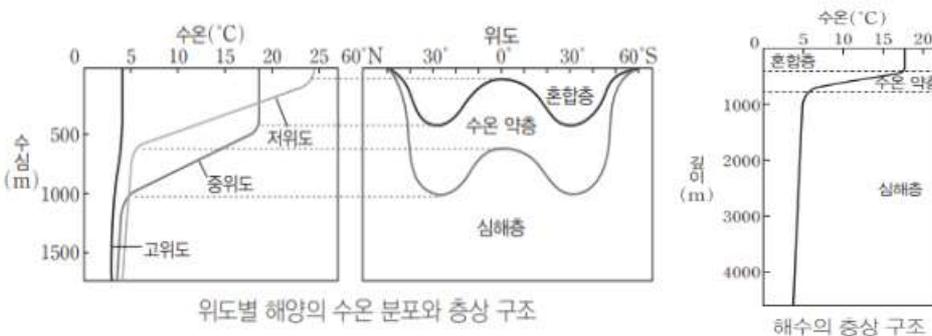
- 태양 복사 에너지에 의해 가열된 따뜻한 해수층이며, 바람에 의한 혼합 작용으로 깊이에 따른 수온 변화가 작다.
- 바람이 강할수록 두껍게 나타난다.

② 수온 약층

- 깊이가 깊어짐에 따라 수온이 낮아지는 층으로 매우 안정한 층이다.
- 저위도와 중위도 해역은 표층과 심층의 온도 차이가 커서 수온 약층이 잘 발달한다.
- 고위도 해역은 표층과 심층의 온도 차이가 거의 없어 수온에 따른 층상 구조가 발달하지 않는다.

③ 심해층

- 태양 복사 에너지가 도달하지 않아서 수온이 낮으며 계절이나 깊이에 따른 온도 변화가 거의 없다.
- 해수 총 부피의 80%를 차지한다.



2. 해수의 염분

(1) 염분 : 해수 1kg 속에 녹아 있는 염류의 양, 단위는 psu를 사용한다. 전 세계 해양의 평균 염분은 약 35psu이지만, 염분은 여러 요인들에 의해서 변하기 때문에 지역마다 차이가 있다.

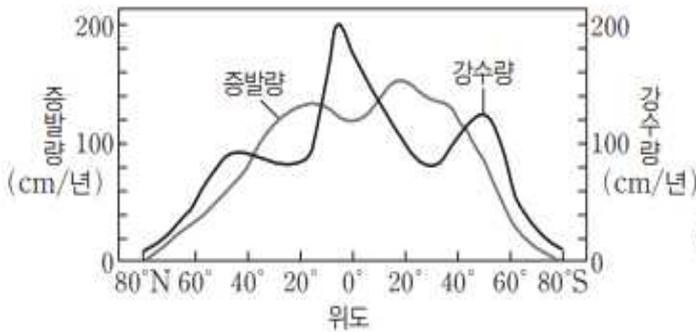
① 해수 속 염류의 양 : $NaCl > MgCl_2 > MgSO_4 > \dots$

② 표층 염분의 변화 요인

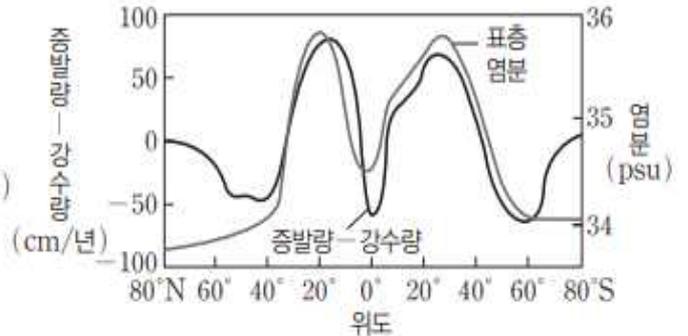
- 증가 요인 : 증발, 해수의 결빙
- 감소 요인 : 강수, 빙하의 융해, 담수 유입

(2) 위도별 표층 염분의 분포

- ① 적도 해역은 저기압이 발달하여 강수량이 증발량보다 많으므로 표층 염분이 낮다.
- ② 중위도 해역은 고기압이 발달하여 증발량이 강수량보다 많으므로 표층 염분이 높다.
- ③ 고위도 해역은 저기압이 발달하여 강수량이 많고, 수온이 낮아 증발이 잘 일어나지 않으므로 표층 염분이 낮다.
- ④ 극 부근 해역은 고기압이 발달하지만 빙하가 녹은 물이 흘러 표층 염분이 낮다.



증발량과 강수량의 분포

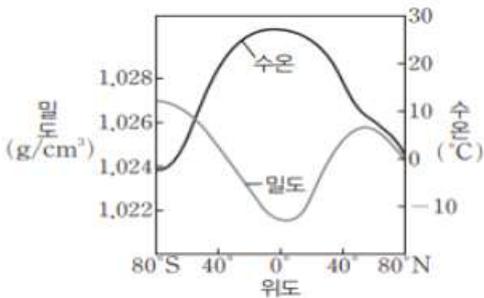


(증발량-강수량)과 표층 염분 분포

3. 해수의 밀도

(1) 해수의 밀도

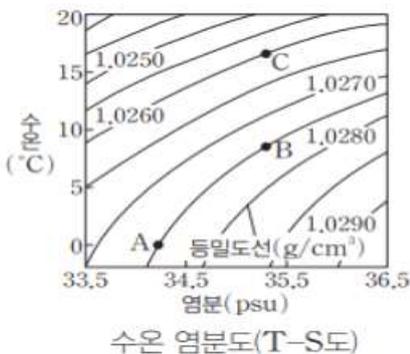
- ① 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 따라 결정되며, 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 밀도가 크다.
- ② 해수는 여러 염류들이 용해되어 있어 순수한 물보다 밀도가 크다.



위도별 표층 해수의 수온과 밀도 분포

(2) 수온-염분도(T-S도)

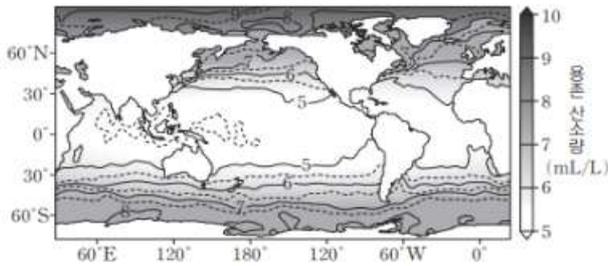
- ① 수온-염분도는 수온과 염분의 변화에 따른 등밀도 곡선의 변화를 나타낸 그림이다.
- ② 일반적으로 수괴는 밀도가 다르기 때문에 서로 만나도 쉽게 섞이지 않으며, 긴 거리와 오랜 기간 동안 그 특성을 유지한다. 그러므로 수온-염분도를 이용하면 수괴의 특성뿐만 아니라 이동을 추적할 수 있다.



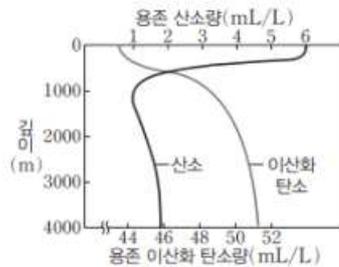
수온 염분도(T-S도)

4. 해수의 용존 기체

- (1) 용존 기체의 농도 : 기체의 용해도는 온도가 낮을수록 증가하므로 해수면에서의 용존 기체의 농도는 수온이 낮은 지역일수록 높다.
- (2) 용존 산소
 - ① 용존 산소 농도는 대기와 접해 있으며 해양 생물이 광합성을 하는 표층에서 가장 높다.
 - ② 이후 수심 약 1000m까지는 수중 동물이 호흡을 하면서 산소를 소비하므로 용존 산소 농도가 감소한다.
 - ③ 수심 1000m보다 깊은 곳에서는 수심이 깊어질수록 산소를 소비하는 동물의 수가 감소하고, 극지방의 표층에서 침강한 차가운 해수가 유입되므로 용존 산소 농도가 증가한다.
- (3) 용존 이산화 탄소
 - ① 이산화 탄소는 산소보다 물에 잘 녹는 기체로 대기에서 해수 표면으로 녹아들지만 표층에서는 해양 생물의 광합성에 의해 소비되므로 이산화 탄소의 농도가 낮다.
 - ② 수심이 깊어질수록 광합성에 의한 이산화 탄소의 소비가 줄어들고, 수중 동물의 호흡과 차가운 극지방의 표층 해수가 침강하여 유입되므로 농도가 점차 증가한다.
 - ③ 모든 수심에서 용존 이산화 탄소 농도가 용존 산소 농도보다 높다.



연평균 표층 용존 산소량 분포

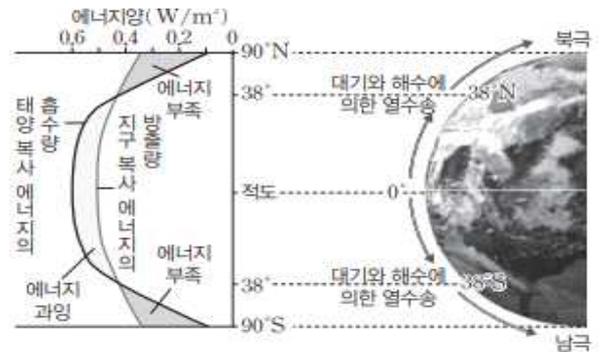


수심에 따른 용존 기체량의 변화

▶ 대기 대순환

1. 위도별 열수지

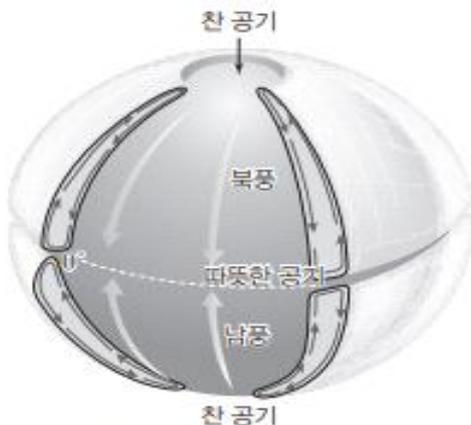
- (1) 저위도 : 에너지 과잉 상태(흡수 에너지 > 방출 에너지)
- (2) 중위도 : 에너지 부족 상태(흡수 에너지 < 방출 에너지)
- (3) 위도 38° 부근 : 에너지 평형(흡수 에너지 = 방출 에너지)



위도에 따른 열수지

2. 대기 대순환

- (1) 대기 대순환 : 지구 규모의 열에너지 이동을 일으키는 가장 큰 규모의 순환
- (2) 발생 원인 : 위도에 따른 태양 복사 에너지량의 차이와 지구 자전 효과
 - ① 지구가 자전하지 않는다고 가정할 때의 대기 대순환 모형
 - 저위도에서 가열된 공기는 상승하여 양극으로 이동하고, 극 부근에서 냉각된 공기는 하강하여 적도로 이동하는 하나의 거대한 열대류 순환이 발생한다.
 - 북반구의 지상에서는 북풍, 남반구의 지상에서는 남풍만 분다.
 - ② 지구가 자전할 때의 대기 대순환 모형
 - 해들리 순환(0° ~ 30°), 페렐 순환(30° ~ 60°), 극순환(60° ~ 90°)
 - 열대 수렴대(저위도 저압대) : 위도 0° 부근, 상승 기류
 - 중위도 고압대(아열대 고압대) : 위도 30° 부근, 하강 기류
 - 한대 전선대(고위도 저압대) : 위도 60° 부근, 상승 기류
 - 극고압대 : 위도 90° 부근, 하강 기류



지구가 자전하지 않을 때
대기 대순환 모형



지구가 자전할 때 대기 대순환 모형

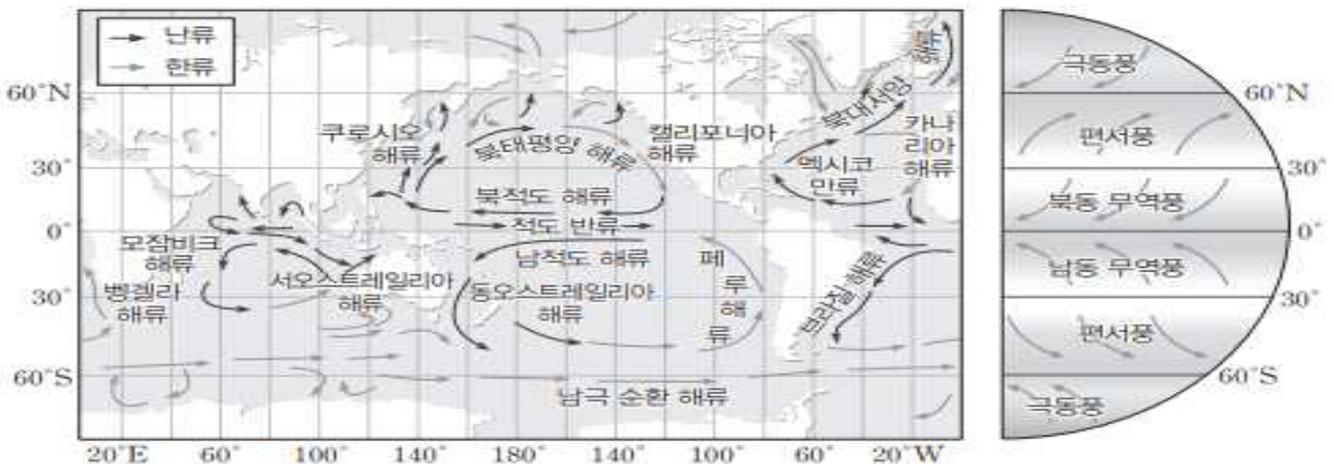
▶ 해수의 표층 순환

1. 표층 해류

- (1) 해류 : 해양에서 일정한 방향과 속력을 갖는 해수의 흐름
- (2) 표층 해류의 원인 : 대기 대순환에 의한 바람과 해수면 사이의 마찰에 의해 주로 발생
- (3) 표층 해류의 역할
 - ① 해류는 지구 전체적으로 열을 분배하는 역할을 하여 위도별 에너지의 불균형을 해소
 - ② 난류는 저위도에서 고위도로 흐르면서 열을 전달
 - ③ 한류는 고위도에서 저위도로 흐르면서 열을 흡수

2. 해수의 표층 순환

- (1) 대기 순환과 표층 해류
 - ① 무역풍에 의한 해류 : 북적도 해류, 남적도 해류
 - ② 편서풍에 의한 해류 : 북태평양 해류, 남극 순환 해류, 북대서양 해류
- (2) 아열대 해역의 표층 순환(아열대 순환)
 - ① 북태평양의 아열대 순환 : 북적도 해류 - 쿠로시오 해류 - 북태평양 해류 - 캘리포니아 해류
 - ② 남태평양의 아열대 순환 : 남적도 해류 - 동오스트레일리아 해류 - 남극 순환 해류 - 페루 해류
 - ③ 북대서양의 아열대 순환 : 북적도 해류 - 멕시코 만류 - 북대서양 해류 - 카나리아 해류
 - ④ 남대서양의 아열대 순환 : 남적도 해류 - 브라질 해류 - 남극 순환 해류 - 벵겔라 해류
- (3) 난류와 한류 : 동서 방향으로 흐르던 해류가 대륙에 막히면 남북 방향으로 해류의 흐름이 바뀐다.
 - ① 난류 : 저위도에서 고위도로 이동하는 해류
 - 수온과 염분이 높으며 용존 산소량이 적다.
 - 쿠로시오 해류, 동오스트레일리아 해류, 멕시코 만류, 브라질 해류
 - ② 한류 : 고위도에서 저위도로 이동하는 해류
 - 수온과 염분이 낮으며 용존 산소량이 많다.
 - 캘리포니아 해류, 페루 해류, 카나리아 해류, 벵겔라 해류



전 세계 표층 해류의 분포와 대기 대순환에 의한 바람

3. 우리나라 주변 해류

(1) 난류

- ① 동한 난류 : 쿠로시오 해류의 일부가 갈라져 남해로 흘러들어 대마 난류를 형성하고, 대마 난류는 남해에서 동해로 흘러가면서 동한 난류를 형성한다.
- ② 황해 난류 : 쿠로시오 해류의 일부가 제주도 남쪽의 동중국해에서 갈라져 나와 황해로 북상하여 황해 난류가 된다.
- ③ 대마 난류 : 쿠로시오 해류의 일부가 우리나라 남해안과 대한 해협을 지나 동해로 흘러가는 대마 난류가 된다.

(2) 한류

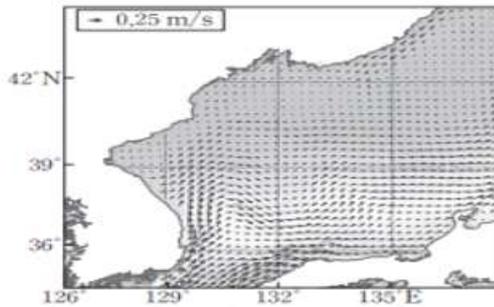
북한 한류 : 연해주 연안을 따라 흐르는 연해주 한류가 연장되어 북한 한류가 남쪽으로 흐른다.

(3) 조경 수역

- ① 난류와 한류가 만나는 해역으로 동해에 발달한다.
- ② 플랑크톤이 많아 좋은 어장이 형성되고 난류성 어종과 한류성 어종이 공존하여 수산 자원이 풍부하다.
- ③ 조경 수역의 위치는 여름에 북상하고, 겨울에는 남하한다.



우리나라 주변의 표층 해류 분포



동해에서 해류의 유속 분포

▶ 해수의 심층 순환

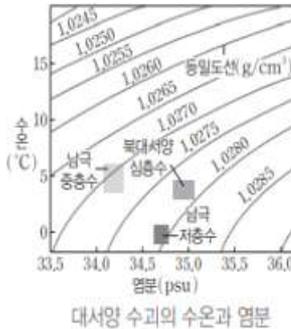
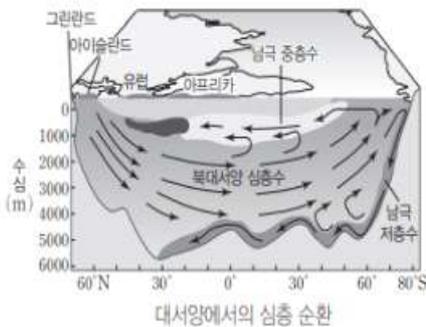
1. 해수의 심층 순환

(1) 심층 순환

- ① 원인 : 수온과 염분의 변화에 대한 밀도 차
- ② 심층 순환의 특징 : 수온 약층 하부에서 매우 느리게 일어난다.

(2) 대서양에서의 심층 순환

- ① 남극 중층수 : $60^{\circ} S$ 부근에서 형성되며 수심 1000m 부근에서 $20^{\circ} N$ 까지 이동
- ② 북대서양 심층수 : 그린란드 해역에서 형성되며 수심 약 1500m~4000m 사이에서 $60^{\circ} S$ 까지 이동
- ③ 남극 저층수 : 웨델해에서 형성되며, 해저를 따라 북쪽으로 이동하여 $30^{\circ} N$ 까지 이동

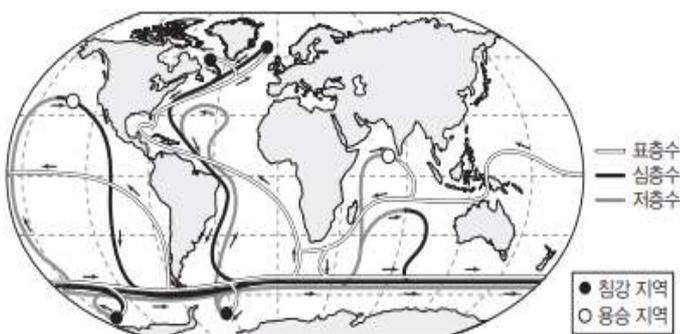


2. 해수의 순환과 기후 변화

(1) 해수의 심층 순환과 표층 순환

- ① 북대서양의 표층에서 해양의 서쪽 경계를 따라 고위도로 흐르는 해류는 따뜻한 저위도의 해수를 고위도로 운반한다.
- ② 대기로 열을 빼앗기고 무거워진 해수는 고위도에서 침강하여 심층수가 되고, 심해를 따라 저위도로 이동한다.
- ③ 북대서양 심층수는 대서양의 서쪽 해안을 따라 남쪽으로 흐르다가 남극 저층수와 만난다. 그리고 남극 대륙 주변을 따라 흐르다가 인도양과 태평양으로 갈라져 이동한다. 이 심층수는 수온이 올라가면서 점차 표층으로 상승하여 인도양 북부와 북태평양에서 표층수와 연결되고, 다시 대서양으로 흘러 들어간다.

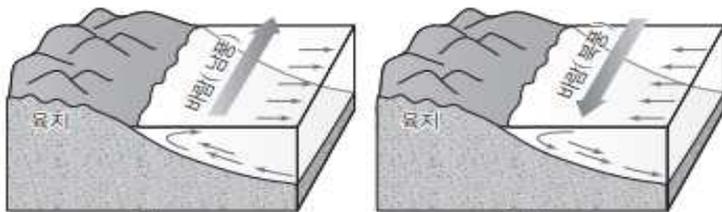
- (2) 지구 온난화와 심층 순환 : 지구 온난화의 영향으로 수온이 높아지고, 해빙에 의해 염분이 낮아지면 해수의 밀도가 작아져서 심층 순환이 약해진다.



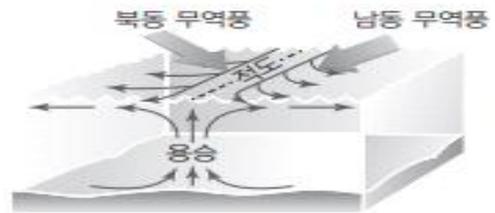
▶ 해양 변화와 기후 변화

1. 용승과 침강

- (1) 용승과 침강 : 용승은 표층 해수의 발산에 의해 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이고, 침강은 표층 해수의 수렴 또는 냉각에 의해 표층의 해수가 심층으로 내려가는 현상이다.
- (2) 연안 용승
- ① 해안에 나란하게 부는 바람에 의해 표층 해수가 먼 바다 쪽으로 이동하면 이를 보충하기 위해 심층 해수가 상승하는 현상
 - ② 북반구 서해안에서 북풍, 동해안에서 남풍이 불 때 연안 용승이 나타난다.
 - ③ 연안 용승은 심층에 있는 수온이 낮고, 영양 염류가 풍부한 해수를 표층에 공급하여 좋은 어장을 형성한다.
 - ④ 찬 해수의 영향으로 짙은 안개가 생성되기도 한다.
- (3) 연안 침강
- ① 해안에 나란하게 부는 바람에 의해 표층 해수가 대륙의 연안으로 이동하여 표층 해수가 가라앉는 현상
 - ② 북반구 서해안에서 남풍, 동해안에서 북풍이 불 때 연안 침강이 나타난다.
- (4) 적도 용승 : 적도 해역에 불고 있는 무역풍에 의해 표층 해수는 각각 북쪽과 남쪽으로 이동하여 해수의 발산이 일어나며 이로 인해 부족해진 해수를 채우기 위해 용승이 일어난다.

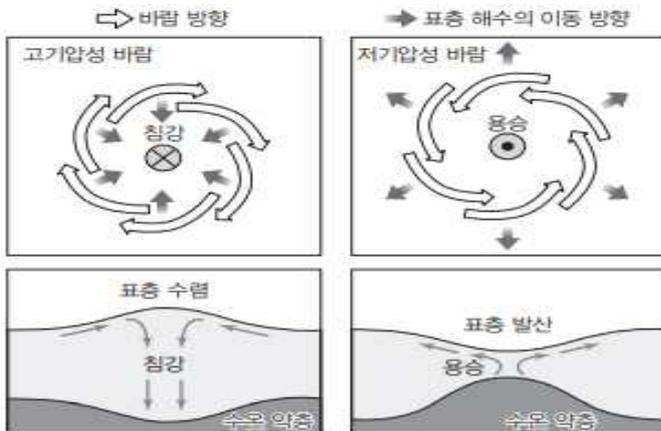


용승 → 해수의 이동 방향 침강
북반구 연안에서 일어나는 용승과 침강



적도 부근 해역에서 일어나는 용승

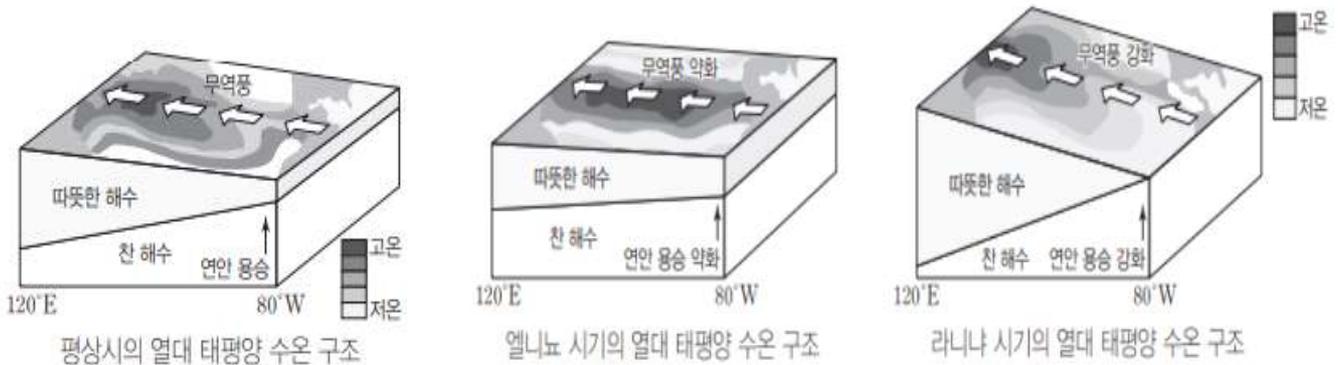
- (5) 고기압성 바람과 저기압성 바람에 의한 침강과 용승
- ① 북반구에서 고기압성 바람 : 표층 해수의 수렴으로 인한 침강
 - ② 북반구에서 저기압성 바람 : 표층 해수의 발산으로 인한 용승



수렴으로 인한 침강(북반구) 발산으로 인한 용승(북반구)

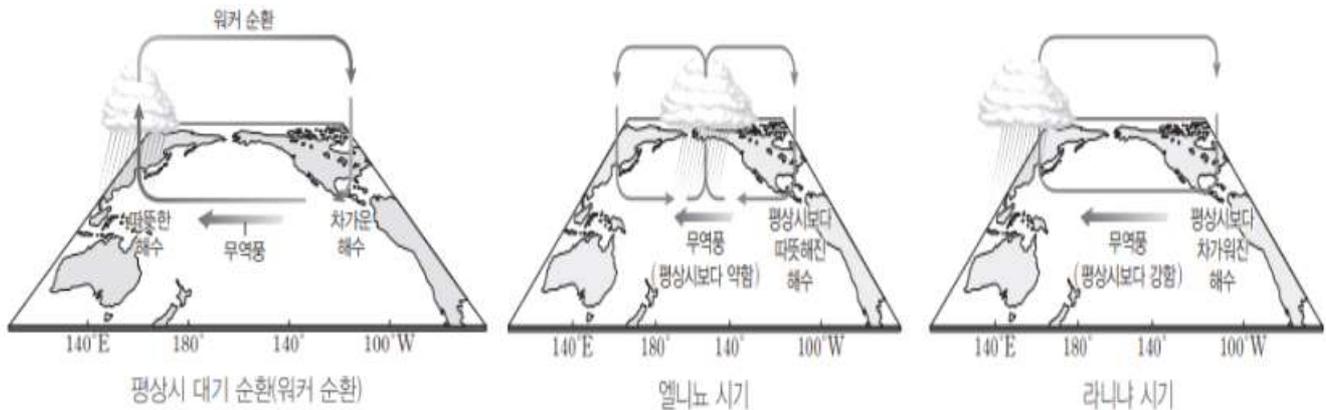
2. 엘니뇨와 라니냐

- (1) 엘니뇨 : 동태평양 적도 부근(중앙부~남미 대륙의 서안)의 표층 수온이 평상시보다 상승하는 현상
- (2) 라니냐 : 동태평양 적도 부근의 표층 수온이 평상시보다 낮아지는 현상



3. 엘니뇨와 남방 진동

- (1) 워커 순환 : 서태평양에서는 저기압이 형성되어 따뜻한 공기가 상승하고, 동태평양에서는 고기압이 형성되어 찬 공기가 하강하며 나타나는 열대 태평양의 동서 방향의 대기 순환
 - ① 엘니뇨가 발생하면 무역풍의 약화로 온난한 해수역이 서쪽에서 동쪽으로 이동하면서 대기의 상승 지역도 평소보다 중앙 태평양쪽으로 이동한다. 동태평양은 높은 수온으로 인해 해면 기압이 낮아져 평년에 비해 강수량이 증가하며, 서태평양은 기압이 높아져 평년에 비해 강수량이 적은 건조한 날씨가 나타난다.
 - ② 라니냐가 발생하면 평년보다 무역풍이 강해져서 동태평양은 해면 기압이 높아져 평년에 비해 강수량이 감소하고, 서태평양은 평년에 비해 기압이 낮아져 강수량이 더욱 많아진다.
- (2) 남방 진동 : 엘니뇨와 라니냐 시기에 열대 태평양의 동서 기압은 한쪽에서 상승하면 다른 쪽에서 하강하는 시소 형태의 양상을 보이는데, 이 형태의 기압 변화를 남방 진동이라 한다.
- (3) 엘니뇨 남방 진동(ENSO) : 엘니뇨와 라니냐는 해양의 수온 변화를, 남방 진동은 대기의 기압 패턴의 변화를 의미하지만 서로 상호 작용하여 일어나는 현상이므로 이를 엘니뇨 남방 진동이라 한다.



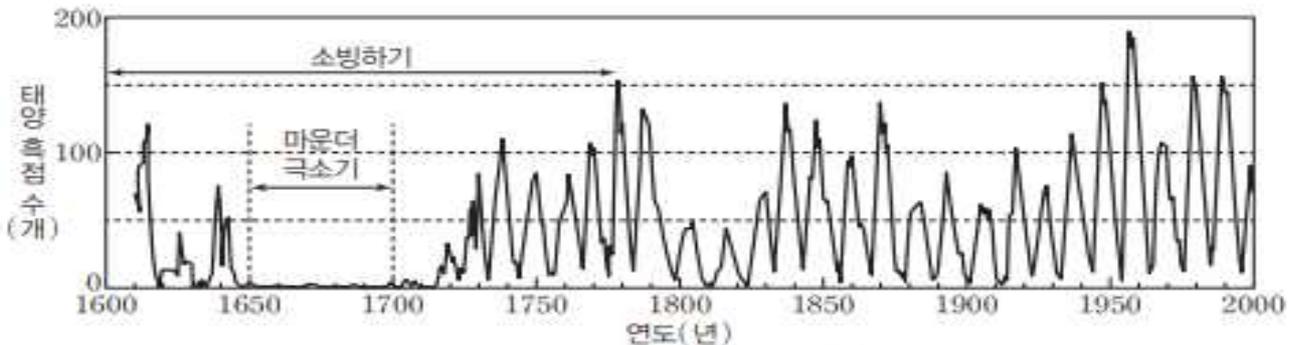
※엘니뇨 vs 라니냐

		정상시 대비 변화(관측값-평년값)	
		엘니뇨	라니냐
동태평양 해역	용승		
	표층 수온		
	영양염		
	기압		
	상승기류		
	구름의 양		
	수온약층 시작 깊이		
무역풍 세기			
적도 해류 세기			
표층 수온 차이(서-동)			
해수면 높이 차이(서-동)			
해면 기압 차이(서-동)			
남방 진동 지수			

▶ 기후 변화의 요인

1. 지구 외적 요인

(1) 태양 활동의 변화 : 태양 흑점 수의 변화에 따른 태양 복사 에너지량의 변화, 역사적으로 태양 흑점의 수와 태양 복사 에너지량이 비례하는 양상을 보인다.



태양 흑점 수의 변화와 소빙하기

(2) 지구 자전축 경사각의 변화

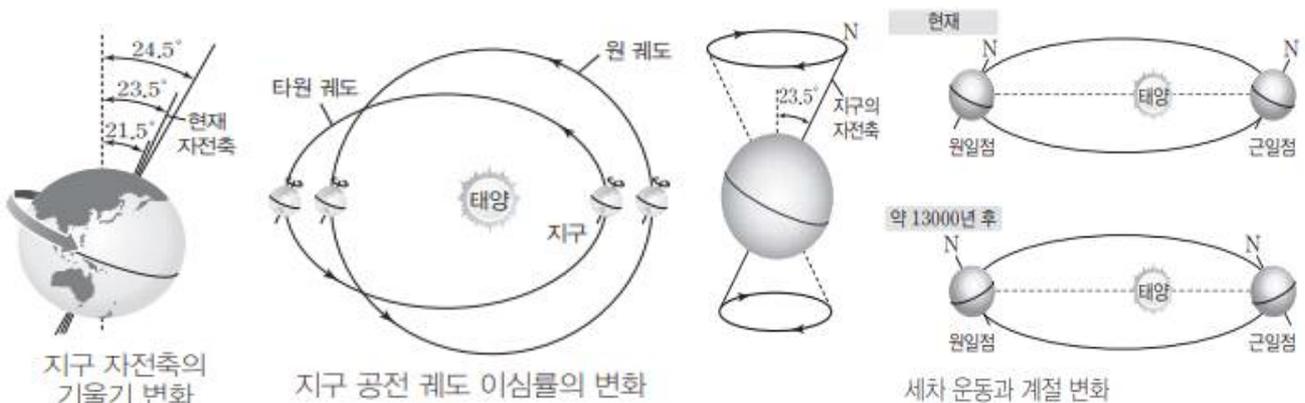
- ① 지구 자전축의 경사각은 약 41,000년을 주기로 $21.5^\circ \sim 24.5^\circ$ 사이에서 변한다.
- ② 자전축의 경사각이 커지면 중위도와 고위도 지방의 연교차가 커진다.
- ③ 자전축의 경사각이 커지면 중위도와 고위도 지방의 여름철 태양 남중 고도는 더 높아지고, 겨울철 태양 남중 고도는 더 낮아진다.
- ④ 자전축의 경사각이 커지면 중위도와 고위도 지방의 여름철 낮의 길이는 더 길어지고, 겨울철 낮의 길이는 더 짧아진다.

(3) 공전 궤도 이심률 변화

- ① 북반구는 현재 지구가 근일점 부근에 있을 때가 겨울철이고, 원일점 부근에 있을 때가 여름철이다.
- ② 공전 궤도 이심률이 커질수록 북반구는 원일점에서 지구와 태양의 거리가 멀어지기 때문에 여름철 기온은 현재보다 조금 낮아지고, 근일점에서 지구와 태양의 거리가 가까워지기 때문에 겨울철 기온은 현재보다 조금 높아지게 되어 연교차는 작아진다.

(4) 세차 운동

- ① 지구 자전축이 약 26,000년을 주기로 회전하면서 경사 방향이 변하는 운동
- ② 세차 운동의 방향은 지구의 공전 방향 및 자전 방향과 반대



2. 지구 내적 요인

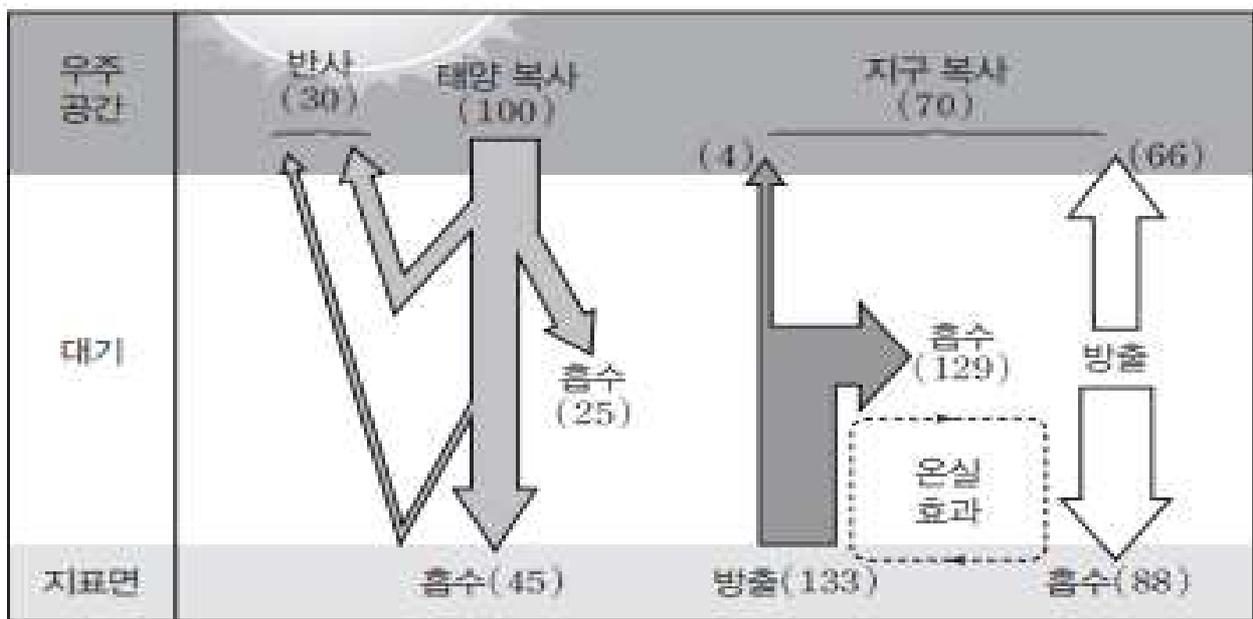
- (1) 화산 활동 : 대규모 화산 분출은 많은 양의 화산재를 대기 중으로 방출하여 지구의 반사율을 증가시켜 지표에 도달하는 태양 복사 에너지의 양이 줄어들어 지구의 평균 기온이 낮아진다.
- (2) 지표의 변화
 - ① 빙하 면적 변화 : 빙하 면적이 감소하면 지표면이 흡수하는 태양 복사 에너지의 양이 증가하여 지구의 기온이 상승한다.
 - ② 대륙과 해양의 분포 변화 : 대륙과 해양은 비열과 반사율이 다르므로 수륙 분포가 달라지면 대기의 순환과 에너지의 출입에 영향을 주어 기후가 변하게 된다.

3. 기후 변화의 인위적 요인

- (1) 온실 기체 배출 : 화석 연료의 연소 등으로 배출된 온실 기체는 지구의 기온을 높인다.
- (2) 에어로졸 배출 : 화석 연료의 연소와 산업화로 대기 중으로 배출된 에어로졸은 태양 복사 에너지를 산란시키고, 응결핵으로 작용하여 구름의 양을 늘려 지구의 반사율을 증가시켜 지구의 기온을 낮출 수 있다.
- (3) 산림 훼손과 도시화 : 지표면의 반사율이 변하여 기후가 변한다.

4. 인간 활동에 의한 기후 변화

- (1) 온실 효과 : 지구 대기는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지는 잘 투과시키지만, 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지는 대부분을 흡수하였다가 재복사하여 지표 온도를 높이는데, 이를 온실 효과라 한다.
- (2) 온실 기체 : 온실 효과를 일으키는 기체를 온실 기체라고 하며, 주요 온실 기체에는 수증기, 이산화 탄소, 메테인, 산화 이질소 등이 있다.



지구의 열수지

5. 지구 온난화

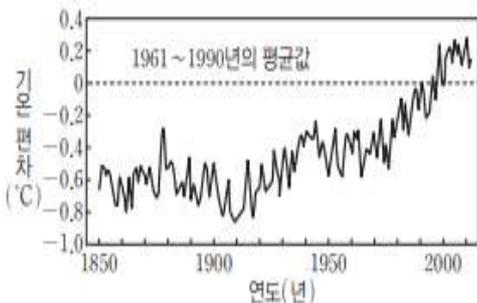
(1) 지구 온난화 : 대기 중의 온실 기체 양이 많아져 지구의 평균 기온이 점차 상승하는 현상

(2) 원인

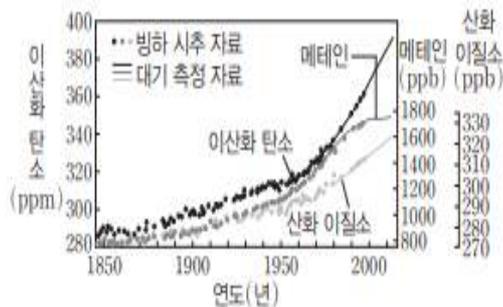
- ① 인위적인 인간 활동의 결과인 화석 연료의 사용
- ② 삼림 훼손으로 인한 온실 효과 증가

(3) 영향

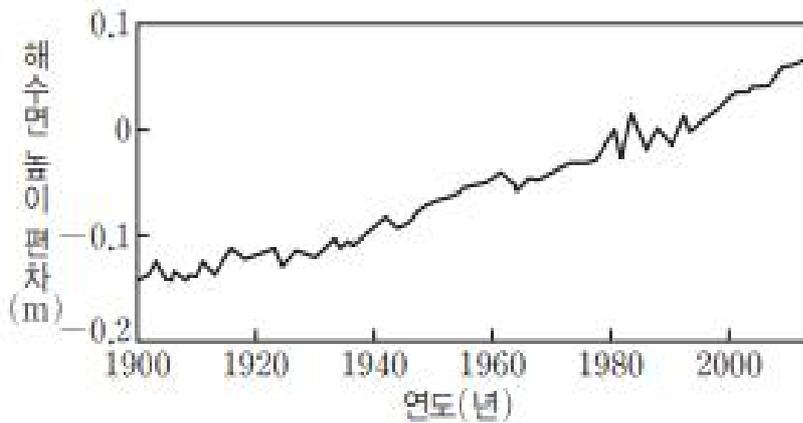
- ① 빙하 면적 감소
- ② 해수의 열팽창으로 인한 해수면 상승
- ③ 기후대, 생태계 변화
- ④ 태풍, 홍수, 가뭄 등 기상 이변 증가



지구의 기온 변화



온실 기체의 농도 변화



해수면 높이 변화

▶ 별의 물리량

1. 흑체 복사와 별빛 스펙트럼

(1) 분광 관측의 역사

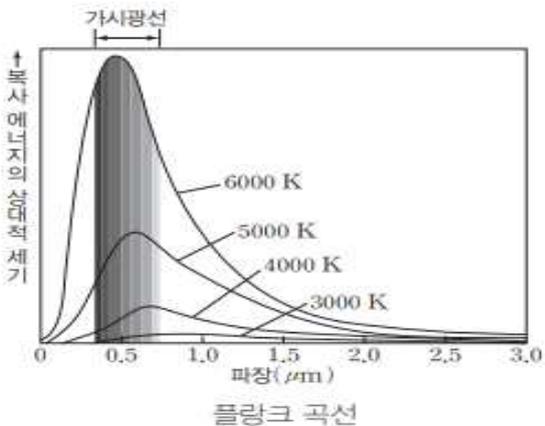
- ① 뉴턴(17세기) : 태양의 연속 스펙트럼 관찰
- ② 프라운호퍼(19세기 초) : 태양과 별의 스펙트럼에서 흡수선 발견
- ③ 허긴스(19세기) : 성운의 스펙트럼에서 방출선 확인
- ④ 피커링과 캐넌(20세기 초) : 별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 세기에 따라 별을 분류함

(2) 흑체 : 입사한 모든 에너지를 완전히 흡수하고 흡수한 모든 에너지를 완전히 방출하는 이상적인 물체

(3) 플랑크 곡선

- ① 흑체의 온도와 그에 따라 흑체 표면에서 방출되는 복사 에너지의 파장별 에너지 분포를 나타낸 것
- ② 흑체의 온도가 높을수록 최대 에너지를 방출하는 파장이 짧아진다.
- ③ 흑체의 온도가 낮을수록 최대 에너지를 방출하는 파장이 길어진다.

(4) 별의 표면 온도와 색깔 : 별의 표면 온도가 높을수록 파란색으로 보이고, 표면 온도가 낮을수록 붉은색으로 보인다.



2. 스펙트럼

(1) 스펙트럼 : 빛을 프리즘에 통과시키면 파장에 따라 여러 색깔의 빛으로 나뉘어진 빛의 띠

(2) 스펙트럼의 종류

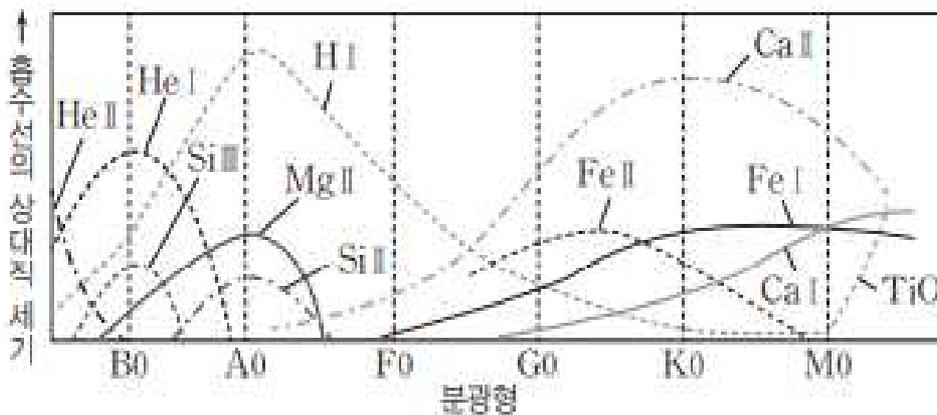
- ① 연속 스펙트럼 : 모든 파장 영역에서 빛이 연속적으로 나타나는 스펙트럼
- ② 흡수 스펙트럼 : 저온의 기체에 통과시킬 때 연속 스펙트럼을 배경으로 해서 검은색 선이 나타나는 스펙트럼
- ③ 방출 스펙트럼 : 고온의 기체에서 특정한 파장의 밝은 선이 나타나는 스펙트럼



3. 별의 분광형과 표면 온도

- (1) 별빛의 스펙트럼을 관측하면 연속 스펙트럼을 배경으로 많은 흡수선이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 별의 대기는 매우 희박하지만 별 그 자체와 같은 화학 조성을 가지고 있으며, 별의 표면에서 방출된 빛이 별의 희박한 저온의 대기층을 통과할 때 대기층을 이루는 원소들에 의해 특정 파장의 빛이 흡수되기 때문이다.
- (2) 태양을 포함한 모든 별의 대기 성분은 큰 차이가 없기 때문에 별의 스펙트럼은 주로 별의 표면 온도에 따라 달라진다. 별의 표면 온도에 따라 원소들이 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정 흡수선을 형성하기 때문이다.
- (3) 별의 표면 온도에 따라 나타나는 흡수선의 기본 패턴을 기준으로 온도가 높은 별부터 온도가 낮은 별까지 O, B, A, F, G, K, M의 순서로 정리한 것으로 각 분광형은 고온부터 저온 순으로 다시 10단계로 세분하여 고온의 0에서부터 저온의 9까지의 번호를 부여한다.

분광형	색깔	표면 온도(K)	스펙트럼의 모습
O	파란색	28000 이상	30000 K H선, He선
B	청백색	10000~28000	20000 K He선, C선
A	흰색	7500~10000	10000 K Ca선, Fe선
F	황백색	6000~7500	7000 K Fe선, O선, Mg선, Na선
G	노란색	5000~6000	6000 K O선
K	주황색	3500~5000	4000 K 여러 가지 분자선
M	붉은색	3500 이하	3000 K 여러 가지 분자선



분광형과 흡수선의 상대적 세기

▶ 별의 광도와 크기

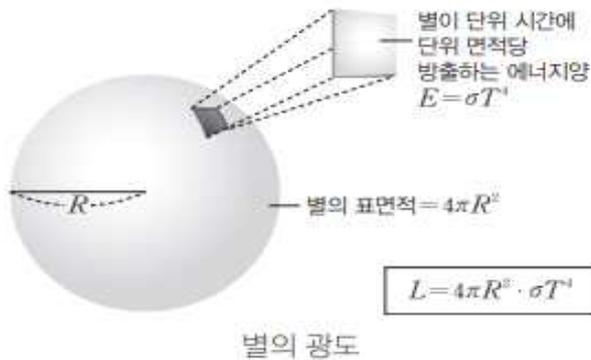
1. 별의 광도와 크기

(1) 별의 광도와 절대 등급

- ① 광도 : 별이 단위 시간 동안 방출하는 에너지의 총량
- ② 절대 등급 : 별의 실제 밝기를 등급으로 나타낸 것으로 실제 밝기가 밝을수록 광도는 크고, 절대 등급은 작다.

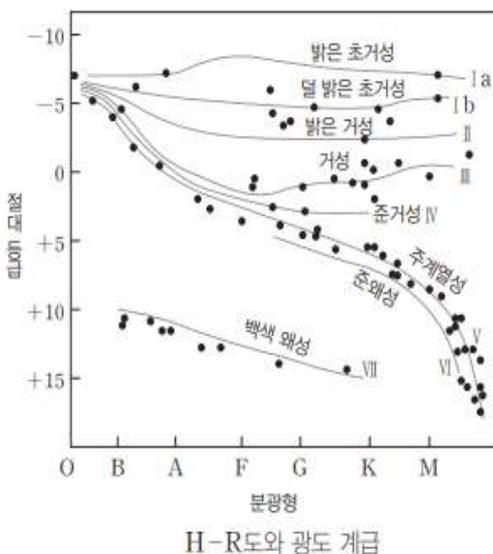
(2) 별의 광도와 반지름

- ① 슈테판-볼츠만 법칙 : 별이 단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 에너지($E = \sigma T^4$)
- ② 별이 단위 시간 동안 방출하는 총에너지를 광도(L)라 하고, 광도는 별이 단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 에너지와 별의 표면적의 곱으로 표현된다.
 - $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$
 - 별의 광도와 표면 온도를 알면 별의 반지름을 구할 수 있다.



(3) 광도 계급 : 광도가 큰 I에서 광도가 작은 VI까지 6개의 계급으로 구분하는 것

- ① 분광형이 같아도 별의 반지름이 다르면 광도가 다르다.
- ② 태양의 분광형과 광도 계급은 $G2 V$ 이며, $G2$ 는 노란색 별, V 는 주계열성이라는 의미이다.

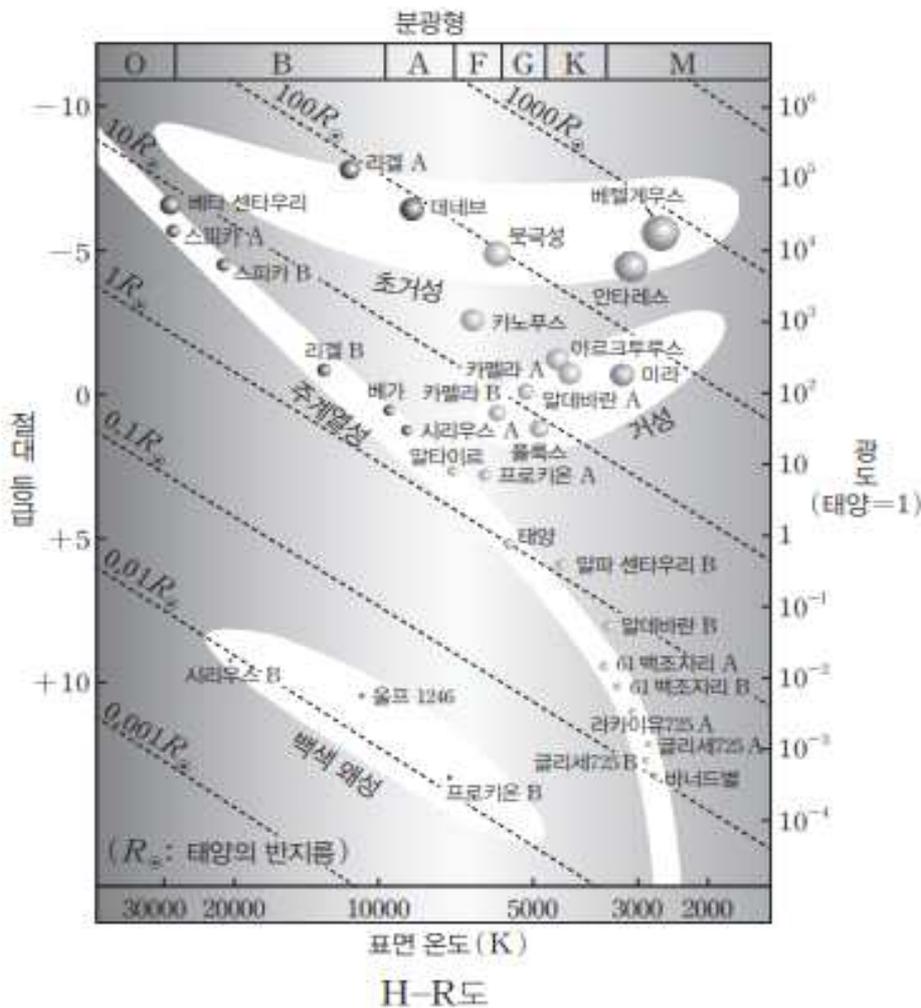


광도 계급	별의 종류
Ia	밝은 초거성
Ib	덜 밝은 초거성
I	밝은 거성
II	거성
III	준거성
IV	주계열성(왜성)
V	준왜성
VI	백색 왜성
VII	백색 왜성

▶ H-R도와 별의 분류

1. H-R도

- (1) 별의 광도와 표면 온도 사이의 관계를 나타낸 그래프
- (2) 가로축은 표면 온도를 나타내며, 표면 온도에 따라 분광형이 달라지므로 분광형을 대신 쓰기도 한다.
- (3) 세로축은 광도를 나타내며, 광도는 별의 절대 밝기를 뜻하므로 절대 등급을 대신 쓰기도 한다.
- (4) H-R도에서 왼쪽에 있는 별일수록 표면 온도가 높고, 오른쪽에 있는 별일수록 표면 온도가 낮다.
- (5) H-R도에서 위에 있는 별일수록 광도가 크고, 아래에 있는 별일수록 광도가 작다.



2. 별의 종류와 특징

(1) 주계열성

- ① H-R도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 좁은 띠 영역에 분포하는 별
- ② 별의 약 90%가 주계열에 분포한다.
- ③ H-R도에서 왼쪽 위에 분포할수록 표면 온도가 높고 광도가 크며, 질량과 반지름도 크다.
- ④ 태양은 표면 온도가 약 5800K, 절대 등급이 약 4.8등급인 주계열성이다.

(2) 적색 거성

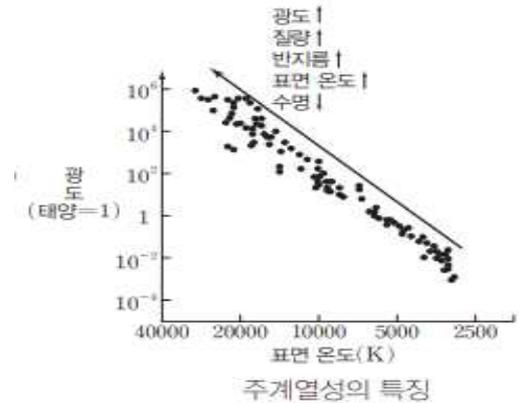
- ① H-R도에서 태양의 오른쪽 위에 분포하는 별
- ② 표면 온도가 낮아 붉은색으로 보인다.
- ③ 표면 온도는 낮지만 반지름이 커서 광도가 크다.
- ④ 주계열성보다 평균 밀도가 작다.

(3) 초거성

- ① 적색 거성보다 광도와 반지름이 더 큰 별
- ② 주계열성보다 평균 밀도가 훨씬 작다.

(4) 백색 왜성

- ① H-R도에서 태양의 왼쪽 아래에 분포하는 별
- ② 표면 온도가 높아 백색으로 보인다.
- ③ 표면 온도가 높지만 반지름이 작아서 광도가 작다.
- ④ 크기가 지구 정도로 작지만 질량은 태양과 비슷하여 평균 밀도가 태양의 약 100만 배로 매우 크다.



▶ 별의 진화(빈칸이 맞습니다.)

▶ 별의 에너지원과 내부 구조

1. 주계열성의 에너지원

(1) 수소 핵융합 반응

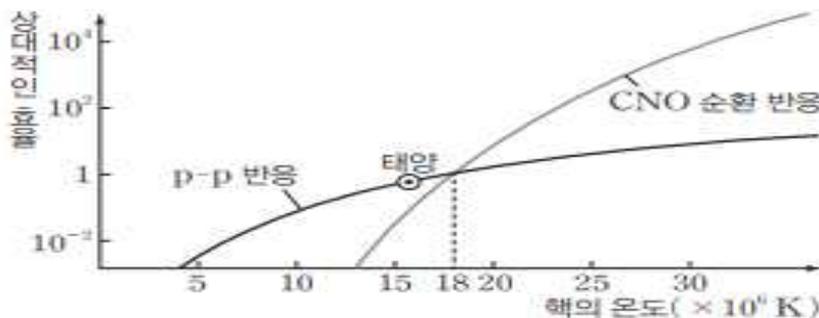
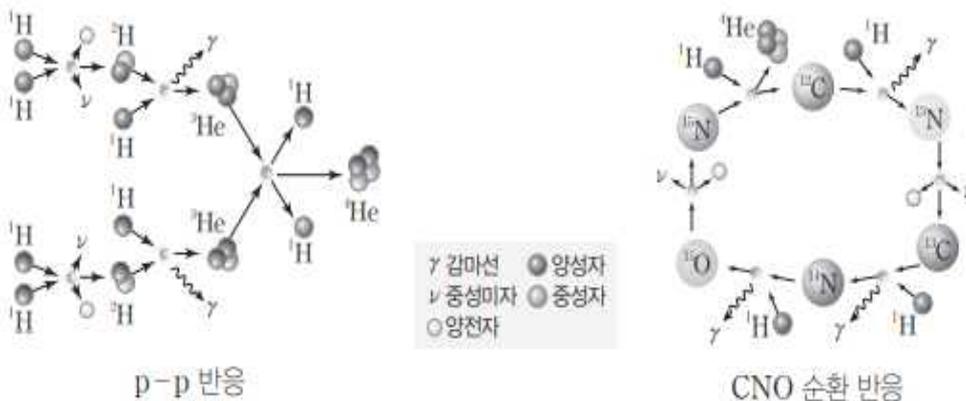
- ① 수소 원자핵 4개가 결합하여 헬륨 원자핵 1개가 만들어지는 반응
- ② 이 과정에서 수소 원자핵 4개 질량의 약 0.7%가 감소
- ③ 감소한 질량이 에너지로 전환되어 별의 에너지원으로 사용된다.

※수소끼리 핵융합 반응이 일어나기 위해서는 두 핵 사이의 전기적 반발력을 극복할 수 있을 만큼의 운동 에너지가 필요하므로 별의 내부 온도가 약 1000만K 이상이 되어야 한다.



(2) 수소 핵융합 반응의 종류

- ① 중심부 온도가 약 1800만K 이하인 주계열성 : p-p 반응 우세
- ② 중심부 온도가 약 1800만K 이상인 주계열성 : CNO 순환 반응 우세
- ③ 중심부 온도가 약 1800만K일 때 p-p 반응과 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성률이 비슷하다.



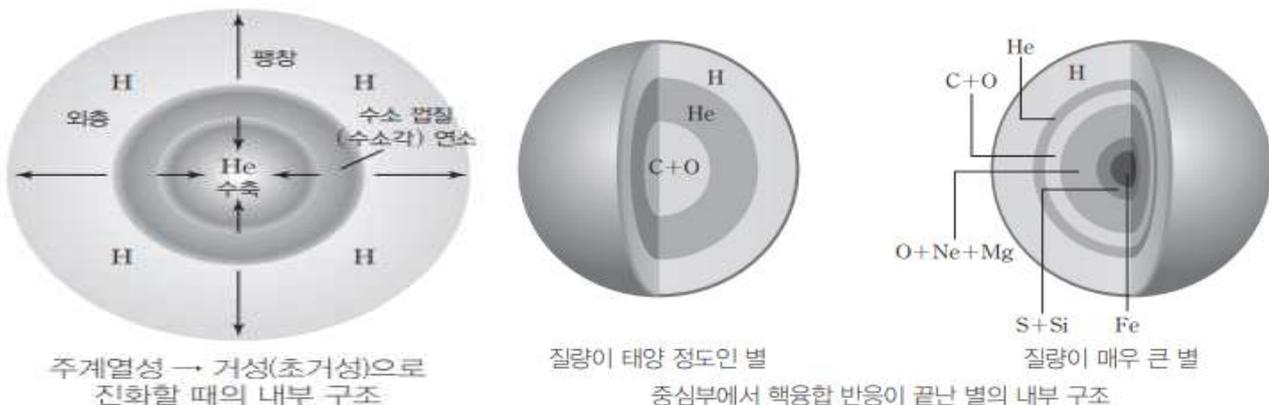
2. 주계열성의 내부 구조

- (1) 정역학 평형 : 주계열 단계의 별은 중심부에서의 수소 핵융합 반응과 별 내부의 기체 압력 차로 발생한 힘과 별의 중력이 평형을 이루는 정역학 평형 상태이다.
- (2) 주계열성의 질량에 따른 내부 구조
 - ① 질량이 태양 정도인 별 : 핵, 복사층, 대류층의 구조
 - ② 질량이 태양의 약 2배 이상인 별 : 대류핵, 복사층의 구조



3. 주계열 단계 이후 별의 내부 구조

- (1) 태양 정도 질량을 가진 별 : 주계열성 내부에서 수소 핵융합 반응이 끝나면 중심에 헬륨핵이 생성되고, 헬륨핵의 중력 수축으로 발생한 에너지가 중심부 외곽에 공급되어 헬륨핵 외곽(수소 껍질)에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 또한 바깥층은 팽창하여 크기가 커지고 표면 온도는 낮아져 적색 거성이 된다. 중심부의 온도가 계속 상승하여 약 1억K에 도달하면 헬륨 핵융합 반응이 일어나 탄소와 산소로 구성된 핵이 만들어진다. 질량이 태양 정도인 별은 중심에서 헬륨 핵융합 반응까지만 일어난다.
- (2) 태양보다 질량이 매우 큰 별 : 질량이 매우 큰 별은 중심부의 온도가 매우 높기 때문에 더 높은 단계의 핵융합 반응이 일어나며, 최종적으로 철로 이루어진 중심핵이 만들어진다. 또한 별의 내부는 중심으로 갈수록 더 무거운 원소로 이루어진 양파 껍질 같은 구조를 이룬다. 별의 바깥층은 적색 거성보다 더 크게 팽창하여 적색 초거성이 된다.



▶ 외계 행성계 탐사

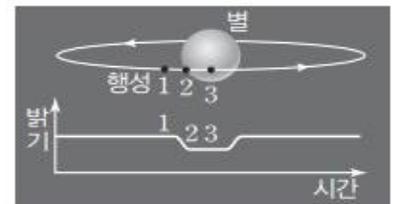
1. 외계 행성계 탐사

(1) 도플러 효과

- ① 항성(별)이 행성의 영향을 받아 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 과정에서 나타나는 별빛의 미세한 스펙트럼 변화를 분석하여 행성의 존재를 확인한다.
- ② 도플러 효과를 이용하는 행성 탐사가 유리한 조건
 - 행성의 공전 궤도면과 시선 방향이 나란할 때
 - 행성의 질량이 클수록, 공전 궤도 긴반지름이 작을수록 별빛의 도플러 효과가 크게 나타난다.
- ③ 별의 움직임 정도는 행성의 질량에 의해 결정되므로 효과의 정도를 통해 행성의 질량을 추정한다.
- ④ 행성의 위치에 따른 중심별의 스펙트럼 파장 변화, 시선 속도

도플러 효과를 이용한 행성 탐사	중심별과 행성의 공전에 따른 중심별의 파장 변화	지구와의 거리 변화		중심별의 시선 속도	중심별의 스펙트럼 변화
		중심별	행성		
	<p>행성 공통 질량 중심 파장이 짧아진다.</p>	가까워짐	멀어짐	(-), 접근	청색 편이
	<p>파장이 길어진다.</p> <p>행성 공통 질량 중심</p>	멀어짐	가까워짐	(+), 후퇴	적색 편이

⑤ 중심별의 스펙트럼 파장 변화를 이용한 시선 속도 계산



식 현상을 이용한 행성 탐사

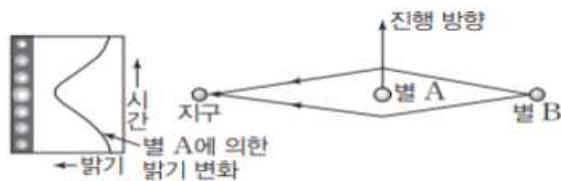
(2) 식 현상을 이용하는 방법

- ① 행성이 중심별의 앞을 가리면서 지나갈 때 중심별의 밝기 변화를 통해 행성의 존재를 확인한다.
- ② 중심별의 반지름이 일정할 때, 행성의 반지름이 클수록 식 현상이 일어날 때의 중심별의 밝기 변화율이 크다.

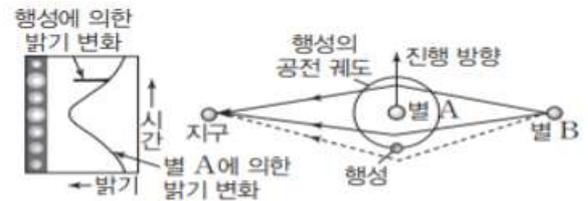
- ③ 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 수직인 경우에는 식 현상이 나타나지 않는다.
- ④ 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화를 통해 행성의 반지름을 알아낼 수 있기 때문에 도플러 효과의 정도를 통해 알아낸 행성의 질량을 이용하여 행성의 밀도를 구하면 가스 행성인지, 암석 행성인지 알아낼 수 있다.
- ⑤ 행성이 별 앞을 지날 때 행성의 대기를 통과하는 빛을 분석하면 행성의 대기 성분을 추정할 수 있다.

(3) 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법

- ① 두 천체가 관측자의 시선 방향에 나란히 있을 때 관측자와 가까운 천체의 중력 때문에 먼 천체에서 오는 빛이 휘어지는 현상을 중력 렌즈 현상이라 하며, 특히 별 또는 행성에 의해 휘어지는 것을 미세 중력 렌즈 현상이라고 한다.
- ② 관측자와 먼 천체 사이에 별이 지나갈 때 미세 중력 렌즈 현상이 나타나면 먼 천체가 밝게 관측되며, 먼 천체의 밝기 변화가 나타난다.
- ③ 별이 행성을 거느리면 행성의 중력으로 인한 효과가 더해져 추가적인 밝기 증가가 나타날 수 있는데, 이를 이용하여 외계 행성을 찾을 수 있다.
- ④ 미세 중력 렌즈 현상을 이용하면 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 나란하지 않아도 행성을 발견할 수 있다.
- ⑤ 미세 중력 렌즈 현상은 주기적인 관측이 불가능하다.



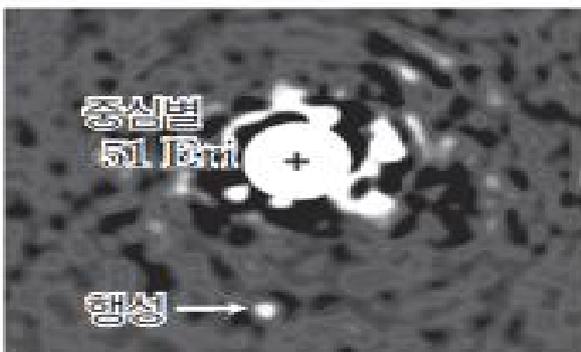
행성이 없는 별 A에 의한 별 B의 밝기 변화



별 A와 행성에 의한 별 B의 밝기 변화

(4) 직접 관측하는 방법

- ① 중심별의 밝기가 행성에 비해 매우 밝으므로 중심별을 가리고 행성을 찾는다.
- ② 행성이 방출하는 에너지는 대부분 적외선 영역이므로 행성을 직접 관측할 때 주로 적외선 영역을 이용
- ③ 외계 행성을 직접 촬영하면 행성의 존재를 사진으로 확인할 수 있고, 분광 관측으로 행성의 대기 성분을 알아낼 수 있다.
- ④ 지구에서 중심별까지의 거리가 멀면 직접 촬영하여 행성을 관측하기 어렵다.



직접 촬영한 외계 행성

▶ 외계 생명체 탐사

1. 생명체가 존재할 수 있는 행성의 조건

(1) 액체 상태의 물

① 물은 다양한 물질을 녹일 수 있는 좋은 용매이므로 물속에는 생명체의 생존과 진화에 필요한 여러 가지 화합물이 포함될 수 있다.

② 물은 비열이 커서 많은 양의 열을 저장할 수 있으므로 생명체에게 적절한 환경을 제공한다.

(2) 대기 : 온실 효과를 일으켜 행성의 온도를 유지하고 낮과 밤의 온도 차를 줄여주고, 강한 자외선을 막아 주어 생명체를 보호한다.

(3) 자기장 : 우주에서 오는 고에너지 입자들을 차단한다.

2. 생명 가능 지대

(1) 별의 생명 가능 지대

① 별의 둘레에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 범위

② 별의 광도가 클수록 별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀다.

③ 별의 광도가 클수록 생명 가능 지대의 폭이 넓다.

(2) 주계열성의 질량과 생명 가능 지대

① 주계열성은 질량이 클수록 광도가 커서 생명 가능 지대까지의 거리가 멀다.

② 주계열성은 질량이 클수록 광도가 커서 생명 가능 지대의 폭이 넓다.

③ 주계열성인 중심별의 질량이 큰 경우에는 중심별의 수명이 짧아 행성에서 생명체가 발생하여 진화할 만큼 충분한 시간이 확보되지 않는다.

④ 주계열성인 중심별의 질량이 작은 경우에는 중심별의 수명은 길지만 생명 가능 지대의 폭이 좁고 중심별에 너무 가까워 생명 가능 지대에 위치한 행성은 중심별과의 인력에 의해 자전 주기가 길어지며, 결국 행성의 자전 주기와 공전 주기가 같아지면(동주기 자전) 낮과 밤의 변화가 없어져 생명체가 살기 어렵다.

(3) 별의 진화와 생명 가능 지대

① 별이 진화하면서 광도가 변하므로 별로부터 생명 가능 지대까지의 거리와 폭이 변한다.

② 태양이 진화함에 따라 점차 광도가 증가하여 태양으로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어진다.

③ 현재 지구는 생명 가능 지대에 위치하지만 시간이 지나면 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치할 것이다.

(4) 행성이 중심별로부터 단위 시간당 단위 면적에서 받는 복사 에너지양(S)

① 중심별과 행성 사이의 거리가 같은 경우에는 중심별의 광도가 클수록 행성이 중심별로부터 단위 시간 당 단위 면적에서 받는 복사 에너지양이 많다.

② 중심별의 광도가 같은 경우에는 중심별과 행성 사이의 거리가 가까울수록 행성이 중심별로부터 단위 시간당 단위 면적에서 받는 복사 에너지양이 많다.

$$S_{\infty} = \frac{\text{중심별의 광도}}{\text{중심별과 행성사이의 거리}^2}$$

3. 외계 생명체 탐사

- (1) 외계 지적 생명체 탐사(SETI) : 전파 망원경을 이용하여 외계 행성으로부터 오는 전파를 찾거나 전파를 보내서 외계 지적 생명체를 탐사
- (2) 우주 탐사선 : 태양계 일부 천체 및 외계 행성의 생명체를 탐사하는 탐사선
 - ① 보이저 호와 파이오니어 호 : 인류가 외계 지적 생명체에게 전하는 다양한 메시지를 우주 탐사선에 실어서 발사하였다.
 - ② 큐리오시티 : 화성 탐사 로봇으로 화성의 기후와 지질에 대해 연구 중이다.
- (3) 우주 망원경 : 우주 공간에 설치하는 망원경으로 생명체가 존재할 가능성이 있는 행성을 탐사
 - ① 케플러 망원경(2009년~2018년) : 외계 행성 2600개 이상, 지구형 행성 10여개 발견
 - ② 테스 망원경(2018년 발사) : 케플러 망원경보다 약 400배 넓은 우주를 탐사, 행성을 가지고 있을 가능성이 높은 별 73개, 지구와 비슷한 규모의 행성 2개를 발견
 - ③ 제임스 웹 망원경(2021년 발사) : 주로 우주 초기의 상태에 대해 연구하며, 외계 행성이나 행성 주변의 고리 등을 찾는 임무를 수행하고 있다.

▶ 외부 은하

1. 허블의 은하 분류

- (1) 타원 은하 : 성간 물질이 거의 없고 늙은 별들이 많이 분포하며, 납작한 정도에 따라 E0~E7까지 분류
- (2) 나선 은하 : 나선팔에는 성간 물질과 젊은 별들이 많이 분포하고, 중심부에는 늙은 별들이 많이 분포
 - ① 정상 나선 은하 : 나선팔이 감겨져 있는 정도와 은하 전체에 대한 은하 중심부의 상대적인 크기에 따라 Sa, Sb, Sc로 분류
 - ② 막대 나선 은하 : 나선팔이 감겨져 있는 정도와 은하 전체에 대한 은하 중심부의 상대적인 크기에 따라 SBa, SBb, SBc로 분류
- (3) 불규칙 은하 : 성간 물질이 많고, 젊은 푸른색 별들이 많이 분포

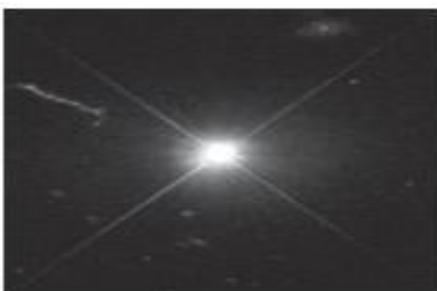


형태에 따른 외부 은하의 분류

2. 특이 은하

(1) 퀘이사

- ① 우주 생성 초기에 생성된 천체로 우리가 관측할 수 있는 가장 먼 거리의 천체이다.
- ② 적색 편이가 매우 크며, 이를 통해 구한 후퇴 속도가 $0.1c \sim 0.82c$ 정도이다.
- ③ 수많은 별들로 이루어진 거대한 은하지만 너무 멀리 있어 하나의 별처럼 보이며, 거리에 비하여 아주 밝게 보인다.
- ④ 퀘이사에서 방출되는 에너지는 보통 은하의 수백 배나 되지만 에너지가 방출되는 영역의 크기는 태양계 정도이다. 이렇게 작은 공간에서 많은 에너지를 방출하고 있는 것으로 보아 퀘이사의 중심에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.
- ⑤ 가시광선뿐만 아니라 모든 파장 영역에서 매우 강한 에너지를 방출한다.
- ⑥ 은하 전체의 광도에 대한 중심부의 광도가 세이퍼트 은하보다도 크다.



퀘이사(3C 273)

(2) 전파 은하

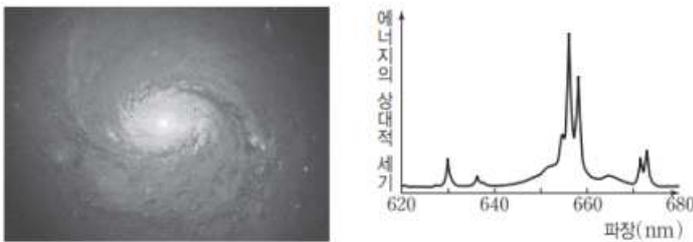
- ① 은하 내부에서의 큰 폭발이나 은하의 충돌에 의해 보통 은하보다 수백 배 이상의 강한 전파를 방출
- ② 관측하는 방향에 따라 핵이 뚜렷한 전파원으로 보이거나 제트로 연결된 로브가 핵의 양쪽에 대칭으로 나타나는 모습으로 관측된다.
- ③ 제트와 로브의 일부 영역에서는 강한 X선을 방출하는데, 이는 고속으로 움직이는 전자와 강한 자기장 때문이라고 추정하고 있다.
- ④ 가시광선으로 관측하면 대부분 거대 타원 은하의 형태로 보인다.



전파 은하(헤라클레스 A)

(3) 세이퍼트 은하

- ① 대부분 나선 은하의 형태로 관측되지만 일반 은하와 비교하면 은하 전체의 광도에 대한 중심부의 광도가 비정상적으로 높게 관측된다.
- ② 스펙트럼에서 폭넓은 방출선이 나타나는데, 방출선은 은하의 중심핵 부근에 뜨거운 성운이 있다는 것을 뜻하며, 방출선의 폭이 넓다는 것은 이 성운이 빠른 속도로 회전하고 있다는 것을 의미하므로 은하의 중심부에는 질량이 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정하고 있다.



세이퍼트은하(M77)의 모습과 스펙트럼

(4) 충돌 은하

- ① 은하가 충돌할 때 은하에 포함된 별들은 특별한 충돌 없이 서로를 관통하는데, 이는 별의 크기에 비해 별들 사이의 공간이 크기 때문이다. 충돌하는 은하의 가스와 티끌의 밀도는 훨씬 높아져서 수많은 별들이 새로 태어난다.
- ② 최근 모의실험에 따르면 큰 나선 은하들이 충돌하면 거대 타원 은하가 생기는 것으로 보이며, 실제로 많은 수의 거대 타원 은하는 이런 과정으로 만들어진 것으로 추정된다. 특히, 중심부에 블랙홀을 가진 은하들이 충돌하면 블랙홀도 합쳐져 거대 블랙홀이 만들어진다. 거대 타원 은하 M87의 중심에는 태양 질량의 30억 배나 되는 초대형 블랙홀이 존재하는 것으로 보인다.
- ③ 은하들의 충돌은 보통 수백만 년 동안 서서히 진행된다. 현재 우리은하도 이웃 은하인 안드로메다 은하와 서로 가까워지고 있어서 수십억 년 후에는 충돌할 것으로 예상된다.

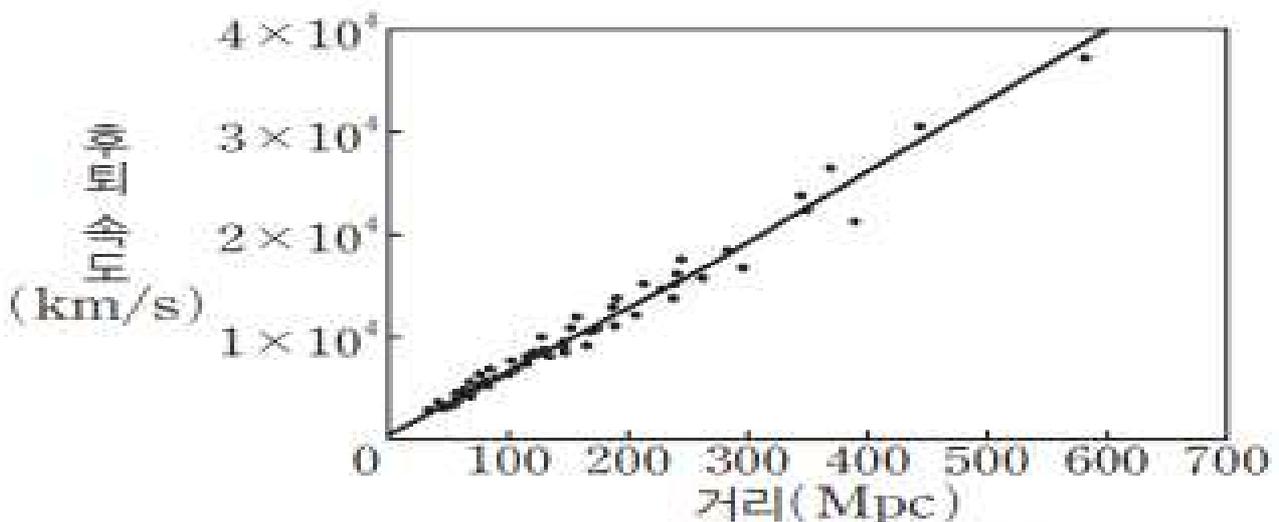


충돌 은하(NGC 6050)

▶ 대폭발 우주론

1. 허블 법칙과 우주 팽창

- (1) 외부 은하의 스펙트럼 관측 : 허블은 거리가 알려진 외부 은하의 스펙트럼을 조사한 결과 대부분의 은하에서 적색 편이를 관측하였다.
- (2) 외부 은하의 적색 편이와 후퇴 속도의 관계
 - ① 적색 편이가 큰 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다.
 - ② 스펙트럼 흡수선의 파장 변화량을 $\Delta\lambda$ 라고 할 때, 후퇴속도(v)는 다음과 같다.
- (3) 허블 법칙
 - ① 허블 법칙 : 은하의 후퇴 속도(v)는 그 은하까지의 거리(r)에 비례한다는 법칙으로 우주가 팽창하고 있다는 것을 의미한다.
 - ② 허블 상수(H) : 우주가 얼마나 빠르게 팽창하는지를 나타내며 2013년 기준으로 플랑크 망원경으로 관측한 최신 값은 $67.80\text{km/s/Mpc} \pm 0.77\text{km/s/Mpc}$ 이다.



외부 은하들의 거리에 따른 후퇴 속도

2. 우주의 팽창

- (1) 우주의 팽창 : 팽창하는 우주의 중심은 없으며, 은하가 서로 멀어지는 것은 은하의 운동 때문이 아니라 우주가 팽창함에 따라 공간이 팽창하기 때문에 나타나는 결과이다.
- (2) 우리은하로부터 거리 r 만큼 떨어진 외부 은하는 v 의 속도로 멀어지고 있다. 따라서 거리를 속도로 나눈 값($\frac{r}{v}$)은 대체적으로 그 은하가 멀어지기 시작한 시점으로부터 현재까지의 시간을 나타내고, 이는 허블상수(H)의 역수에 해당한다. 허블 상수의 역수는 우주의 나이를 나타내는 척도이며, 이를 허블 시간이라고 한다. H 를 약 $68km/s/Mpc$ 이라 할 때, 허블 시간 척도는 다음과 같이 계산된다.
(단, $1pc = 3 \times 10^{13}km, 1년 = 3 \times 10^7s$)

- (3) 은하의 후퇴 속도는 우주의 끝에서 가장 크다. 우주가 탄생한 이후 광속으로 팽창하였다고 가정하면, 우주의 끝에서 후퇴 속도는 광속과 같으므로 $c = H \times r$ 이 성립한다. 따라서 우주의 크기(r)은 $\frac{c}{H}$ 이다.

3. 대폭발 우주론

- (1) 정상 우주론 : 호일 등이 주장한 이론
- ① 우주가 팽창하지만 지속적으로 새로운 물질이 만들어져 우주의 밀도가 유지된다.
 - ② 시간이 지남에 따라 우주의 질량은 증가 하지만 밀도와 온도는 유지 되므로 우주는 변화하지 않는다.
- (2) 대폭발(빅뱅) 우주론 : 가모프 등이 주장한 이론
- ① 우주가 하나의 점으로부터 대폭발(빅뱅)하여 생성되었고, 계속 팽창하면서 냉각되었다.
 - ② 시간이 지남에 따라 우주의 밀도와 온도는 계속 감소하고, 질량은 일정하게 유지된다.

구분	빅뱅 우주론	정상 우주론
우주의 팽창 여부	팽창	팽창
우주의 질량	일정	증가
우주의 밀도	감소	일정
우주의 온도	감소	일정
특징	온도와 밀도가 매우 높은 한 점에서 대폭발이 일어난 후 점차 팽창한다.	우주 밀도가 일정하게 유지되어야 하므로 우주가 팽창하면서 생겨난 빈 공간에 새로운 물질이 계속 생성된다.
모형	 시간의 경과	 시간의 경과

4. 대폭발 우주론의 증거

(1) 우주 배경 복사

① 대폭발 우주론의 이론적 예측

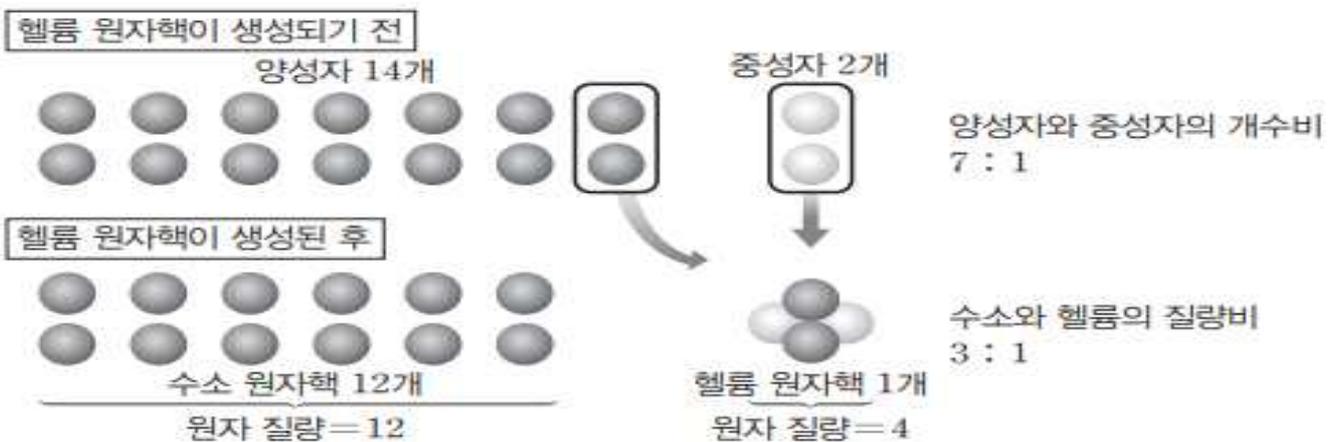
- 우주 나이가 약 3분이 되었을 때 우주의 온도는 약 10억K에 이르고 양성자와 중성자가 결합하여 헬륨 원자핵을 형성하였다. 이 당시 우주의 온도가 높아서 수소 원자핵은 전자와 결합하지 못하고 광자는 전자와 끊임없이 산란하여 우주는 불투명한 상태에 있었다.
- 우주 나이 약 38만 년이 되었을 때 온도는 약 3000K로 내려가고, 자유롭게 돌아다니던 전자들이 원자핵과 결합하여 중성 원자가 생성되면서 우주 공간에는 자유 전자에 의한 불투명도가 급감하여 광자들은 직진하게 되었다. 이러한 광자들 가운데 우리에게 도달하는 광자들은 팽창하는 우주 공간을 지나오면서 파장도 같이 길어져 약 2.7K의 흑체 복사로 관측되는데, 이것을 우주 배경 복사라고 한다.
- 1964년 펜지어스와 윌슨은 우주 배경 복사의 관측에 성공하였고 이는 대폭발 우주론을 지지하는 중요한 증거가 되었다. 이후 여러 파장의 관측을 통해 우주 배경 복사는 약 2.7K인 흑체 복사와 일치한다는 것이 밝혀졌다.

(2) 수소와 헬륨의 질량비

① 대폭발 우주론의 이론적 예측

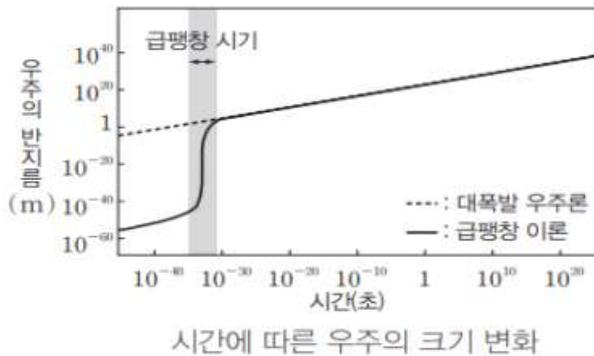
- 대폭발 우주론에 따르면 빅뱅 직후 초기 우주는 매우 뜨거워 양성자, 전자, 중성자 등의 입자들이 모두 뒤엉켜 있었고, 우주 나이 1초에서 3분 사이에 우주의 온도가 내려가면서 양성자와 중성자의 개수 비는 7:1 정도가 되었다.
- 붕괴되지 않고 남은 중성자는 양성자와 결합하여 헬륨 원자핵이 만들어지면서 수소와 헬륨의 질량 비는 약 3:1이 되었을 것으로 예측하였다.

- ##### ② 실제로 우주 공간에 존재하는 원소들의 흡수 스펙트럼을 분석한 결과 수소가 약 75%이고 헬륨이 약 25%로 두 원소의 질량비가 3:1 정도로 나타났다. 이는 빅뱅 우주론에서 이론적으로 계산한 수소와 헬륨의 질량비와 같고, 초기 우주의 조건으로는 헬륨보다 무거운 원소가 거의 만들어지지 않았을 것이라는 예측과도 잘 들어맞는다. 이처럼 이론값과 관측값이 잘 맞다는 것은 대폭발 우주론의 증거가 된다.



5. 급팽창 우주와 가속 팽창 우주

(1) 급팽창 이론 : 우주가 탄생한 후 10^{-36} 초 ~ 10^{-34} 초 사이에 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다는 이론으로 대폭발 우주론이 해결하지 못한 몇 가지 문제점을 설명하였다.

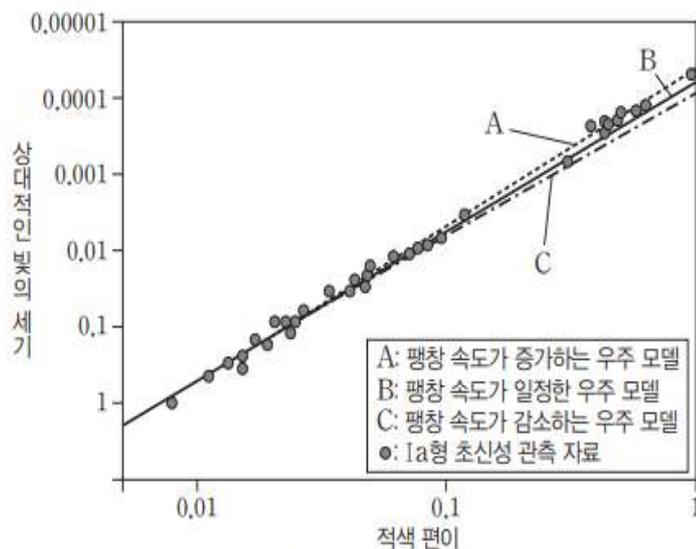


(2) 급팽창 이론이 해결한 문제

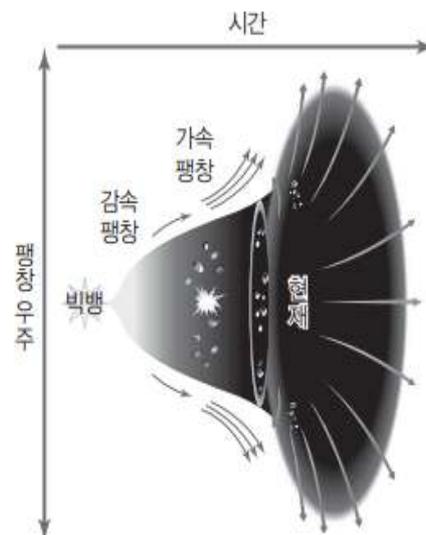
- ① 자기 홀극 문제
- ② 우주의 지평선 문제
- ③ 우주의 평탄성 문제

(3) 우주의 가속 팽창 : 우주의 팽창 속도는 우주 내부 물질의 중력에 의해 점차 감소할 것으로 생각하였으나 Ia형 초신성의 관측 결과 우주의 팽창 속도가 점점 빨라진다는 것을 알아냈다.

(4) Ia형 초신성의 관측 : 거리가 먼 은하에 Ia형 초신성이 있다면 이로부터 은하의 거리를 구하고, 도플러 효과로 은하의 후퇴 속도를 구해 허블 상수를 알아낼 수 있다. 거리가 다른 여러 은하의 허블 상수를 비교하면 우주 팽창의 역사를 추적할 수 있다.



Ia형 초신성 관측 자료와 우주의 팽창 모델



▶ 보통 물질과 암흑 물질

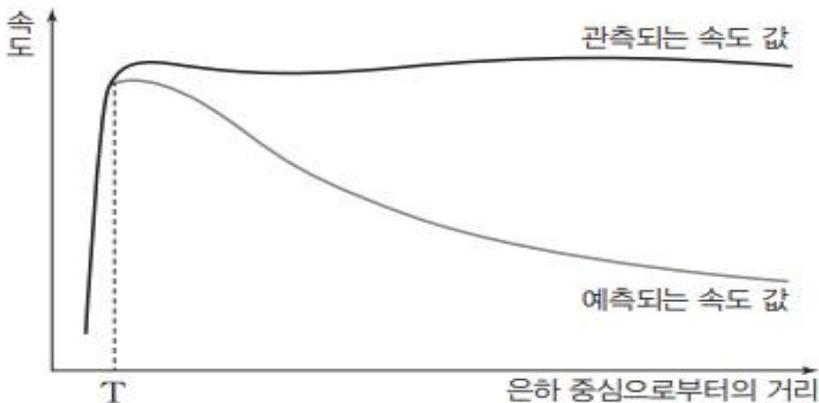
1. 보통 물질과 암흑 물질

(1) 보통 물질 : 우리 주변에서 비교적 쉽게 관찰할 수 있는 대상을 구성하는 물질이며 관측 가능한 우주에서 보통 물질은 $4.5 \times 10^{-31} g/cm^3$ 의 밀도($4m^3$ 에 단1개의 양성자가 있는 정도)로 존재한다. 보통 물질을 구성하는 원자는 핵과 전자로 이루어졌고, 핵은 양성자와 중성자로 이루어졌으며, 양성자와 중성자는 쿼크로 이루어져 있다.

(2) 암흑 물질 : 은하나 은하단에서 대부분의 질량을 차지하고 있지만 빛과 상호 작용을 하지 않아 정체가 밝혀지지 않은 물질이다. 은하의 회전 속도 분포와 중력 렌즈 현상을 통해 간접적으로 존재를 확인할 수 있다.

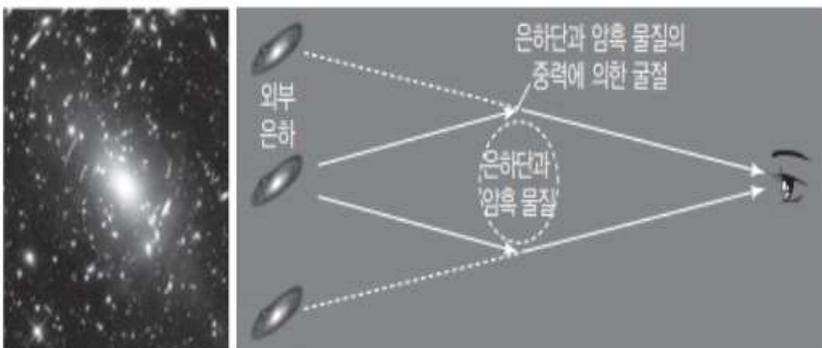
① 나선 은하의 회전 속도 곡선을 통한 암흑 물질의 확인

- 별을 비롯한 물질이 은하 중심에 집중되어 있어 은하 중심부에서 멀어질수록 회전 속도가 느려질 것으로 생각했지만, 실제 관측한 결과 은하 중심에서 멀어져도 은하의 회전 속도가 거의 일정하다.
- 은하 외곽에도 상당한 양의 물질이 분포하고 있으며 그 물질의 질량으로 회전 속도가 감소하지 않고 오히려 증가하거나 거의 일정하다는 사실을 알게 되었다.



② 중력 렌즈 현상을 통한 암흑 물질의 확인

- 퀘이사와 같은 매우 먼 광원에서 온 빛이 질량이 큰 은하단을 거치면서 굴절되어 지구에서 관측된다. 이를 통해 유추한 은하단의 질량은 직접적으로 관측되는 질량보다 더 크므로 은하단에 포함된 암흑 물질의 존재를 알 수 있다.



은하단과 암흑 물질에 의한 중력 렌즈 현상으로 외부 은하가 왜곡되어 보이는 모습

2. 암흑 에너지

- (1) 암흑 에너지 : 중력과 반대인 척력으로 작용하면서 우주를 가속 팽창시키는 역할을 한다.
- ① 현재 우주 안에 있는 물질들의 중력을 모두 합친 것보다 더 큰 어떤 힘이 우주를 팽창시키고 있다.
 - ② 우주는 물질에 의한 수축 효과보다 암흑 에너지에 의한 팽창 효과가 더 우세하여 가속 팽창 중인 것으로 알려져 있다.
- (2) 우주의 가속 팽창 : 우주는 빅뱅 직후 급팽창(인플레이션)이 있었고, 그 후 팽창 속도가 조금씩 줄어들다가 대략 70억 년이 지난 후부터 현재까지 가속 팽창하고 있다.

3. 시간에 따른 물질과 암흑 에너지의 변화

- (1) 비율 변화 : 시간이 흐름에 따라 보통 물질과 암흑 물질의 비율은 감소하고, 암흑 에너지의 비율은 증가
- (2) 밀도 변화 : 시간이 흐름에 따라 보통 물질과 암흑 물질의 밀도는 감소하고, 암흑 에너지의 밀도는 일정

4. 우주의 구성 요소와 우주의 미래

- (1) 표준 우주 모형 : 급팽창 이론을 포함한 대폭발 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함된 최신의 우주론을 표준 우주 모형이라 한다. 우주의 구조에 대해 이 모형으로 계산한 결과는 지금까지 이루어진 우주 관측 사실들을 매우 정확하게 설명한다.
- (2) 우주의 구성 요소 : WMAP 망원경, 플랑크 망원경 등과 같은 최신 우주 망원경으로 관측한 자료를 표준 우주 모형으로 계산한 결과 우리 눈에 보이는 별, 행성, 은하들이 차지하는 비율은 4.9%, 나머지 95.1%는 눈에 보이지 않는 것으로, 암흑 물질이 26.8%를 차지하고, 암흑 에너지가 68.3%를 차지한다.

