

## Chapter 1. 우리의 지구

### 제1절 지구의 구조

#### I. 지구의 모양

##### 1. 지구 타원체

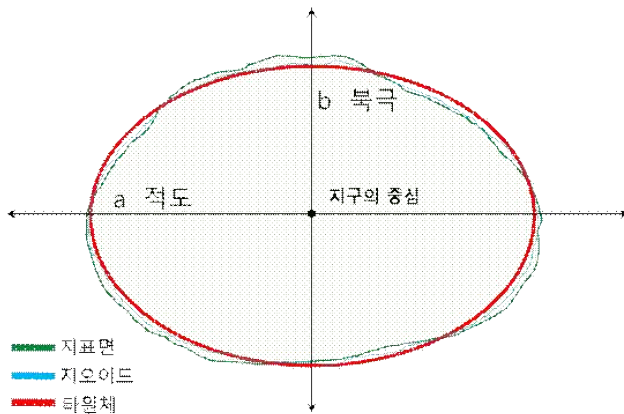
- (1) 원인: 지구 자전에 의한 원심력 때문에 적도 쪽이 긴 타원이다.
- (2) 편평도: 적도반지름과 극반지름의 차이를 편평도라고 하는데, 지구는 약 1/300 정도인 거의 구에 가까운 형태이다.
- (3) 이용: 삼각측량의 기준면, 지구 반지름, 지구의 둘레, 겹넓이, 부피 등을 계산하는 기준이 된다.
- (4) 증거

- 진자의 주기는  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 고위도로 갈수록 중력가속도( $g$ )가 커진다. 따라서 진자의 주기가 고위도로 갈수록 짧아진다.

- 만유인력은  $F = G\frac{M \cdot m}{R^2}$ 이다. 고위도로 갈수록 지구 타원체의 반지름( $R$ )이 작아지므로, 만유인력은 고위도로 갈수록 커진다.

- 곡선에 접하는 원의 반지름을 곡률 반지름이라고 하는데, 곡률이 작을수록 곡률 반지름이 크다. 따라서 곡률 반지름은 고위도로 갈수록 커진다.

- 위도 1°에 해당하는 지표상의 거리가 고위도로 갈수록 커진다.



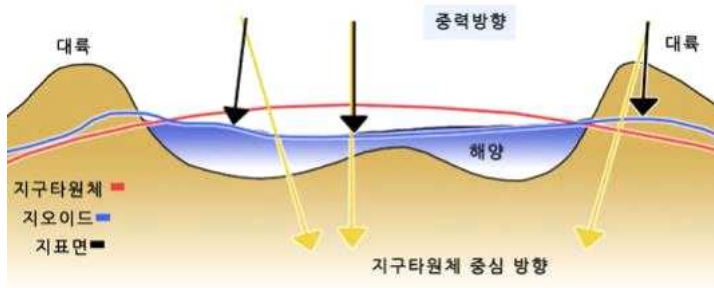
지오이드 및 지구 타원체 모형

##### 2. 지오이드

: 평균 해수면을 육지까지 연장한 가상의 곡면을 말한다.

###### (1) 특징

- 평균 해수면은 중력의 방향에 거의 수직인 면의 하나이다.
- 지하 물질의 밀도에 따라 굴곡이 생긴다. 지하에 밀도가 큰 물질(철광석 등)이 있으면 위로 볼록, 밀도가 작은 물질(석유, 암염 등)이 있으면 아래로 볼록하게 나타난다.
- 해양에서는 지구 타원체보다 낮게, 대륙에서는 지구 타원체보다 높게 만들어진다.



**지하 물질의 밀도에 따른 지오이드의 형태**

(2) 이용

- 수준 측량의 기준면이다. 지구상 각 지점 간의 높낮이를 재는 것을 수준 측량이라고 하며, 해발고도 0m의 기준면이다.
- 중력 위치 에너지의 기준면이다. 지오이드는 중력에 의한 위치 에너지가 0인 면이다.

3. 지구가 구형(球形)이라는 증거

- 월식 때 비친 지구 그림자가 둥글다.
- 위도가 증가할수록 북극성의 고도가 높아진다.
- 인공위성에서 찍은 지구 모습이 둥글다.
- 고도가 높아질수록 시야가 넓어진다.
- 항구로 들어오는 배의 돛부터 보이기 시작한다.

**II. 지구의 물리량**

1. 지구의 크기 측정

(1) 에라토스테네스(Eratosthenes)의 방법

나일강 상류의 '시에네'에서는 하짓날 정오에 우물에 그림자가 생기지 않는다는 파피루스 문서를 보고 지중해 연안의 '알렉산드리아'에서는 같은 날 왜 그림자가 생기는가를 생각하다가 지구의 모양이 '구(球)'라고 생각하고, 지구 둘레(약 4만km로 계산)를 처음으로 측정하였다.

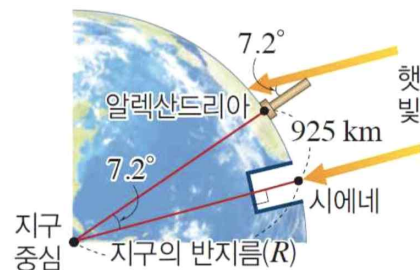
① 에라토스테네스가 계산과정에서 가정한 것

- 지구는 완전한 구형이다,
- 햇빛은 지구에 평행하게 들어온다.
- 관측 지점 두 곳은 동일 경도상에 위치한다.

② 에라토스테네스의 원리

'부채꼴의 중심각의 크기와 호의 길이는 비례한다'는 원리를 적용하면

$$360^\circ : 2\pi R = \theta : l, \text{ 따라서 } R = \frac{360^\circ \times l}{2\pi\theta} \text{ 이 된다.}$$



2. 지구의 질량 측정

(1) 지표에서의 중력가속도로 계산하는 방법

- 중력은 만유인력과 지구 자전에 의한 원심력의 벡터 합. 원심력의 크기가 아주 작으므로 지표에서 질량이  $m$ 인 물체에 작용하는 중력은 만유인력과 같다.
- 지구를 반지름이  $R$ 인 구형이라 가정하고, 질량이  $M$ 인 지구의 지표에서 질량이  $m$ 인 물체에

작용하는 만유인력의 크기  $F$ 는,

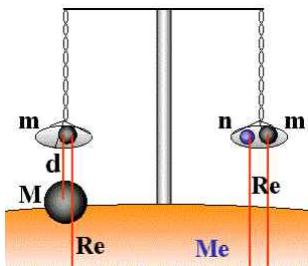
$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2} \text{ 이 된다. } (G: \text{만유인력상수, 약 } 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)$$

- 질량  $m$ 인 물체를 충분한 높이에서 떨어뜨리면 이러한 중력, 즉 만유인력을 받아서  $g$ 만큼의 가속도를 갖고 낙하한다. 뉴턴의 운동 제2 법칙에 따라  $F = mg$ 가 성립한다.

- 위 두 식에서 지구의 질량  $M = R^2 \frac{g}{G}$ 가 된다.

(2) 줄리 천칭을 이용하여 측정하는 방법

양팔 저울(천칭)을 사용해, 만유인력의 법칙을 적용하여 지구의 질량을 구한다.



- 천칭의 양쪽에 각각 질량이  $m$ 인 물체를 올려놓고 평형이 되게 한다.

- 왼쪽 접시 아래 거리  $d$ 인 곳에 질량  $M$ 인 물체를 올려놓는다. 그러면  $m$ 과  $M$ 사이의 만유인력으로 천칭이 왼쪽으로 기울는다.

- 오른쪽 접시에 질량  $n$ 인 물체를 놓아 다시 평형이 되게 한다.

- 왼쪽 접시와 오른쪽 접시에 작용한 힘의 평형 관계를 이용하여 지구의 질량을 계산한다.

$$G \frac{m \cdot M}{d^2} + G \frac{m \cdot M}{R^2} = G \frac{n \cdot M}{R^2} + G \frac{m \cdot M}{R^2} \text{ 를 계산.}$$

### 3. 지구의 평균 밀도 측정

지구의 반지름과 지구의 질량을 구했다면 지구의 평균 밀도를 계산할 수 있다.

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} \approx 5.5 \text{ g/cm}^3 \text{ (} M: \text{지구 질량, } R: \text{지구 반지름)}$$

지각에서 발견되는 암석의 평균 밀도가 보통 대륙지각에서  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , 해양지각에서  $3.0 \text{ g/cm}^3$  정도로, 지구 전체의 평균 밀도보다 작은 것으로 보아 지구 중심부에는 밀도가 큰 물질이 있을 것으로 추정할 수 있다.

## III. 생명체가 사는 지구

### 1. 생명체가 살 수 있는 지구의 조건

#### (1) 대기의 존재

대기의 양이 적절하고, 구성 성분도 적당하여 태양에서 오는 해로운 자외선이나 우주선 등을 막아주어 생명체를 보호한다.

#### (2) 적당한 중심별과의 거리(1AU)

액체 상태의 물이 존재하므로 대기 중의 이산화탄소가 물에 녹아 온실 효과가 적절하게 일어났으며, 생명체가 살기에 알맞은 온도가 되었다.

(3) 지구의 공전 궤도 이심률

지구는 타원궤도로 태양 주위를 공전하지만, 공전 궤도의 이심률이 작아서 원일점과 근일점에서 지구의 평균 온도 차이가 작다.

(4) 지구 자전축의 경사

지구는 자전축이 약 23.5°로 기울어진 상태로 태양 주위를 공전하므로 계절의 변화가 생기며, 자전축 경사각 변화가 크지 않아 다양한 생명이 살 수 있다.

(5) 달에 의한 조석 현상

달의 인력에 의해 하루 두 번 밀물과 썰물이 생기며 드러나는 간석지나 갯벌에서 다양한 생물이 번성할 수 있었다.

(6) 태양의 충분한 수명

태양은 지구에 생명이 탄생하고 진화하는데 충분한 시간 동안 지속적으로 에너지를 공급했다.

2. 생명 가능 지대(골디락스 존)

별의 주변에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리 범위

(1) 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대는 중심별로부터 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭은 넓어진다.

(2) 행성이 생명 가능 지대에 존재하더라도 별의 질량이 너무 크거나 너무 작으면 생명체가 살기에 적합한 환경을 이루지 못한다.



IV. 지구의 층상구조와 구성 물질

1. 기권

지구를 둘러싸고 있는 약 1,000km 두께의 공기층을 말하며, 높이에 따른 기온 분포에 따라 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분된다. 또한 평균 분자량에 따라 균질권, 비균질권으로 구분하기도 한다.

(1) 기권의 구성 성분

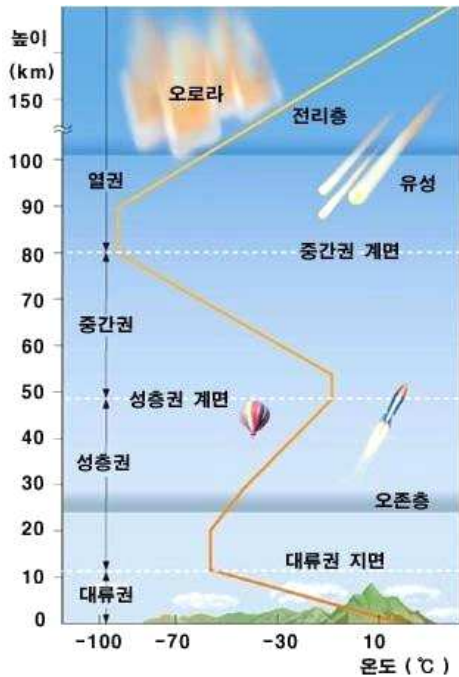
기권은 여러 기체가 혼합된 혼합물로 지상에서 100km 정도까지는 대기의 성분비가 일정해 균질권이라고 부른다. 지구 대기의 수증기를 제외한 성분은 질소(약 78%), 산소(약 21%)가 전체 질량의 99% 이상을 차지한다. 대기 중의 이산화탄소, 오존, 수증기 등의 기체들은 적은 양이지만, 기후 변화에 중요한 역할을 한다.

(2) 기권의 역할

이산화탄소와 수증기가 온실 효과를 일으켜 지구의 평균기온을 높게 유지 시킨다. 대기가 없을 때 지구의 평균기온은 -19℃이지만, 현재 지구의 평균기온은 대기의 존재로 인해 15℃ 정도로 생명체가 살기 유리하다. 또한 성층권의 오존(O<sub>3</sub>)층이 태양으로부터 오는 자외선을 흡수하여 지표의 생명체들을 보호한다. 생명체는 이산화탄소를 흡수하여 광합성을 함으로써 산소를 배출하고, 호흡을 통해 산소를 흡수하고 영양분과 에너지를 얻는다. 이러한 과정을 통해 먹이사슬의 기초를 제공하게 된다.

(3) 기권의 평균 분자량에 따른 구분

높이 약 100 km를 기준으로 균질권과 비균질권으로 구분한다.



대기권의 층상구조

① 균질권: 지표에서 고도 약 100km까지. 대기의 밀도가 높아서 고도와 관계없이 대기의 조성비가 일정한 층으로 혼합 작용이 활발하다. ( $N_2$  78%,  $O_2$  21%,  $Ar$  0.9%,  $CO_2$  0.035% 등)

② 비균질권: 높이 올라갈수록 가벼운 기체의 조성비가 증가하는 층으로, 확산이 활발하다.

(4) 기권의 온도 분포에 따른 구분

기권은 높이에 따른 온도 변화를 기준으로, 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분한다.

① 대류권

- 지표면에서부터 고도가 높아짐에 따라 지구복사 에너지의 도달량이 감소하여 기온이 낮아지는 층이다.

- 대류권계면: 대류권과 성층권의 경계면

- 지표면으로부터 고도 약 10~15km 정도(평균 11km)로, 위도와 계절에 따라 그 두께가 다르게 나타난다. 저위도, 여름철일 때 두껍다.

- 기권 전체 질량의 약 75% 정도를 차지하는 구역이다.

- 대류권의 기온 변화율: 1 km마다 평균 6.5°C씩 증감한다.

- 수증기가 많고 대류현상의 일어나므로 구름, 비, 눈 등의 기상현상이 일어난다.

② 성층권

- 대류권계면 위에서 고도 약 50km 정도의 층으로, 고도가 높아짐에 따라 기온이 상승(20~30km 사이에 오존이 밀집되어있는 오존( $O_3$ )층이 있어 자외선을 흡수하기 때문)하는 층이다.

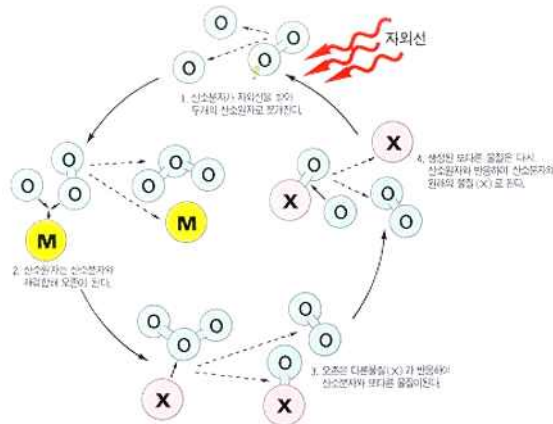
- 대류가 일어나지 않아 기층이 안정하여 비행기의 항로로 이용된다.

- 지구 이외의 행성은 대부분 표면에서 고도가 높아질수록 기온이 낮아지는 층과 다시 기온이 높아지는 두 개의 층으로 구성되어 있는데, 지구는 오존층(약 4억 년 전 생성)으로 생겨난 성층권으로 인해 4개의 층으로 구성되어 있다.

§. 오존의 생성과 오존층의 고도

· 성층권에서 오존의 밀도가 높은 층을 오존층이라고 하며 태양으로부터 지구로 들어오는 자외

선을 막아 생물체를 보호해준다.



### 오존의 생성과 소멸

오존의 생성과 소멸이 적정한 상태에서 계속 평형을 유지하는 상태에 있다.

- 오존이 생기는 기회가 가장 많은 곳은 고도 25km 부근이므로 이 높이에서 오존층이 생성된다. 산소 분자( $O_2$ )와 산소 원자(O)가 결합하여 오존이 생성되기 위해서는 촉매 역할을 하는 질소( $N_2$ )분자가 필요하며, 산소 분자, 산소 원자, 촉매가 충돌할 가능성은 세 물질의 수가 많을수록 크다. 산소 분자와 촉매의 수는 아래쪽으로 갈수록 많고 산소 원자의 수는 위로 갈수록 많다.
- 성층권에서 온도가 가장 높은 곳은 오존층이 분포하는 25km 부근이 아니고 성층권계면인 50km 고도 부근이다. 태양의 자외선이 대기를 통과할 때 상층의 오존에 의해 먼저 흡수되고 하층에 도달하면서 점차 약해져 자외선이 의해 가열이 심한 곳이 오존 밀도가 가장 큰 고도보다 위에 나타나기 때문이다.

### §. 오존층 파괴와 그에 따른 영향

- 프레온 가스(CFC)는 매우 안정하기 때문에 낮은 대기권에서는 분해되지 않으며 성층권까지 수송된 후 자외선에 의해 분해되어 염소 원자(Cl)를 내놓는다. 염소 원자는 오존을 파괴하여 산소( $O_2$ )를 만든다. 오존이 파괴된 후 염소 원자는 재생되기 때문에 하나의 염소 원자가 수십만 개의 오존을 파괴할 수도 있다.



### 오존 파괴 과정. 염화플루오린화탄소

- 오존층이 파괴되면 유해한 자외선이 지표까지 도달하여 식물의 광합성 저하, 피부암, 백내장, 유전자 변형 증가, 성층권의 온도 변화를 초래하여 기후 변화 등을 유발한다.
- 지상의 자외선 증가는 대류권의 오존량을 증가시켜 피부와 호흡기에 해를 끼치게 된다.

### §. 남극 상공에서 오존 구멍이 뚜렷하게 나타나는 이유

오존 파괴는 남반구 봄철(9~10월)에 남극 상공에서 가장 잘 나타나는데, 북극 상공의 대기는 중위도와 잘 혼합되지만, 남극 상공은 거의 고립되어 있어서 중위도로부터 오존을 잘 공급받지 못하기 때문이다.

§.심화

- 성층권의 오존: 고도 20~40km의 오존. 해로운 자외선을 막아줌으로써 피부가 자외선에 노출되어 피부암이나 백내장, 면역 기능이 저하되는 것을 막아준다.

- 지상의 오존: 지표에서 높이 10km 이내에 소량 존재하는 오존. 강한 산화력이 있기 때문에 적당량이 존재할 때는 살균, 탈취 등의 작용으로 인간에게 이롭지만, 농도가 높아질 경우 농작물의 수확량 감소, 호흡기나 눈에 자극을 주어 기침이 나고 눈이 따끔거리며, 폐기능 저하를 가져오는 등 인체에 피해를 준다.

③ 중간권

- 고도 50~80km 사이에서 고도가 높아짐에 따라 기온이 낮아지는 층이다(지표가 방출하는 복사 에너지가 적게 도달하기 때문에).

- 대류는 일어나지만, 공기가 매우 희박하고 수증기가 없어서 기상현상은 나타나지 않는다.

- 중간권계면: 온도가 -90℃로 낮아서 기권 중 가장 낮은 곳이다.

④ 열권

- 고도 80km 이상의 층이다.

- 고도가 높아짐에 따라 태양에너지를 직접 흡수하기 때문에 기온이 급격히 높아지며, 공기가 매우 희박하여 일교차가 매우 크다.

- 극지방 상공에서는 오로라가 나타나며, 유성이 발생하는 층이다.

- 태양의 자외선에 의해서 전리된 이온과 자유전자의 밀도가 큰 전리층은 대부분 열권에 분포하여 지상에서 발사된 전파를 흡수, 반사해 장거리 무선통신을 가능, 불가능하게 한다.

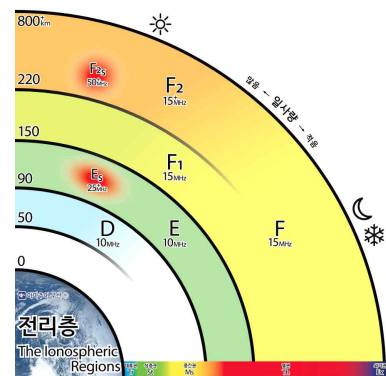
<참고> 전리층의 구성

전자 밀도의 고도 분포에 따라 D층, E층, F<sub>1</sub>층, F<sub>2</sub>층으로 나눈다.

D층: 70~85km. 단파와 중파 흡수, 장파 반사, 야간에는 태양으로부터 자외선이 오지 않아 소멸되는데, 이 때문에 야간에 라디오방송(중단파)이 잘 들린다.

E층: 85~160km. 중파 반사.

F<sub>1</sub>층: 160~200km. F<sub>2</sub>층: 200~300km. 단파 반사.



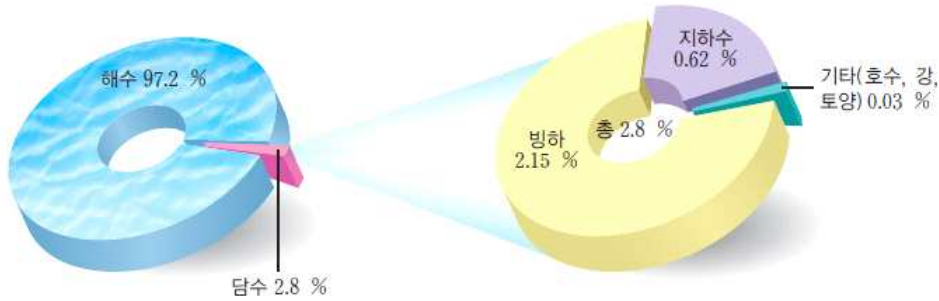
2. 수권

지표상의 모든 액체 상태의 물과 빙하. 지구 전체 표면의 약 70%를 차지한다.

(1) 수권의 역할

- ① 수권은 태양에너지와 물을 저장하고 해수의 순환을 통해서 지구의 일교차와 연교차를 줄여 생명체가 살아가기에 적당한 기후조건을 만든다.
- ② 위도에 따른 태양에너지 입사량의 차이를 해수의 순환과정을 통해 고르게 분산시켜 지구 전체의 열평형을 유지하게 한다.
- ③ 지구계의 각 영역을 순환하면서 지형의 변화를 일으키며, 해수에 각종 염류와 광물질을 공급한다.

(2) 수권의 구성



수권의 약 97.2%는 해수이며, 육수(담수)는 2.8%에 불과하다. 담수 2.8% 중 2.15% 정도는 빙하, 약 0.62%는 지하수, 약 0.03%가 호수와 하천수이다. 이 중에서 인간이 사용하는 물은 전체의 1%도 되지 않는다.

(3) 수권의 구성 물질

- ① 육수의 구성 성분:  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $S^{2-}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ...
- ② 해수의 구성 성분:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ...
- ③ 해수와 육수의 성분이 다른 이유: 탄산 이온과 칼슘 이온은 바다에서 이온들이 결합하여  $CaCO_3$ 로 침전되거나 생물체 내에 흡수되기 때문이다. 특히 해수에 많은 염화이온( $Cl^-$ )은 해저 화산작용으로 공급된 것이다.

§. 심화 개념

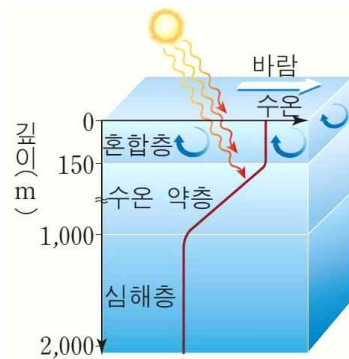
-탄소의 순환

- ① 지권: 지권에 탄소가 가장 많이 포함되어 있으며, 대부분 탄산염 형태로 석회암() 내에 포함되어 있다. 그 외에 석유나 석탄 등의 화석연료(탄소화합물)로 존재한다.
- ② 기권: 기권에는 주로 이산화탄소( $CO_2$ )의 형태로 존재한다.
- ③ 수권: 탄산 이온( $CO_3^{2-}$ ) 또는 탄산수소 이온( $HCO_3^-$ )의 형태로 존재한다.
- ④ 생물권: 기권의 이산화탄소가 생물체에 흡수되어 유기 화합물(탄수화물, 단백질, 지질, 핵산)의 형태로 존재한다.

(4) 해수의 층상구조

해수면으로부터 혼합층, 수온약층, 심해층으로 구분하며, 해수면에 도달하는 태양복사 에너지의 약 98% 정도가 수심 100m 이내에서 흡수된다.

- ① 혼합층: 수온이 가장 높고, 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 태양복사 에너지에 의해 가열된 표층해수가 바람에 의해 혼합되어 형성되므로 바람이 강한 곳이나, 바람이 많이 부는 계절에 두껍게 발달한다.
- ② 수온약층(밀도약층): 수심이 깊어짐에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 매우 안정한 층으로 해수의 연직 혼합이 일어나기 어려워 혼합층과 심해층 사이에서 물질과 에너지의 교환을 차단하는 역할을 한다.
- ③ 심해층: 태양복사 에너지가 거의 도달하지 않아 수온이 가장 낮고, 일정한 냉수층이다. 극 해역에서 침강한 해수가 심층순환 과정에서 공급되고, 위도나 계절에 상관없이 수온 변화가 거의 없다.

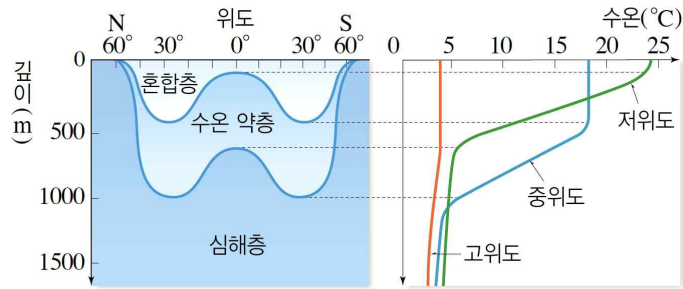


해수의 층상 구조



(5) 위도에 따른 수권의 구조

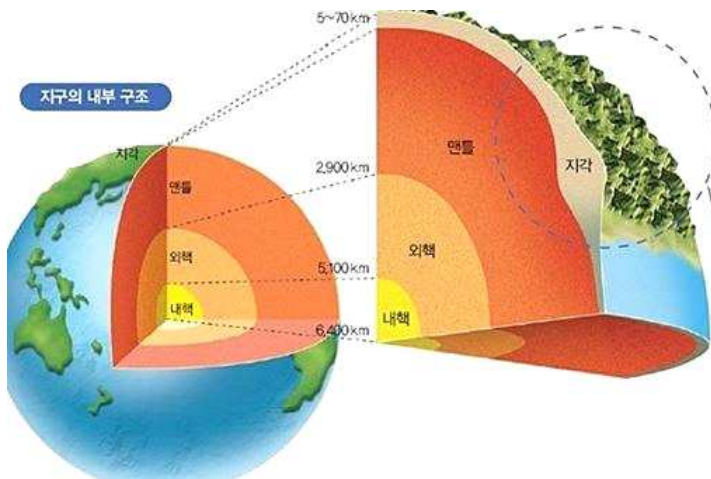
- 저위도(적도 부근) 해역: 일사량이 많고, 바람이 약해서 혼합층의 두께가 얇다. 수온약층이 가장 두껍게 발달한다.
- 중위도(30°N) 부근 해역: 바람이 강해서 혼합층의 두께가 가장 두껍다. 수온약층의 두께가 상대적으로 좁아진다.
- 고위도(60°N) 부근과 극 해역: 일사량이 적어, 혼합층, 수온약층이 나타나지 않고 5°C 미만의 심해층으로만 되어 있다.



해수의 연직 수온 분포

3. 지권(암권) - 지표와 지구 내부

지구 내부의 구조와 구성 물질을 파악하기 위한 탐사 방법에는 여러 가지가 있으나 가장 효과적인 방법은 지진파 탐사이다. 지구 내부를 통과하거나 반사되거나 굴절되어 지진계에 기록된 지진파를 분석하여 간접적으로 지구 내부를 탐사한다. 이 외에도 간접적인 방법으로는 운석 연구, 고온고압 실험, 지각열류량 연구 등이 있다. 직접적인 방법으로는 시추, 화산분출물 연구 등이 있으며 이는 지표 가까운 곳의 물질만 조사할 수 있다는 한계가 있다.



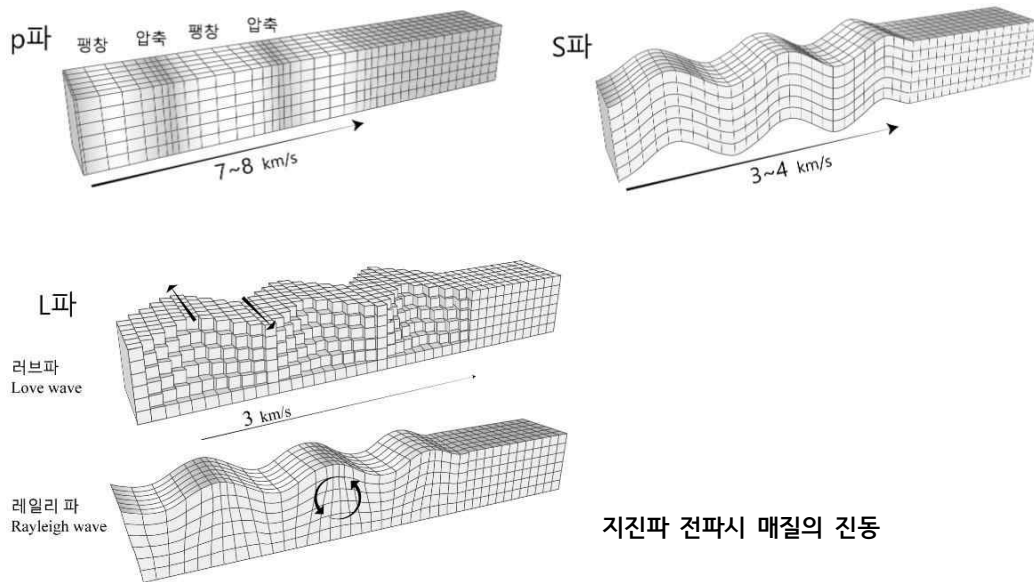
(1) 지진파에 의한 지구 내부 탐사

지하 깊은 곳의 지층이 주변으로부터 힘을 받으면 변형이 일어나게 된다. 이러한 지층의 변형이 일정한 한계에 도달하면 지층이 끊어지면서 단층이 생기고 축적된 에너지가 순간적으로 방출되어 파동의 형태로 사방으로 전달되는데, 이러한 현상을 지진(Earthquake)이라고 하고, 이때 전달되는 파동을 지진파(Seismic wave)라고 한다.

(2) 지진파의 종류와 성질

지진파는 매질의 내부를 통과하는 실체파와 표면을 따라 전파되는 표면파로 나뉜다.

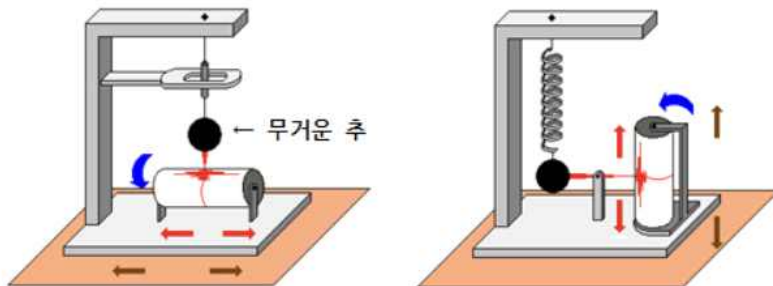
종류		속도(km/s)	진폭(피해규모)	파동의 종류	매질의 상태
실체파	P파	평균 5~8	작다	종파(파의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란하다.)	고체, 액체, 기체 모두 통과
	S파	평균 3~4	중간	횡파(파의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직이다.)	고체만 통과
표면파(L파)		평균 2~3	크다	표면파- 러브파(좌우 진동), 레일리파(타원형 진동)	지표면으로 통과



### (3) 지진파의 기록과 해석

① 지진계: 지진이 발생했을 때 지표면이 진동하는 것을 기록하는 장치

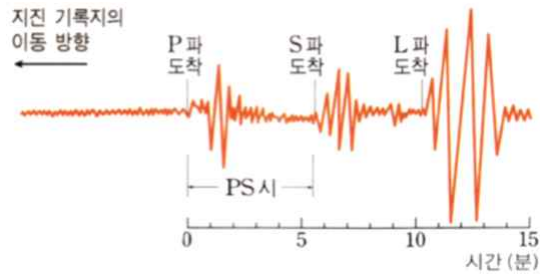
지진이 발생하여 지표가 진동하면 추를 제외한 지진계의 모든 부분이 지면과 함께 움직이며, 이때 추에 붙어있는 기록 펜이 회전 원통의 기록지에 상하, 좌우의 움직임을 그대로 기록하게 된다. 지진계는 이러한 관성의 원리를 이용하고 있으며, 수평동 지진계와 수직동 지진계가 있다. 최근에는 디지털 지진계가 개발되어 더욱 정밀하게 지진 기록을 할 수 있게 되었다.



수평동 지진계

수직동 지진계

② 지진 기상(Seismogram): 진원에서 발생한 지진파가 지진 관측소에 기록된 것을 지진 기상이라고 한다.



지진 기상

③ PS시와 진원거리

지진 관측소에서 진원까지의 거리를 진원거리라고 하는데, PS시를 알면 진원거리를 구할 수 있다.

- PS시: 지진 관측소에 P파와 S파의 도달 시간 차이

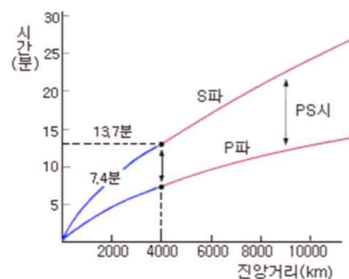
$$PS시 = (S파\ 도달\ 시간) - (P파의\ 도달\ 시간) = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p}$$

- 진원거리: PS시는 진원거리에 비례하므로 관측 지점에서 진원까지의 거리는 구하는 데 이용한다. 위의 식을 이용하여 진원거리  $d$ 를 구하면 다음과 같다.

$$진원거리\ (d) = \frac{v_p \cdot v_s}{v_p - v_s} \times ps시 \quad (v_p : P파의\ 전파속도, v_s : S파의\ 전파속도)$$

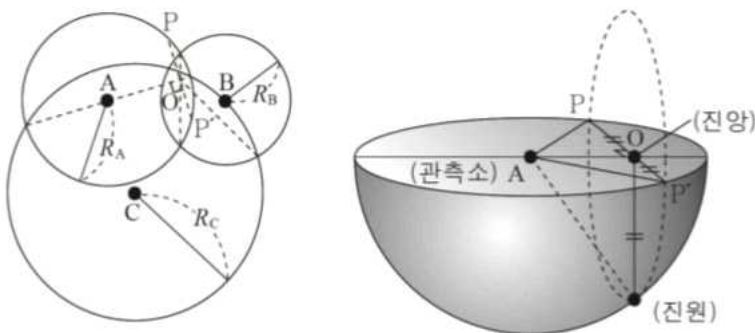
④ 주시곡선에서 진앙 거리 구하기

지진 관측소에서 진앙까지의 거리와 지진파가 도착하는 데 걸리는 시간과의 관계를 나타낸 그래프를 주시곡선(Travel time curve)이라고 한다. 주시곡선에서 진앙거리가 멀수록 PS시가 커진다. 지진 기록상에 나타난 PS시를 주시곡선의 P파와 S파 곡선 사이의 간격에 맞춘 후 아래로 수선을 내려서 진앙거리를 읽어서 구한다. 주시곡선을 분석하면 지진파가 지구 내부를 통과할 때의 속도 분포를 추정함으로써 지구 내부의 물리적 특성 및 내부 구조에 대한 정보를 얻을 수 있다.



주시곡선

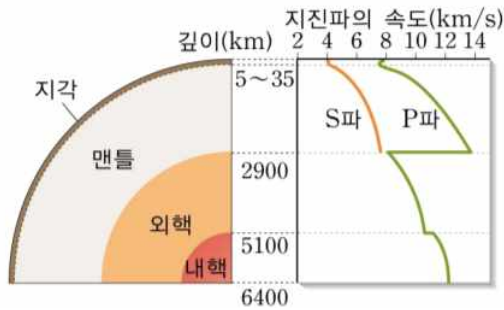
⑤ 진앙의 위치와 진원 깊이 결정



세 곳의 지진 관측소 A, B, C에서 각각의 진원거리( $R_A, R_B, R_C$ )를 반지름으로 하는 원을 그린 후, 공통현 세 개를 그려서 만나는 교점이 진앙(O점)이 된다. 그리고 그 교점에서 아무 원이든 한 원의 반지름과 수직의 현(P-P')을 그은 1/2인 값(OP=OP')이 진원의 깊이이다. 진앙의 위치를 결정하기 위해서는 최소 세 군데 이상의 관측에서 관측된 진원거리가 필요하다.

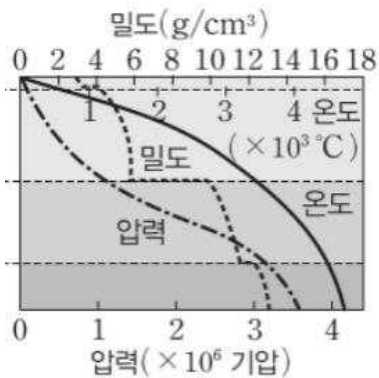
(4) 지구 내부의 구조

지구 내부의 구조는 지구 내부를 통과해 나오는 지진파의 속도를 측정하여 그 결과를 해석함으로써 간접적으로 알 수 있다. 지진파의 속도는



로써 간접적으로 알 수 있다. 지진파의 속도는 깊이 5~35km, 2,900km, 5,100km 부근에서 급변하는데, 이를 경계로 지구 내부를 지각, 맨틀, 외핵, 내핵의 4개의 층으로 구분할 수 있다. 또한 지하 약 2,900km 면을 경계로 S파가 통과하지 못하므로 그 아래층(외핵)은 액체 상태로 이루어져 있을 것으로 추정할 수 있다.

이를 통해 알아낸 지구 내부의 물리량 변화는 다음과 같다.

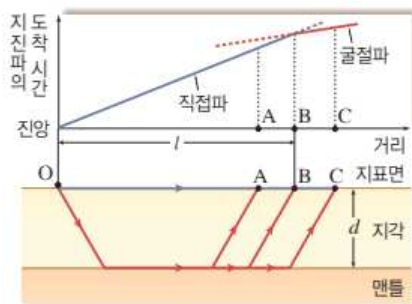


- 지구 내부의 온도와 압력 및 밀도 변화: 지구 내부로 갈수록 모두 증가
- 지온 상승률은 지각에서 가장 크다.
- 압력 증가율은 외핵에서 가장 크다.
- 밀도는 각 층의 경계면에서 급격히 변한다.

① 지각: 지구 내부 구조 중에서 가장 바깥쪽 부분

i) 모호면(모호로비치치 불연속면): 지각과 맨틀의 경계면

지하 약 40km 깊이에서 지진파의 속도가 갑자기 빨라진다는 사실을 통해 알아내었다. 1909년 舊유고슬라비아의 과학자 모호로비치치는 발칸반도에서 발생한 지진파를 분석하다가 P파의 주시 곡선이 진앙거리 200km인 곳에서 기울기가 급변한다는 사실을 발견하였다.

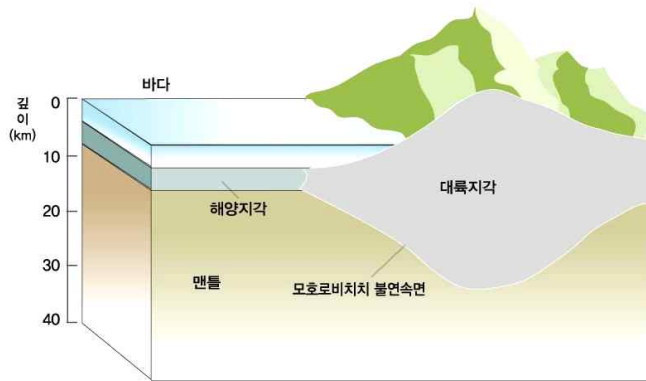


그는 진앙거리 200km(B) 이내의 거리에는 직접파가 먼저 도달하지만 그 이상의 거리에서는 굴절파가 먼저 도달하는 것이라고 생각했다. 진앙거리가 200km 이상(C)에서 굴절파가 먼저 수신되는 이유는, 먼 거리를 통과해 오기는 하지만 상대적으로 지각보다 밀도가 큰 맨틀을 경유하여 오게 되므로 빠른 속도로 전달되어 올 수 있기 때문이라고 보았다. 따라서 지각의 하부에는 지진파를 굴절시키는 밀도가 다른 경계면이 있을 것이라는 생각을 하고 이를 모호면이라고 하였다.

\*교차거리( $l$ ): 직접파와 굴절파의 도달 시각이 같은 지점까지의 진앙거리(B)를 교차거리( $l$ )라고 한다. 교차거리가 멀수록 지각의 두께가 두꺼움을 의미한다.

ii) 지각의 두께와 구성

- 대륙지각: 밀도가 작은 화강암질(약  $2.7g/cm^3$ ) 암석이 주성분이며, 평균 두께는 약 35km
- 해양지각: 밀도가 큰 현무암질(약  $3.0g/cm^3$ ) 암석이 주성분이며, 평균 두께는 5~8km
- 콘래드 불연속면: 지각에 존재하는 불연속면으로 상부는 화강암질층, 하부는 현무암질 층으로 나뉜다.



지각의 분포

- 지각 구성의 8대 원소

지각 전체 질량의 약 98%가 8종의 원소( )로 이루어져 있다. 이 중에서 산소( )와 규소( )가 가장 많으므로 지각은 대부분 규산염 광물로 이루어져 있다.

iii) 지각 평형설

지구가 대륙과 해양 분지로 이루어져 있으나, 그 높이 차이에 의한 상하운동이 거의 나타나지 않은 것은 맨틀 위에 떠 있는 지각이 균형을 이루고 있기 때문이다.

- 에어리설

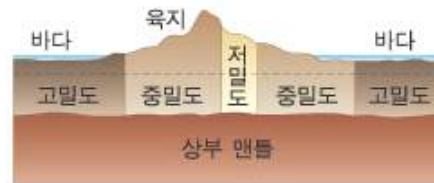
지각은 같은 밀도의 물질로 되어 있다고 가정하고, 지각이 마치 바다의 빙산 모양으로 떠 있어 균형을 이루게 된다는 이론이다. 해발고도가 높은 부분은 낮은 부분보다 깊이가 더 깊다고 본다.

- 플레이트설

밀도가 각기 다른 여러 개의 지각 기둥이 이들보다 밀도가 큰 맨틀 위에 떠서 평형을 이룬다는 이론이다. 높은 기둥은 얇은 기둥보다 밀도가 작은 물질로 되어 있어 일정한 지하 깊이(보상면)에서 기둥의 밑바닥은 균형을 이루고 있게 된다고 본다. 대륙과 산맥은 밀도가 작은 암석들로 구성되어 있어 가벼우므로 고도가 높고 두께도 두껍다. 반면에 해양지각은 밀도가 큰 암석들로 구성되어 있으므로 해양분지의 고도는 낮고 두께는 얇다.



<에어리의 설>



<플레이트의 설>

## ② 맨틀

지각 하부로부터 지하 약 2,900km 깊이에 위치하는 구간을 맨틀이라고 한다.

i) 구텐베르크 불연속면: 맨틀과 핵의 경계면

진앙으로부터의 각거리가 약 103°~143° 사이에 위치하는 지진 관측소에서는 P파와 S파가 모두 관측되지 않는데, 이 지역을 암영대(Shadow zone)라고 한다.

- P파의 암영대: 각거리 103°~143°인 곳

- S파의 암영대: 각거리 103°~180°인 곳

- 구텐베르크는 암영대가 나타나는 이유가 맨틀과 핵의 경계에서 액체 상태의 외핵에 의해 지진 파의 속도가 급격히 느려지는 불연속면이 존재하기 때문이라고 해석하였으며 이를 구텐베르크면 이라고 하였다.

ii) 맨틀의 구조

통과하는 지진파의 종류와 속도 변화에 따라 상부 맨틀, 전이대, 하부 맨틀로 구분할 수 있다.

- 상부 맨틀: 모호면으로부터 깊이 약 400km까지의 구간으로 암석권과 연약권으로 구분한다.

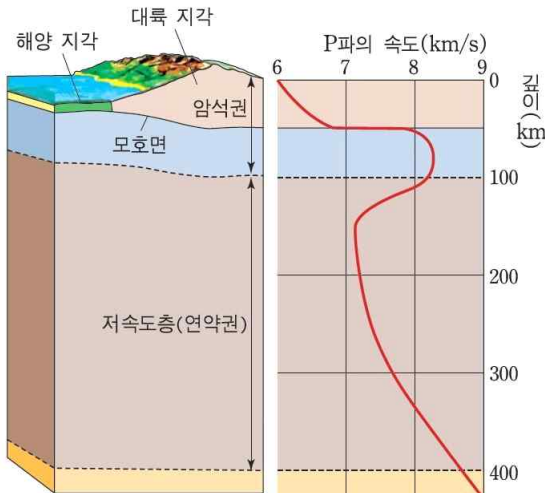
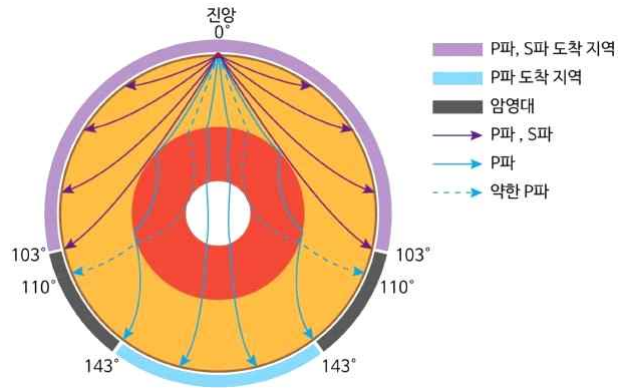
· 암석권: 지각을 포함한 약 100km 깊이의 구간

· 연약권: 암석이 유동성을 가지는 지하 약

100~400km 사이 구간. 연약권 내에서 특히 깊이 80~220km 사이에 지진파의 속도가 급격히 감소하는 층이 나타나는데 이를 저속도층이라고 한다. 이 층에서 지진파의 속도가 느려지는 것은 이 부분에 존재하는 암석이 유동성을 나타내기 때문으로 추정하고 있다.

- 전이대: 지하 약 400km 깊이와 약 670km 깊이의 구간으로 P파의 속도가 갑자기 증가하는 현상이 나타난다. 그 이유는 큰 압력에 의해 조암광물의 원자가 재배열이 일어나 밀도가 커지기 때문으로 추정된다. P파의 속도 분포로 분석한 구성 광물의 밀도 증가량은 약 10% 정도이다.

- 하부 맨틀: 약 670km~2,900km 사이 구간.



암석권과 연약권에서 지진파(P파)의 속도 분포

③ 핵(Core)

지구 내부 구조에서 구텐베르크 불연속면 하부의 지구 중심부

i) 레만 불연속면: 외핵과 내핵의 경계. 1936년 레만은 뉴질랜드 불러(Buller) 지방의 지진 기록을 분석한 결과 진앙과의 각거리가 110°인 곳에 약한 P파가 도달되는 사실을 발견하여 지하 5,100km 깊이에 불연속면이 존재함을 밝혔다. 레만 불연속면의 위를 외핵, 아래를 내핵이라고 한다.

ii) 핵의 물질 상태: 레만 불연속면 위인 외핵은 S파가 전파되지 못하므로 액체 상태임을 알 수 있고, 레만 불연속면 아래인 내핵은 P파의 속도가 증가하는 것으로 보아 밀도와 압력이 큰 고체 상태임을 알 수 있다.

## V. 지구의 기원

### 1. 원시 행성의 형성

#### (1) 태양계의 기원(성운설)

거대한 성운의 가스가 회전하면서 수축하여 중심에 태양이 형성되었고, 그 주변 회전원판에 미행성체가 생겼으며 미행성들의 충돌 등으로 현재 태양계가 형성되었다.

#### (2) 성운설

성운 형성→성운의 회전과 수축→미행성체 형성→원시행성 형성

① 태양계 성운의 형성: 초신성 폭발로 인해 우리 은하의 나선팔에 존재하던 거대한 성간운이 분열되어 작은 성간운으로 나뉘었고, 이중 수소와 헬륨으로 이루어진 고온의 가스와 먼지, 티끌이 회전과 수축을 하면서 납작한 원반 모양의 태양계 성운이 만들어졌다.

② 태양계 성운의 회전과 수축: 태양계 성운이 회전과 수축을 계속하여 중심부에는 원시 태양이 형성되었고, 원시 태양의 중심부에 질량이 큰 물질이 모이게 되었다.

③ 미행성체 형성: 원시 태양 주위를 회전하던 성운들은 얇은 원반 모양의 가장자리에 미행성체를 형성하였다.

④ 원시 행성의 형성: 미행성체들이 충돌, 융합하여 원시 행성들이 만들어졌다.

### 2. 원시 지구의 성장

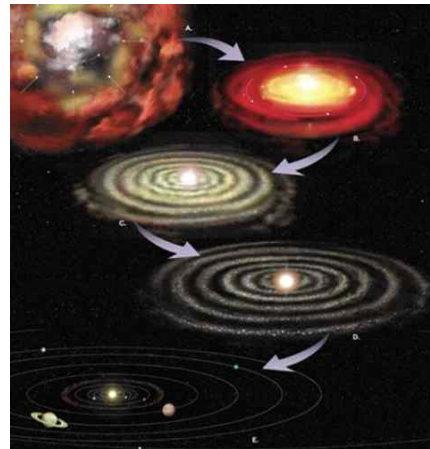
미행성 충돌→마그마의 바다→맨틀과 핵의 분리→원시 지각과 원시 바다 형성→원시대기의 변화

① 미행성 충돌: 원시 지구에 수많은 미행성이 충돌하면서 지구의 크기가 점차 증가하였다. 미행성들이 충돌할 때 수증기와 이산화탄소, 수소 등이 대기로 방출되었다.

② 마그마의 바다: 미행성의 충돌 열과 수증기, 이산화탄소 등의 온실기체의 영향으로 지구의 온도가 서서히 높아져 지구 전체가 마그마로 이루어진 상태가 되었다.

③ 맨틀과 핵의 분리: 마그마의 바다에서 철이나 니켈 같은 무거운 금속은 중심으로 가라앉아 핵을 형성하였고, 가벼운 규산염 물질은 위로 떠올라 맨틀을 형성하였다. 이렇게 지구는 지권과 기권을 형성하게 되었다.

④ 원시 지각과 원시 바다의 형성: 미행성 충돌이 감소하면서 지구의 온도는 서서히 낮아지게 되었고, 지표가 식으면서 원시 지각이 형성되었다. 또한 지각의 화산활동으로 방출된 수증기가 응결하여 구름이 되고 많은 비가 내리면서 지각의 낮은 곳에 모여 원시 바다를 형성하였다.

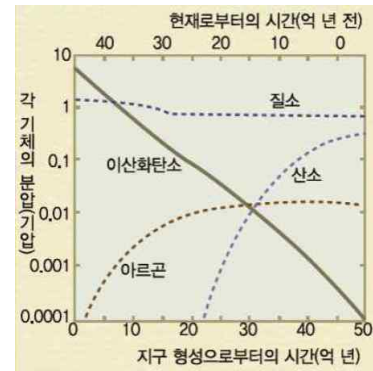


원시 지구의 형성과 진화

⑤ 원시 대기의 변화: 지각이 형성된 후 화산활동으로 수증기, 이산화탄소, 질소, 메테인, 암모니아, 수소 등이 대기로 방출되었다. 이중 수증기는 대부분 비로 내렸고, 이산화탄소는 원시 바다에 녹아 탄산염으로 지권에 고정되었다. 이러한 과정에서 대기 조성이 서서히 변화하게 되었고,

현재는 질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소가 주성분인 산화성 대기로 구성되어 있다.

- 대기 중 산소량의 변화: 원시대기에는 산소가 거의 존재하지 않았다. 그런데 약 38억 년 전 시작된 바닷속 남세균의 광합성으로 산소의 비율이 증가하기 시작하였으며, 25억 년을 전후하여 대기 중으로 산소가 방출되었다. 대기 중의 산소가 풍부해지면서 약 4억 1천 만 년 전 고생대 실루리아기에 들어와서 오존(O<sub>3</sub>)층이 형성되었으며, 이 오존층이 해로운 자외선을 차단하게 되면서 생물이 육지에도 등장할 수 있었다.
- 대기 중의 이산화탄소량의 변화: 처음에는 원시 해양이 산성이었기 때문에 이산화탄소가 녹아 들어가지 못하다가 약 30억 년을 전후하여 원시 해양이 중성으로 변해감에 따라 매우 많은 양의 이산화탄소가 바다에 녹아서 탄산 이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)이 되었고, 이는 침전을 형성하여 석회암으로 퇴적되었다. 따라서 대기 중에서 이산화탄소의 비율은 급감하였으며, 해조류의 광합성으로 인해 이산화탄소는 계속 감소하게 되었다.
- 대기 중의 질소량 변화: 질소는 생물을 구성하는 단백질의 단위체인 아미노산의 필수 원소로서 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 태양광에 의해 분해되어 생성되었다.





## 제2절 지구의 역장

### I. 지구의 중력장

#### 1. 중력의 측정

##### (1) 중력

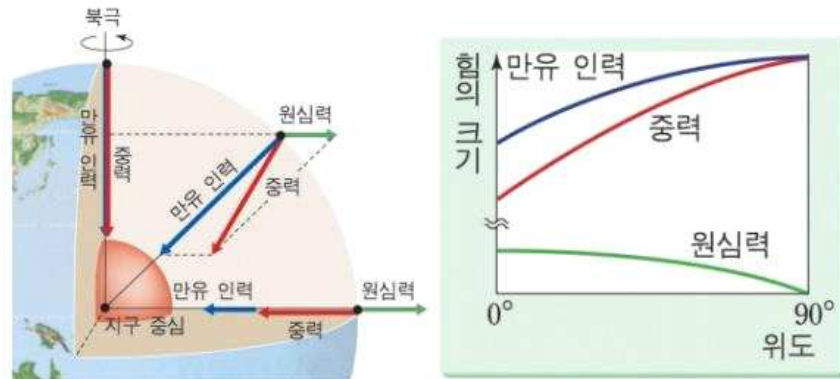
지구상의 모든 물체는 지구 질량에 의한 만유인력과 지구의 자전에 따른 원심력을 동시에 받고 있다. 중력은 만유인력과 원심력의 합력이다. 지구 주위에 중력이 미치는 공간을 중력장이라고 한다.

##### ① 중력의 크기

- 만유인력( $F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$ )의 크기: 지구의 모양은 적도반지름이 극반지름보다 큰 타원체이므로 극지방으로 갈수록 커진다.

- 원심력( $F = mrv^2$ ): 자전축과의 직선거리( $r$ )에 비례하므로 극으로 갈수록 작아지게 된다.

- 만유인력과 원심력의 합력인 중력의 크기는 극지방으로 갈수록 커진다.



만유인력, 원심력, 중력의 관계와 위도별 크기

##### ② 중력의 방향

극과 적도에서는 중력 방향이 지구 중심을 향하고 중위도 지방에서는 만유인력과 원심력의 합력인, 약간 어긋난 방향이 중력 방향이다.

##### (2) 중력의 측정

##### ① 단진자의 주기를 이용한 중력(절대중력값) 측정

지구상의 어느 한 지점에서 중력가속도는 진자의 주기 측정으로 구할 수 있다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

진자의 길이( $l$ )와 단진자의 주기( $T$ )를 측정하여 중력가속도( $g$ )를 구할 수 있다.

- 단진자의 주기는 중력이 클수록 짧아진다.

- 단진자의 주기는 단진자의 길이가 길수록 길어진다.

##### ② 중력계를 이용한 중력(상대중력값)의 측정

용수철의 길이가 중력의 크기에 비례하여 늘어나므로 용수철의 길이로 중력을 측정한다. 중력은 대부분 중력계를 사용하여 한 지점에 대한 상대적인 값으로 구하며, 주로 중력 탐사에 이용한다.

---

## 2. 중력 탐사

지구를 균질한 회전 타원체로 가정한다면 표준 중력값과 지표에서의 실측 중력값은 같게 나오겠지만, 실제로는 지구가 균질한 회전 타원체가 아니기 때문에 중력계를 이용하여 여러 지점에서 중력의 크기를 측정할 때 고도, 지형, 지하 물질의 밀도 등에 따라 실제 측정된 중력값은 차이가 난다. 따라서 각 지점에서 측정한 중력값을 서로 비교하기 위해 보정을 한다.

- 중력 보정에는 고도 보정, 부우게(Bouguer) 보정 및 지형 보정 등이 있다. 이렇게 보정된 실측 중력과 표준 중력의 차이를 '중력 이상'이라고 한다.
- 중력 이상에는 보정 정도에 따라, 고도 이상과 부우게 이상 등이 있다.

### (1) 표준 중력

지구는 자전하는 회전 타원체이고, 지구 내부의 밀도 분포가 수평 방향으로 일정하다고 가정하여 해면에서 이론적으로 계산한 중력값을 표준 중력이라고 한다. 원심력과 만유인력의 크기는 위도가 같으면 동일 값이 되므로, 표준 중력의 크기도 위도에 따라 일정할 것이다.

### (2) 중력 보정

어느 지점에서 측정한 중력값이 기준점보다 얼마나 큰지 작은지 비교하기 위해서는 중력계를 이용하여 측정한 중력값을 측정 장소와 위도와 지형, 대기의 상태와 달의 조석력 등의 효과를 제거한 다음 비교해야 한다. 이와 같이 측정한 중력값에서 지하의 물질 이외의 다른 요인이 중력에 미치는 효과를 제거하는 작업을 '중력 보정'이라고 한다.

① 위도 보정: 지구의 적도반지름과 극반지름의 차이 때문에 위도가 다른 두 관측점에서 측정된 중력값을 비교하기 위해서는 이들 측정지점 간의 위도 차에 의한 영향을 제거해야 한다. 관측 지점이 기준점보다 위도가 높은 지점이었으면 반지름이 더 작아서 중력이 크게 나왔을 것이므로 빼주어야 하고, 반대로 위도가 낮은 지점이었으면 작게 나왔을 것이므로 더해주어야 한다.

② 고도 보정: 중력은 지구 중심으로부터의 거리의 제곱에 반비례하고, 물질의 질량에 비례한다. 거리 차이(고도 차이)에 의한 영향을 제거하는 것을 프리에어 보정(free-air correction)이라 하고, 존재하는 물질의 질량에 의한 영향을 제거하는 것을 부우게 보정(Bouguer correction)이라 하며, 이 두 보정을 합하여 고도 보정(elevation correction)이라고 한다.

- 프리에어 보정: 거리의 효과만을 고려한다면 중심으로부터 멀어질수록 중력이 작게 측정되므로 기준면보다 고도가 높을 때는 중심으로부터 더 멀어져 작게 측정되었을 것이므로 그 효과만큼 더해야 하고, 기준면보다 고도가 낮을 때는 크게 측정되었을 것이므로 그 효과만큼 빼야 한다.

- 부우게 보정: 지오이드면 이상의 물질을 두께가 관측점과 지오이드면 사이의 거리 즉, 관측점의 표고인 무한 평판(부우게 판)으로 가정하여 보정하고 있다. 관측점이 기준면보다 높을 경우 질량에 의한 인력이 관측값에 더해져 있으므로 보정값을 빼주어야 하고 기준면보다 낮을 경우 더해주어야 한다. 따라서 프리에어 보정과는 보정 부호가 반대가 된다.

③ 지형 보정: 부우게 보정은 지오이드면 이상의 물질은 무한 평판으로 가정하여 보정하고 있다. 그러나 실제 지형은 기복이 있으며, 따라서 부우게 보정은 지형의 기복에 의한 영향만큼 과보정이 되는 셈이다. 이러한 무한 평판과 지형의 기복에 의한 영향 차이를 보정하는 것이 지형 보정이다.

④ 대기 보정: 인공위성이나 항공기를 이용하여 중력을 측정할 경우 측정 결과는 지구 질량뿐만 아니라 대기의 질량에 의한 중력 효과도 포함되어 있다. 따라서 관측 지점의 고도 변화에 따른 대기의 질량 효과를 보정해야 한다.

⑤ 조석 보정: 임의의 관측 지점에서 중력은 관측 지점에 대한 태양과 달을 포함하는 천체들의

상대적인 위치 변화에 따른 인력(기조력의 변화)의 변화로 그 값이 달라진다. 따라서 측정 시간에서의 기조력의 효과를 보정해야 한다.

(3) 중력 이상

이론상 어떤 위도에서 중력은 그 위도에서의 표준 중력과 같아야 한다. 하지만 실제로 중력을 측정해 보면 같은 위도에서도 곳에 따라 중력이 다르게 나타난다. 이때 관측한 중력값에 보정을 한 후 표준 중력을 뺀 값을 중력 이상(gravity anomaly)이라고 한다.

[중력 이상=보정된 실측 중력-표준 중력={관측 중력±여러 가지 보정}-표준 중력]

- 중력 이상에는 보정 정도에 따라 프리에어 이상과 부우게 이상 등이 있다.

- 중력 이상은 암석의 밀도가 서로 다르기 때문에 생기는 것으로 그 이상값은 지구 내부에 관한 많은 정보를 제공한다.

① 고도 이상(프리에어 이상): 중력 관측 지점과 지오이드면 사이의 거리(고도)만을 고려한 중력 이상이다.

[프리에어 이상={관측 중력±프리에어 보정}-표준 중력]

· 의미: 고도 이상에는 중력 측정 지점과 지오이드면 사이의 물질에 의한 인력의 영향이 남아있으므로 육지에서의 고도 이상은 통상 (+)값을 나타내고, 바다에서는 (-)값을 나타낸다. 따라서 고도 이상은 지형과 매우 높은 정상관이 있어서 주로 지오이드 등의 계산, 측지학적 연구에 많이 이용되고 있다.

② 부우게 이상: 관측된 중력값에 고도 보정, 부우게 보정 및 지형 보정을 한 후 표준 중력을 뺀 것이다.

[단순 부우게 이상={관측 중력±(프리에어 보정±부우게 보정)}-표준 중력]

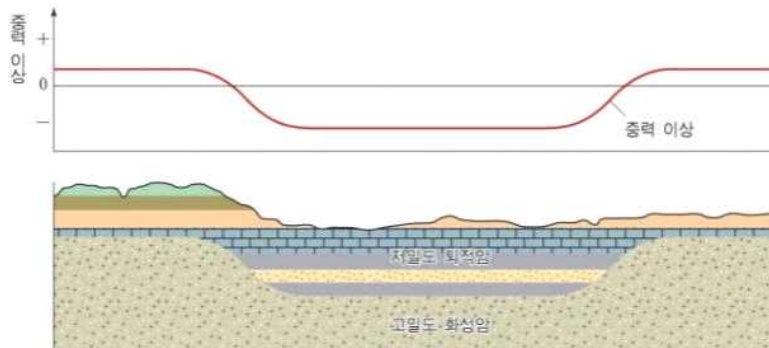
[부우게 이상={관측 중력±(프리에어 보정±부우게 보정+지형 보정)}-표준 중력]

· 의미: 부우게 이상은 지오이드면 이상의 물질의 영향을 포함하고 있지 않으므로 이는 지하 구성물질의 분포가 지역적으로 차이가 있는 것을 암시해 준다. 따라서 부우게 이상은 지구 내부 연구(지하 구성 물질의 밀도 분포 파악)의 열쇠가 되는 것이다. 부우게 이상은 육지에서는 (-) 값을, 해양에서는 (+) 값을 나타낸다. 따라서 부우게 이상은 지형과 역상관을 나타낸다.

· 산악 지역에서 (-), 바다 지역에서 (+)로 나타나는 것은 대륙은 밀도가 작은 물질이 깊게 들어가 있고 해양은 밀도가 큰 물질이 분포한다는 지각평형설 중 에어리설에 부합된다.

(4) 중력 탐사

지구를 구성하는 물질은 물질의 종류에 따라 밀도가 다르므로 측정 지역마다 중력값도 다르게 나타난다. 따라서 중력 이상을 바탕으로 지하 물질의 밀도 분포를 조사해 보면 지하의 지질 구조나 광상 등을 추정할 수 있다. 철광석이 매장된 지역은 중력 이상이 (+)로 나타나고 석유나 암염이 매장된 지역은 중력 이상이 (-)로 나타난다.



중력 이상과 지하의 지질 구조

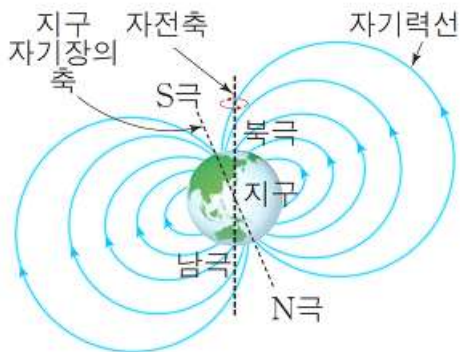
이와 같이 중력이상을 이용하여 지하자원을 찾거나 지하 구성 물질의 분포를 조사하는 것을 중력 탐사(gravitational propecting)라고 한다.

## II. 지구의 자기장

### 1. 지구의 자기장

나침반 자침을 돌게 하면 한동안 자유롭게 움직이다가 결국에는 N극이 북쪽을 가리킨다. 이것은 지구가 자석의 성질을 갖기 때문인데, 이때 지구 자기의 성질이 미치는 공간을 지구 자기장(geomagnetic field)이라고 한다. 이 자석의 축은 지구 자전축에 대해 약 11.5° 정도 기울어져 있다.

#### (1) 자기 북극과 자기 적도



#### 1) 자기 북극(자북) : 북각 +90°

- 자기장이 수직 아래로 들어가는 방향으로 형성되어 있어서 나침반 자침의 N극이 수직 아래를 향하고 있다.

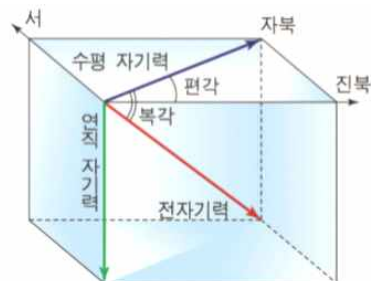
#### 2) 자기 적도: 북각 0°

- 자기장이 수직 방향으로는 거의 없고, 수평 방향으로만 형성되어 있어서 나침반 자침의 N극이 수평으로 나타난다.

※ 지구 자기장은 불규칙하며 고정된 값이 아니다. 따라서 실제 측정되는 지구 자기장은 끊임없이 변화하며 그 변화의 양상은 불규칙하다. 이에 따라 자기 북극이나 자기 적도는 지리상의 북극, 적도와는 달리 계속 변화하는 값을 가지며 주기적인 보정이 필요하다.

#### (2) 지구 자기의 3요소

자기장은 크기와 방향을 갖는 벡터량이므로 어느 지점에서 지구 자기장을 완전히 나타내기 위해서는 자기장의 편각, 북각, 수평자기력의 독립적인 3요소를 측정하여야 하며 이를 지구 자기의 3요소라고 한다.



지구 자기의 3요소

1) 편각: 나침반 자침의 N극이 진북 방향(지리상의 북극)과 이루는 각

① 편각이 생기는 까닭: 지리상의 북극과 자북극이 일치하지 않기 때문이다. 자북극과 자남극을 연결한 선은 지구 자전축에 대해 약  $11.5^\circ$  기울어져 있으므로 편각은 장소에 따라 다르다.

② 편각의 표현: 북쪽 방향에 대해 동쪽으로 치우쳐 나타나면 동편각,  $^\circ E$ , (+)로 표현하고, 서쪽으로 나타나면 서편각,  $^\circ W$ , (-)로 표현한다.

ex) 서울의 경우  $6.5^\circ$  정도 서편각이 나타나며  $6.5^\circ W$  또는  $-6.5^\circ$  라고 나타낸다.

2) 북각: 나침반 자침은 수평이 되지 않고 상하로 기울어지는데 이때 자침이 수평면과 이루는 각

① 북각이 생기는 까닭: 나침반 자침이 지구 자기력선의 방향대로 배열되기 때문

② 북각의 표현: 자북극  $+90^\circ$ , 자기 적도  $0^\circ$ , 자남극  $-90^\circ$

3) 수평자기력: 어느 지점에서 단위 자석의 극에 작용하는 힘을 전 지구 자기력이라고 하며 전 지구 자기력의 수평 성분을 수평자기력, 연직 성분을 연직 자기력이라고 한다.

① 크기 변화: 전 지구 자기력은 자극에서는 북각이  $\pm 90^\circ$ 이므로 연직 자기력이 최대가 되지만 수평자기력은 0이다.

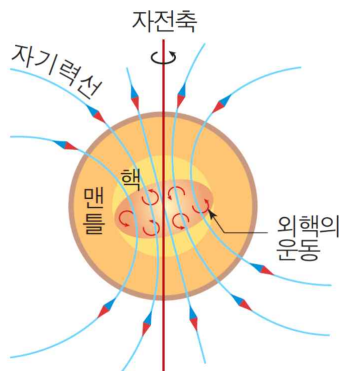
② 자기 적도에서는 북각이  $0^\circ$ 이므로 연직 자기력은 0이고 수평자기력은 최대가 된다.

(3) 지구 자기의 변화

지구가 자성을 띠고 있다는 사실이 최초로 알려진 것은 11세기경 중국에서 자성을 띠는 광물을 발견하기 시작하면서부터이다. 이후 지구가 자성을 띠는 원인을 밝혀내기 위한 노력이 계속 되어 왔다.

1) 영구 자석설: 지구 자기의 원인은 지구 내부에 영구자석이 존재한다고 생각했었는데, 이를 영구 자석설이라고 한다. 영구 자석설은 자성을 띠는 물체의 온도가 퀴리온도라고 하는 일정한 온도 이상이 되면 자성을 잃는다는 사실이 밝혀져 근거를 잃게 되었다. 자성을 띠는 물질의 대부분이 퀴리온도가 약  $500\sim 800^\circ C$ 인데 지표로부터 약  $20\sim 30km$  깊이에 이르면 자성 물질의 온도가  $500^\circ C$ 를 초과하게 된다. 따라서 이 정도 깊이보다 더 깊은 곳에서는 물질이 자성을 띠 수가 없으므로 영구 자석설은 부정될 수 밖에 없었다.

2) 다이نام 이론: 지구의 외핵은 전기전도도가 큰 철과 니켈로 구성된 유기체이므로 외핵의 상부와 하부의 온도 차에 의한 대류로 움직일 수 있다. 운동하는 외핵 물질이 지구 외부 자기장의 영향을 받아 유도 전류가 발생하고 이 유도 전류에 의해 지구 자기장이 생성된다. 이는 발전기의 다이نام(발전자)와 비슷하므로 다이نام 이론(Dynamo theory)이라고 하며 현재 지구 자기의 원인을 설명하는 이론 중에서 가장 유력한 것으로 알려져 있다.



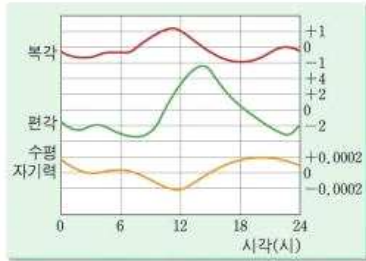
**다이نام 이론의 원리**

(4) 지구 자기장의 변화

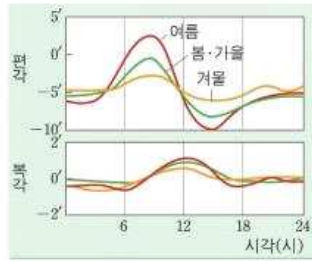
지구 자기의 요소들은 항상 일정한 것이 아니라 시간과 장소에 따라 그 방향과 세기가 변하는데

그 변화 양상을 다음의 세 가지로 나눌 수 있다.

1) 일변화: 지구 자기가 하루를 주기로 비교적 짧은 시간 동안 규칙적으로 변하는 현상을 지구 자기의 일변화라고 한다.



지구 자기의 일변화

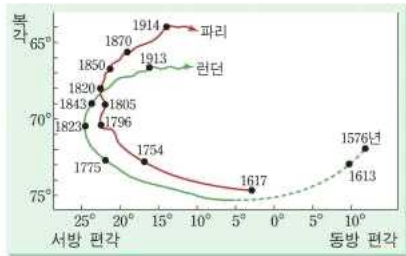


계절별 지구 자기의 일변화

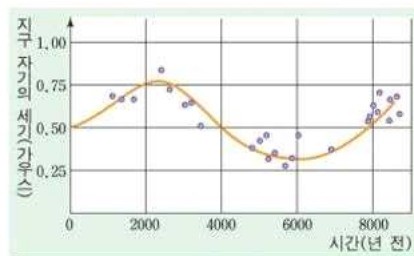
① 일변화의 특징: 낮이 밤보다 크고, 여름이 겨울보다 크다.

② 일변화의 원인: 주로 태양의 영향 때문에 나타난다. 전리층에 생긴 유도 전류에 의해서 발생하는 유도 자기장이 지구 자기장에 영향을 주고 있는데 태양의 고도 변화에 따라 태양에서 오는 플라즈마의 양이나 속도가 달라지기 때문이다.

2) 영년 변화: 고대인들이 천연 자석의 조각을 실에 매달아서 자성을 이용한 최초의 나침반을 발명한 이래 나침반은 항해 등에 중요하게 이용되어왔다. 따라서 지구 자기는 오랫동안 관측되어왔으며 수백 년간의 관측 기록을 통하여 편각과 복각 또는 자기장의 세기가 점진적으로 변화하였음을 알 수 있다. 이처럼 오랜 세월에 걸쳐 지구 자기가 조금씩 변하는 현상을 지구 자기의 영년 변화라고 한다.



자극의 이동에 따른 복각과 편각의 영년 변화



지구 자기 세기의 영년 변화  
(현재는 점차 약해지고 있음)

① 영년 변화의 원인: 외핵의 대류가 그 원인으로 추정되고 있다.

② 지자기 역전 현상: 지자기장의 방향이 현재의 방향과 완전히 반대로 되는 현상을 지자기 역전 현상이라고 하며 긴 주기는 약 100만 년, 짧은 주기는 약 10만 년 정도이다.

③ 확인 방법: 암석 속에 보존된 잔류자기를 이용한다.

- 잔류 자기: 마그마가 냉각되어 암석이 생성될 때 지구 자기장에 의해 자화되거나 자성 광물들이 퇴적될 때 지구 자기장의 방향으로 배열된 것이 현재까지 보존되어있는 자기의 잔류 자기 또는 자연 잔류 자기라고 한다.

3) 자기 폭풍: 지구 자기장의 변화가 일변화나 영년 변화와는 달리 급격하게 일어나는 경우도 있는데 지구 자기가 수 시간에서 2~3일만에 걸쳐 급격히 변하는 현상을 자기 폭풍이라고 한다.

① 자기 폭풍의 원인: 흑점 수 극대기에 태양 표면에서의 폭발(플레어)로 인하여 수많은 하전입자(플라즈마)들이 매우 빠른 속력으로 지구로 쏟아지면서 지구 자기장을 압축하여 지구 자기에 변동을 일으키기 때문에 나타난다.

- 플레어: 태양의 흑점 수가 증가할 때 에너지가 폭발적으로 분출되는 현상이다.

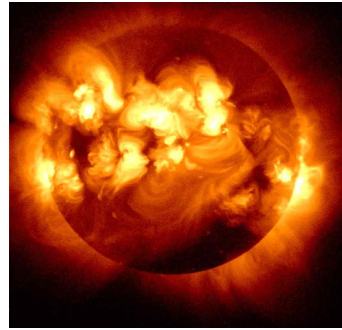
② 주기: 태양 흑점의 증감 주기와 같이 약 11년인 것과 태양의 평균 자전주기와 같은 약 27일인 것 두 가지가 있다.

③ 특징: 일변화보다 불규칙하며 진폭이 크다. 적도보다 극지방에서 더 자주 일어나고 세기도 강하다.

④ 동반하는 현상



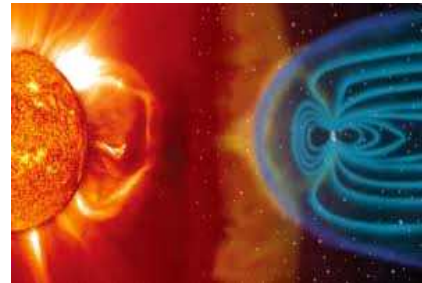
- 오로라: 태양에서 방출된 대전 입자 중 일부가 지구 자기장에 끌려와 밴앨런대에 붙잡혀 운동하게 될 때 공기 분자와 충돌하여 들뜬 다음 다시 가라앉으면서 빛을 내는 현상을 오로라 또는 극광 현상이라고 하는데 자기장이 밀집되어있는 고위도 지방(위도 60° 이상 지역)에서 잘 나타난다.



- 델린저 현상: 대기의 열권에 존재하는 E, F층은 전파를 반사시켜 통신에 사용되지만, D층은 전파를 흡수하여 통신에 방해가 된다. 종종 태양의 표면에서 폭발이 일어날 때 방출되는 막대한 양의 강한 전자기파(자외선, X선)들이 D층을 두껍게 하여 국제 통신에 사용되는 전파가 약해져 통신이 두절되는 현상이 발생하기도 하는데 이러한 현상을 델린저 현상이라고 한다.

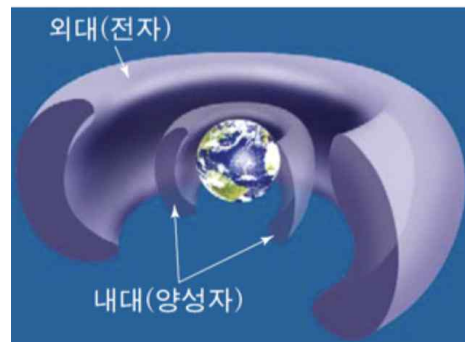
(5) 자기권과 밴 앨런대(외권)

지구는 우주 공간과 끊임없이 에너지를 교환하지만, 운석 등이 유입되는 경우를 제외하면 물질의 교환은 거의 일어나지 않는 닫힌계에 속한다.



1) 지구 자기권: 고도 200km 이상 지역에서부터 대기 중에 있는 대전 입자들의 운동에 지구 자기장의 영향이 뚜렷이 나타나므로, 이 부분을 자기권(magnetosphere)이라고 한다. 태양으로부터 우주 공간을 향해 쏟아져 나가는 전자나 양성자 등으로 이루어진 대전 입자의 흐름을 태양풍(solar wind)이라고 하는데 자기권은 우주에서 지구로 들어오는 유해 우주선이나 태양풍의 고에너지 입자를 차단하여 지구상의 생명체를 보호한다. 자기권은 태양풍의 영향으로 눈물방울 모양으로 변하며 태양 쪽의 자기권 계면의 높이는 지구 반지름의 약 10배, 반대쪽은 100배에 이른다.

2) 밴앨런대: 지구 자기장에 대전 입자는 지구 자기력선을 나선모양으로 휘감으면서 남반구와 북반구를 빠르게 왕복 운동한다. 이때 특히 대전 입자가 집중되어 있는 곳을 밴 앨런대(Van Allen belt)라고 하며 이것은 지구의 적도를 도넛 모양으로 둘러싸고 있다. 내대(주로 양성자로 구성, 지표~약3000km)와 외대(주로 전자로 구성, 3000~16000km)로 구분된다.



---

---

## 제3절 지구의 에너지

### I. 복사 에너지

#### 1. 흑체

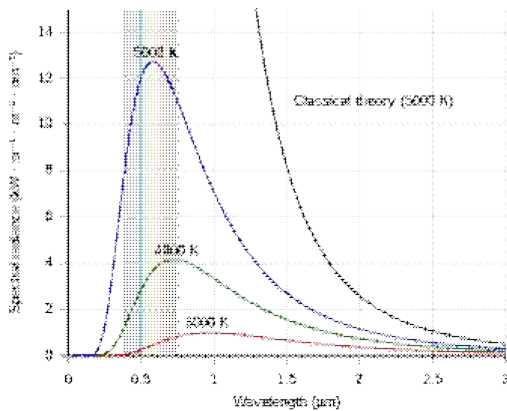
##### (1) 흑체 복사

① 흑체: 입사하는 모든 복사선을 완전히 흡수하는 물체를 흑체(black body)라고 한다. 흑체는 흡수율이 1 또는 100%인 가상의 물체로 정의한다.

② 흑체 복사: 흑체가 내는 복사를 흑체 복사라고 한다. 흑체의 온도가 정해지면 흑체 복사의 성질이 결정되고 반대로 흑체 복사의 성질로부터 흑체의 온도를 구할 수 있다. 태양도 흑체에 가까운 것으로 생각되기 때문에 태양으로부터 오는 에너지를 측정함으로써 태양의 온도를 추정할 수 있다.

##### (2) 흑체 복사의 법칙

① 플랑크 법칙: 흑체 표면에서 단위 면적당 단위 시간에 방출되는 에너지는 파장과 온도에 따라 다르다.



흑체 복사를 나타내는 플랑크 곡선

② 슈테판-볼츠만의 법칙: 흑체 표면에서 단위 면적당 단위 시간에 방출되는 에너지(E)는 표면 온도(T)의 4제곱에 반비례한다.

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{슈테판-볼츠만 상수 } \sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$$

- 단위 면적당 단위 시간에 방출되는 에너지(E)는 플랑크 곡선의 밑넓이에 해당한다.

- 별의 광도를 구할 때 이용한다. 별의 광도

- 태양도 별이므로 표면온도를 구할 때 이용할 수 있다.

③ 빈의 변위 법칙: 흑체 표면에서 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면온도(T)에 반비례한다.

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad (a: 2.898 \times 10^3 \mu\text{m} \cdot \text{K})$$

- 2.7K 우주 배경 복사: 우주 배경에는 약  $1000\mu\text{m}$ , 즉  $1\text{mm}$ 의 전파가 관측되는데 이는 3K의 흑체에서 방출되는 에너지와 같으며, 따라서 이를 2.7K 우주 배경 복사라고 한다.

- 별의 표면온도(T) 추정에 이용한다. 표면온도가 높으면 파장이 짧은 파란색의 가시광선을 많이 방출하고, 표면온도가 낮으면 파장이 긴 붉은색의 가시광선을 더 많이 방출하는 원리를 이용한다.

- 태양은 표면온도가 약 6,000K이고, 최대 에너지 파장은 약  $0.5\mu\text{m}$  정도이며, 지구는 표면온도가 약 300K이므로, 최대 에너지 파장은 약  $10\mu\text{m}$  정도가 된다.



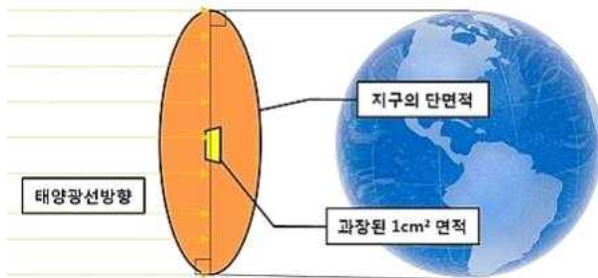
## II. 태양 복사와 지구 복사

### 1. 태양 복사 에너지

태양에서 방출하는 복사 에너지

#### (1) 태양 상수

① 태양 상수: 행성의 대기권 밖에서 태양 빛에 수직인 단위면적( $1\text{cm}^2$ )에 단위 시간(1분) 동안 도달하는 태양 복사 에너지의 양을 태양 상수( $I$ )라고 한다. 태양 상수는 태양으로부터의 거리( $r$ )값에만 영향을 받으며, 거리의 제곱( $r^2$ )에 반비례한다.



태양 상수의 개념도

- 지구의 태양 상수:  $I = 2\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$

- 금성의 태양 상수: 금성은 태양으로부터의 거리가 약 0.7AU이므로 지구보다 태양 상수 값이 약 2배 정도 크다.

#### ② 태양이 1분간 방출하는 복사 에너지의 총량

- 태양 상수를 이용하면, 1AU를 반지름으로 하는 가상의 거대한 구(球)의 표면적과 태양 상수( $I$ )의 곱으로 표현할 수 있다.

\* 태양이 1분 동안 방출하는 복사 에너지의 총량 =  $4\pi r^2 \times I$

- 슈테판-볼츠만의 법칙을 이용하는 방법: 태양이 1분 동안 방출하는 에너지가 태양의 광도이며 태양의 반지름을  $R$ , 표면온도를  $T$ 라고 하면

\* 태양의 광도  $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$

③ 지구가 1분 동안 받는 총 복사 에너지의 양: 1분 동안 단위 면적당 수직으로 받는 에너지가 태양 상수이므로 태양광에 수직인 지구의 단면적을 곱하면 된다.

\* 지구가 1분 동안 받는 총 복사 에너지의 양 =  $\pi R^2 \times I$

④ 지구가 1분 동안 받는 평균 복사 에너지의 양: ③에서 구한 양을 지구의 표면적인  $4\pi R^2$ 로 나눈 값으로 태양 상수의 1/4이다.  $\frac{I}{4} = 0.5\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$

#### (2) 대기에 의한 태양 복사 에너지의 선택적 흡수

① 태양 복사의 스펙트럼: 태양 복사 에너지는 파장이 짧은 것부터, 긴 것까지 순서대로  $\gamma$ 선 - X선 - 자외선 - 가시광선(보남파초노주빨) - 적외선 - 전파로 이루어져 있다.

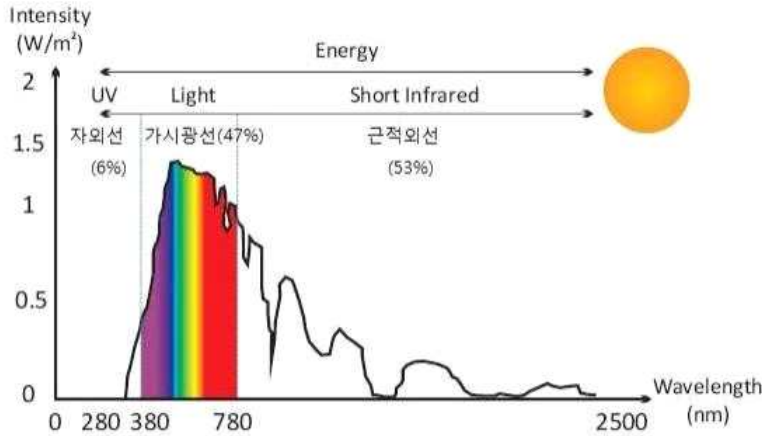
- 가시광선 영역: 파장  $0.4 \sim 0.7\mu\text{m}$ 로 좁지만, 태양에너지 전체의 약 43%를 차지한다.

- 적외선 영역: 약 49%

- 자외선 영역: 약 7%

② 광학적 창과 전파의 창: 태양 복사 에너지 중에서 가시광선과 전파는 지표까지 도달하는데 이는 지구 대기가 이를 흡수, 차단하지 못하기 때문이면 이를 가리켜 지구 대기의 광학적 창, 전파의 창이라고 표현한다.

- 광학적 창: 파장  $0.3 \sim 1\mu m$  영역의 가시광선과 근적외선의 일부는 지표면에 도달하는데 이 영역을 광학적 창(optical window)이라고 한다.
- 전파의 창: 파장이  $1\mu m \sim 20m$ 에 이르는 전파도 지표까지 도달하는데, 이 영역을 전파의 창(radio window)이라고 한다. 전파 망원경 관측에 이용된다.



③ 선택적 흡수: 기체들은 종류에 따라 각기 특정한 파장의 복사 에너지만을 흡수하는 성질이 있으며, 이를 대기의 '선택적 흡수'라고 한다.  $\gamma$ 선은 대기 중의 질소와 산소가, 자외선은 오존( $O_3$ ), 적외선은 수증기와 이산화탄소가 주로 흡수한다.

## 2. 지구 복사 에너지

지구 대기와 지표에서 방출하는 복사 에너지

### (1) 지구 복사

① 지구 복사의 스펙트럼: 지구 복사 에너지의 파장 영역은  $2 \sim 50\mu m$  정도이고, 이 중 95% 정도에 에너지가  $2.5 \sim 25\mu m$  (적외선) 사이에 분포한다.

② 최대 에너지 파장: 지구는 평균 온도가 약 288K(약  $15^\circ C$ )인 흑체와 비슷하므로 빈의 변위법칙에 따라  $\lambda_{max} =$  약  $10\mu m$  정도에 해당하는 복사 에너지를 방출한다.

### (2) 대기에 의한 지구 복사의 선택적 흡수

① 적외선의 창: 지구 복사 에너지 중에서 약  $8 \sim 12\mu m$  사이의 복사 에너지는 지구 대기에 잘 흡수되지 않고 우주 공간으로 빠져나가는데, 이 파장대를 '적외선의 창(Infrared window)'이라고 한다.

- 기상 위성 사진 중 적외 영상을 찍는 데 이용된다.

### ② 선택적 흡수

-  $CO_2, H_2O$  등에 의해 흡수된다.

## III. 복사 평형과 온실 효과

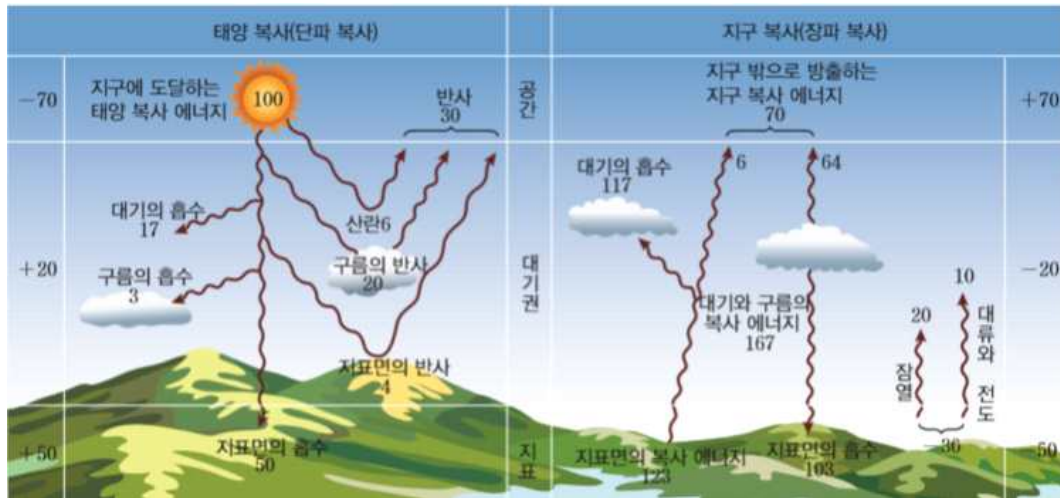
### 1. 복사 평형

흑체에 열을 가하면 온도가 계속 올라가다가 어느 시점부터 더 이상 올라가지 않고 일정한 온도가 유지된다. 이는 들어오는 에너지와 나가는 에너지가 같기 때문인데, 이 상태를 복사 평형이라고 하며 지구에서 출입하는 에너지 관계를 지구의 에너지 수지라고 한다.

### 2. 지구의 복사 평형

지구로 들어오는 에너지의 총량은 지구에서 나가는 에너지의 총량과 같으며, 이를 지구의 복사

평형이라고 한다. 세부적으로 나누어 보아도 지구의 각 영역에서 복사 평형을 이루고 있어야 하며, 우주 공간, 대기, 지표면에서도 들어오는 에너지와 나가는 에너지의 총량은 같다.



지구계에서의 복사 평형

(1) 각 영역에서의 복사 평형

① 우주 공간에서의 복사 평형

나가는 에너지 100 = 들어오는 에너지 100

② 대기의 복사 평형

들어오는 에너지 총량 167 = 나가는 에너지 총량 167

③ 지표면의 복사 평형

들어오는 에너지 총량 153 = 나가는 에너지 총량 153

(2) 복사 평형 그림에서의 유의점

① 에너지의 상대적 세기: 단위 시간당 단위면적의 태양 복사 에너지 세기를 100이라고 놓고 다른 에너지들은 상대적인 값으로 표현한 것이다.

- 태양에너지의 세기: 태양 상수(I)를 지구 표면적으로 나누었을 때의 평균값을 말하며

$$\frac{I}{4} (= 0.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}) \text{이다.}$$

- 대기가 방출하는 에너지의 세기: 우주 공간으로 방출하는 에너지(64)보다 지표로 방출하는 에너지(103)가 더 크다. 값이 태양에너지의 세기(100)보다 큰 수치가 나오는데 이것이 온실효과의 결과이다.

② 반사율: 행성의 대기와 지표에 흡수되지 못하고 반사되는 태양 복사 에너지의 총합을 반사율(Albedo)라고 하며 구름의 반사(20), 대기와 지표의 반사(10)을 합해 30% 정도이다.

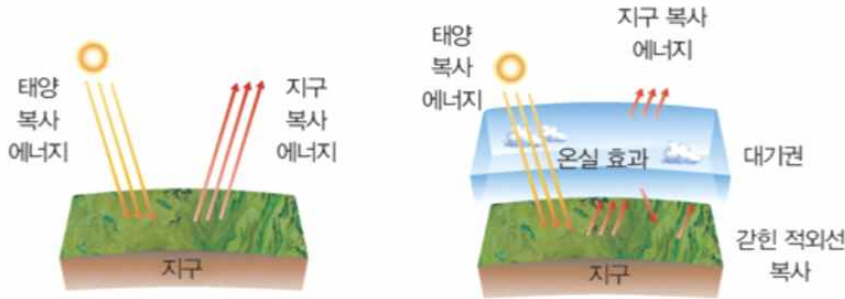
- 행성의 반사율: 행성의 대기가 많을수록 반사율이 커지는데, 금성은 대기의 농도가 매우 짙어 반사율이 75%로 가장 크고, 대기가 없는 수성은 7% 정도이다.

- 반사율과 표면온도: 반사율이 크게 되면 행성에 도달하는 에너지가 줄어들어 표면온도가 낮아지지만, 금성처럼 기압이 높고 대기의 주성분이 온실 기체인 경우라면 온실 효과에 의해 표면온도가 더 높아지는 결과를 초래한다. 반사율이 큰데도 불구하고 기압은 지구의 약 90배 이상, 그리고 대부분  $CO_2$ 가 대기의 구성 성분이라 표면온도가 매우 높다.(약  $470^\circ C$ )

3. 온실 효과

온실기체가 가시광선(파장이 짧은 태양 복사 에너지)은 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 적

외선(파장이 긴 지구 복사 에너지)은 흡수했다가 지표로 재방출함으로써 지표면 온도를 상승시켜 일정한 온도로 유지 시키는 대기의 작용을 온실 효과라고 한다.



### 대기가 없을 때와 있을 때의 복사평형 관계

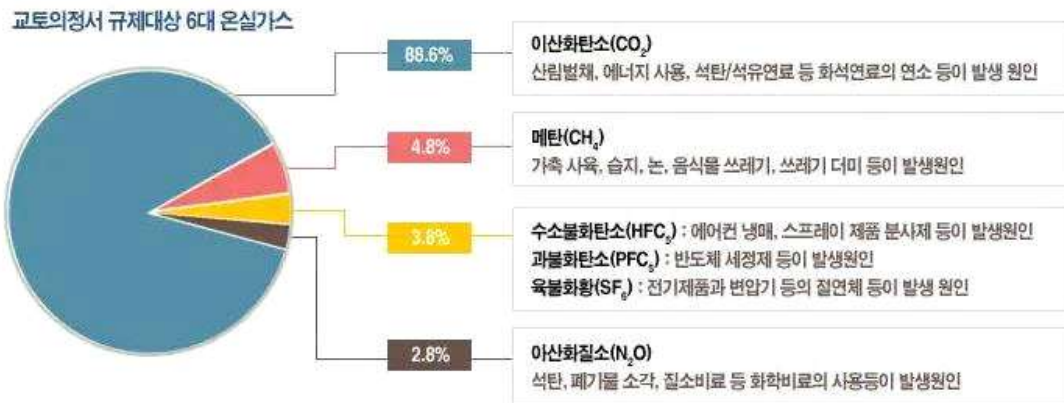
#### (1) 지구의 온실 효과

① 대기가 없을 경우의 지구: 낮에는 지표 온도가 급격히 상승하지만, 밤이 되면 급격히 기온이 낮아져 달과 같은 상태가 될 것이다. 평균 기온은 대략  $-19^{\circ}\text{C}$  정도일 것으로 예상된다.

② 대기가 있는 경우의 지구: 현재 지구의 평균기온이 약  $15^{\circ}\text{C}$ 로 거의 일정하게 유지되는 이유는 온실 효과 때문이다. 현재의 지구온난화 현상이 있기 이전에도 온실 효과는 대기가 존재하는 지구에서 항상 있었던 현상이다.

#### (2) 온실 기체

지구 대기 속에 존재하면서 지표에서 복사되는 에너지(적외선)를 일부 흡수함으로써 온실 효과를 일으키는 기체를 온실 기체라고 한다.



- 수증기, 이산화탄소, 메테인, 아산화질소, 오존, 프레온가스 등이 있다.

① 수증기: 수증기는 대기 중에 대단히 많은 양이 존재하며 흡수하는 열량 역시 이산화탄소나 메테인에 비해 매우 커서 자연 상태의 온실 효과를 일으키는 데 큰 역할은 하고 있다.

② 이산화탄소: 단위 농도(%)당 온실 효과 기여도는 프레온가스의 1/6000, 메테인의 1/20 정도지만, 산업화 이후 화석연료의 사용으로 크게 증가한 후 매년 그 양이 늘어 현재는 가장 대표적인 온실 기체로 역할을 하고 있다.

③ 메테인: 화석연료를 태울 때도 발생하지만 쓰레기 더미나 논밭의 비료, 가축의 분뇨에서도 발생하며, 초식 동물의 트림에서도 발생하는 것으로 알려져 있다.

④ 프레온가스: 단위 농도(%)당 온실 효과 기여도는 이산화탄소의 6000배 정도로 가장 크지만 대기 중 농도가 희박하여 지구 온실 효과에 큰 영향을 주지는 않는다. 무색무취의 기체로 과거 냉장고나 에어컨의 냉매로 사용되었다.

#### 4. 지구온난화

##### (1) 지구온난화

대기 중 온실기체의 증가로 인해 온실 효과가 강해져 평균기온이 상승하는 현상을 지구온난화(Global warming)라고 한다.



##### (2) 지구온난화의 원인

산업 혁명 이후 화석연료(석탄, 석유 등)의 사용량 증가와 삼림 훼손 증가로 대기 중의 온실기체 농도가 증가하였다.

##### (3) 지구온난화의 결과

- ① 해수면 상승: 해수의 열팽창과 빙하의 용해
- ② 증발량과 강수량의 변화(기상 이변)
- ③ 극지방과 대륙 빙하 면적의 감소
- ④ 토양 내의 유기물질의 분해 촉진
- ⑤ 생태계의 변화와 질병의 증가
- ⑥ 사막화, 기체의 용해도 감소 등

##### (4) 지구온난화 방지 대책

- 지구온난화에 대응하는 과학적 해결 방안

온실 기체의 배출량을 줄이는 방법

- ① 신재생 에너지: 화석연료 대신 온실기체를 배출하지 않는 신재생 에너지 사용을 확대한다.
- ② 에너지 효율성 개선: 빛에너지 전환 효율이 높은 발광 다이오드(LED) 기술, 열에너지 손실을 줄이는 초전도 기술, 전기나 수소 에너지의 효율적인 저장 기술 등을 개발한다.

- 대기 중 온실 기체를 제거하는 방법

- ① 산업 시설에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 지층 속에 저장한다.
- ② 해양 비옥화: 해양에 영양분을 공급하여 식물성 플랑크톤의 양을 늘린다.

- 지구의 태양 복사 에너지 흡수량을 감소시키는 방법

- ① 성층권에 에어로졸을 뿌려 지구의 태양 복사 에너지 반사도를 높인다.
- ② 우주에 반사막을 설치하여 태양 복사 에너지를 반사 시킨다.

##### (5) 기후 변화 협약

유엔 기후 변화 협약(UNFCCC) 등 기후 변화에 관한 협약을 준수한다.

- 기후 변화에 대한 정부 간 협의체 IPCC 설립(1988년)

---

---

지구온난화로 인한 기후 변화에 대처하기 위해 기후 변화에 관한 정부 간 협의체를 설치

- 유엔 기후 변화 협약(1992년)(=브라질 리우 환경 회의)

법적 구속력이 없는 국제적 합의로, 2000년까지 1990년 수준으로 온실 기체를 감축하기로 하였다.

- 교토 의정서 채택(1997년)

유엔 기후 변화 협약 수정안으로, 온실 기체 감축을 위한 구체적인 방안을 제시하였으며, 선진국의 온실 기체 감축을 의무화하였다.

- 파리 기후 변화 협약(2015년)

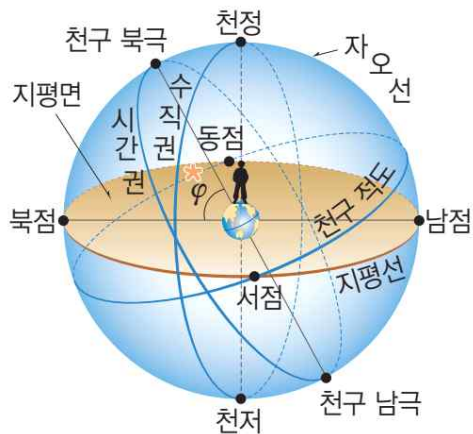
전 세계 온실 기체 감축을 위한 국제 협약으로, 지구 평균기온 상승 폭을 산업화 이전과 대비하여 2°C보다 낮은 수준을 유지하기로 하였다.

## Chapter 2. 천문학

### 제1절 지구의 운동

#### I. 천구와 좌표계

1. 천구: 지구를 중심으로 반지름이 무한대인 가상의 구
  - 1) 천구 북극과 천구 남극: 지구의 자전축을 무한히 연장할 때 천구와 만나는 두 점
  - 2) 천구 적도: 지구의 적도면을 연장하여 천구와 만나는 대원
  - 3) 시간권: 천구 북극과 천구 남극을 지나는 대원
  - 4) 천정과 천저: 관측자의 머리 위와 발 밑을 무한히 연장하여 천구와 만나는 두 점
  - 5) 지평선: 관측자의 지평면을 천구까지 연장시킨 대원
  - 6) 수직권: 천정과 천저를 지나는 대원
  - 7) 자오선: 천구 북극과 천구 남극, 천정과 천저를 동시에 지나는 대원
  - 8) 북점과 남점, 동점과 서점
    - 북점: 자오선이 지평선과 만나는 두 점 중 천구 북극과 가까운 점
    - 남점: 자오선이 지평선과 만나는 두 점 중 천구 남극과 가까운 점
    - 동점: 북점으로부터 시계 방향으로 90°가 되는 점
    - 서점: 남점으로부터 시계 방향으로 90°가 되는 점



천구에서 사용되는 용어들

#### 2. 천구의 좌표계

천구에서 천체의 위치를 나타낼 때 좌표계라는 기준을 사용하는데 많이 쓰이는 천구의 좌표계는 관측자를 중심으로 한 지평좌표계와 천구의 적도라는 고정된 기준으로 나타내는 적도 좌표계가 있다.

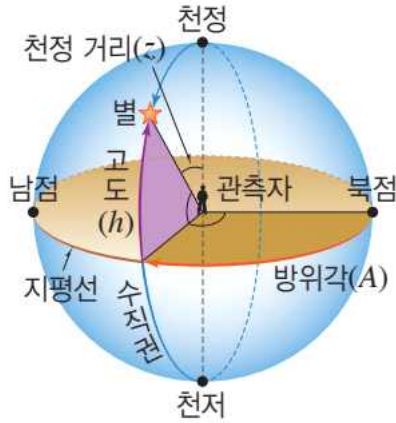
(1) 지평 좌표계: 천체의 위치를 방위각과 고도로 나타내는 좌표계로, 북점(또는 남점)과 지평선을 기준으로 한다.

• 방위각(A): 북점(또는 남점)을 기준으로 지평선을 따라 시계 방향으로 천체를 지나는 수직권까지 켄 각도로, 0°~360°로 나타낸다.

• 고도(h): 지평선에서부터 천체를 지나는 수직권을 따라 천체까지 켄 각도로, 0°~90°로 나타낸다.

●천정 거리(z): 천정에서 수직권을 따라 천체까지 켤 각도

➔ 천정 거리(z)=90°-고도(h)



지평좌표계의 예(북점 기준)

구분	북점	동점	남점	서점
방위각	0°	90°	180°	270°
고도	0°	0°	0°	0°

※ 지평 좌표계의 특징

① 장점: 관측자 중심의 좌표계이므로 천체의 위치를 쉽게 표시할 수 있다.

② 단점: 관측 장소와 시각에 따라 좌표가 달라진다.

● 관측자의 위치에 따라 지평면이 달라지므로 방위각과 고도가 다르다.

● 천체들은 일주 운동으로 시간이 지남에 따라 방위각과 고도가 계속 달라진다. 따라서 지평 좌표계를 사용할 때는 관측 장소와 시간을 명시하여야 한다.

(2) 적도 좌표계: 천체의 위치를 적경과 적위로 나타내는 좌표계로, 춘분점과 천구 적도를 기준으로 한다

●적경( $\alpha$ ): 춘분점을 기준으로 천구 적도를 따라 시계 반대 방향으로 천체를 지나는 시간권까지 켤 각도

●일반적으로 15°를 1시간으로 환산하여 0<sup>h</sup>~24<sup>h</sup>로 나타낸다.

●적위( $\delta$ ): 천구 적도에서 천체를 지나는 시간권을 따라 천체까지 켤 각도

●-90°~+90°로 나타낸다.

●천구의 북반구에 있는 천체는 적위를 (+), 남반구에 있는 천체는 적위를 (-) 값으로 나타낸다.

●적위는 천구 북극으로 갈수록 커지고, 적도 면으로 갈수록 0°에 가깝다.

1) 춘분점: 황도와 천구 적도가 만나는 두 교점 중 하나

① 황도: 천구상에서 태양이 연주 운동하는 경로로, 지구의 공전 궤도면을 연장하여 천구와 만나는 대원이다.

② 천구 적도: 지구의 적도 면을 연장하여 천구와 만나는 대원으로, 천구 적도는 황도와 약 23.5° 기울어져 있다. ➔ 지구의 자전축이 공전 궤도면에 약 66.5° 기울어져 있기 때문이다.

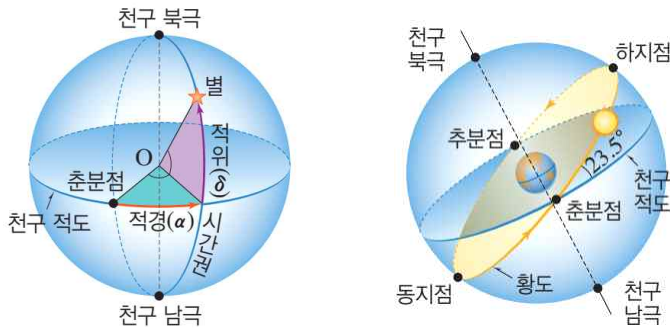
- 춘분점: 황도와 천구 적도가 만나는 두 교점 중 태양이 남쪽에서 북쪽으로 올라갈 때 만나는 점.

- 하지점: 천구 적도를 기준으로 태양이 북쪽으로 가장 높이 올라가 있는 점

- 추분점: 황도와 천구 적도가 만나는 두 교점 중 태양이 북쪽에서 남쪽으로 내려갈 때 만나는 점



- 동지점: 천구 적도를 기준으로 태양이 남쪽으로 가장 낮게 내려가 있는 점



적도 좌표의 예

구분	춘분점	하지점	추분점	동지점
적경	0 <sup>h</sup>	6 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	18 <sup>h</sup>
적위	0°	+23.5°	0°	-23.5°

2) 적도 좌표계의 특징

- ① 장점: 춘분점이 천체와 함께 일주 운동하므로 천체의 좌표가 관측자의 위치나 시간과 관계없이 일정하다. → 천구에서 위치가 변하지 않는 별의 목록이나 성도를 작성하는 데 이용된다.
- ② 단점: 지평 좌표계에 비해 천체의 위치를 나타내기 어렵다. → 천구상에서 천구 적도와 춘분점의 위치를 알아야 하기 때문이다.
- ③ 멀리 있는 별과 달리 태양, 달, 행성처럼 지구와 가까이 있는 천체의 적경과 적위는 계속 변한다.
- ④ 적위가 같은 천체는 일주권이 같다.

3. 경도와 위도

지구를 중심으로 위치를 나타내는 방법 → 관측자가 이동하여 기준이 자주 바뀌는 환경에서는 방위보다 경도와 위도를 이용하는 것이 더 편리하다.

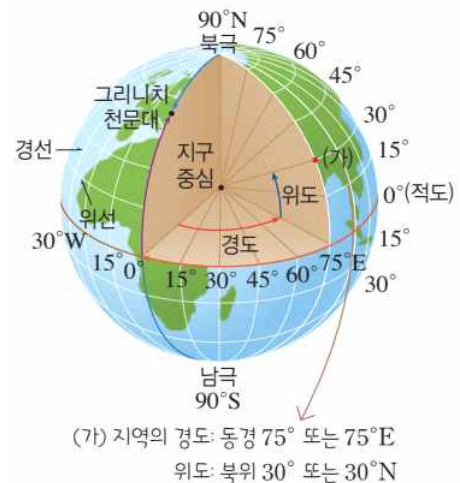
(1) 경선과 위선

- ① 경선: 남극과 북극을 잇는 세로선으로, 적도에 수직이다.
  - ② 위선: 지구의 자전축에 대해 수직인 가로선으로, 적도에 평행하며, 위선 중 반지름이 가장 큰 원인 적도를 위도 0°로 한다.
- **경도:** 영국의 그리니치 천문대를 지나는 경선(경도 0°)과 어떤 위치를 지나는 경선이 이루는 각도로, 0°~180°로 나타낸다.

- 0°선을 기준으로 동쪽으로 180°까지는 동경(°E), 서쪽으로 180°까지는 서경(°W)이라고 한다.
- 동경 180°와 서경 180°는 같은 경도선에 있으며, 이 선에 따라 날짜 변경선이 정해진다.

- **위도:** 적도(위도 0°)와 어떤 위치를 지나는 위선이 이루는 각도로, 0°~90°로 나타낸다.

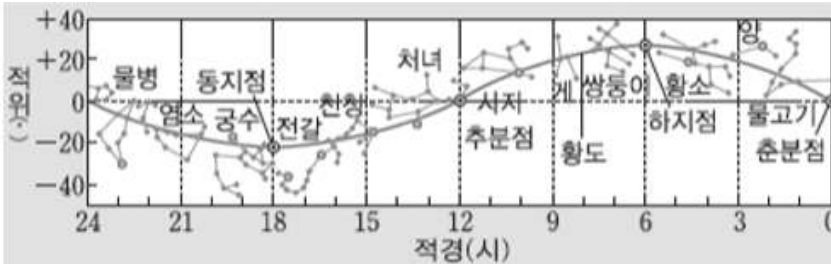
- 적도를 기준으로 북반구와 남반구를 나누어 북위(°N), 남위(°S)라고 한다.
- 위도는 적도에서 남극과 북극으로 떨어진 정도를 나타낸다.



- 성도

등근 하늘(천구)의 모습을 천구의 안쪽에서 바깥쪽 방향으로 바라본 천구면을 평면으로 펼친 별자리 그림. 땅에서 올려다본 모습으로 나타내기 때문에 보통의 지도와는 동서 방향이 반대로 된다.

- ① 좌표: 적경과 적위로 나타내며, 세로선이 적경선, 가로선이 적위선이 된다.
- ② 방위: 성도의 왼쪽 방향이 동쪽, 오른쪽 방향이 서쪽 방향이 된다.



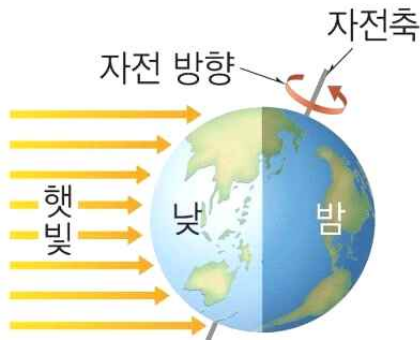
황도를 중심으로 모식화 한 성도

II. 지구의 자전과 공전

1. 지구의 자전

(1) 천체의 일주 운동

지구는 서에서 동으로 하루에 한 바퀴씩 자전한다. 그러나 지구상 관측자는 자전을 느끼지 못하므로 별을 비롯한 모든 천체가 하루에 한 바퀴씩 천구상에서 동에서 서로 도는 것처럼 관측되는데, 이를 천체의 일주 운동이라 한다.



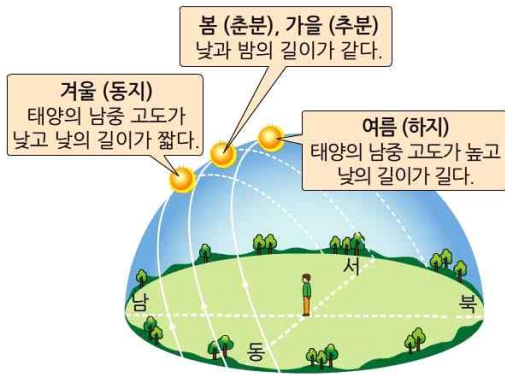
1) 일주 운동 방향과 속도

지구의 자전 속도와 같이 1시간에 15°씩 지구 자전 방향(서→동)의 반대 방향인 동에서 서로 일주 운동한다.

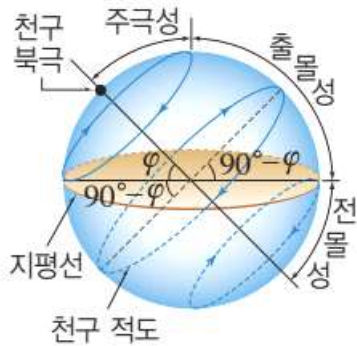
2) 일주권: 태양과 달과 별 같은 천체들이 일주 운동하는 경로를 일주권이라고 한다. 일주 운동은 천구의 북극과 남극을 잇는 축을 중심으로 돈다. 따라서 일주권은 자전축과 수직이며 천구의 적도와 나란하다. 천구의 적도와 지평선이 이루는 각은 “90°-위도”이므로 일주권도 지평선과 “90°-위도”의 각을 이루고 있다.

3) 태양의 일주 운동(절기별 설명은 북반구 중위도 기준)

태양이 동쪽 지평선에서 뜨고 서쪽 지평선으로 지는 것은 태양의 일주 운동 때문이며 이로 인해 낮과 밤이 바뀐다.

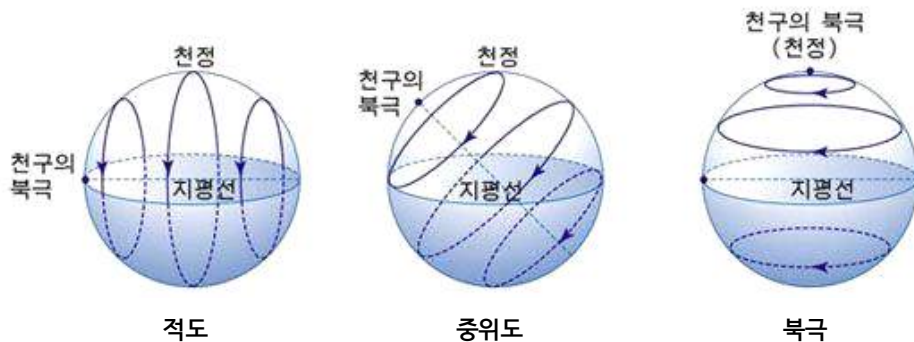


- ① 춘분, 추분: 정동쪽 지평선에서 떠올라 남중하였다가 정서쪽으로 진다. 일주권은 천구 적도와 같으며, 이날 태양의 남중 고도는 “ $90^\circ - \text{위도}$ ”가 된다.
- ② 하지: 북동쪽 지평선에서 떠올라 가장 높이 남중하였다가 북서쪽으로 진다. 일주권은 천구 적도보다  $23.5^\circ$  더 높게 나타난다.
- ③ 동지: 남동쪽 지평선에서 떠올라 천구 적도보다  $23.5^\circ$ 만큼 더 낮게 남중한 다음 남서쪽으로 진다. 따라서 이날 태양의 남중 고도는 “ $90^\circ - 23.5^\circ$ ”이다.
- 4) 주극성, 출몰성, 전몰성  
별이 일주 운동을 할 때 일주권이 지평선 아래로 내려가지 않는 별을 주극성, 동쪽에서 떠서 서쪽으로 지는 별을 출몰성, 지평선 위로 뜨지 않아 전혀 볼 수 없는 별을 전몰성이라고 한다. 관측자의 위도에 따라 주극성, 출몰성, 전몰성이 달라진다.



위도가  $\theta$ 인 지역에서 주극성, 출몰성, 전몰성의 적위 범위

- ① 주극성:  $+90^\circ \sim +(90^\circ - \theta)$
- ② 출몰성:  $+(90^\circ - \theta) \sim -(90^\circ - \theta)$
- ③ 전몰성:  $-(90^\circ - \theta) \sim -90^\circ$
- 5) 위도에 따른 별의 일주 운동 경로



6) 방향에 따른 천체의 일주 운동(북반구 중위도 기준)



- 가) 북쪽 하늘: 천구 북극을 중심으로 동심원 모양이며, 일주 운동 방향은 반시계 방향으로 나타난다.
- 나) 동쪽 하늘: 지표면과  $90^\circ - \theta$ 의 각을 이루며 오른쪽 위로 비스듬히 떠오른다.
- 다) 남쪽 하늘: 남중할 때까지는 고도가 높아지다가 남중한 다음 서쪽으로 낮아진다.
- 라) 서쪽 하늘: 지표면과  $90^\circ - \theta$ 의 각을 이루며 오른쪽 아래로 비스듬히 진다.

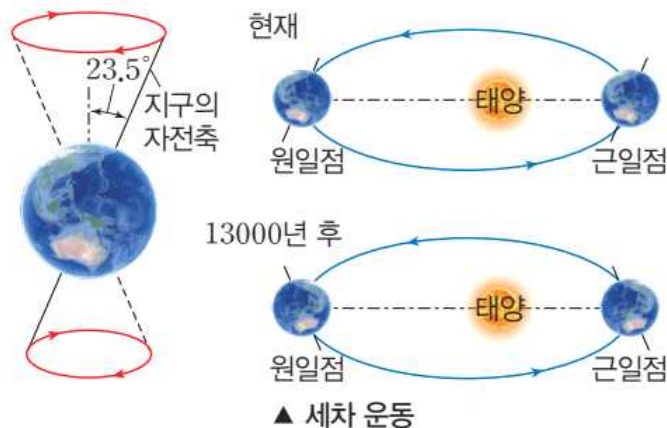
III. 지구의 운동과 시간

1. 세차운동

지구는 적도 쪽이 약간 부풀어 오른 회전타원체이고 이 부분에 달이나 태양의 인력이 작용한다. 달과 태양이 위치하는 황도면과 지구의 적도면은  $23.5^\circ$ 의 각을 이루고 있으므로, 지구 자전축은 이 황도 축을 중심으로  $23.5^\circ$ 의 각을 유지하면서 원주 운동을 하게 되는데 이러한 운동을 지구의 세차운동이라고 한다.

(1) 세차운동의 주기 및 방향

세차운동의 주기는 약 26,000년이고, 지구 자전 방향(서→동)과 반대인 시계 방향(동→서)으로 회전한다.



(2) 세차운동의 결과

① 천구 북극의 이동

천구의 북극은 황도의 북극을 중심으로 23.5°의 각거리를 유지하면서 1년에 약 50"씩 동에서 서로 이동해 가며, 13,000년 후에는 직녀성 근처로 이동했다가 26,000년 후에는 다시 북극성의 위치로 돌아온다.

② 춘분점의 이동

춘분점은 1년에 50"씩 황도상에서 동에서 서로(시계 방향) 이동한다. 따라서 별들의 적경도 1년에 50"씩 증가한다.

③ 회귀년(태양년)이 항성년보다 짧다.

세차운동 때문에 춘분점은 1년에 50"씩 서쪽으로 움직이게 되므로 결국 1 회귀년(365.24일)의 길이가 1 항성년(365.26일)의 길이보다 약 20분 정도 짧아지게 된다.

④ 계절별 별자리의 변화

13000년 후에는 천구상 춘분점의 위치가 현재 춘분점이 있었던 위치로, 동지점의 위치가 하지점이 있던 위치로 이동하여 가을에 볼 수 있는 별자리를 봄에, 여름에 볼 수 있는 별자리를 겨울에 볼 수 있게 된다.

⑤ 기후변화

현재는 태양에서 가장 가까울 때가 1월이지만, 13,000년 후에는 태양에 가장 가까울 때가 7월이 된다. 따라서 세차운동의 효과만 있다고 가정한다면 북반구의 경우 기온의 연교차가 증가하여 현재보다 더 더운 여름, 더 추운 겨울이 될 것이다.

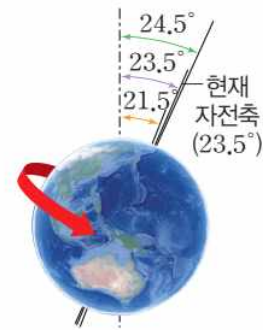
(3) 기후변화의 원인(지구 외적 요인): 지구계의 외부에서 영향을 주는 요인으로 천문학적 요인이라고 한다.

① 지구 자전축 경사각의 변화: 지구 자전축 경사각은 약 41,000년을 주기로 21.5°~24.5° 사이에서 변하며, 현재는 23.5°이다.

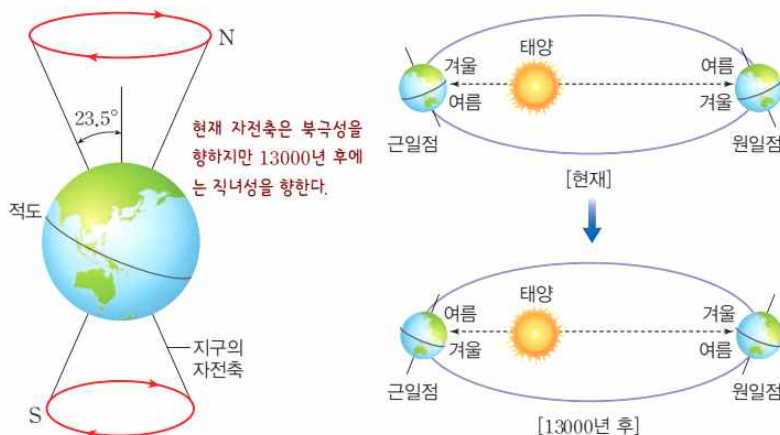
- 자전축 경사각이 현재보다 커질 때: 기온의 연교차가 증가한다.

- 자전축 경사각이 현재보다 작아질 때: 기온의 연교차가 감소한다.

② 지구 자전축 방향의 변화(세차운동): 약 26,000을 주기로 세차운동을 하게 되어 약 13,000년 후에는 현재 지구가 겨울이 되는 천구상의 위치에서 여름이 된다. 즉, 현재는 태양이 가장 가까울 때가 1월(북반구 겨울)이었지만, 13,000년 후에는 7월(북반구 여름)에 태양이 지구에 가장 가까워진다.

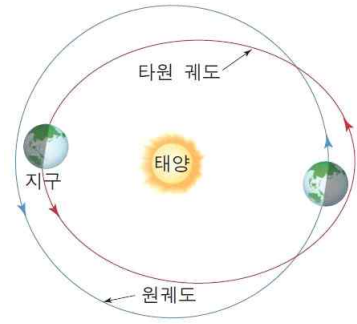


▲ 지구 자전축 경사각의 변화



③ 지구 타원 공전 궤도 이심률의 변화: 지구 공전 궤도는 타원 모양이며, 약 10만 년을 주기로 원에서 타원으로 변한다.

- 이심률이 커질 때: 북반구 기온의 연교차가 작아진다.
- 이심률이 작아질 때: 북반구 기온의 연교차가 커진다.



※밀란코비치 주기: 밀란코비치는 지구 공전 궤도의 이심률, 세차운동, 지구 자전축 기울기가 서로 다른 주기로 변하면서 이 변화들이 합쳐져 동시에 일어나는 경우 빙하기가 일어난다고 주장하였다.

## 2. 시간

### (1) 지구의 자전 주기와 시간

시간의 측정은 지구의 자전에 그 바탕을 두고 있다. 측정에 쓰이는 천체 또는 기준점에 따라 다음과 같이 나눈다.

#### 1) 항성일과 항성시

① 항성일: 지구 자전으로 어느 항성이 남중할 후 다시 남중할 때까지 23시간 56분 4.09초가 걸리며 이 시간을 항성일이라고 한다.

② 항성시: 항성을 기준으로 정한 시간으로 춘분점을 하나의 항성으로 생각하고 춘분점이 남중할 때를 0시로 정한 다음 남쪽 자오선으로부터 춘분점까지 천구 적도면을 따라 시계 방향으로 잴 각, 즉 춘분점의 시간 각을 항성시라고 한다.

항성시=춘분점의 시간각=천체의 적경+그 천체의 시간각=남중할 천체의 적경

- 시간각: 남쪽 자오선을 기준으로 천구의 적도면을 따라 그 천체의 시간권까지 시계방향으로 측정한 각.(0<sup>h</sup>~24<sup>h</sup>)

#### 2) 태양일과 태양시

① 태양일: 지구의 자전에 의해 태양이 남중할 후 다시 남중할 때까지의 시간을 태양을 기준으로 한 하루, 태양일이라고 하며, 24시간으로 정하였다.

② 태양시: 태양을 기준으로 한 시간, 태양이 남중할 때를 정오 12시로 정한 다음 그로부터 흘러간 시간, 즉 태양의 시간각을 더한 것이 태양시이다.

태양시=태양의 시간각 + 12<sup>h</sup>

1 태양일을 24등분 한 시간이 1 태양시가 된다.

- 시태양시와 평균 태양시

· 시 태양시: 하늘에서 실제로 볼 수 있는 태양을 시 태양이라고 하며, 시 태양이 남중하였다가 다시 남중할 때까지를 1시 태양일이라고 한다. 1시 태양일은 24 태양시로 나뉘며, 자정을 하루의 기점으로 한다. 시 태양시= 태양의 시간각 + 12<sup>h</sup>

· 시 태양시의 하루 길이는 23시 59분 38초~ 24시 00분 30초 사이의 값으로 매일 달라진다. 이는 태양이 황도 상을 이동해 갈 때 등속도로 운행하지 않기 때문이다. 지구의 공전 궤도가 타원이므로 임의의 지점에서 공전 속도가 궤도상 위치에 따라 달라지기 때문이다. 또한 황도면이 적도면에 대해 23.5° 기울어져 있기 때문에 설사 태양이 황도상을 등속도로 운행한다. 하더라도, 황도상의 등 간격은 적경값의 등 간격과 일치하지 않게 된다. 따라서 시태양의 하루 길이는 달라진다. 이런 이유로 시태양시는 일상적인 시간의 기준으로 사용할 수 없다.

- 평균 태양시: 항성 천구의 적도상에 있으면서 등속도로 공전하는 가상의 태양, 즉 평균 태양의 남중 주기를 1 평균 태양일이라고 하고, 우리가 일상에서 사용하는 시간으로 삼고 있다. 평균

태양시=평균 태양의 시간각+12<sup>h</sup>

\* 균시차=시태양시-평균 태양시

3) 지방시, 표준시, 세계시

① 지방시: 평균 태양이 그 지역의 남쪽 자오선을 지나는 순간을 12시로 사용하는 평균 태양시를 지방시라고 한다.

② 표준시: 생활권이 같은 경우 어느 특정 지역의 지방시를 공통으로 사용하여 시간을 표현하는데 이를 표준시라고 한다.

③ 세계시: 본초 자오선(경도 0°인 그리니치를 지나는 자오선)의 지방시를 세계시라고 한다. 전 세계가 모두 동일하게 사용하기 위한 시간이다.

(2) 지구의 공전 주기와 시간

1) 항성년과 태양년

① 항성년: 지구가 태양을 정확히 360° 공전하는데 걸리는 시간이며, 지구의 공전주기가 된다.

② 태양년: 지구 공전에 의해 태양이 천구상을 시운동 하게 될 때 춘분점을 출발하여 다시 춘분점까지 오는데 걸리는 시간을 태양년이라고 하며, 춘분에서 다시 춘분을 회귀하는데 걸리는 시간이라는 뜻으로 회귀년이라고도 한다.

③ 항성년과 태양년의 차이: 지구의 세차운동 때문에 춘분점이 조금씩 동에서 서로 이동하기 때문에 지구가 완전히 360° 공전하지 않고 다시 춘분이 되어 태양년이 더 짧게 된다.

2) 태양년과 1년

시간을 정할 때 1태양일을 정확히 24시간이라 정하다 보니 다른 주기들은 딱 떨어지지 않게 되었으며 1태양년도 365.2422일이 되었다. 따라서 1년을 정할 때 정확히 1태양년을 사용하기에는 불편함이 있으므로 365일을 우선 1년으로 정하고 4년마다 한 번씩 1년을 366일로 사용하며, 100년 후에는 다시 365일에 맞추는 등 1년을 맞추고 있다.

① 평년과 윤년: 2월이 28일인 해를 평년, 2월이 29일인 해를 윤년이라고 한다.

② 윤년을 정하는 방법: 서력 기준으로 연수가 4로 나누어떨어지는 해는 윤년, 그 중 100으로 나누어떨어지는 해는 평년, 다만 400으로 나누어떨어지는 해는 윤년으로 정한다.(그레고리 역법)

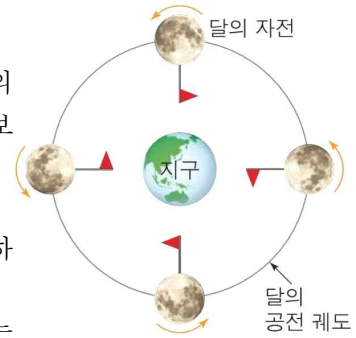
## 제2절 달의 관측

### I. 달의 운동

#### 1. 달의 자전과 공전

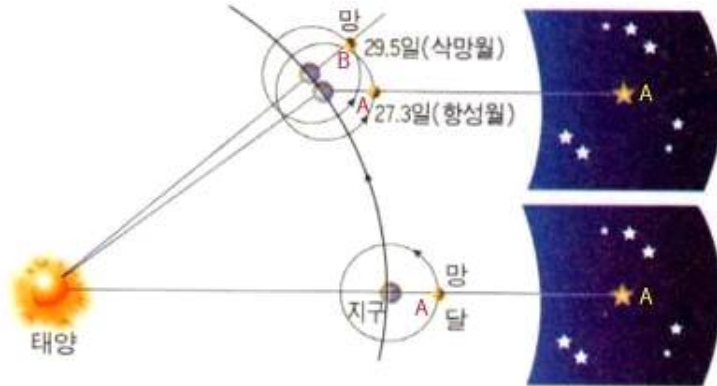
##### (1) 달의 자전(동주기 자전)

- ① 달의 자전 주기는 달의 공전 주기와 같이 27.3일이다.
- ② 달은 항상 똑같은 면이 지구를 향하고 있어서 지구에서는 달의 한쪽 면만 관측된다. 따라서 달의 위상이 변하더라도 우리 눈에 보이는 달의 표면 무늬는 같다.



##### (2) 달의 공전

- ① 항성월: 별자리를 기준으로 달이 실제로 지구를 한 바퀴 공전하는 주기이며 27.3일이다.
- ② 삭망월: 달의 위상이 삭에서 삭, 망에서 망까지 반복되어 바뀌는 공전 주기로 태양을 기준으로 정한 달의 공전 주기이며, 약 29.5일이다. 음력 한 달을 의미한다.
- ③ 삭망월이 항성월보다 약 2.2일 더 긴 이유: 달이 지구 둘레를 공전하는 동안 지구도 태양 둘레를 공전하기 때문이다.



#### 2. 달의 위상 변화와 관측

##### (1) 달의 위상 변화

달은 지구 주위를 서에서 동으로 공전하는 동안, 삭→초승달→상현달→망→하현달→그믐달→삭 순으로 보이는 모양이 변한다. 달은 스스로 빛을 내지 못하므로 태양 빛을 반사하는 상대적인 위치에 따라 지구에서 볼 수 있는 달의 표면적이 달라져 달의 위상이 변한다.



달의 위상 변화



\*달의 위상에 따른 관측

- 삭: 새벽 6시경~ 정오~ 저녁 6시경
- 초승: 오전 9시경~오후 3시경~저녁 9시경
- 상현: 정오~저녁 6시경~ 자정
- 망: 저녁 6시경~ 자정~ 새벽 6시경
- 하현: 자정~ 저녁 6시경~ 정오
- 그믐: 새벽 3시경~ 오전 9시경~ 오후 3시경

(2) 달의 모양과 관측되는 위치



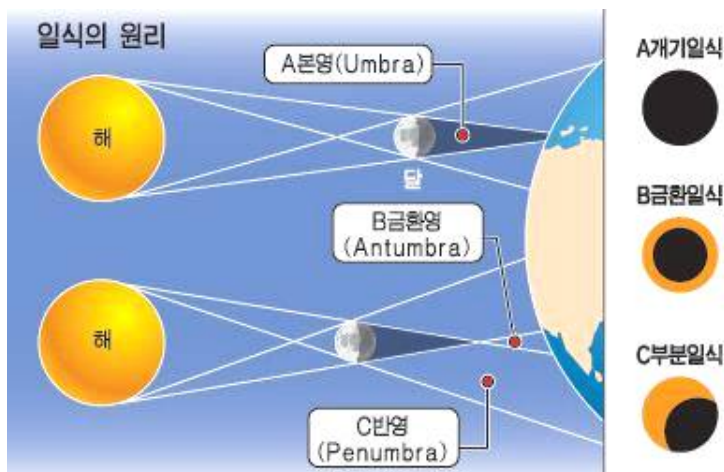
일몰 직후 달의 모양과 위치

달은 지구 둘레를 약 27.3일 만에 한 바퀴씩 공전한다. 따라서 매일 같은 시각에 달을 관측해 보면 모양이 변화할 뿐만 아니라 관측되는 위치도 하루에 13.18°씩 서→동으로 이동한다. 따라서 달이 뜨고 지는 시각이 매일 52분가량 늦어진다.

### 3. 일식과 월식

#### (1) 일식

태양-달-지구 순으로 일직선으로 놓여서 태양이 달에 의해 가려져 보이지 않는 현상을 말하며 일식은 삭일 때 일어날 수 있다.



① 개기일식: 지구의 관측자가 달의 본 그림자 속에 있을 때 태양이 달에 의해 전체가 가려져 태양 전체가 보이지 않는 현상을 개기일식이라고 한다. 본그림자가 매우 작기 때문에 지구상의 아주 좁은 범위에서 관측된다.

② 부분일식: 지구의 관측자가 달의 반그림자 속에 있을 때 태양이 달에 의해 일부분만 가려지는 현상.



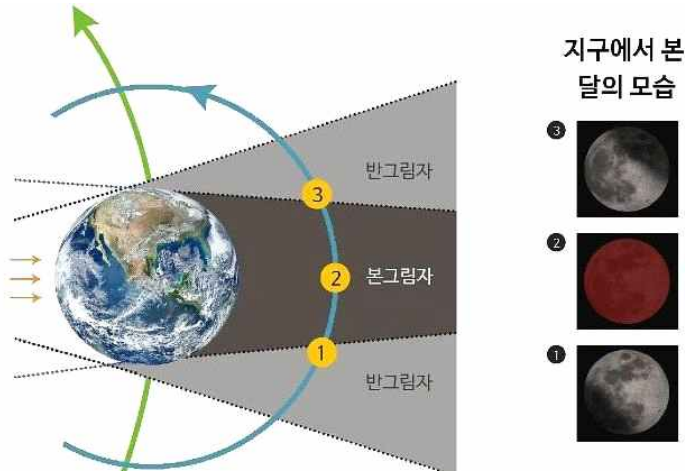
부분일식

개기일식

③ 금환일식: 달의 공전 궤도는 타원이기 때문에 지구와 달 사이의 거리가 변한다. 달이 지구에서 멀리 떨어진 경우, 달의 본그림자가 태양을 모두 가리지 못해서 태양의 테두리가 둥글게 보이는데 이런 현상을 금환일식이라고 한다.

(2) 월식

태양-지구-달이 일직선으로 놓이면 달이 지구 그림자에 들어가 보이지 않는 현상이 생길 수 있는데, 이를 월식이라고 하며, 월식은 망일 때 일어날 수 있다.



지구에서 본 달의 모습

월식이 일어나는 영역

- ① 개기월식: 달이 지구의 본그림자에 들어가 달 전체가 보이지 않는 현상을 개기월식이라고 하며, 지구 대기에서 굴절된 빛 때문에 달이 붉게 보인다.
- ② 부분월식: 달이 지구의 본그림자에 의해 일부만 그려지는 현상을 부분월식이라고 한다.



2021년 개기월식 진행 상황

(3) 일식과 월식의 진행 방향

① 일식: 일식이 시작될 때는 태양의 오른쪽(서쪽)부터 가려지고, 지속 시간은 4~5분, 최대 8분 가량이다.

② 월식: 월식이 시작될 때는 달의 왼쪽(동쪽)부터 가려지고 월식의 지속 시간은 최대 1시간 40분 정도이다.

(4) 일식과 월식의 진행 시간과 관측

지구의 그림자가 달의 그림자보다 훨씬 크기 때문에 일식의 진행 시간보다 월식의 진행 시간이 훨씬 길다. 일식은 지구상의 특정 지역에서만 관측되지만, 월식은 밤인 모든 지역에서 관측된다. 또한 개기일식은 개기월식보다 훨씬 일어나기 어렵다.

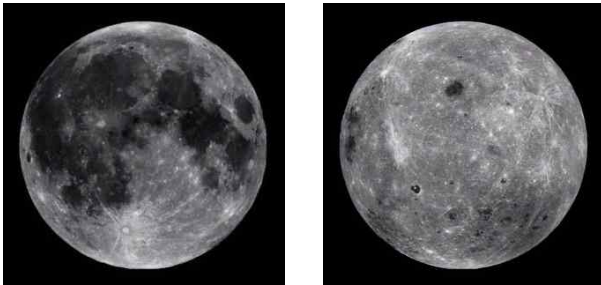
(5) 일식과 월식이 매달 일어나지 않는 이유

달의 공전 궤도면(백도)과 지구의 공전 궤도면(황도)이 약 5°의 경사를 이루고 있기에, 매번 월식과 일식이 일어나지는 않는다.

## II. 달의 특징

### 1. 달의 바다와 고지

달 표면을 망원경으로 보면 어두운 부분과 밝은 부분이 보인다. 달의 어두운 부분을 달의 바다, 밝은 부분을 달의 고지라고 부른다.



달의 앞면과 뒷면

(1) 달의 바다: 지구의 바다처럼 물이 있는 곳이 아니라, 과거에 화산활동으로 용암이 흘러나와 형성된 현무암질 암석으로 된 평원이다. 달의 바다는 낮은 저지대를 의미하며 달의 고지보다 암석의 연령이 적고 크레이터의 수도 적다.

(2) 달의 고지: 달의 고지는 주위보다 높은 고원지대로 상대적으로 밝게 보이며 산이 모여있어서 굴곡이 심하다. 고지의 나이는 약 46억 년 정도이다.

### 2. 크레이터(운석 구덩이)

(1) 모습: 달 표면에 움푹 파인 구덩이로, 그 크기는 지름이 수 cm에서 수백 km로 다양하다.

(2) 생성 원인: 달의 탄생 직후부터 현재까지 우주에서 날아온 운석들이 달 표면에 충돌해서 생긴 것이라는 것이 밝혀졌다.

### 3. 달 표면이 변화

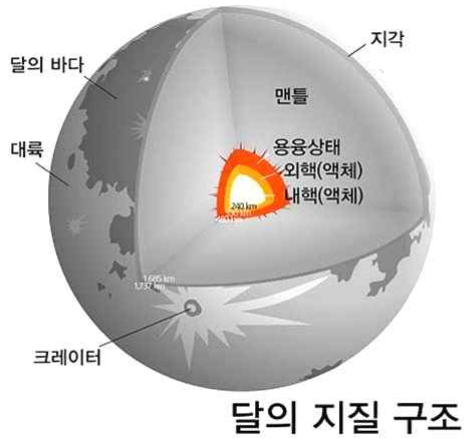
(1) 대기가 없다.: 공기와 물이 없어서 풍화작용이 일어나지 않아 한번 생긴 운석 구덩이가 없어지지 않고 모양을 오랫동안 유지하고 있다.

(2) 일교차가 매우 크다: 대기에 의한 온실효과가 없어서 낮에는 태양 복사 에너지가 그대로 표면을 가열시키고 밤에는 지표 복사 에너지가 그대로 방출되기 때문이다.

---

#### 4. 달의 물리량

- (1) 크기: 반지름 1738km로 지구 반지름의 약 1/4이며, 달의 내부는 지구와 비슷하다.
- (2) 질량:  $7.35 \times 10^{22}$ kg으로, 지구 질량의 약 1/80배 정도이다.
- (3) 평균 밀도:  $3.34 \text{g/cm}^3$ 로, 지구 밀도의 약 0.6배 정도이다.
- (4) 표면 온도: 최고  $120^\circ\text{C}$ , 최저  $-170^\circ\text{C}$  정도
- (5) 표면 중력: 지구 중력의 약 1/6 정도이다.
- (6) 표면 기압: 대기가 없으므로 0기압이다.



### 제3절 행성과 태양계의 관측

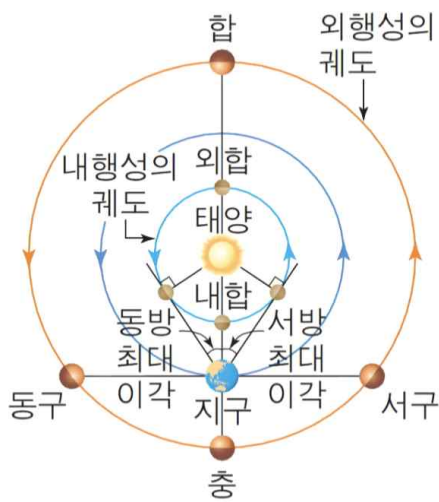
#### I. 행성의 운동

##### 1. 행성의 겉보기 운동

태양의 연주 운동이나 별의 일주 운동과 달리 행성들은 불규칙하고 복잡하게 별자리 사이를 움직여 가는 것처럼 보인다. 이러한 행성의 운동을 행성의 겉보기 운동 또는 시운동이라고 한다.

(1) 궤도면 경사: 행성의 겉보기 운동은 황도에서 거의 벗어나지 않는데 이는 행성들의 공전 궤도면이 지구의 공전 궤도면과 거의 일치하기 때문이다.

(2) 지구와 행성의 위치 관계



1) 최대이각: 내행성이 태양으로부터 가장 멀리 떨어져 보일 때 지구를 중심으로 태양과 행성이 이루는 각

① 지구에서 볼 때 행성이 태양의 동쪽에 위치하면 동방 최대이각, 서쪽에 위치하면 서방 최대 이각이라고 한다.

② 수성의 최대이각: 약 17~28°

③ 금성의 최대이각: 약 48°

2) 내합과 외합: 내행성이 지구-내행성-태양 순으로 일직선을 이루고 있을 때를 내합, 지구-태양-내행성 순으로 일직선을 이루고 있을 때를 외합이라고 한다.

① 내행성은 지구와의 거리가 내합일 때 가장 가깝고, 외합일 때 가장 멀다.

3) 충과 합: 지구에서 볼 때 외행성이 태양과 같은 방향에 있을 때를 합, 태양의 정반대에 있을 때를 충이라고 한다.

① 외행성은 충일 때 지구와의 거리가 가장 가깝고, 합일 때 가장 멀다.

② 외행성이 충일 때는, 지구와의 거리가 가장 가까워 크게 보이고 위상도 보름달 모양이며, 초저녁부터 새벽까지 떠 있어 관측하기 가장 좋다.

4) 구: 외행성이 지구를 중심으로 태양과 직각 방향에 있을 때로 태양에서 동쪽으로 90°에 있을 때를 동구, 서쪽으로 90°에 있을 때를 서구라고 한다.

##### (3) 행성의 상대적 위치에 따른 위상과 시직경

달이나 행성의 위치에 따라 빛나는 부분이 원형인지 반원형인지의 상태를 나타낼 때 “위상”이라는 용어를 쓰며, 지구에서 본 천체의 겉보기 크기를 칭할 때는 “시직경”, “각지름”이라는 용어를 쓴다. 같은 천체일 경우 지구와의 거리가 가까워질수록 시직경은 커진다.

##### 1) 행성의 겉보기 운동 천구상에서 나타나는 행성의 운동

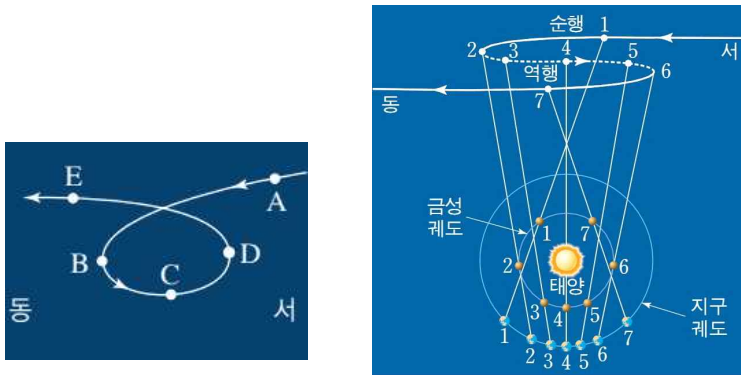
① 원인: 지구와 행성의 공전 속도 차이 때문

② 순행과 역행: 천구상에서 행성은 순행과 역행을 반복한다.

- 순행: 행성이 천구상에서 서에서 동으로 이동하는 것(A, E) ➡ 행성의 적경 증가

- 역행: 행성이 천구상에서 동에서 서로 이동하는 것(C) ➡ 행성의 적경 감소

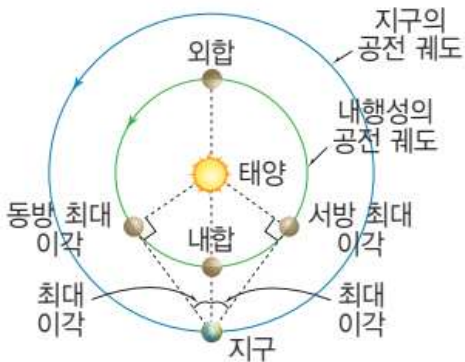
- 유: 행성의 운동 방향이 바뀌면서 잠시 멈춘 것처럼 보이는 것(B, D)



**내행성의 위치와 겹보기 운동**

2) 내행성과 지구의 상대적 위치 관계

- ① 외합: 내행성-태양-지구의 순으로 일직선에 놓이는 위치 → 지구에서 거리가 가장 멀다.
- ② 내합: 태양-내행성-지구의 순으로 일직선에 놓이는 위치 → 지구에서 거리가 가장 가깝다.
- ③ 최대이각: 내행성이 태양으로부터 가장 큰 각도로 떨어져 있는 위치
  - 동방 최대 이각: 태양보다 동쪽에 있는 최대이각
  - 서방 최대 이각: 태양보다 서쪽에 있는 최대이각



3) 내행성의 위치에 따른 관측

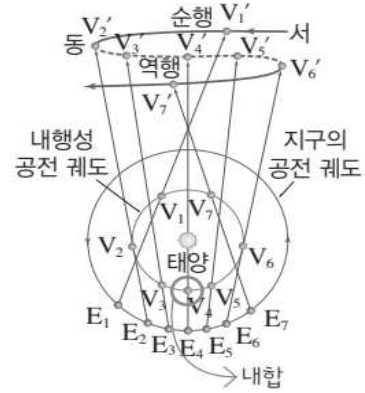
- ① 공전에 따른 위치 변화: 외합 → 동방 최대 이각 → 내합 → 서방 최대 이각 → 외합
- ② 관측 시각: 새벽이나 초저녁에만 관측되고, 자정 무렵(한밤중)에는 관측되지 않는다.
- ③ 위상: 상현달, 초승달, 그믐달, 하현달, 보름달에 가까운 모양이 관측된다.
- ④ 시지름(시직경): 내합에 가까울수록 크고, 외합에 가까울수록 작다.
- ⑤ 관측하기 좋은 위치: 최대 이각 → 가장 오래 관측되기 때문이다.

상대적 위치	관측 시각과 방향	위상	시지름
외합	태양과 함께 뜨고 지므로 관측이 불가능하다.	● 보름달 모양	가장 작다
동방 최대 이각	해 진 후, 서쪽 하늘에서 관측된다.	☾ 상현달 모양	↓ 커진다
동방 최대 이각~내합	해 진 후, 서쪽 하늘에서 잠깐 동안 관측된다.	☾ 초승달 모양	
내합	태양과 함께 뜨고 지므로 관측이 불가능하다.	○ 삭	가장 크다
내합~서방 최대 이각	해 뜨기 전, 동쪽 하늘에서 잠깐 동안 관측된다.	☾ 그믐달 모양	↓ 작아진다
서방 최대 이각	해 뜨기 전, 동쪽 하늘에서 관측된다.	☾ 하현달 모양	

4) 내행성의 겉보기 운동

- ① 원인: 내행성의 공전 속도가 지구보다 빠르기 때문
- ② 겉보기 운동: 내합 부근에서 역행하고, 그 외에는 순행한다.

- 순행:  $V_1' \sim V_2', V_6' \sim V_7'$
- 유:  $V_2', V_6'$
- 역행:  $V_2' \sim V_6' \rightarrow$  내합( $V_4$ ) 부근



3. 외행성의 위치와 겉보기 운동

(1) 외행성과 지구의 상대적 위치 관계

1) 합: 외행성-태양-지구의 순으로 일직선에 놓이는 위치  $\rightarrow$  이각이  $0^\circ$ 이고, 지구에서 가장 멀다.

2) 충: 태양-지구-외행성의 순으로 일직선에 놓이는 위치  $\rightarrow$  이각이  $180^\circ$ 이고, 지구에서 가장 가깝다.

3) 구: 외행성이 지구를 중심으로 태양과 직각으로 놓이는 위치

- ① 동구: 태양보다 동쪽으로  $90^\circ$  떨어져 있을 때
- ② 서구: 태양보다 서쪽으로  $90^\circ$  떨어져 있을 때

(2) 외행성의 위치에 따른 관측

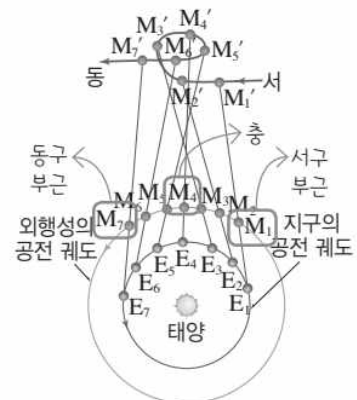
- 1) 공전에 따른 위치 변화: 합  $\rightarrow$  서구  $\rightarrow$  충  $\rightarrow$  동구  $\rightarrow$  합
- 2) 관측 시각: 새벽, 초저녁뿐만 아니라 자정 무렵(한밤중)에도 관측될 수 있다.
- 3) 위상: 보름달이나 보름달에 가까운 모양으로만 관측된다.
- 4) 시지름: 충에 가까울수록 크고, 합에 가까울수록 작다.
- 5) 관측하기 좋은 위치: 충  $\rightarrow$  가장 크고 밝게 보이며, 가장 오래 관측되기 때문이다.

상대적 위치	* 관측 시각과 방향	위상	시지름
합	태양과 함께 뜨고 지므로 관측이 불가능하다.	● 보름달 모양	가장 작다
서구	자정에 동쪽 하늘~새벽에 남쪽 하늘	◐ 하현달과 보름달 사이	커진다
충	초저녁에 동쪽 하늘~자정에 남쪽 하늘~새벽에 서쪽 하늘	● 보름달 모양	가장 크다
동구	초저녁에 남쪽 하늘~자정에 서쪽 하늘	◑ 상현달과 보름달 사이	작아진다

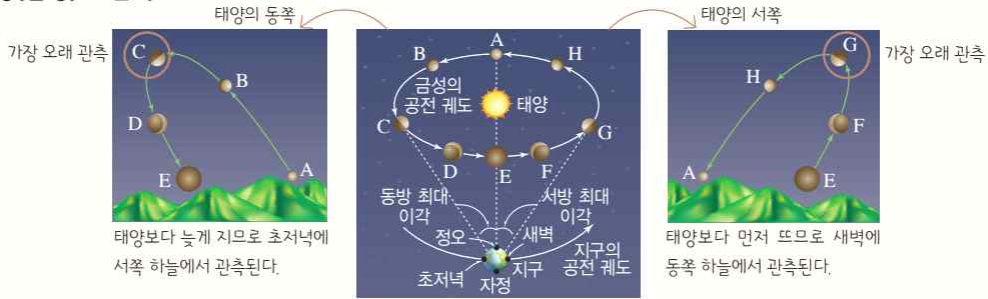
(3) 외행성의 겉보기 운동

- 1) 원인: 외행성의 공전 속도가 지구보다 느리기 때문
- 2) 겉보기 운동: 공전하는 동안 대부분 순행하고, 충 전후에서 역행한다.

- ① 순행:  $M_1' \rightarrow M_3', M_5' \rightarrow M_7'$
- ② 유:  $M_3', M_5'$
- ③ 역행:  $M_3' \sim M_5' \rightarrow$  충( $M_4$ ) 부근



### 내행성(금성)의 관측



위치 관계 변화	A(외합)	B	C(동방 최대 이각)	D	E(내합)	F	G(서방 최대 이각)	H
관측 시간, 방향	관측 ×	초저녁, 서쪽 하늘 → 금방 서쪽 지평선 아래로 진다.			관측 ×	새벽녘, 동쪽 하늘 → 해뜨기 전까지만 보인다.		
관측 가능 시간	0시간	→ 증가	약 3시간	→ 감소	0시간	→ 증가	약 3시간	→ 감소
이각 ÷ 15°/시간	이각 0°		48° ÷ 15°/시간		이각 0°		48° ÷ 15°/시간	

### 외행성(화성)의 관측

※ 관측 가능 시간:    로 표시

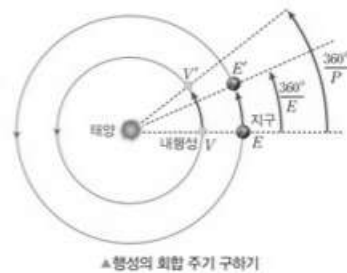
위치 관계 변화	A(합)	D(서구)	C(충)	B(동구)
뜨는 시각(동쪽 하늘)	새벽	자정	초저녁	정오
남중 시각(남쪽 하늘)	정오	새벽	자정	초저녁
지는 시각(서쪽 하늘)	초저녁	정오	새벽	자정
관측 가능 시간	0시간	약 6시간	약 12시간	약 6시간
이각 ÷ 15°/시간	이각 0°	90° ÷ 15°/시간	180° ÷ 15°/시간	90° ÷ 15°/시간

## 2. 행성의 공전 주기

지구를 비롯하여 모든 행성들이 태양 둘레를 공전하므로 지구에서 다른 행성의 공전주기를 직접 측정할 수 없다. 따라서 행성의 공전주기를 회합주기를 이용하여 구할 수 있다.

(1) 회합주기 : 내행성이 내합(외합)에서 다음 내합(외합)으로 돌아오거나, 외행성이 충(합)에서 다음 충(합)으로 돌아오는데 걸리는 시간을 말한다.

회합 주기와 공전 주기의 관계 : 지구의 공전 주기를  $E$ , 내행성의 공전 주기를  $P$ , 회합 주기를  $S$ 라고 하면 지구와 내행성이 하루에 도는 각은 각각  $\frac{360^\circ}{P} - \frac{360^\circ}{E}$ 이므로 내행성과 지구가 하루 동안 공전한 각의 차이는  $(\frac{360^\circ}{P} - \frac{360^\circ}{E})$ 이다. 이 값이 쌓여  $360^\circ$ 가 되는데 걸리는 시간이 회합주기  $S$ 이다. 따라서  $(\frac{360^\circ}{P} - \frac{360^\circ}{E}) \times S = 360^\circ$ 이므로  $\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E}$ 의 관계가 성립한다. 외행성은 위 항의  $P$ 와  $E$ 의 위치가 바뀌어서  $\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P}$ 의 관계가 성립한다.

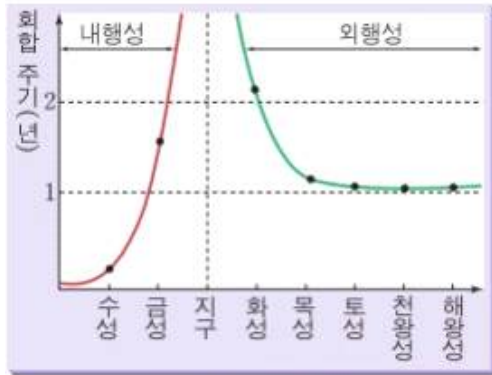


(2) 회합주기의 특징

- ① 지구에 가까운 행성일수록 회합주기는 길어진다.
- ② 태양에서 먼 행성일수록 회합주기는 지구의 공전주기(1년)에 가까워진다.

행성	수성	금성	지구	달	화성	목성	토성	천왕성	해왕성
회합 주기	약 116일	약 584일	-	29.5일 (삭망월)	약 780일	약 399일	약 378일	약 370일	약 368일



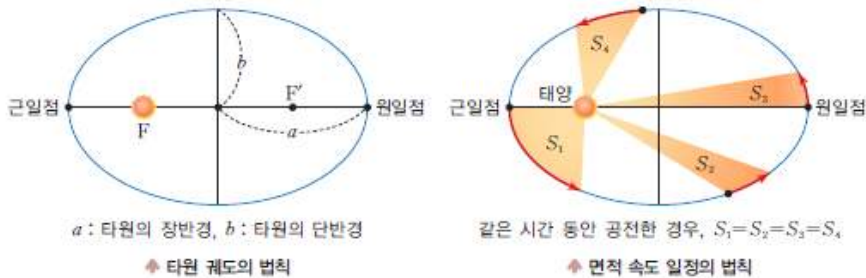


▲ 각 행성의 회합 주기

3. 케플러의 법칙

- 1) 제1 법칙(타원 궤도의 법칙) : 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 공전한다.
- 2) 제2 법칙(면적 속도 일정의 법칙) : 행성과 태양을 잇는 선은 같은 시간 동안에 같은 면적을 쓸고 지나간다.

행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고, 원일점에서 가장 느리다.



a : 타원의 장반경, b : 타원의 단반경

같은 시간 동안 공전한 경우,  $S_1 = S_2 = S_3 = S_4$

◆ 타원 궤도의 법칙

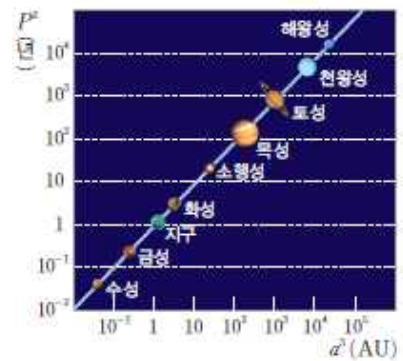
◆ 면적 속도 일정의 법칙

- 3) 제3 법칙(조화의 법칙) : 행성의 공전궤도 장반경을 a, 공전 주기를 P라고 하면  $\frac{a^3}{P^2} = k$ (일정)의 관계가 성립한다.

만유인력과 조화의 법칙 : 질량이 각각 M, m인 두 천체가 거리 a만큼 떨어져 공통 질량 중심 둘레를 원운동하고 있다면, 두 천체의 공전 주기 P는 같으므로

$$M+m = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{P^2} \text{의 관계가 성립한다.}$$

- 4) 케플러 법칙은 태양 주위를 공전하는 행성, 왜소행성, 소행성, 혜성에 적용될 뿐만 아니라 행성 주위를 도는 위성, 인공위성에도 적용되며 뉴턴의 만유인력의 법칙과 물체의 운동 법칙을 정리하는데 기초가 되었다.



◆ 케플러의 제3법칙(조화의 법칙)

II. 천동설과 지동설

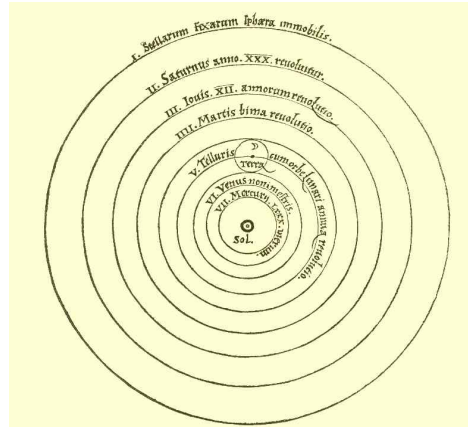
1. 천동설-지구 중심설

그리스의 히파르코스에 의해 주장되기 시작한 천동설은 140년경 프톨레마이오스가 집대성하였

다. 이후 프톨레마이오스의 지구 중심설은 아리스토텔레스의 우주관과 결합되어 공인된 우주 체계로서, 16세기 코페르니쿠스의 지동설이 등장할 때까지 서구 천문학을 지배했다.



주전원을 도입한 천동설



코페르니쿠스의 지동설

(1) 천동설 모형의 특징

- 1) 우주와 태양계의 중심은 지구이다. 그 주위를 달, 수성, 금성, 태양, 화성, 목성, 토성이 순서대로 원을 그리며 공전하고 있으며, 가장 바깥쪽에는 별들이 박혀 있는 항성 천구가 있다.
- 2) 행성의 공전궤도는 이심원이다. 지구는 공전궤도의 중심에서 약간 벗어나 있다. 행성의 겉보기 운동 속도와 밝기가 일정하지 않은 이유를 설명하였다.
- 3) 행성의 역행 운동 설명: 행성들은 주전원을 따라 등속도로 움직이며, 이 주전원의 중심이 지구 둘레를 공전한다. 주전원을 움직일 때의 속도는 행성들이 큰 원을 돌 때의 공전 속도보다 빠르다.
- 4) 내행성의 최대이각 설명: 수성이나 금성이 새벽이나 초저녁에만 관측되는 현상을 설명하기 위해서는 수성과 금성이 항상 태양을 향한 쪽에 위치해야 한다. 따라서 이를 설명하기 위해 수성과 금성의 주전원의 중심은 항상 지구와 태양을 이은 선 상에 위치한다고 가정하였다.



(2) 천동설에 의한 천체 운동 설명

그리스 시대의 철학이나 당시의 종교관과 일치하였으며, 당시까지의 관측 사실을 비교적 정확히 반영하였다. 계산을 거치면 천체의 위치 예측이 그런대로 가능하였다.

(3) 천동설의 한계

- 1) 천동설은 우주 체계가 너무 복잡하다. 행성의 밝기 변화와 역행 현상을 설명하기 위해 추후 주전원, 이심원을 도입해 설명하여야 했다.
- 2) 천동설은 내행성의 반달 모양~보름달 모양까지의 위상 변화를 설명하지 못한다.
- 3) 천동설은 별의 연주시차 현상을 설명하지 못한다.

## 2. 지동설-태양 중심설

1543년경 코페르니쿠스는 프톨레마이오스의 천동설 모형이 지나치게 복잡하고 여러 가지 개념을 원칙 없이 사용하고 있는 것에 불만을 품고, 우주의 중심을 태양으로 옮기면 행성의 운동이 매우 간단해지는 것을 찾아내었다. 코페르니쿠스는 자신의 태양 중심설이 내행성의 위상 변화와 역행 현상을 무리 없이 설명할 수 있음을 증명해 보였다. 그리고 태양 중심설을 따르면 행성의 움직임을 예측하기가 훨씬 간편했다.

### (1) 지동설 모형의 특징



#### 1) 우주의 중심은 태양이다.

태양을 중심으로 수성, 금성, 지구, 화성, 목성, 토성의 순으로 원을 그리며 공전하며 가장 바깥 쪽에는 별들이 박혀 있는, 구가 있다.

2) 지구는 하루를 주기로 자전하며 복잡한 주전원 체계를 도입하지 않아도 행성의 역행 현상이나 내행성의 운동을 잘 설명할 수가 있다.

- 행성의 역행: 금성과 지구와 화성 등의 행성들은 모두 태양 주위를 같은 방향으로 공전하지만, 태양에서 멀리 있을수록 공전 속도가 느리므로 지구에서 볼 때 운동 방향이 일시적으로 바뀐 것처럼 보인다. 즉 역행 현상은 실제 운동이 아니라 겉보기 운동이다.

- 내행성의 최대이각: 수성과 금성은 지구의 공전궤도보다 안쪽에 있으므로 태양으로부터 일정한 각도(최대이각) 이상 벗어나지 않는다.

### (2) 지동설을 지지하는 증거

갈릴레이가 관측한 목성의 위성과 금성의 위상 변화는 지동설을 지지하는 결정적인 증거가 되었으며, 베셀이 측정한 연주시차는 지동설의 확실한 증거가 된다.

① 목성의 위성 관측: 모든 천체가 지구 주위를 돈다는 천동설을 부정하고 지동설을 지지하는 근거가 되었다.

② 금성의 위상과 크기 변화: 천동설에서 금성은 언제나 초승달이나 그믐달 모양의 위상을 가져야 한다. 그러나 갈릴레이의 관측 결과 금성의 위상은 반달이나 보름달까지 다양하게 나타나는 것을 발견하였다. 또한 금성의 크기 변화도 천동설의 주전원으로는 설명할 수 없었다.

③ 별의 연주시차: 별의 연주시차는 지구가 태양 둘레를 공전하기 때문에 관측되는 현상으로 천동설로는 설명할 수 없었으며, 1838년 독일의 베셀이 처음으로 연주시차를 측정했다.

## 3. 티코 브라헤의 절충설

### (1) 절충설의 배경

티코 브라헤는 지동설이 더 효과적이라고 생각하였으나 연주시차 관측에 실패하면서 두 설을 절충한 절충설을 제안하였다. 따라서 수정천동설이라고도 한다.

### (2) 절충설의 특징

절충설은 우주의 중심은 지구이고, 달과 태양은 지구 주위를 원운동하며, 행성들은 태양 주위를

원운동한다. 즉 천동설을 중심에 두고 지동설을 가미한 설명 체계라고 볼 수 있다.

(3) 절충설에 의한 천체 운동의 설명

행성의 역행 현상(태양과 행성의 공전 속도 차이), 내행성의 최대이각, 금성의 위상 변화 등은 절충설에 의해서도 설명이 되지만, 지구가 공전하지 않고 고정되어 있으므로 별의 연주시차는 나타나지 않는다고 설명한다.



4. 우주관의 발전

(1) 갈릴레이

- 직접 망원경 제작해 천체 관측
- 목성의 4대 위성 발견
- 금성의 위상 변화 관측

(2) 베셀

- 백조자리 61번 별에 대해 연주시차 측정 성공
- 별까지 거리를 구하는 원리로 쓰이게 됨.

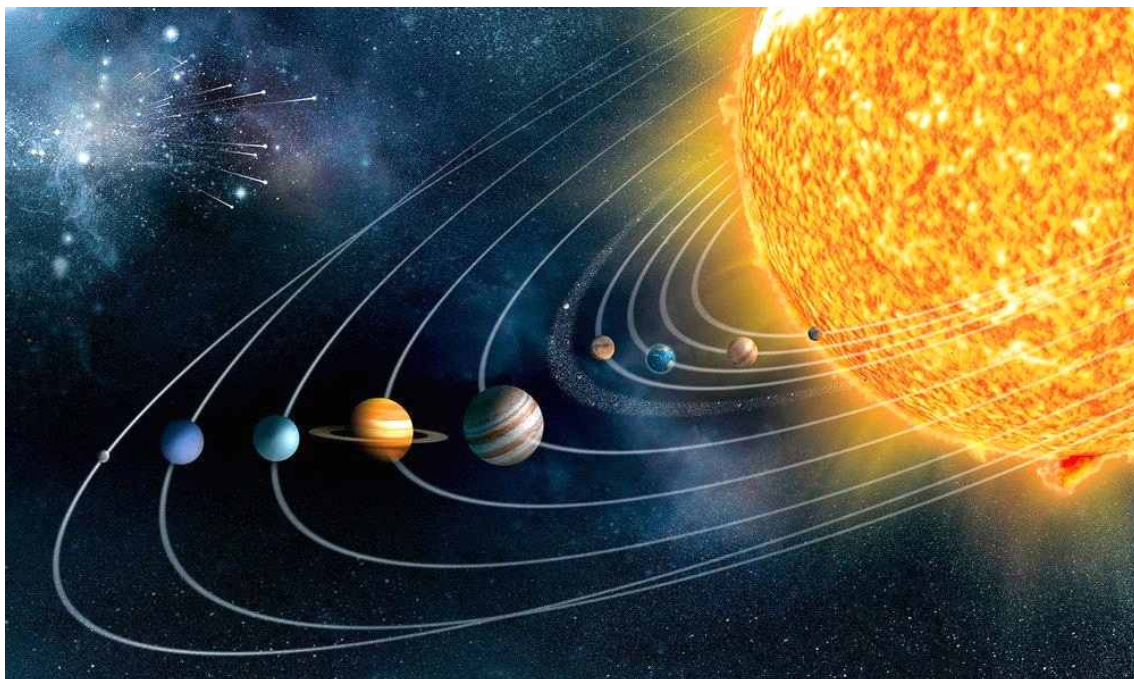
(3) 허셜: 18세기 말, 은하수 관측으로 은하가 수많은 항성의 무리이며, 안드로메다 성운도 별의 집단인 은하인 것을 알게 됨.

(4) 새플리: 구상성단의 분포를 조사, 우리 은하의 구조와 크기를 밝힘.

III. 태양계

1. 태양계의 구성

(1) 태양계의 특징



태양계 항성과 행성들

- 1) 태양계의 구성원: 태양계는 태양을 중심으로 공전하는 8개의 행성과 왜소행성, 소행성, 혜성이 있으며, 행성 주위를 공전하는 위성들로 되어 있다.
- 2) 행성의 공전과 자전: 행성들의 공전과 자전은 천구 북극에서 볼 때 대체로 시계 반대 방향으로 태양의 자전 방향과 같게 나타난다. 예외로 천왕성의 자전, 금성의 자전, 일부 목성의 위성만 반대로 나타난다.
- 3) 행성의 궤도 경사: 지구의 공전 궤도면과 행성들의 공전 궤도면이 이루는 각을 행성의 궤도 경사라고 하며,  $3.4^\circ$  이내에서 비슷하다. 따라서 모든 행성들을 황도면 근처에서 관측할 수 있다.
- 4) 행성의 자전축 경사: 지구 공전 궤도에 수직인 법선과 행성의 자전축이 이루는 경사를 행성의 자전축 경사라고 하며, 지구는  $23.5^\circ$ , 금성은  $-177.4^\circ$ , 천왕성은  $-98^\circ$ 이다.

## (2) 태양계 행성의 특징

태양계 행성은 물리적인 성질 중에서 질량, 반지름, 밀도 등을 기준으로 지구형 행성과 목성형 행성으로 분류한다.

- 1) 지구형 행성: 수성, 금성, 지구, 화성
- 2) 목성형 행성: 목성, 토성, 천왕성, 해왕성



## 2. 행성의 특징

### (1) 수성

표면온도가 높고 중력이 작으며 대기가 없다. 운석 구덩이가 많고, 풍화 침식이 일어나지 않으며 표면 기압이 0이다. 기온의 일교차가 심하다( $-180^\circ\text{C}\sim 430^\circ\text{C}$ ).

- ① 기본 물리량: 지름 약 4,900km, 평균 밀도  $5.4\text{g/cm}^3$ , 자전주기 58.65일, 공전 주기 87.96일
- ② 내부: 지구와 비슷하게 철과 니켈로 된 무거운 핵을 가진 것으로 추정.
- ③ 표면과 대기: 대기가 없어 운석 구덩이가 많다.
  - 표면온도가 매우 높고, 표면 중력이 매우 작아 대기가 없다.
  - 운석 충돌로 생긴 여러 개의 동심원으로 구성된 칼로리스 분지와 분지 안의 우주 거미 지형이 존재한다.
  - 2011년 메신저호가 빠르게 변하는 약한 자기장의 존재를 확인하였다.
  - 현무암질 암석으로 이루어진 수성 표면에는 수백 km 길이의 단층 절벽들이 있다.
- ④ 온도: 대기가 없어 일교차가 매우 크다. 이는 긴 자전주기로 인해 더 극심하며 낮에는 약  $430^\circ\text{C}$ , 밤에는 최저  $-180^\circ\text{C}$ 까지 나타난다.

---

## (2) 금성

두꺼운 CO<sub>2</sub>의 대기로 인해 기압이 매우 높고, 온실 효과가 강하게 일어나 행성 중에서 표면온도가 가장 높다. 반사율이 매우 커 행성 중 가장 밝다. 또한 가시광선으로 표면 관측이 불가능하다.

① 기본 물리량: 반지름 6,052km, 평균 밀도 5.2g/cm<sup>3</sup>, 지구와 가장 비슷한 물리량을 가진 행성, 자전주기 243일, 공전 주기 224.7일로 자전주기가 공전 주기보다 긴 유일한 행성이다.

② 표면과 대기: 가장 큰 특징으로 매우 밝은 대기를 갖고 있다.

- 짙은 CO<sub>2</sub> 대기로 인해 반사율이 76%로 매우 커서, 태양계 행성 중 가장 밝게 보인다. 셋별, 태백성이라고도 불린다.

- 대규모의 대기 순환을 하며, 지상 약 50km 부근에 황산 구름을 만들어 황산 비를 내리기도 하지만, 느린 자전 속도로 인해 바람이 약하고 짙은 대기가 운석이 표면까지 도달하는 걸 막기 때문에, 표면은 대체로 잘 보존되어있다.

- 금성의 지표면에서는 주로 현무암질 용암의 분출 등 활발한 화산활동이 일어나고 있어서 지표의 나이는 약 5억 년 정도로 대체로 오래되지 않은 편이며, 운석 구덩이는 거의 없다.

③ 온도: 대기압이 95기압 정도이고, 그중 95%가 CO<sub>2</sub>이기 때문에, 매우 강한 온실 효과가 발생하며, 표면온도는 약 470°C까지 나타난다.

## (3) 화성

자전축 경사가 지구와 비슷하여 지구처럼 계절 변화가 나타난다. 표면이 산화철로 덮여있어 붉게 보이며, 극지방에는 얼음과 드라이아이스로 된 극관이 있고 계절에 따라 크기가 변한다. 표면에 과거에 물이 흘렀던 흔적이 있으며, 화산, 협곡 등이 존재한다. 대기의 주성분은 CO<sub>2</sub>이지만 대기압이 매우 낮아 지구의 1% 수준이다.

① 기본 물리량: 반지름 3,393km, 평균 밀도 3.9g/cm<sup>3</sup>, 자전주기 24시간 37분 22초, 공전 주기는 약 687일 정도이다.

② 표면과 대기

- 70% 이상 풍화작용을 받아 붉은색 산화철로 덮여있어 붉게 보인다.

- 대기가 희박하여 표면 기압은 0.01기압 미만이다. 망원경으로 표면을 관찰하기 쉬우며 이를 통해 움직임을 측정하여 자전주기와 자전축 경사를 알아낼 수 있었다.

- 자전주기와 자전축 경사(25° 12')가 모두 지구와 비슷하다.

- 표면 중력은 지구의 1/4 정도로 작다.

- 높은 산들이 많으며, 북반구에는 높이 25,000m의 올림푸스 화산이 존재한다.

- 지각변동이 나타나며, 과거에 물이 흐른 흔적이 있다.

- 평균 온도 -60°C, 일교차도 100°C 정도로 크게 나타난다.

③ 위성: 포보스, 데이모드 2개의 위성이 있다.

## (4) 목성

행성 중에서 반지름과 질량이 가장 크다. 자전 속도가 가장 빠르며 이로 인해 적도와 나란한 대기의 줄무늬가 나타난다. 표면에 강한 대기의 소용돌이인 대적점이 나타난다. 태양계 행성 중 가장 강한 자기장을 나타내며, 갈릴레이 위성(이오, 유로파, 가니메데, 칼리스토)을 포함해 79개의 위성이 있다.

① 기본 물리량: 반지름 71,398km(지구의 약 11배), 질량은 지구의 318배, 평균 밀도 1.33g/cm<sup>3</sup>, 공전 주기 11.86년, 자전주기 9시간 50분.

② 내부: 지구와는 전혀 다르며, 태양과 흡사한 내부 조성인데, 금속성 수소가 존재하는 것으로 추정된다.

---

③ 표면과 대기: 가장 큰 특징은 수많은 가로 줄무늬이다. 이는 수소와 헬륨으로 이루어진 상층 대기가 빠른 자전에 의한 전향력 효과 때문에 생긴 것이다. 내부에서 열을 받아 상승한 기체가 냉각되면서 암모니아 결정체를 형성하며 빛을 산란시키는 곳은 밝게 보이며, 냉각된 기체가 하강하는 곳은 어둡게 보인다.

- 목성은 표면이 기체로 이루어져 있어 위도에 따라 자전 속도가 다르다. 적도 아래 붉은색 타원형 대적점이 관측되는데, 이는 대기의 강한 소용돌이 현상으로 약 6일을 주기로 시계 반대 방향으로 회전하며, 수백 년간 유지되는 것으로 알려져 있다.

④ 위성: 갈릴레이 4대 위성인 이오, 유로파, 가니메테, 칼리스토를 포함 총 92개 이다.(2023년 자료)

- 이오: 목성의 중력으로 표면이 일그러져 있으며, 화산활동이 관측된 유일한 위성이다. 화산활동으로 인한 유황의 영향으로 주황색으로 보인다.

- 유로파: 지구의 지각과 흡사한 판 구조 운동이 나타난다. 얼음이 녹았다 다시 얼어 생긴 수많은 줄무늬가 보인다.

- 가니메테: 반지름이 2,631km로 태양계 위성 중 가장 큰 위성이며, 두꺼운 빙하로 덮여있다.

- 칼리스토: 4대 위성 중 가장 바깥쪽을 돌고 있으며, 표면에서 운석 구덩이가 발견되었다.

⑤ 고리: 목성에도 얇은 고리가 나타난다.

#### (5) 토성

폭이 넓은 암석 부스러기, 얼음, 먼지로 된 고리가 있으며, 밀도가 물보다 작고, 자전 속도가 빠르다. 편평도가 가장 큰 행성이며, 타이탄을 포함 83개의 수많은 위성이 있다.

① 기본 물리량: 반지름 60,000km, 평균 밀도는 약  $0.68\text{g/cm}^3$ , 자전주기 10시간 14분, 공전 주기 29.46년

② 표면과 대기: 구성 물질이 대부분 수소로, 물보다 밀도가 작으며 빠른 자전으로 가장 편평도가 크다. 대기 구조는 목성과 비슷하며 적도에 평행한 줄무늬를 갖는다. 대기 또한 목성과 비슷하나 헬륨의 비율이 약간 적다.

#### ③ 위성

- 타이탄: 반지름 2,575km로 수성보다 크며, 목성의 위성인 가니메테 다음으로 큰 위성이다. 주로 질소와 메테인의 대기를 갖고 있어 주황색으로 보이며, 표면 기압은 지구의 약 1.6배 정도이다. 질소와 메테인, 얼음 등은 원시 지구의 대기와 유사하여 생명체의 존재 가능성이 높다고 것으로 알려져 있다.

④ 고리: 토성의 가장 대표적 특성으로, 토성 주변에 남아있던 미세한 입자들, 암석 부스러기, 얼음 등의 고체 입자가 적도 상공을 따라 약 30만 km의 넓은 폭으로 돌고 있다.

#### (6) 천왕성

① 기본 물리량: 반지름 25,559km, 공전 주기 84.01년, 자전주기 17시간 14분.

② 표면과 대기: 대기에 메테인 성분으로 인해 진한 파란색으로 보인다. 대기의 대부분은 수소로 이루어져 있으며, 반사율은 66%로 금성 다음으로 크다.

- 자전축 경사가  $98^\circ$ 로 뒤집혀 있어서 자전 방향이 공전 방향과 반대로 관측되며, 자전축이 거의 누워있기 때문에, 1회 공전하는 기간의 반은 밤이 지속되고 반은 낮이 지속된다.

③ 위성과 고리: 천왕성에는 11개의 고리와 27개의 위성이 있으며, 위성 미란다는 표면이 뒤틀린 모습을 하고 있다.

#### (7) 해왕성

천왕성의 공전 궤도가 이론과 잘 맞지 않는다는 사실로부터 그 존재가 예측되었으며, 예측된 위치에서 1846년 갈레가 발견하였다.

---

① 기본 물리량: 반지름 24,800km, 평균 밀도는  $1.66\text{g/cm}^3$ , 공전 주기는 164.8년, 자전주기는 16시간 3분.

② 표면과 대기: 천왕성과 비슷하게 메테인 성분으로 파란색이 섞인 청록색으로 보인다. 반사율도 62%로 천왕성과 비슷하다. 대기의 소용돌이인 대흑점이 나타난다.

③ 위성과 고리: 4개 정도의 고리와 14개의 위성이 있다. 달보다 조금 작은 크기의 위성 트리톤에는 질소 성분의 대기가 있다.

### 3. 태양계 작은 천체들

#### (1) 티티우스-보데의 법칙

행성의 공전궤도 반지름은 다음 관계식을 만족한다.

$$d = 0.4 + 0.3 \times 2^n$$

미지수  $n$  자리에  $-\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ 를 차례로 넣으면 각 행성의 위치에 대응된다는 것이며, 이 식으로 3번 자리에 소행성대를, 6번 자리에서 천왕성을 발견하게 되었다.

#### (2) 소행성

화성과 목성 사이에서 미지의 행성을 찾다가 1801년 피아치에 의해 약 940km 크기의 왜소행성 세레스가 발견된 이후 확인된 것만 8000여 개, 확인 중인 것은 20만개에 이른다.

- 다양한 모양이 존재하며, 크기도 수  $m$ 에서 수십  $km$ 에 이르기까지 다양하다. 지름이 1km도 안되는 소행성 아이다는 닥틸이라는 위성을 거느리고 있기도 하다.

① 궤도: 지구형 행성과 목성형 행성의 중간 궤도에 있으며, 무리지어 있어 소행성대라고 한다. 이 구역의 소행성대 외에도 목성 궤도 상의 두 개의 행성 군을 트로이 소행성군, 지구와 화성 궤도 사이의 아모르 소행성군 등 태양계 전 영역에 걸쳐 분포하고 있다.

② 성분: 소행성은 석질 소행성, 철질 소행성으로 구분되는데, 석질 소행성은 주로 탄소화합물인 C형(태양계 형성 초기에 존재했던 미행성들의 잔해로서 태양의 기원 연구에 중요하게 이용된다.), 지구의 암석과 비슷한 S형으로 나눌 수 있다.

#### (3) 왜소행성-명왕성 외

2006년부터 사용한 개념으로, 소행성으로 알려져 온 세레스, 행성으로 인정했던 명왕성 그리고 그 바깥쪽 제나 등을 왜소행성이라는 그룹으로 새롭게 분류하였다.

##### ① 행성의 기준

- 태양 주위를 공전해야 한다.

- 둥글게 생겨야 한다.

- 그 궤도 영역에서 지배적인 천체여야 한다. → 명왕성 탈락

##### ② 왜소행성의 기준

- 태양을 중심으로 궤도 운동을 하고 있다.

- 원형의 형태를 유지할 수 있는 중력을 갖도록 충분한 질량이 있어야 한다.

- 공전 궤도 주변에 다수 천체들이 존재하며 공전 궤도에서 지배적인 역할을 하지 못한다.

- 다른 행성의 위성이 아니어야 한다.

##### ③ 명왕성(왜소행성134340)

- 기본 물리량: 반지름 1,150km(달보다 작다), 질량은 지구의 1/500, 밀도는  $2.03\text{g/cm}^3$ , 공전 주기 248.6년, 자전주기 6.44일

- 태양으로부터의 거리 39.44AU, 공전 궤도 이심률이 커서 가끔 해양성 안쪽에 놓일 때도 있다.

- 표면과 대기: 암석으로 이루어져 있으며, 표면은 메테인, 일산화탄소, 질소, 얼음으로 덮여있어

---



반사율은 50% 정도로 높은 편이다.

- 위성: 자신 크기의 1/2인 카론이라는 위성을 가지고 있으며, 이 과정에서 지배적인 역할을 하지 못한다는 이유로 행성의 지위를 박탈당했다.

#### (4) 혜성

태양계를 구성하는 천체 중의 하나로, 태양 주위를 이심률이 매우 큰 타원 궤도나 포물선 궤도로 돌며, 태양의 반대쪽으로 긴 꼬리를 나타낸다.

① 혜성의 특징: 태양에서 멀 때는 보이지 않다가 태양에 접근하면 태양풍에 의해 태양 반대쪽으로 긴 꼬리가 생기며 관측되기 시작한다.

#### ② 혜성의 구조

- 핵: 먼지와 얼음, 수증기와 암모니아, 메테인으로 된 핵이 있으며, 매우 어두운 것으로 보아 흑연과 같은 탄소 성분을 많이 함유하고 있는 것으로 추정된다. 핵에서는 약 8% 정도의 수증기를 포함한 기체가 분출되며, 이는 혜성 대기의 일부를 구성한다.

- 코마: 목성 궤도 정도에 이르면 태양의 복사열로 승화되는 주위에 코마라고 하는 혜성의 머리를 만들어 밝게 빛난다.

- 꼬리: 코마를 구성하는 가스와 티끌은 태양풍에 날려 이온으로 된 가스 꼬리(파란색)와 티끌로 된 티끌 꼬리(붉은색)를 만든다. 혜성의 꼬리를 구성하는 물질 가운데 유기물 성분이 발견되었고, DNA와 흡사한 단백질 성분도 검출되었다.

#### (5) 유성과 운석

태양계를 떠돌던 혜성의 잔해나 소행성 조각이 지구 중력에 이끌려 들어와 대기와의 마찰로 타는 것을 유성(별뚱별)이라고 하고, 다 타지 못하고 지표에 이르는 것을 운석이라고 한다. 대부분이 소행성 기원의 운석이다.

#### ① 운석의 종류

- 석질 운석: 전체 운석의 95%를 차지하며, 주로 감람석, 휘석, 사장석으로 지구 맨틀 물질과 비슷하다. 콘드라이트와 아콘드라이트로 구분된다.

- 철질 운석: 전체 운석의 4~5%를 차지하며, 주로 철과 니켈로 되어있고, 지구의 핵을 구성하는 물질과 비슷하다.

- 석철질 운석: 석질 운석과 철질 운석이 섞여 있는 운석이다.

② 운석 연구: 운석을 연구하면 지구의 생성 시기와 지구 내부의 구성물질 화학조성에 대한 정보를 얻을 수 있다. 석질 운석은 지구의 맨틀 성분, 철질 운석은 핵의 성분, 아콘드라이트는 조각의 성분과 유사한 것으로 알려져 있다.

---

---

## 제4절 태양과 별

### I. 태양

#### 1. 태양의 물리량

##### (1) 태양의 크기

지구에서 본 태양의 각지름(시직경)과 태양까지의 거리를 측정하면 구할 수 있다. 태양의 각지름은 약 0.53"이고, 태양까지 거리는  $1.5 \times 10^8 \text{km}$ 이므로, 태양의 지름은 약  $1.4 \times 10^6 \text{km}$ 이다.

##### (2) 태양의 광도

태양이 단위 시간에 방출하는 총 복사 에너지의 양을 태양의 광도라고 하며, 이는 태양 상수( $I=2\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ )로부터 구할 수 있다.

태양 상수란 태양으로부터 거리  $r$  만큼 떨어진 곳에 단위 면적당 도달되는 태양복사 에너지의 양이므로 전체 에너지(=태양의 광도  $L$ )는 반지름을  $r$ 로 하는 가상의 구의 표면에 태양 상수를 곱하여 구할 수 있다.

태양의 광도  $L=4\pi r^2 \times I \approx 4 \times 10^{33} (\text{erg/s})$

##### (3) 태양의 표면 온도

태양의 표면은 복사 평형을 유지하므로 슈테판-볼츠만 법칙을 이용하여 다음과 같은 식으로 나타내며 약 5,800K 정도이다.

$$E=4\pi r^2 \cdot \sigma T^4 \times I$$

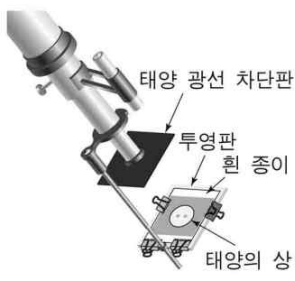
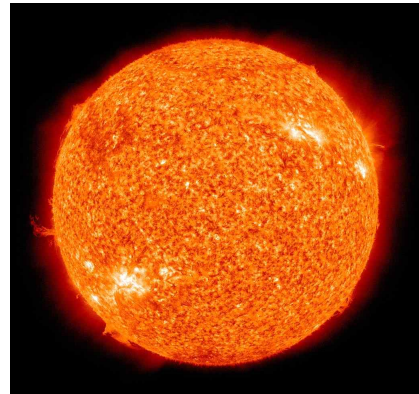
##### (4) 지구와 비교한 태양의 물리량 비교

- 반지름: 약 109배
- 질량: 약 33만 배
- 평균 밀도: 약 0.26배
- 표면 중력 가속도: 약 28배

#### 2. 태양의 관측 방법

(1) 직시법: 대물렌즈의 앞쪽이나 접안렌즈에 태양 필터를 끼운 후, 접안렌즈에 눈을 대고 직접 태양을 관측하는 방법. 직접 보기 때문에 쌀알무늬나 흑점을 모두 관측할 수 있다.

(2) 투영법: 접안렌즈를 통과한 빛을 접안렌즈 뒤쪽에 설치한 투영판에 비치게 하여 관측하는 방법. 안전하며 동시에 여러 사람이 관측할 수 있다. 흑점만 관측이 가능하다.



투영법



직시법

### 3. 태양의 내부



(1) 핵: 태양의 중심부로 반지름이 태양 전체의 1/4보다 작고, 온도가 약 1,500만 K인 고밀도의 기체 상태이며, 수소 핵융합 반응이 일어나 에너지가 생성되는 곳이다.

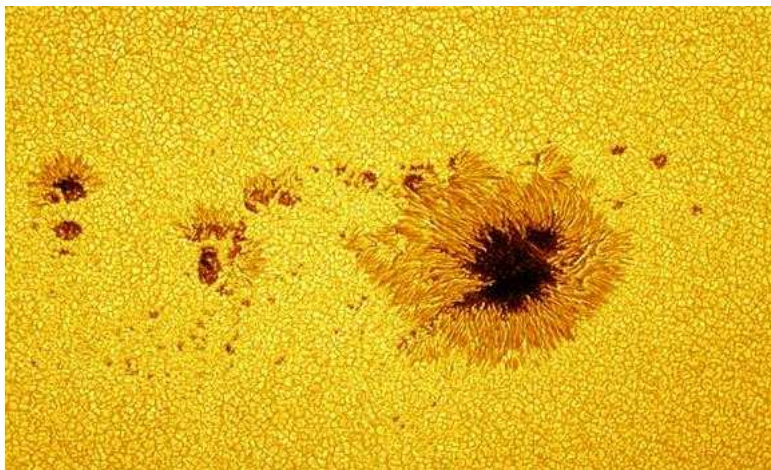
$4H \rightarrow He + E (= \Delta mc^2)$  ( $\Delta m$ 은 질량의 결손 값,  $c$ 는 광속)

(2) 복사층: 태양의 약 70%를 차지하며, 핵에서 만들어진 에너지를 복사의 형태로 대류층으로 전달한다.

(3) 대류층: 태양 표면의 바로 아래 있는 부분으로 복사층에서 전달된 에너지가 표면 바깥쪽과의 온도 차 때문에 대류가 일어나는 층이다.

### 4. 태양의 표면-광구(光球)

둥글게 보이는 태양의 표면으로, 태양에너지가 직접 밖으로 방출되는 부분이다. 광구의 두께는 500~700km이고, 온도는 약 5,800K이다. 쌀알무늬와 흑점이 관측된다.



(1) 쌀알무늬: 광구 아래에서 일어나는 대류 때문에 마치 쌀알을 뿌려 놓은 것처럼 생긴 반점. 밝은 부분은 고온의 가스가 상승하는 곳이고, 어두운 부분은 저온의 가스가 하강하는 곳이다. 지름은 약 1,000km이고, 수명은 몇 분 정도이다.

(2) 흑점: 강한 자기장으로 아래에서 올라오는 대류가 방해받아서 형성되며, 주변보다 온도가

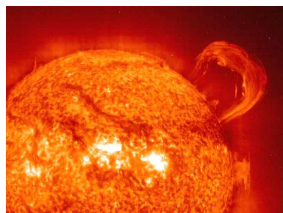
낮아서 검게 보이는 부분이다. 태양 표면의 온도에 비해 2,000K 정도 낮고, 중심부의 암부와 주변의 반암부로 이루어져 있다. 보통 지구 정도의 크기이며, 수명은 수 시간에서 수개월 정도이다. 태양이 서에서 동으로 자전하고 있기 때문에 지구에서 관측하면 동쪽에서 서쪽으로 흑점이 이동하는 것으로 관측된다. 위치에 따라 이동 속도가 다르며, 이를 통해 태양의 표면이 기체로 되어 있다는 것과 위도별 자전주기를 알 수 있다.

- 제만 효과: 흑점에서 오는 빛의 스펙트럼은 보통보다 굵게 나타나는데 자세히 관찰하면 한 개의 선이 여러 개로 갈라져 있는 것을 알 수 있다. 자기장 속에서 스펙트럼선이 원래의 파장과 조금 다른 3개의 선으로 갈라지고, 이때 진동수의 차는 자기장의 세기에 비례한다는 사실을 제만(네덜란드의 물리학자) 효과라고 한다.
- 흑점 수의 증감 주기: 약 11년을 주기로 태양의 활동 주기와 일치한다.
- 흑점의 위도별 분포: 대부분의 흑점이 위도 약 30° 부근에서 출현했다가 소멸되며, 시간이 지날수록 생성되는 위도가 저위도로 옮겨간다. 흑점 수 극대기일 때 위도 15° 부근에 많이 생성된다.
- 흑점과 태양 활동: 흑점 수의 극대기일 때는 태양 활동이 활발할 때이다. 태양 표면에서 플레어와 홍염이 활발하고, 태양 대기의 산란 현상인 코로나가 커지며, 지구에는 자기 폭풍, 델린저 현상이 나타나며 극지방에는 오로라가 자주 발생한다.

## 5. 태양의 대기

뉴턴은 태양광선이 단색이 아니라 여러 파장의 빛으로 되어있다는 것을 알아내었는데 이 연속된 무늬를 연속스펙트럼이라고 한다. 1814년 프라운호퍼는 개량된 프리즘으로 태양의 연속스펙트럼 속에 547개의 암선이 들어있다는 것을 알아내었다. 그 후 이 암선을 프라운호퍼선이라고 부르게 되었는데, 이는 태양의 광구를 통과해 나오는 연속스펙트럼에 나타난 흡수선이었다. 이 파장을 조사하여 태양의 대기에는 67종의 원소가 존재한다는 것을 알게 되었다.

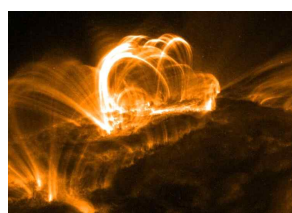
- (1) 태양 대기의 구성 성분: 대부분 수소와 헬륨 그리고 소량의 다른 원소들.
- (2) 채층: 광구 밖으로 두께가 약 5,000km, 온도가 4,500~6,000K에 이르는 붉은 대기층으로, 개기일식 때 관찰할 수 있다.
- (3) 코로나: 채층 위로 수십~수백만 km까지 퍼져있는 진주빛 가스층
  - 1) 온도: 코로나의 온도는 200만K에 이른다.
  - 2) 관측: 개기일식 때 관측하기 쉽다. 태양 활동이 활발하고 흑점 수가 많이 관찰되는 시기에 코로나도 강하게 나타난다.
- (4) 스피큘: 채층 아래에서 나타나는 작은 툭날 모양의 불꽃 기둥. 광구 아래의 대류층에서 일어나는 기체의 격렬한 운동으로 생긴다.
- (5) 홍염: 온도가 약 1만 K 정도인 가스가 솟구치는 격렬한 기체 운동. 흑점 수가 많을 때 강하게 나타난다.



홍염



코로나



플레어

- (6) 플레어: 흑점 주변에서 짧은 시간 동안 막대한 에너지가 방출되는 격렬한 폭발 현상. 플레어가 발생하면 X선, 자외선, 하전입자가 코로나를 통해 대량으로 방출된다.

## II. 별

1. 별의 물리량(밝기, 거리, 온도, 광도, 크기, 질량, 운동)

(1) 별의 밝기와 등급

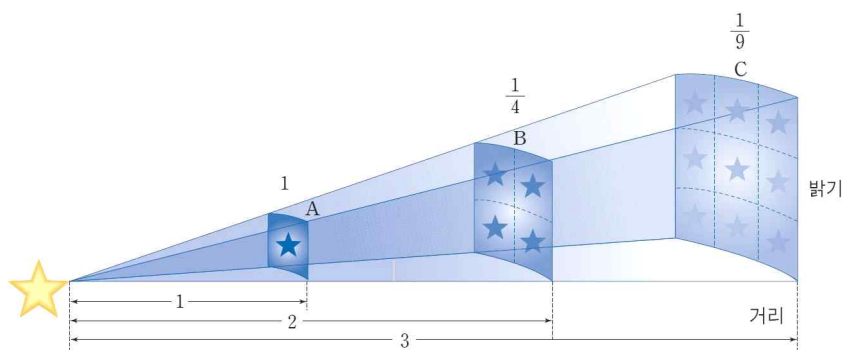
1) 겉보기 등급(실시등급): 지구에서 관측하여 보이는 밝기에 따라 별의 등급을 정한 것이다.

① BC 2세기 고대 그리스의 천문학자 히파르코스는 맨눈으로 볼 때 가장 밝게 보이는 별을 1등급, 가장 어둡게 보이는 별을 6등급으로 구분하였다.

② 영국의 포그슨은 빛 측정 장치를 이용하여 1등성이 6등성보다 약 100배 밝다는 사실을 알아내었다.

③ 5등급이 작은 별이 100배 밝으므로, 1등급 간 밝기의 비는 약 2.5배이다.

④ 밝은 별일수록 등급은 작은 값을 가진다.



별의 밝기와 등급, 거리의 관계

2) 절대 등급: 별이 10pc의 거리에 있다고 가정했을 때 밝기에 따라 정한 등급으로, 별의 실제 밝기를 비교할 수 있다.

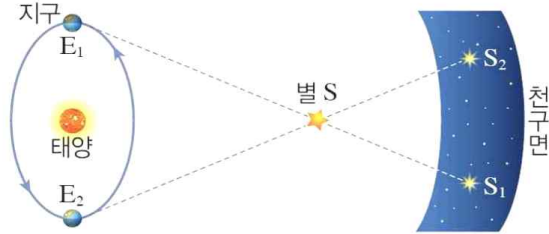
① 별의 거리가 2배, 3배 멀어지면 지구에 도달하는 빛의 양은  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ 로 줄어든다. 즉, 별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로 같은 밝기의 별이라도 거리가 멀면 어둡게 보인다.

② 절대 등급이 작은 별일수록 실제 밝기가 밝은 별, 즉 광도가 큰 별이다.

(2) 별까지의 거리

1) 연주시차를 이용한 거리 측정

① 연주시차( $p''$ ): 지구 공전 궤도의 양 끝에서 별을 바라보았을 때 생기는 각(시차)의 1/2이다.



② 별까지의 거리( $r=1/p''$ )

- 1pc=연주시차가 1''인 별까지의 거리, (1pc=3.26LY=206,265AU)
- 지구에서 가까운 거리에 있는 별일수록 연주시차가 크다.
- 연주시차가 0.01''보다 작은 별은 정확한 시차를 정하기 어려우므로 주로 100pc 이내의 가까운 별의 거리를 구할 때 이용된다.

2) 거리 지수에 의한 방법

겉보기 등급에서 절대 등급을 뺀 값을 거리 지수라고 하며, 이 값이 클수록 별까지의 거리가 멀다.  $m-M=5\log r-5$

3) 맥동 변광성을 이용한 별의 거리 측정

별의 내부 구조가 불안정하여 팽창 수축을 반복하므로 광도가 주기적으로 변하는 별을 맥동 변광성이라고 하며, 이 중 1~50일의 일정한 변광 주기를 가진 변광성을 세페이드 변광성이라고 한다. 세페이드 변광성은 변광 주기가 길수록 광도가 큰데, 이를 주기-광도 관계라고 한다.

- 세페이드 변광성의 변광 주기를 알면 광도를 알 수 있으므로 절대 등급을 구할 수 있다. 또 절대 등급을 측정하여 거리 지수를 통해 별이나 성단, 은하까지의 거리도 측정할 수 있다.

(3) 별의 표면온도

1) 별의 색깔과 표면온도

모든 물체는 그 물체의 표면온도에 따른 복사 에너지를 방출하는데, 그 온도가 낮을수록 파장이 긴 붉은색을 강하게 내고, 온도가 높을수록 파장이 짧은 파란색을 강하게 낸다(빈의 변위 법칙,  $\lambda_{max}=a/T$ ). 즉, 별이 파란색일수록 표면온도가 높고, 붉은색일수록 표면온도가 낮다.

2) 색지수

① 사진 등급( $m_p$ ): 별을 사진으로 찍어 정한 겉보기 등급.

② 안시 등급( $m_v$ ): 별을 맨눈으로 관측하여 정한 겉보기 등급

③ 파란색 고온의 별은 사진 등급이 작게 나오고, 저온의 노란색이나 붉은색 별은 안시 등급이 작게 나오는데, 이 원리를 이용해서 사진 등급에서 안시 등급을 뺀 값을 만들었는데 이를 색지수(C.I)라고 한다.

- 색지수= $m_p-m_v$

- 고온의 별은 색지수가 작게, 저온의 별은 색지수가 큰 값을 갖는다. 흰색 별은 색지수가 0이 나온다.

3) 별의 스펙트럼형과 표면온도

① 분광 관측: 별의 스펙트럼을 관측하는 것

② 분광 관측의 과학사

- 뉴턴:프리즘을 통과한 태양 빛이 무지개처럼 여러 색으로 나누어지는 것을 발견하고 이를 스펙트럼이라고 불렀으며, 여러 색으로 나누어진 빛을 합치면 흰색 빛이 되는 것을 알아내었

다.(17세기 중반)

- 프라운호퍼: 태양과 별의 스펙트럼에서 흡수선 발견: 분광기를 사용하여 태양 빛의 스펙트럼을 자세히 관찰한 결과, 연속 스펙트럼 위에 나타난 수백 개의 검은 선(흡수선)들을 확인하였다.(19세기 초)
- 피커링과 캐넌: 스펙트럼에서 흡수선 세기에 따라 별들을 분류: 수소의 흡수 스펙트럼선 세기에 따라 별의 스펙트럼을 A형 ~ P형의 16가지로 구분하였고, 캐넌은 이를 7개 유형으로 재분류하였다.(20세기 초)
- 허긴스: 성운의 스펙트럼에서 방출선 확인: 여러 성운의 스펙트럼을 관찰하여 방출선을 발견하였다.(19세기)
- 키르히호프와 분젠: 동일한 원소의 흡수선과 방출선의 위치가 같음을 발견: 금속염을 넣은 불꽃에 빛을 통과시킨 후 분산시킨 결과, 금속 원소가 빛을 흡수하여 흡수선이 나타나는 것을 관찰하였고, 그 흡수선이 금속 원소의 방출선과 같은 위치에 있음을 발견하였다.(19세기)

### ③ 스펙트럼

#### 연속스펙트럼



#### 선 스펙트럼



#### 흡수 스펙트럼



#### 스펙트럼의 종류

- 연속 스펙트럼: 고온의 광원에서 방출되는 빛의 스펙트럼으로, 무지개 색깔의 연속적인 띠로 나타난다.
- 방출 스펙트럼: 밀도가 희박한 고온의 기체가 방출하는 빛의 스펙트럼으로, 특정한 파장에서만 밝은색의 방출선이 나타난다.
- 흡수 스펙트럼: 고온의 광원 앞에 밀도가 희박한 저온의 기체가 있을 때 나타나는 스펙트럼으로, 연속 스펙트럼 중간중간 검은색 흡수선이 나타난다.

4) 별의 스펙트럼: 흡수 스펙트럼이 나타나며, 별마다 흡수 스펙트럼이 다르다.

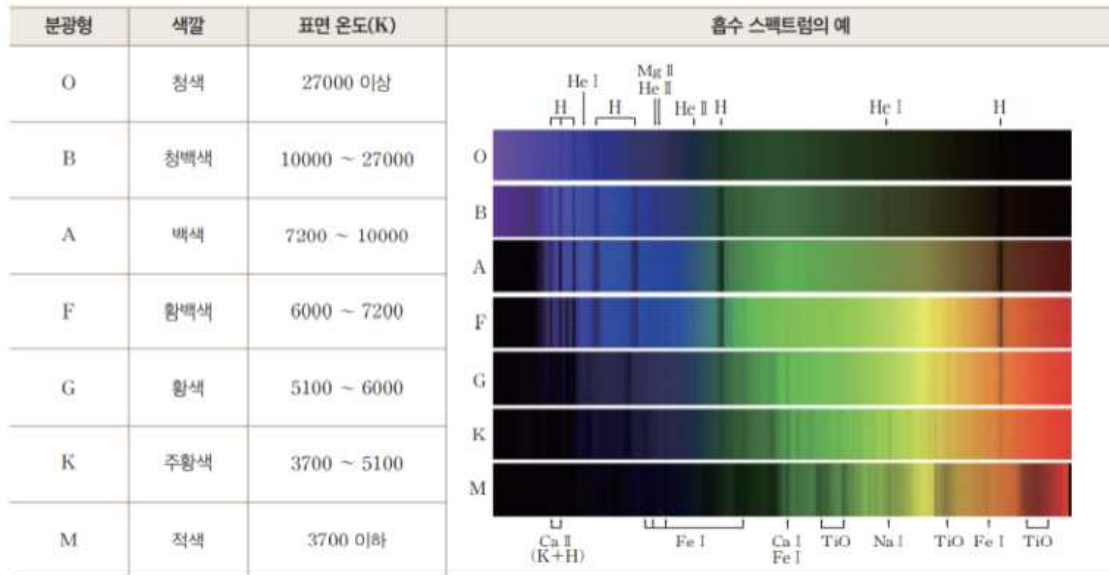
① 흡수 스펙트럼이 나타나는 까닭: 별빛이 대기를 통과할 때 대기에 존재하는 원소들이 특정한 파장의 에너지를 흡수하기 때문이다.

② 별의 구성 성분은 비슷한데 별마다 스펙트럼이 다른 까닭: 별의 표면온도가 다르기 때문이다.  
 ➔ 별의 표면온도에 따라 원소들이 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정한 흡수선을 형성하기 때문에 흡수선의 종류와 세기가 달라진다.

5) 별의 분광형(스펙트럼형): 별을 표면온도에 따라 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 종류와 세기를 기준으로 하여 고온에서 저온 순으로 O, B, A, F, G, K, M형의 7가지로 분류하는데, 이를 별의 분광형 또는 스펙트럼형이라고 한다.

➔ O형과 M형을 제외한 각 분광형은 다시 고온의 O에서 저온의 9까지, 10단계로 세분한다. 표면온도가 약 5,800K인 태양의 분광형은 G2형이다.

6) 별의 분광형과 표면온도: O형의 표면온도가 가장 높고, M형으로 갈수록 낮아진다. ➔ 분광형으로 표면온도를 추정할 수 있다.



## 2. 별의 광도와 크기

(1) 광도: 별이 단위 시간 동안 표면에서 방출하는 에너지의 총량

1) 광도는 별의 실제 밝기를 나타내며, 지구에서 별까지의 거리와 관계없이 일정한 값을 갖는다.

2) 별의 밝기는 등급으로 나타내며, 절대 등급과 겉보기 등급이 있다.

3) 별의 광도는 절대 등급으로 구한다. → 겉보기 등급은 광도뿐만 아니라 별까지의 거리에도 영향을 받기 때문이다.

### ① 절대 등급

- 별이 지구로부터 10pc의 거리에 있다고 가정했을 때의 밝기로 정한 등급

- 광도의 영향을 받는다. → 별의 광도가 클수록 절대 등급이 작다.

### ② 겉보기 등급

- 눈에 보이는 별의 밝기로 정한 등급

- 거리와 광도의 영향을 받는다. → 거리가 같은 경우 광도가 큰 별의 겉보기 등급이 작고, 광도가 같은 경우 가까운 별의 겉보기 등급이 작다.

(2) 별의 광도 측정: 별의 절대 등급을 알아낸 후, 태양의 절대 등급과 비교하여 구한다.

1) 별의 절대 등급: 별까지의 거리와 별의 겉보기 등급으로 알아낸다.

① 별까지의 거리: 별의 연주시차 등을 관측하여 구한다.

② 별의 겉보기 등급: 별의 겉보기 밝기를 관측하여 구한다.

③ 절대 등급: 별까지의 거리와 (겉보기 등급-절대 등급)의 관계를 이용하여 구한다.

2) 별과 태양의 절대 등급으로 별의 광도 구하기

① 1등급인 별은 6등급인 별보다 100배 밝고, 1등급 사이의 밝기 차는 약 2.5배이다.

② 별과 태양의 절대 등급 차이: 별의 광도가 태양 광도의 몇 배인지 알 수 있다.

③ 절대 등급이 태양보다 5등급 작은 별은 태양보다 광도가 100배 크고, 절대 등급이 태양보다 1등급 작은 별은 태양보다 광도가 약 2.5배 크다.

④ 포그슨 공식: 별의 등급과 밝기의 관계를 나타내는 관계식

별의 절대 등급과 광도를 각각 M, L이라 하고, 태양의 절대 등급과 광도를 각각 M<sub>☉</sub>, L<sub>☉</sub>이라고 하면, 포그슨 공식은 다음과 같이 나타낸다.

$$M - M_{\odot} = -2.5 \log L / L_{\odot}$$



(3) 별의 크기 측정: 슈테판·볼츠만 법칙으로 유도되는 광도 식으로 구할 수 있다.

1) 슈테판·볼츠만 법칙: 흑체가 단위 시간 동안 단위면적에서 방출하는 에너지(E)은 표면 온도(T)의 4제곱에 비례한다.

$$E = \sigma \cdot T^4$$

2) 슈테판·볼츠만 법칙으로 유도되는 광도 별의 크기: 별은 구형이므로 별의 광도(L)는 별이 단위 시간 동안 단위면적에서 방출하는 에너지에 별의 표면적을 곱하여 구한다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \rightarrow R \propto \frac{\sqrt{L}}{T^2}$$

별의 크기를 구하기 위해 알아야 하는 물리량: 표면온도(T), 광도(L)

① 별의 표면온도(T): 별의 색지수나 분광형을 관측하여 구할 수 있다.

② 별의 광도(L): 별의 절대 등급을 태양의 절대 등급과 비교하여 구할 수 있다.

(4) 별의 광도, 반지름, 표면온도 관계: 별의 광도는 반지름의 제곱에 비례하고, 표면 온도의 4제곱에 비례한다. ➡ 별의 광도를 결정하는 물리량: 표면온도, 반지름

1) 반지름이 같은 두 별의 광도 비교: 표면온도가 높은 별의 광도가 더 크다.

2) 표면온도(분광형)가 같은 두 별의 광도 비교: 반지름이 큰 별의 광도가 더 크다.

(5) 그 외 별의 크기를 구할 수 있는 방법

1) 식쌍성의 광도 곡선을 이용한 방법: 두 별이 서로의 만유인력에 묶여 공통 질량 중심 둘레를 돌고 있는 것을 쌍성이라고 한다. 이 중 두 별의 공전 궤도면에 관측자의 시선 방향과 거의 일치하여, 한 별이 다른 별을 가리기 때문에 밝기가 주기적으로 변하는 것을 식쌍성 또는 식변광성이라고 하는데, 쌍성의 접촉 시각과 공전 주기를 구하면 두 별의 크기를 구할 수 있다.

(6) 별의 질량

대체로 쌍성의 운동으로부터 구한다. 쌍성의 공전 주기와 두 별 사이의 거리를 알면 케플러 제3법칙을 이용하여 두 별의 질량을 구할 수 있다.

1) 질량이  $m_1, m_2$ 인 두 별의 공통질량 중심으로부터의 반지름이 각각  $a_1, a_2$ 인 거리에서 주기 P로 공전한다면, 케플러 제3법칙으로부터  $m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2}{G} \times \frac{a^3}{P^2}$ 의 식을 얻을 수 있다.

2) 두 별 사이의 거리 a와 공전 주기 P는 관측을 통해 구할 수 있으므로 두 별의 질량의 합을 구할 수 있다.

3) 두 별은 공통 질량 중심을 움직이므로 다음의 관계  $m_1 a_1 = m_2 a_2$ 가 성립한다. 따라서 이 식을 이용하여 별의 질량을 구할 수 있다.

(7) 별의 운동

별들도 실제로도 움직이지 않는 것처럼 보이지만, 실제로는 그들만의 고유한 운동을 한다. 하지만 지구와는 너무 거리가 멀어 거의 움직이지 않는 것과 같이 보일 뿐이다.

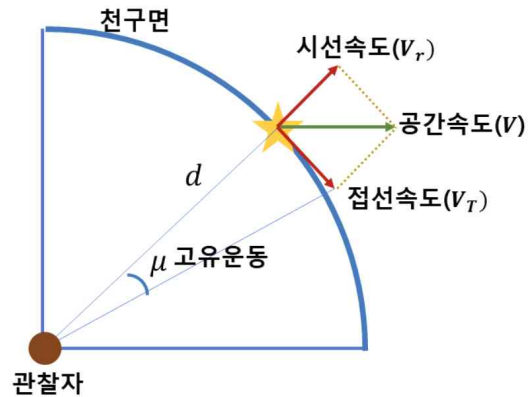
1) 별의 고유 운동

별이 1년간 천구 상에서 움직이는 운동을 별의 고유 운동이라고 한다. 그 크기는 초(") 단위로 나타내며, 그 위치가 변하는 것을 알기란 쉽지 않다. 별의 이러한 움직임을 알기 위해서는 접선 속도와 시선 속도의 개념을 알아야 한다.

2) 별의 운동 속도 구하기

일반적으로 별의 공간 운동은 우리의 시선 방향과 동일한 방향으로 항상 일어나지 않으며, 시선 방향에 수직인 접선 방향으로 일어나는 경우도 거의 없다. 일반적으로 공간 운동은 시선 방향에 대해 비스듬히 나타난다. 따라서 공간 운동은 일반적으로 시선 운동 성분과 접선 운동 성분으로 나뉜다.

시선 속도는 관측자와 별을 연결한 시선 방향의 운동 성분이며, 접선 속도는 시선 속도에 직각인 방향 즉, 천구면 상에 투영된 운동 성분이다. 별의 공간 운동은 직접 알아낼 수 없기 때문에 이 두 성분을 각각 구하고 두 속도의 합성으로 공간 운동 속도의 크기와 방향을 구하게 된다. 이 두 성분 가운데 천구면 상에서의 운동이 바로 별들의 상대적인 위치 이동을 발생시키는 성분이 된다. 별의 공간 속도는 접선 운동과 시선 운동에 대해 피타고라스의 정리에 의해 다음과 같이 구한다.



$$v = \sqrt{v_{\text{접}}^2 + v_{\text{시}}^2}$$

### 3. H-R도와 별의 분류

(1) H-R도: 별의 표면온도를 나타내는 분광형(스펙트럼형)과 별의 광도를 나타내는 절대 등급을 이용하여 별의 분포를 나타낸 그래프

1) 가로축과 세로축의 물리량

① 가로축 물리량: 별의 표면온도, 분광형(스펙트럼형), 색지수로 나타낸다.

② 세로축 물리량: 별의 광도, 절대 등급으로 나타낸다.

2) H-R도의 특징

① 가로축에서 왼쪽으로 갈수록 표면온도가 높고, 색지수가 작으며, 파란색을 띤다.

② 세로축에서 위로 갈수록 광도가 크고, 절대 등급이 작다.

③ 오른쪽 위로 갈수록 반지름이 크고, 밀도가 작다.

(2) H-R도와 별의 종류: 주계열성, 적색거성, 초거성, 백색 왜성

1) 주계열성: H-R도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 좁은 띠 영역에 분포하는 별들. 처녀자리의 스피카, 큰개자리의 시리우스 A, 태양 등

① 별의 약 90%가 주계열성에 속한다.

② 주계열성은 왼쪽 위에 분포할수록 표면온도가 높고, 광도가 크며, 질량과 반지름이 크다.

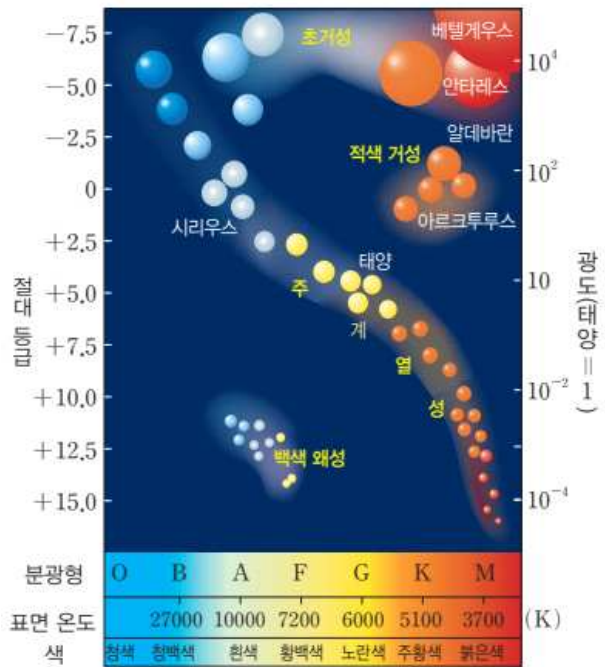
2) 적색거성: H-R도에서 주계열성의 오른쪽 위에 분포하는 별들. 황소자리의 알데바란, 목동자리의 아르크투루스 등

① 표면온도는 낮으나 반지름이 매우 크기 때문에 광도가 크다.

② 평균 밀도가 주계열성보다 작다.

3) 초거성: H-R도에서 거성보다 위쪽에 분포하는 별들. 오리온자리의 베타게우스, 전갈자리의 안타레스 등

① 거성보다 반지름이 더 크고, 광도가 매우 크다.



② 평균 밀도가 거성보다 작다.

4) 백색 왜성: H-R도에서 주계열성의 왼쪽 아래에 분포하는 별들. 시리우스 A의 동반성인 시리우스 B 등

① 표면온도가 높아 백색을 띠지만, 반지름이 매우 작아 광도가 작다.

② 크기는 지구와 비슷하지만, 질량은 태양과 비슷하여 평균 밀도가 매우 크다.

#### 4. 별의 탄생과 진화

##### (1) 별의 탄생

1) 별: 핵융합 반응으로 스스로 빛을 내는 천체

2) 별이 탄생하는 곳: 암흑 성운 내부의 밀도가 크고, 온도가 낮은 영역

3) 별이 되기 위한 최소 질량: 태양 질량의 약 0.08배

##### (2) 별의 탄생 과정



1) 성운의 중력 수축: 성운에서 밀도가 큰 영역의 중력이 강해지면 성간 물질들이 중심부를 향해 중력 수축한다. → 성운의 크기가 감소하고, 밀도가 증가하며, 온도가 상승한다.

2) 원시별 형성: 성운이 중력 수축하여 온도와 밀도가 점차 증가하면 원시별이 형성된다.

3) 전 주계열 단계의 별: 원시별은 주위 물질들을 끌어당겨 밀도가 점차 커지고 내부 온도가 높아져 열이 바깥쪽으로 전달되어 표면온도가 1,000K 정도에 이르면 가시광선의 복사 에너지가 방출되는데, 이를 전 주계열 단계의 별이라고 한다.

4) 별(주계열성) 탄생: 전 주계열 단계에서 중력 수축이 일어나 중심부 온도가 약 1,000만 K에 이르면 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 시작되어 별(주계열성)이 탄생한다.

5) 태양 질량의 약 0.08배 이하인 원시별: 중심 온도가 1,000만 K에 이르지 못해 수소 핵융합 반응이 일어나지 않으므로 행성과 비슷한 갈색 왜성이 된다.

(3) 원시별에서 주계열성으로의 진화: 원시별의 질량이 클수록 주계열 단계에 빨리 도달한다. 원시별의 질량이 클수록 중력 수축이 빠르게 일어나 주계열 단계에 빨리 도달하고, 별의 광도가 크며, 표면온도가 높은 주계열성이 된다. → H-R도에서 주계열의 왼쪽 위에 분포한다.

##### (4) 진화 단계별 특징

주계열성: 중심핵에서 수소 핵융합 반응으로 에너지를 방출하고 크기가 일정한 별로, 별은 일생의 대부분을 주계열성으로 보낸다.

① 별의 에너지원: 수소가 반응하여 헬륨을 생성하는 수소 핵융합 반응으로 빛을 낸다.

② 별의 크기: 수소 핵융합 반응이 일어나면 내부의 온도가 상승하여 압력이 커지고 내부 기체 압력 차이로 발생한 힘과 중력이 평형을 이루어 별의 크기가 변하지 않고 일정하다.

③ 별의 질량과 수명: 주계열성은 질량이 클수록 주계열에 머무는 기간이 짧아진다. → 질량이 클수록 방출하는 에너지양이 많아 연료를 빨리 소모하기 때문

---

(5) 주계열 이후 별의 진화: 별의 질량에 따라 진화과정이 달라진다.

1) 태양과 질량이 비슷한 별의 진화

① 주계열성 → 적색거성

- 주계열성 중심부의 수소가 모두 소모되어 헬륨만으로 이루어진 중심핵이 되면 더 이상 수소 핵융합 반응이 일어나지 않으므로 내부 기체의 압력보다 중력이 커져 중심핵에서 중력 수축이 일어난다.

- 이때 발생한 중력 수축 에너지에 의해 헬륨 핵을 둘러싸는 바깥쪽에서는 수소층이 가열되어 수소 핵융합 반응이 일어나 별이 팽창하면서 광도가 커지고 표면온도가 낮아져 붉게 보이는 적색거성이 된다.

- 중심핵에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나 탄소가 만들어진다.

② 적색거성 → 행성상 성운, 백색 왜성

- 적색거성 중심부의 헬륨이 소모되어 탄소 핵이 되면 중심핵에서 중력 수축이 일어난다.

- 중력 수축 에너지에 의해 탄소 핵 바깥쪽의 헬륨층과 수소층이 가열된다.

- 별은 주기적으로 팽창과 수축을 반복하는 불안정한 상태가 되다가 별의 바깥층이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 만들어지고, 중심핵은 더욱 수축되어 밀도가 매우 큰 백색 왜성이 된다.

- 백색 왜성은 이후 식어가며 우리 눈에 보이지 않는 흑색 왜성이 된다.

2) 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화

① 주계열성 → 초거성

- 태양보다 질량이 매우 큰 별은 적색거성보다 훨씬 크고 광도가 큰 초거성이 된다.

- 별의 중심부 온도가 충분히 높아서, 계속된 핵융합 반응으로 헬륨, 탄소, 산소, 네온, 마그네슘, 규소 등의 원소가 차례로 생성되고, 철까지 만들어지면 핵융합 반응이 멈춘다.

② 초거성 → 초신성

- 별의 중심부에 철로 구성된 핵이 만들어지면 급격한 중력 수축이 일어나는데, 별의 바깥층이 중심핵에 부딪히면서 거대한 폭발을 일으켜 초신성이 된다.

- 초신성 폭발 과정에서 많은 양의 에너지가 한꺼번에 발생하므로 양성자와 중성자들이 원자핵과 융합하여 금, 납, 우라늄 등 철보다 무거운 원소들이 생성된다.

- 초신성 폭발의 결과, 주변으로 잔해가 퍼져나가고, 중심핵은 중성자별이나 블랙홀이 된다.

③ 초신성 → 중성자별 또는 블랙홀

- 초신성 폭발 후 중심핵은 더욱 수축하여 중성자로 이루어지고 밀도가 매우 큰 중성자별이 된다.

- 초신성 폭발 후 중심핵의 질량이 매우 큰 경우에는 별의 중심핵이 계속 수축하여 중력이 매우 큰 블랙홀이 된다.

3) 중심핵 질량에 따른 별의 최후

① 중심핵의 질량( $M$ )이 태양 질량( $M_{\odot}$ )의 약 1.4배보다 크고 약 3배보다 작은 별은 중성자별이 되고, 태양 질량의 약 3배 이상인 별은 블랙홀이 된다.

② 블랙홀

블랙홀은 밀도와 중력이 매우 커서 빛조차도 빠져나갈 수 없다. 블랙홀 주변의 기체가 블랙홀로 빨려들 때 높은 온도로 가열되어 X선을 방출하는데, 이 X선을 관측하여 블랙홀의 존재를 알 수 있다.

(6) 별의 순환: 성운에서 태어난 별이 진화하면서 핵융합 반응으로 다양한 원소가 만들어지고, 행성상 성운과 초신성 폭발을 통해 물질 대부분이 우주 공간으로 방출된다. 이 물질은 다시 성운을 이루어 새로운 별이나 행성, 생명체를 만드는 재료가 된다.

## 제5절 은하와 우주

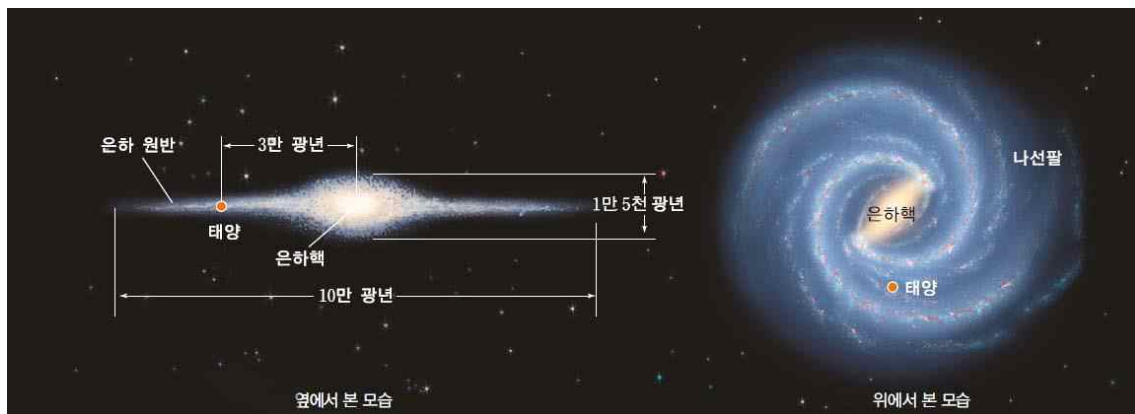
### I. 은하

#### 1. 우리은하

##### (1) 우리은하의 구조

우리은하의 나선 구조는 중성수소에서 방출되는 21cm 파장의 전파를 관측하여 밝혀냈다.

1) 모양: 우리은하는 위에서 보면 막대 모양의 중심 구조와 나선팔을 가지고 있는 막대 나선 은하이다. 옆에서 보면 중심부가 볼록한 원반 모양이다.



2) 크기: 지름은 약 30kpc(10만 광년)이고, 태양계는 은하 중심에서 약 8.5 kpc 떨어진 오리온 나선팔의 안쪽 가장자리에 위치하고 있다.

3) 구조: 팽대부, 은하 원반, 헤일로로 이루어져 있다.

① 중앙 팽대부: 은하 중심부에 별들이 모여 볼록하게 부풀어 오른 부분으로, 은하핵을 포함한 막대 구조가 가로지르고 있다. → 주로 나이가 많고 붉은색을 띠는 별들이 분포하며, 중앙 팽대부에 구상성단이 집중되어 있다.

② 은하 원반: 막대 구조의 양 끝에서 나선팔이 하나씩 뻗어 있고, 나선팔 중간쯤에서 가지가 갈라지는 구조로 되어있다. → 성간 물질이 풍부하여 나이가 적은 별들과 산개 성단이 분포한다.

③ 헤일로(halo): 우리은하를 둘러싸고 있는 공 모양의 공간 → 나이가 많고 붉은색을 띠는 별들로 이루어진 구상성단이 분포한다.

4) 우리은하의 구성: 우리은하는 별, 별의 집단으로 모여 있는 성단, 별과 별 사이에 존재하는 성간 물질 및 성운 등으로 구성되어 있다.

① 별: 우리은하를 구성하는 약 1,500억 개의 별 중에서 나이가 100억 년 이하인 별을 종족 I 이라고 하고, 100억 년 이상인 별을 종족 II라고 한다. 태양을 비롯하여 은하계 대부분의 별들이 종족 I에 속하며 은하계 질량의 대부분을 이루고 있다. 종족 II의 별들은 100억 년 전에 우주의 진화과정에서 초기에 생겨난 1세대의 별이다. 종족 II의 별 중에서 질량이 큰 별들은 빨리 진화하면서 초신성 폭발로 많은 물질을 방출한다. 이러한 물질들은 다시 모여 새로운 2세대의 별이 탄생하게 되고, 이렇게 새로운 별들이 종족 I을 이룬다.

② 성간 물질: 별들 사이에는 완전한 진공이 아니고 방대한 양의 기체와 티끌이 있는데, 이를 성간 물질이라고 한다. 대체로 나선팔에 많이 분포되어 있다. 성간 물질 중 약 99%가 기체로 이루어져 있으며, 주성분은 수소와 헬륨이다. 그 외에도 탄소, 질소, 일산화탄소, 암모니아 등이 소량 포함되어 있다. 고온의 별 주변에 있는 성간 기체는 전리된 수소가 대부분이며, 온도가 높고, 밀

도는 낮다. 성간 물질의 나머지는 성간 티끌이라고 불리는 작은 고체 알갱이이다. 얼음, 규산염, 흑연 등으로 이루어져 있으며, 이러한 티끌은 별빛을 흡수하거나 산란시켜 성간 소광, 성간 적색화, 성간 편광 등과 같은 여러 가지 현상을 일으키기도 하고, 암흑 성운이나 반사성운으로 관측되기도 한다.

③ 성운: 성간 물질이 밀집되어 육안이나 사진에 구름처럼 보이는 것을 성운이라고 한다. 온도가 낮아 스스로 빛을 내지 못하게 뒤쪽에서 오는 별빛을 차단하여 검게 보이는 암흑 성운, 고온의 별빛에 의해 가열되어 스스로 빛을 내는 방출 성운, 주위의 별빛을 받아서 반사하는 반사성운이 있다.



### 성운의 종류

(2) 우리은하의 회전 속도 분포와 질량

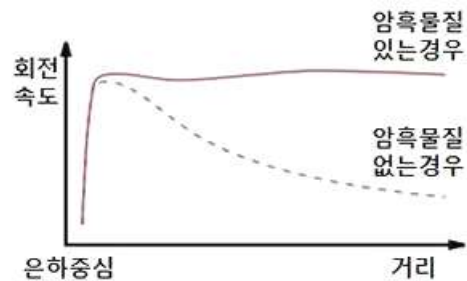
1) 태양계 부근에서 별의 공간: 운동 케플러 제 3법칙에 따라 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하므로 태양에 대한 상대 속도가 다르게 나타난다.

① 태양보다 바깥쪽 궤도에서 회전하는 별들은 회전 속도가 느리므로 태양보다 뒤쳐지는 것처럼 보인다.

② 태양보다 안쪽 궤도에서 회전하는 별들은 회전 속도가 빠르므로 태양을 앞질러가는 것처럼 보인다.

③ 태양의 공전 속도는 약 250km/s이며, 공전 주기는 약 2억 5천만 년 정도이다.

2) 예측한 회전 속도 곡선: 우리은하에서 빛을 내는 (전자기파로 관측되는) 물질은 대부분 태양계 안쪽에서 관측된다. 우리은하의 질량이 은하 중심에 집중되어 있다면, 은하 외곽에서는 케플러 회전을 하여 회전 속도가 감소할 것으로 예측된다.



3) 실제 회전 속도 곡선: 관측 결과 은하 외곽에서 회전 속도가 감소하지 않고 거의 일정하게 나타난다.

➔ 우리은하의 질량이 은하 중심에 집중되어 있지 않으며, 외곽에도 빛을 내지 않지만, 상당한 질량을 가진 물질이 존재한다고 추정할 수 있다.

4) 우리은하의 질량 측정 방법

① 역학적인 방법: 별이 은하 중심 주위를 회전할 때, 궤도 안쪽에 있는 물질이 별에 미치는 만유인력은 별의 구심력과 같다는 관계를 이용하여 은하의 질량을 구할 수 있다.

$$G \frac{M_{\text{은하}} m_{\text{별}}}{r^2} = \frac{m_{\text{별}} v^2}{r} \Rightarrow M_{\text{은하}} = \frac{rv^2}{G} \quad (G: \text{만유인력상수})$$

- 태양계 안쪽의 은하 질량: 태양의 회전 속도로 구할 수 있으며, 태양 질량의 약  $10^{11}$ 배이다.

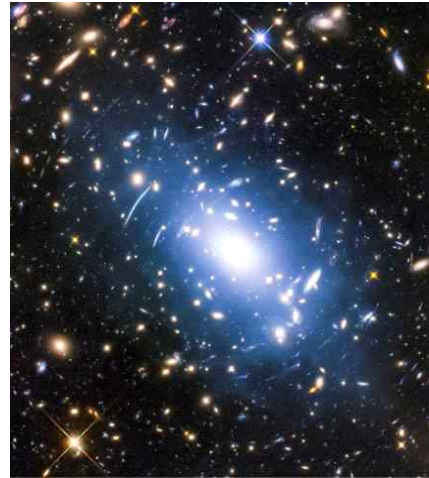
- 우리은하의 질량: 우리은하 최 외곽부의 회전 속도로 구할 수 있으며, 태양 질량의 약  $1.845 \times 10^{11}$ 배이다.

- 태양 궤도 안쪽의 질량과 비슷한 정도로 바깥쪽에도 물질이 분포하는 것으로 계산된다.

② 광학적인 방법: 우리은하에서 빛을 내는 물질들의 광도로 은하의 질량을 추정할 수 있으며,

광학적으로 추정된 값이 역학적으로 계산한 값보다 작다.  
 ➔ 태양계 안쪽뿐만 아니라 바깥쪽에도 암흑 물질이 많이 존재하는 것으로 추정된다.

- 암흑 물질: 빛을 방출하지 않아 보이지 않지만, 질량을 가지는 미지의 물질로, 중력적인 방법으로 존재를 추정한다.
- 중력렌즈 현상: 매우 멀리 떨어진 천체에서 나온 빛은 지구까지 오는 도중에 은하 및 은하단과 같은 거대한 천체의 중력장의 영향을 받아 굴절되는데, 이때 빛은 굴절되어 한곳에 모이지 않고 여러 개의 상을 만들게 된다. 실제 우주에서는 거대한 광학렌즈가 존재하지 않지만, 중력이 매우 큰 천체들이 빛의 방향을 바꾸는 렌즈 역할을 하므로 이를 중력렌즈라고 한다. 천체의 질량이 클수록 공간의 휨 정도도 커진다.



중력렌즈 현상

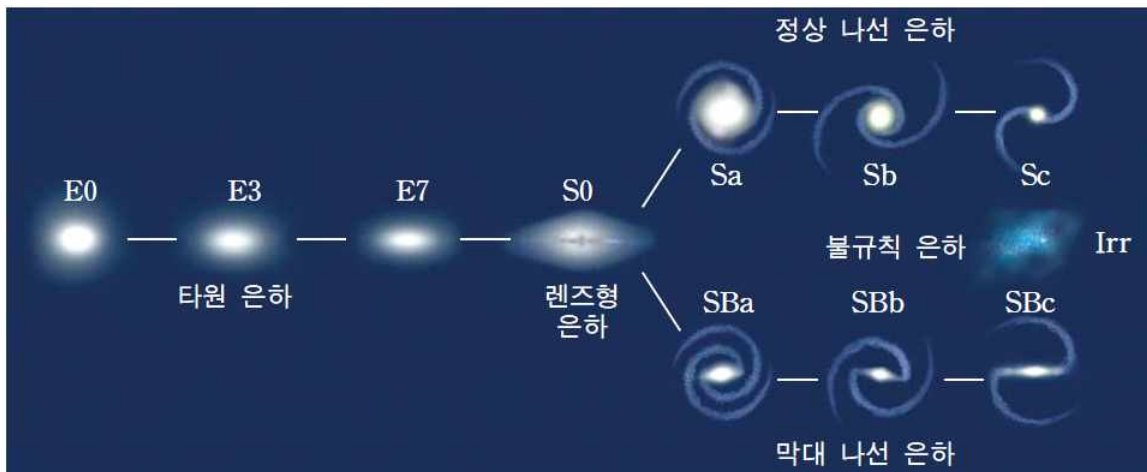
## 2. 외부 은하

### (1) 외부 은하

1) 외부 은하: 우리은하 바깥에 존재하는 은하

2) 허블의 외부 은하의 발견: 세페이드 변광성을 이용하여 당시 안드로메다 성운으로 알려진 천체의 거리를 측정 ➔ 안드로메다 성운이 우리은하의 지름보다 멀리 떨어져 있는 외부 은하라는 사실을 밝혀냈다.

(2) 허블의 은하 분류: 허블은 외부 은하를 형태(모양)에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다. 허블의 은하 분류는 은하의 진화 순서와는 상관이 없는 형태학적 분류 체계이다.



### 은하의 분류

1) 타원 은하: 매끄러운 타원 모양이고 나선팔이 없는 은하

- ① 대부분의 별들이 질량이 작고 나이가 많아 대체로 붉은색을 띤다.
- ② 모양이 구에 가까운 것은 E0, 가장 납작한 것은 E7로 세분하였다.
- ③ 성간 물질이 적어 새로운 별의 탄생은 거의 없다.
- ④ 예: 처녀자리의 M87은 E1형 은하이고, 안드로메다자리의 M110은 E5형 은하이다.

2) 렌즈형 은하: S0형으로 나타내며, 타원 은하와 나선 은하의 중간에 속한다. 성간 물질이 거의 없고 나선팔이 보이지 않으며, 나선 은하처럼 납작한 원반을 이루고 있다.

---

3) 나선 은하: 은하 중심부를 나선팔이 감싸고 있는 은하

① 구분: 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하(S)와 막대 나선 은하(SB)로 구분한다. ➔ 정상 나선 은하는 나선팔이 은하핵에서 직접 뻗어 나오고, 막대 나선 은하는 막대 구조의 양 끝에서 뻗어 나온다.

② 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 a, b, c로 세분한다. ➔ a에서 c로 가면서 은하 전체에 대한 은하 중심부의 비율이 작아지고 나선팔의 감김이 느슨해진다.

③ 나선팔에는 성간 물질이 많아 젊고 파란색의 별들이 주로 분포하고, 은하핵에는 늙고 붉은색의 별들이 주로 분포한다.

④ 예: 안드로메다은하는 대표적인 정상 나선 은하이며, 우리 은하는 막대 나선 은하에 해당한다 (SBb형 또는 SBc형 은하로 분류).

4) 불규칙 은하: 모양이 일정하지 않고 규칙적인 구조가 없는 은하. Irr로 표시.

① 보통 규모가 작고, 성간 물질이 많으며, 젊은 별을 많이 포함하고 있다.

② 예: 대마젤란은하와 소마젤란은하는 대표적인 불규칙 은하이다.

(3) 특이 은하

1) 전파 은하: 일반 은하보다 수백~수백만 배 이상의 강한 전파를 방출하는 은하

① 전파 영역에서 보면, 중심핵 양쪽에 강력한 전파를 방출하는 로브(lobe)라고 하는 둥근 돌출부가 있고 중심핵에서 로브로 이어지는 제트가 대칭적으로 관측된다. ➔ 은하 중심부에서 일어나는 폭발적인 에너지 생성과 관련이 있다.

② 모양: 가시광선 영역에서 대부분 타원 은하로 관측된다.

③ 예: 타원 은하인 M87과 센타우루스 A라고 불리는 NGC 5128이 대표적인 전파 은하이다.

2) 세이퍼트 은하: 보통 은하에 비해 아주 밝은 핵과 넓은 방출선을 보이는 은하

① 미국의 천문학자 칼 세이퍼트가 발견한 은하의 일종으로, 은하 중심부가 예외적으로 밝고 푸른색을 띠고 있다.

② 은하 전체의 광도에 대한 중심부 광도가 매우 크고, 스펙트럼상에 넓은 방출선이 보인다.

③ 넓은 방출선이 보인다는 것은 은하 내의 가스 구름이 매우 빠른 속도로 움직이고 있다는 것을 의미한다. ➔ 은하 중심부에 질량이 매우 큰 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

④ 모양: 가시광선 영역에서 대부분 나선 은하로 관측되고, 전체 나선 은하들 중 약 2%가 세이퍼트 은하로 분류된다.

⑤ 예: NGC 1068(M77), NGC 4151 등은 나선 은하로 관측되는 세이퍼트 은하이다.

3) 퀘이사: 매우 멀리 있어 별처럼 보이지만 일반 은하의 수백 배 정도의 에너지를 방출하는 은하

① 적색 편이가 매우 크며, 이를 이용해 거리를 계산해 보면 퀘이사까지의 거리가 100억 광년 이상인 것도 관측된다. ➔ 퀘이사는 초기 우주에서 형성된 천체라는 것을 알 수 있다.

② 가시광선뿐만 아니라 모든 파장 영역에서 매우 강한 에너지를 방출하며, 은하 전체의 광도에 대한 중심부의 광도가 세이퍼트 은하보다 크다.

③ 막대한 양의 에너지가 방출되지만 크기는 태양계 정도이다.

➔ 퀘이사의 중심에 질량이 매우 큰 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

④ 예: 3C 273은 별처럼 보이지만 매우 멀리 있는 퀘이사이다.

(4) 외부 은하의 분포

은하들은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 다양한 규모의 집단을 이루고 있다.

1) 가까이 있는 은하들 사이에는 중력이 작용하여 집단을 이룬다.

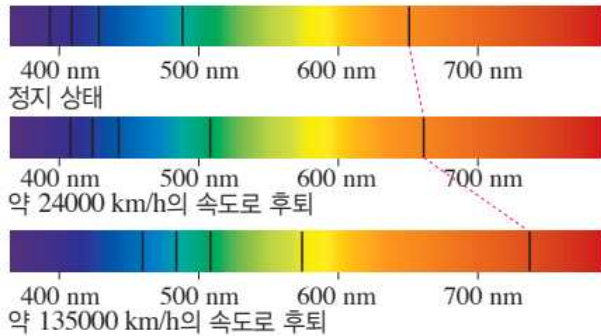
2) 은하의 집단: 은하들이 모여 있는 규모에 따라 은하군, 은하단, 초은하단으로 구분한다.



3. 허블 법칙과 우주의 팽창

(1) 허블 법칙

1) 외부 은하의 스펙트럼 관측: 허블은 거리가 알려진 외부 은하의 스펙트럼을 조사한 결과 대부분의 은하에서 적색 편이를 관측하였다.



은하의 후퇴 속도에 따른 스펙트럼

- ① 적색 편이: 스펙트럼에서 흡수선의 위치가 원래의 위치보다 파장이 긴 붉은색 쪽으로 이동하는 현상
- ② 적색 편이가 나타나는 이유: 외부 은하가 우리은하로부터 멀어지고 있기 때문이다.
- ③ 외부 은하의 적색 편이량과 후퇴 속도의 관계: 스펙트럼 흡수선의 파장 변화량을  $\Delta\lambda$ 라고 하면, 외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )는 다음과 같다.

$$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \times c \quad (\lambda: \text{원래의 흡수선 파장}, \Delta\lambda: \text{파장의 변화량}, c: \text{빛의 속도})$$

➡ 적색 편이량이 큰 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다.

2) 허블 법칙: 은하의 후퇴 속도( $v$ )는 그 은하까지의 거리( $r$ )에 비례한다는 법칙

$$v = H \cdot r \quad (H: \text{허블 상수})$$

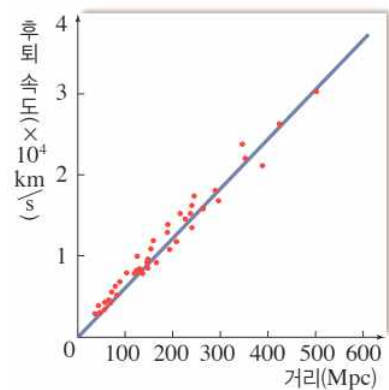
① 허블 상수( $H$ ): 외부 은하의 후퇴 속도와 거리 사이의 관계를 나타내는 비례 상수

- 우주가 얼마나 빠르게 팽창하는지를 나타낸다.

- 그래프에서 기울기는 허블 상수( $H$ )를 의미한다. ➡ 기울기가 클수록 허블 상수가 크다.

- 허블 상수는 관측값의 정확도에 따라 달라지는데, 최근의 연구에 의하면 허블 상수는 약 68km/s/Mpc이다. 이는 은하의 거리가 1Mpc 늘어날 때마다 은하의 후퇴 속도가 약 68km/s 증가한다는 의미이다.

② 허블 법칙의 의미: 멀리 있는 은하일수록 더 빠른 속도로 멀어진다. ➡ 우주가 팽창하고 있다는 확실한 증거이다.



(2) 우주의 팽창과 크기

1) 우주의 팽창

① 허블의 법칙에 의하면 우주 공간이 팽창하여 은하들 사이의 거리가 멀어지고 있다.

② 팽창하는 우주의 중심: 우리은하가 우주의 중심이 아니며, 팽창하는 우주의 중심을 정할 수 없다. ➡ 우리은하가 아닌 다른 은하에서 관측하더라도 은하는 서로 멀어지고 있기 때문

③ 팽창하는 우주의 시간을 거꾸로 돌리면 먼 과거에 우주는 한 점에 모여 있었다고 추측할 수 있다. ➡ 우주는 초고온, 초고밀도 상태의 한 점에서 팽창하여 현재의 저온, 저밀도 상태로 되었다는 빅뱅 우주론의 근거가 되었다.

2) 우주의 나이와 크기

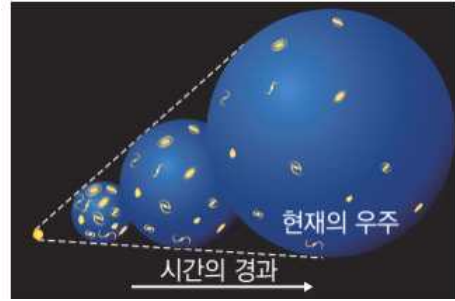
허블 상수(H)를 이용하면 우주의 나이와 크기를 알아낼 수 있다.

① 우주의 나이(t): 과거 어느 시점에 한 점에 모여 있던 은하가 현재의 속력(v)으로 현재의 거리(r)만큼 멀어지는 데 걸린 시간(t)이다.

우주의 팽창 속도가 일정하다면  $\frac{r}{v}$ , 즉  $\frac{1}{H}$ 은 우주의 나이가 된다.

② 우주의 크기

아인슈타인의 상대성 이론에 의하면 외부 은하의 후퇴 속도는 광속(c)을 넘을 수 없다. 허블이 법칙에서  $v = c$ 를 넣어 계산하면, 우주의 크기(반경)는  $\frac{c}{H}$ 가 된다.



4. 우주의 기원

우주론의 원리에 의하면, 우주는 어디에서 어느 방향으로 관측하더라도 같게 보인다.(등방성)

구분	빅뱅 우주론	정상 우주론	
모형			
주창자	가모 등	호일 등	
특징	질량	빅뱅 이후 우주가 팽창하는 과정에서 우주의 총 질량에는 변화가 없다.	우주가 팽창하면서 새로 생긴 공간에 물질이 계속 생성되어 우주의 총 질량이 증가한다.
	밀도	팽창을 통해 부피는 커지고 질량은 변화가 없으므로 우주의 밀도는 감소한다.	일정하다.
	온도	감소한다.	일정하다.

(1) 우주론

1) 허블 법칙 이전의 우주론: 정적인 우주론, 동적인 우주론

2) 허블 법칙 이후의 우주론: 우주 팽창의 개념을 포함하는 정상 우주론과 빅뱅(대폭발) 우주론으로 발전하였다.

① 정상 우주론: 우주가 팽창하여도 우주의 온도와 밀도는 변하지 않고 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론

② 빅뱅 우주론: 우주의 모든 물질과 에너지가 온도와 밀도가 매우 높은 한 점에 모여 있다가 빅뱅(대폭발)을 일으켜 팽창하면서 냉각되어 현재와 같은 우주가 되었다는 이론

(2) 빅뱅 우주론의 증거

1) 우주 배경 복사: 빅뱅 약 38만 년 후 원자가 형성되면서 물질로부터 빠져나와 우주 전체에 균일하게 퍼져있는 빛

① 우주 배경 복사의 예측과 발견: 우주가 빅뱅으로 팽창했다면, 우주의 온도가 약 3000K일 때 물질과 분리되어 빠져나온 빛이 지금쯤이면 온도가 낮아지고 파장이 길어져 마이크로파로 발견 될 것이다(1948 가모). → 1965년 펜지어스와 윌슨이 안테나로 전파를 연구하던 중, 하늘의 모

든 방향에서 거의 같은 세기로 검출되는 마이크로파를 발견했는데, 이는 약 2.7 K 물체에서 방출하는 복사와와 파장이 일치하였다.

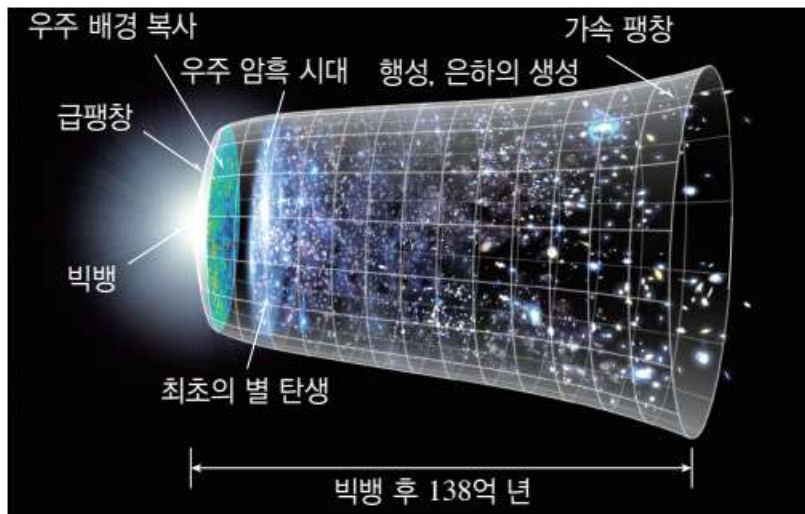
② 우주 배경 복사의 분포: 1965년 펜지어스와 윌슨이 최초로 관측한 이후 다양한 우주 망원경을 통해 우주 배경 복사에 존재하는 온도 차이를 더욱 정밀하게 관측하였다.

2) 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비

① 빅뱅 우주론에서 예측한 수소와 헬륨의 질량비: 우주 초기에 생성된 양성자와 중성자의 개수비는 약 7 : 1이었다. → 핵 합성 후 남아있는 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 3 : 1이다.

② 선 스펙트럼으로 확인한 수소와 헬륨의 질량비: 별빛의 선 스펙트럼 분석 결과, 우주는 대부분 수소와 헬륨으로 이루어져 있고 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1임을 알아내었다. → 빅뱅 우주론에서 계산한 값과 일치하므로 빅뱅 우주론의 증거가 된다.

(3) 표준 우주 모형



1) 표준 우주 모형: 급팽창 이론을 포함한 빅뱅 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함된 최신의 우주 모형 → 지금까지 이루어진 우주 관측 사실들을 잘 설명한다.

2) 우주를 구성하는 요소들의 분포비: 최근 플랑크 망원경 관측 결과를 표준 우주 모형으로 계산해 보면, 우주를 구성하는 요소들은 암흑 에너지가 68.3 %, 암흑 물질이 26.8 %, 보통 물질이 4.9 %를 차지한다.

(4) 우주의 미래

우주의 밀도에 따라 우주의 수축과 팽창 여부가 결정된다.

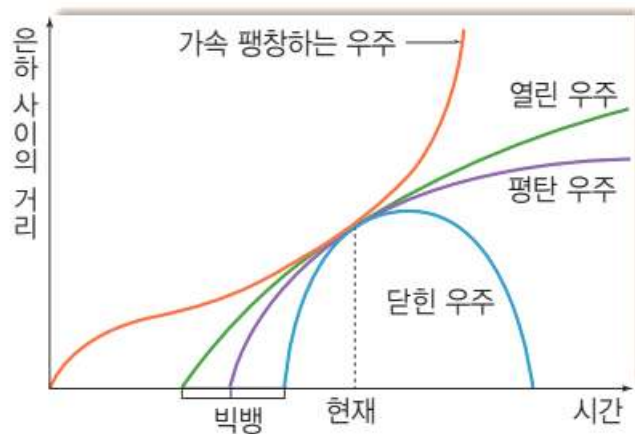
1) 임계 밀도: 암흑 에너지가 없는 우주가 팽창하다가 서서히 감속되어 팽창을 멈추고 일정한 크기가 유지될 때의 밀도

2) 우주의 미래 모형(암흑 에너지가 없을 때)

① 열린 우주: 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작을 때 우주는 영원히 팽창하는 열린 우주가 된다.

② 닫힌 우주: 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 클 때 중력의 작용이 우세하여 우주의 팽창 속도가 계속 감소하면서 우주의 크기가 다시 감소하는 닫힌 우주가 된다.

③ 평탄 우주: 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같을 때 우주의 팽창 속도가 점점 감소하여 0에 수렴하는 평탄한 우주가 된다.



시간에 따른 우주의 팽창

④ 암흑 에너지가 존재하는 것으로 확인된 현대 우주론에서는, 현재 우주는 평탄 우주이지만 가속 팽창 우주 모델로 전환되는 중인 것으로 알려져 있다.

## 제6절 천체 망원경과 외계 생명체 탐사

### I. 광학 망원경

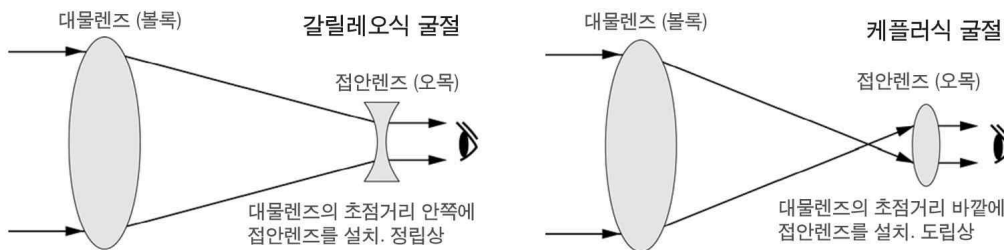
#### 1. 광학 망원경

천체로부터 오는 가시광선을 모아서 관측하는 망원경을 말한다. 렌즈나 거울을 이용한다. 빛을 모으는 방식에 따라 굴절 망원경과 반사 망원경으로 구분된다.

(1) 굴절 망원경 : 대물렌즈(볼록 렌즈)로 빛을 모으고, 접안렌즈로 상을 확대하여 천체를 관측하는 망원경이다.

1) 갈릴레오식 : 접안렌즈로 오목 렌즈를 사용하여 정립상으로 보이지만 시야가 좁다. 현재는 천체 망원경으로 사용하지 않는다.

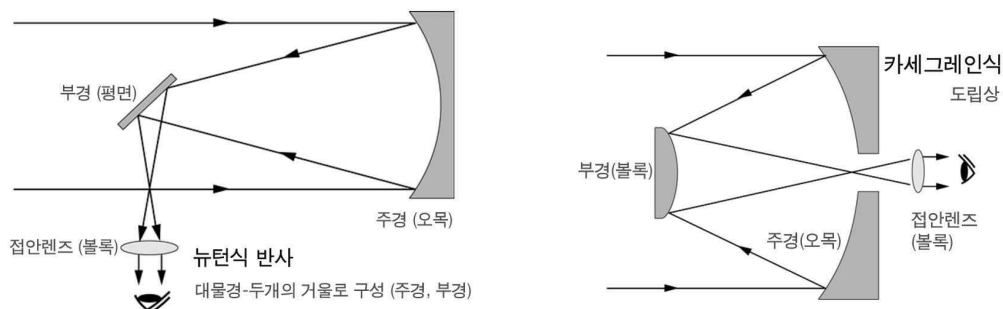
2) 케플러식 : 접안렌즈로 볼록 렌즈를 사용하여 도립상으로 보인다. 시야가 넓어 천체 관측에 많이 이용된다.



(2) 반사 망원경 : 주경(오목거울)으로 빛을 모으고, 접안렌즈로 물체의 상을 확대하여 천체를 관측하는 망원경이다.

1) 뉴턴식 : 부경으로 평면거울을 사용하며, 경통 내부로 빛이 들어오는 방향과 접안렌즈로 관측하는 방향이 직각이다.

2) 카세그레인식 : 부경으로 볼록 거울을 사용하며, 경통 내부로 빛이 들어오는 방향과 접안렌즈로 관측하는 방향이 일치한다.



#### (3) 망원경의 성능

대물렌즈 또는 주경의 지름을 구경이라고 하며, 구경이 클수록 천체 망원경의 성능이 우수하다.

1) 집광력 : 망원경이 빛을 모을 수 있는 능력을 수치로 나타낸 것으로, 집광력이 클수록 어두운 천체도 관측할 수 있다. 집광력은 구경의 제곱에 비례한다.  $\Rightarrow$  집광력  $\propto D^2$  (D:구경)

2) 분해능 : 망원경으로 인접한 물체를 구분하여 볼 수 있는 능력으로, 최소 각거리( $\theta$ )로 나타낸다. 동일한 파장을 관측할 때는 구경이 클수록 최소 각거리가 감소하여 분해능이 좋아진다.  $\Rightarrow$  분해능(최소 각거리)  $\propto \lambda/D$  ( $\lambda$ :파장, D:구경)

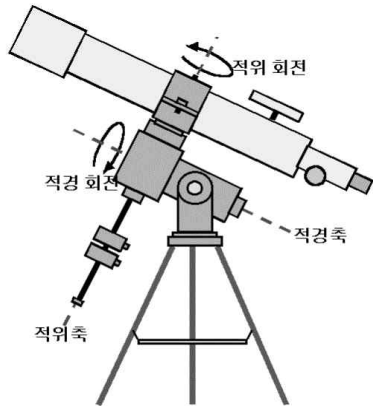
③ 배율(확대능) : 망원경을 통해 본 상의 크기와 맨눈으로 본 상의 크기의 비율로, 배율이 높아지면 상은 커지지만, 시야가 좁아지고 상이 어두워진다. 배율은 대물렌즈의 초점 거리를 접안렌즈의 초점 거리로 나눈 값이다. → 배율=f/F (F:대물렌즈의 초점거리, f:접안렌즈의 초점거리)

\*망원경의 특징 비교

- 굴절 망원경과 반사 망원경의 상대적 특징을 알 수 있다.

굴절 망원경	반사 망원경
색수차가 있다.	색수차가 없다.
경통 내부가 밀폐되어 있어서 상이 안정적이다.	경통 내부가 개방되어 있어서 공기의 흐름 때문에 상이 불안정하다.
대구경 제작이 어렵고 제작비가 많이 든다.	대구경 제작이 가능하고, 같은 구경일 때 경통 길이가 짧다.
행성이나 달을 고배율로 관측하기에 좋다.	성단, 성운, 은하 등 어두운 천체를 관측하기에 좋다.

#### (4) 적도의식 망원경의 설치 순서



삼각대 조립 → 가대 설치 → 균형추 달기 → 경통 조립 → 균형 맞추기 → 파인더 조정 → 극축 맞추기 → 관측

\* 파인더: 주 망원경에 달린 배율이 낮은 작은 보조 망원경으로, 넓은 영역을 볼 수 있어서 목표로 하는 천체를 시야에 넣는 용도로 사용한다.

\* 극축 맞추기: 자동 추적 장치를 이용하여 천체를 관측하거나 사진을 찍으려면 극축을 정확히 맞추어야 한다. 극축 맞추기란 적도의식 망원경의 극축(적경 축)을 북극을 향하도록 하는 것으로 극축을 맞추어 두어야만 지구 자전에 따른 별의 일주 운동을 추적하면서 계속 관측할 수 있다.

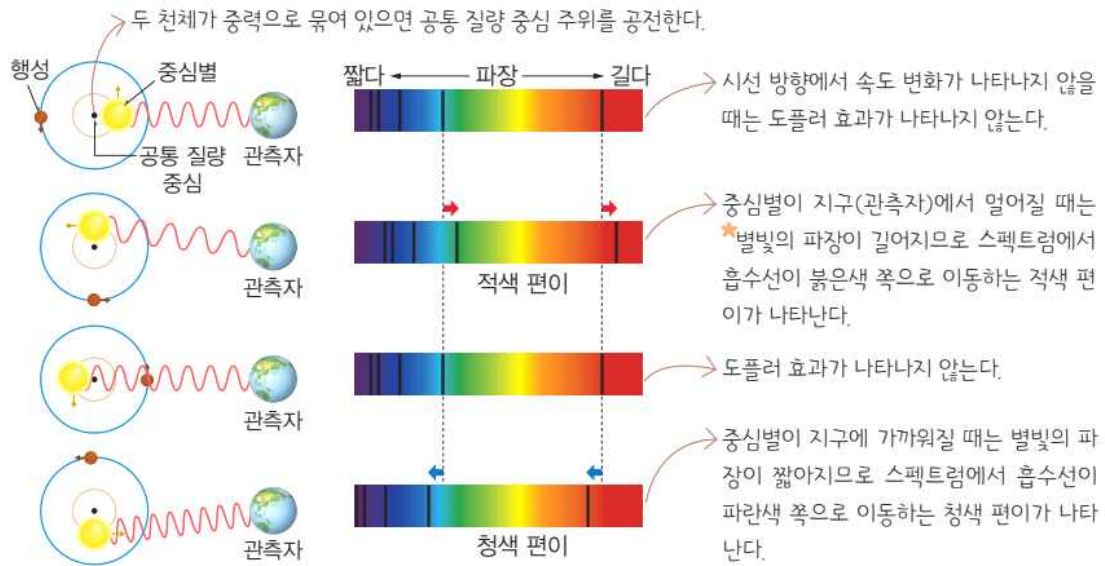
## II. 외계 행성과 생명체 탐사

### 1. 외계 행성의 탐사 방법

행성은 별에 비해 크기가 작고 스스로 빛을 내지 않아 매우 어두워 외계 행성을 직접적으로 관측하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 외계 행성은 주로 별을 이용하여 간접적인 방법으로 탐사한다.

(1) 도플러 효과 이용: 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법

1) 행성과 중심별은 공통 질량 중심 주위를 공전하므로 별빛의 도플러 효과가 나타난다. → 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화로 외계 행성의 존재를 확인할 수 있다.

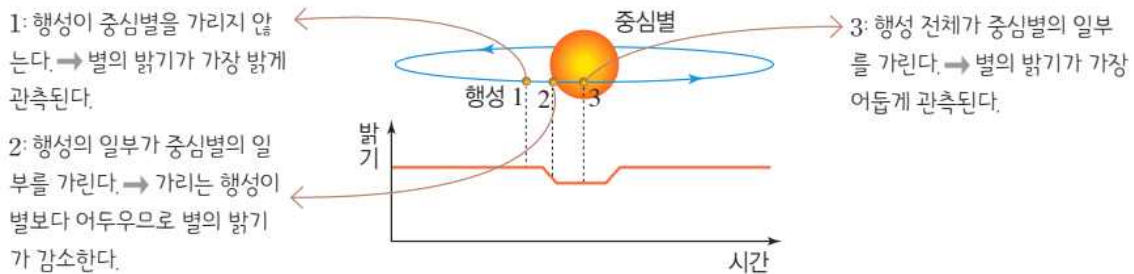


\* 도플러 효과: 소리나 빛과 같은 파동이 관측자의 시선 방향에서 멀어지면 파장이 길어지고, 가까워지면 파장이 짧아지는 현상이다.

2) 행성의 질량이 클수록 별의 움직임이 커서 별빛의 도플러 효과가 크게 나타나 행성의 존재를 더욱 쉽게 확인할 수 있다.

(2) 식 현상 이용

1) 중심별 주위를 공전하는 행성이 별의 앞면을 통과하면 별의 밝기가 감소한다. → 중심별의 주기적인 밝기 변화로 외계 행성의 존재를 확인할 수 있다.



2) 특징

① 행성의 반지름이 클수록 별의 밝기가 크게 감소하므로 탐사에 효과적이다.

② 중심별의 밝기가 감소하는 시간 또는 밝기 변화량을 측정하여 행성의 반지름을 추정할 수 있다.

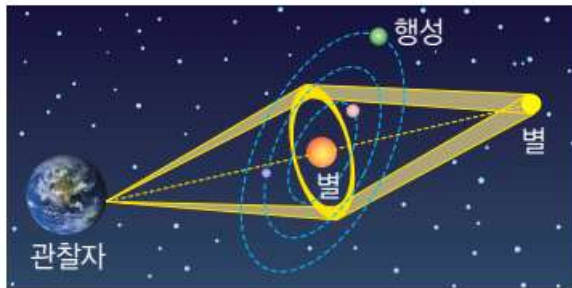
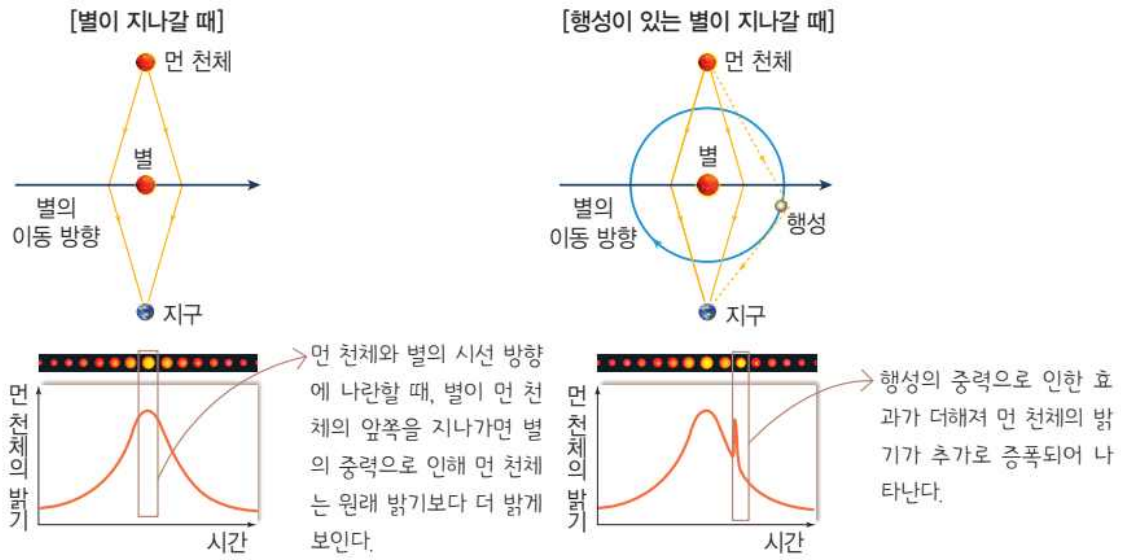
③ 식 현상이 일어날 때 행성 대기를 통과하는 별빛을 분석하면 행성의 대기 성분을 알 수 있다.

3) 한계점: 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 거의 나란한 경우에만 이용할 수 있고, 별끼리 식 현상을 일으키는 것과 구분하기 힘들다.

(3) 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법

1) 미세 중력 렌즈 현상: 두 천체가 같은 시선 방향에 있을 때 뒤쪽에 있는 천체에서 오는 빛이 앞쪽에 있는 별의 중력에 의해 미세하게 굴절되는 현상

2) 앞쪽 별이 행성을 가지고 있다면, 행성의 중력으로 추가적인 밝기 증가가 나타나 먼 천체의 밝기 변화가 불규칙해진다. → 먼 천체의 밝기 변화로 외계 행성의 존재를 확인할 수 있다.



중력렌즈 현상을 이용한 행성 관측

3) 특징

- ① 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 나란하지 않아도 행성을 발견할 수 있다.
  - ② 지구와 같이 질량이 작은 행성과 공전 궤도 긴반지름이 큰 행성을 탐사할 때 유리하다.
- 4) 한계점: 외계 행성계가 먼 천체 앞을 여러 번 지나가지 않으므로 주기적인 관측이 불가능하고, 항상 하늘을 관측해야 한다. ➡ 다른 두 방법보다 발견된 외계 행성의 수가 적다.



## Chapter 3. 대기과학

### 제1절 구름과 강수

#### I. 대기 중의 수증기

##### 1. 수증기

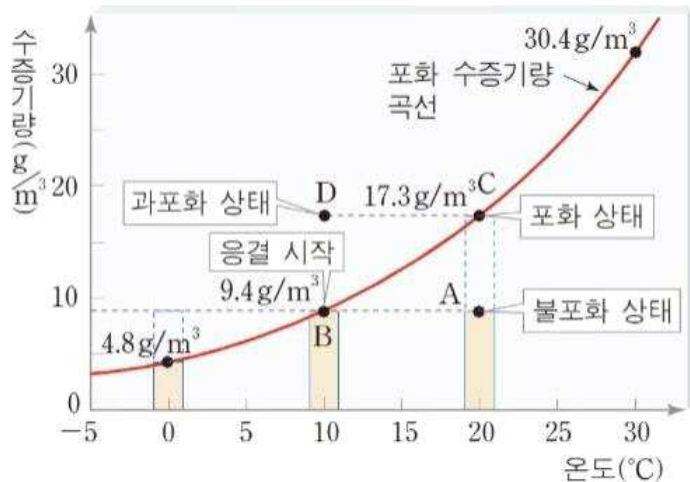
##### (1) 공기 중의 수증기량

1) 수증기량: 공기 중에 들어있는 수증기의 양을 수증기량 또는 현재 수증기량 이라고 하며 공기 1kg 속에 들어있는 수증기의 질량(g/kg)으로 나타낸다.

2) 수증기압: 공기 중에 들어있는 수증기가 나타내는 압력을 수증기압 또는 현재 수증기압이라고 하며 단위는 hpa를 주로 쓴다.

① 변화의 요인: 공기 중에 수증기량이 많을수록 수증기압은 크다.

② 현재 수증기압(량)은 이슬점에서의 포화수증기압(량)과 같다.



##### 포화수증기량(압) 곡선

3) 포화 수증기압: 공기 중에 수증기가 최대로 포함될 수 있는 양은 기온에 따라 달라진다. 주어진 온도에서 공기 중에 수증기가 최대로 포함되어 있을 때를 포화상태라고 하며, 그때의 수증기량을 포화 수증기량, 수증기압을 포화 수증기압이라고 한다.

① 포화 상태일 때는 물이 증발하려는 힘과 응결하려는 힘이 같은 상태이다.

② 포화 되기 전을 불포화, 이 이상의 상태를 과포화라고 한다.

③ 온도가 높아질수록 포화 수증기압은 증가한다.

4) 절대습도: 공기 1kg 속에 포함된 수증기의 양을 g수로 나타낸 값. 단위는 g/kg을 사용한다.

5) 상대습도: 현재 온도에서 최대로 포함할 수 있는 수증기량(압)에 대한 현재 공기중의 수증기량(압)을 백분율로 나타낸 것.

$$\text{상대습도}(\%) = \frac{\text{현재 수증기압}}{\text{포화 수증기압}} \times 100$$

① 하루 중 절대습도는 크게 변하지 않지만, 상대습도는 기온의 일변화에 따라 낮에는 낮고, 새벽이나 밤에는 높다.

② 일교차가 큰 날은 상대습도의 변화가 크고 일교차가 작은 날은 상대습도의 변화가 작다.

6) 이슬점: 불포화된 공기를 냉각시키면 수증기의 응결이 시작되는 온도에 도달하는데, 이때 온도를 이슬점이라고 한다. 이슬점은 수증기의 양에 따라 달라지므로 절대습도와 같이 공기 속에 있는 수증기의 양을 나타내는 기준이 된다.

(2) 불포화, 포화, 과포화

- 불포화: 증발량이 응결량보다 많은 상태, 포화수증기량 곡선의 아래, 기온이 이슬점보다 높아 상대습도가 100%보다 작다.

- 포화: 증발량과 응결량이 같은 상태, 포화수증기량 곡선에 위치. 기온과 이슬점이 같아 상대습도가 100%이다.

- 과포화: 증발량보다 응결량이 더 많은 상태, 기온이 이슬점보다 낮아 상대습도가 100% 이상이다.

1) 포화 수증기압 곡선: 온도가 높아지면 포화 수증기압이 증가하므로 증가함수 그래프로 나타난다.

2) 포화 수증기압 곡선에서 여러 가지 물리적 의미

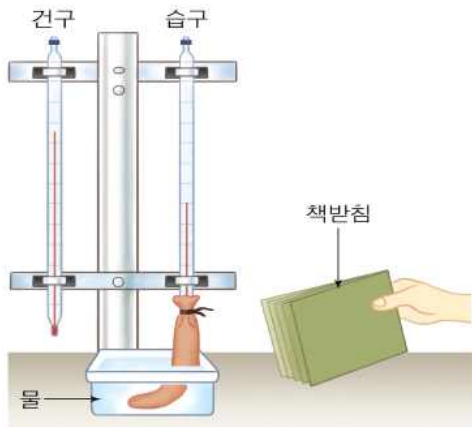
① 기온이 높은 경우: 포화 수증기압이 높다. 포화 수증기압 곡선의 축 값이 크다.

② 이슬점이 높은 경우: 현재 수증기량이 많다. 절대습도가 높다. 포화 수증기압 곡선의 축 값이 크다.

③ 상대습도가 높은 경우: 기온이 낮고 이슬점이 높다. 기온과 이슬점의 차이가 작다. 포화 수증기압 곡선에 가깝다.

3) 건습구 습도계

건습구 습도계는 온도계 두 개가 나란히 있는데, 하나는 건구 온도계라고 하고 다른 하나는 습구 온도계라고 한다. 이 두 온도를 재서 상대습도를 읽을 수 있는 습도표가 그려져 있다.



습구온도 (°C)	건구온도와 습구온도의 차(°C)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
6	100	87	75	64	54	46	38	31
7	100	87	75	65	56	48	40	33
8	100	88	76	66	57	49	42	35
9	100	88	77	68	59	51	44	37
10	100	88	78	69	60	52	45	39
11	100	88	79	69	61	54	47	41
12	100	89	79	70	62	55	48	42

**건습구 습도계와 습도표**

① 건구 온도계: 형겅으로 덮여 있지 않은 온도계이며, 눈금은 온도계가 놓여 있는 곳의 기온을 나타낸다.

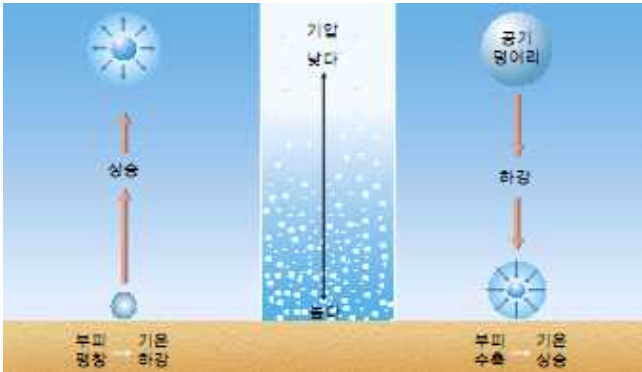
② 습구 온도계: 물에 젖어 있는 형겅에 의해 온도계의 구부가 덮여 있는 온도계이며, 눈금은 항상 건구온도보다 낮거나 같다. 이는 형겅의 물이 공기 중으로 증발하면서 기화열을 빼앗아 가기 때문이다. 따라서 공기가 건조할수록 습구 온도는 더 낮아지며, 건구온도와 더 많은 차이가 나게 된다.

## II. 단열 변화와 구름의 생성

### 1. 단열 변화

(1) 단열 변화: 공기 덩어리가 외부와 열 교환 없이 팽창하거나 압축되면서 나타나는 기온 변화

#### 1) 상승 또는 하강하는 공기 덩어리의 단열 변화



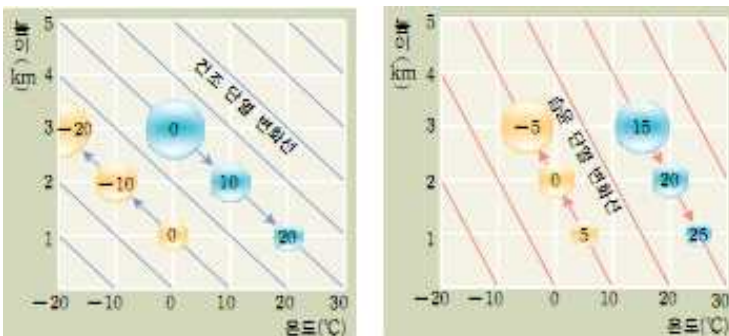
① 단열 팽창: 공기 덩어리가 상승하면, 주변 기압이 낮아져 공기 덩어리가 팽창하면서 내부 에너지가 감소하여 기온이 낮아진다.

- 단열 팽창 과정: 공기 상승 → 주변 기압 감소 → 부피 팽창 → 기온 하강 → 상대습도 증가 → 응결

② 단열 압축: 공기 덩어리가 하강하면, 주변 기압이 높아져 공기 덩어리가 압축되면서 내부 에너지가 증가하여 기온이 높아진다.

- 단열 압축 과정: 공기 하강 → 주변 기압 증가 → 부피 감소 → 기온 상승 → 상대습도 감소 → 구름 소멸

#### 2) 단열 감률: 단열 변화에 의해 높이에 따라 기온이 변하는 비율



#### 건조단열감률과 습윤단열감률

① 건조 단열 감률: 불포화 공기가 단열 변화할 때 높이에 따라 기온이 변하는 정도로, 높이가 100m 상승할 때마다 약 1°C 낮아진다. → 1 °C/100m(10°C/km)

② 습윤 단열 감률: 포화 공기가 단열 변화할 때 높이에 따라 기온이 변하는 정도로, 높이가 100m 상승할 때마다 약 0.5°C씩 낮아진다. → 0.5 °C/100m(5°C/km)

③ 이슬점 감률: 높이에 따라 공기의 이슬점이 변하는 정도로, 불포화 공기는 높이가 100m 상승할 때마다 약 0.2°C 낮아지고, 포화 공기는 습윤 단열 감률(0.5°C/100m)과 같다.

④ 습윤 단열 감률이 건조 단열 감률보다 작은 까닭: 수증기가 응결하면서 습윤열(응결열)을 방출하여 냉각률을 상쇄하기 때문이다.

⑤ 대류권 감률(환경 기온 감률): 대류권의 높이에 따른 평균 온도 분포는 100m 상승할 때 마다 0.65°C씩 낮아진다.

### 3) 단열 변화 실험

그림과 같이 장치한 후, 공기 펌프로 플라스크 속의 공기를 압축 팽창시켜 단열 변화의 원리를 알아본다.

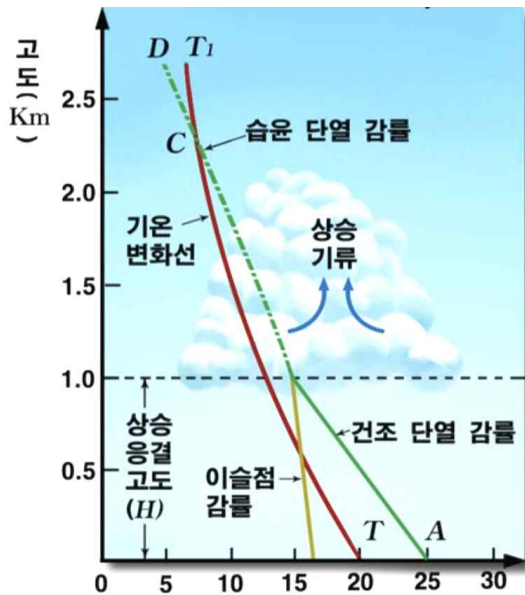


단열 변화 실험 장치

- ① 펌프로 공기를 압축시키면 플라스크 속의 공기가 단열 압축되므로, 내부의 기온이 올라간다.
- ② 펌프로 공기를 빼내면 플라스크 속의 공기가 단열 팽창되므로 내부의 기온이 내려가 수증기가 응결하여 뿌옇게 흐려진다. 이때 내부에 응결이 잘 되도록 향 연기를 조금 넣는데, 이를 응결 핵이라고 한다.

### 3. 구름의 생성

구름은 공기 덩어리의 상승으로 인한 단열 팽창으로 생성된다.



상승 응결의 원리

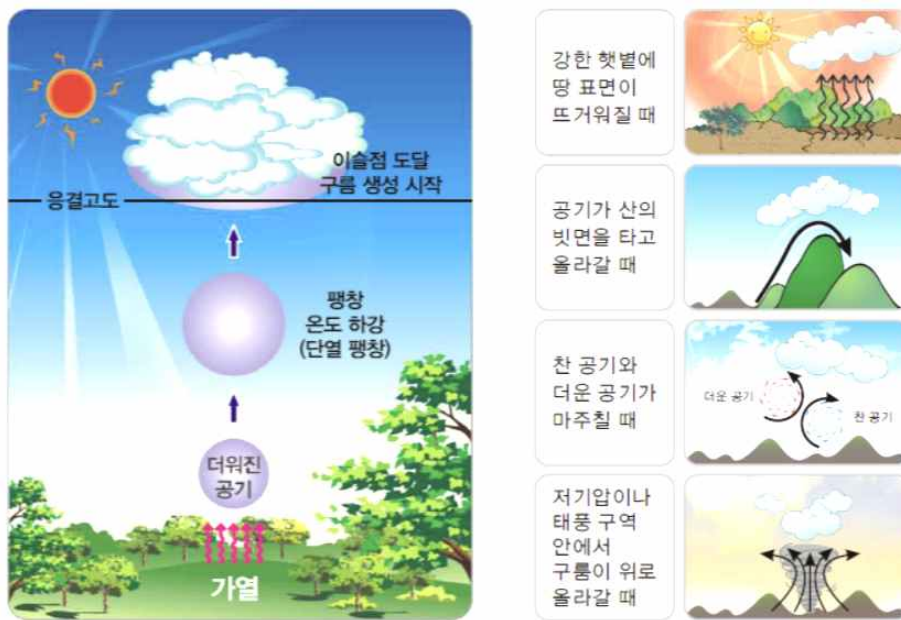
- (1) 상승 응결 고도: 불포화 공기가 상승하여 응결이 일어나 구름이 생성되기 시작하는 높이.  
 $H = 125(t - t_d)$  ( $t$ : 지표면 온도,  $t_d$ : 이슬점 온도)

#### (2) 적운의 생성

여름 일사가 강할 때 잘 생성되는 적운은 밑바닥은 편평한데 위로 뭉게뭉게 솟아오르는 것을 볼 수 있다. 적운의 생성 과정은 다음과 같다.

- ① 가열된 공기는 밀도가 작아져 상승한다,
- ② 주변의 기압 감소로 단열 팽창된 공기는 기온이 낮아지고, 이 과정에서 기온은 건조단열감률을 따라, 이슬점은 이슬점 감률을 따라 온도가 감소한다.
- ③ 상승응결고도에 도달하면 기온과 이슬점이 같아지면서 포화상태가 되고 구름이 생기기 시작한다.
- ④ 상승응결고도에서부터 구름의 최고 높이 까지는 기온과 이슬점이 모두 습윤단열감률을 따라 감소한다.
- ⑤ 상승하는 공기 온도가 주변 기온과 같은 높이 까지만 상승하고, 밀도가 같아지므로 더 이상 상승하지는 못한다.

(3) 구름이 생기는 경우



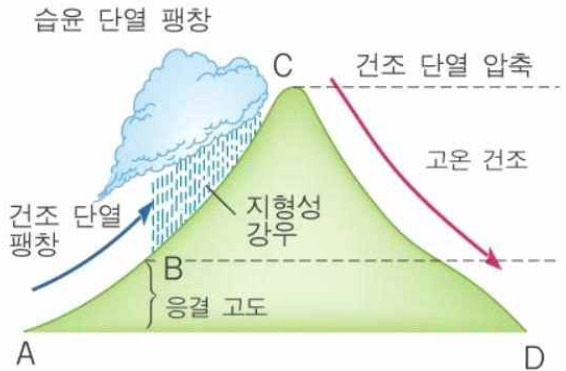
(4) 편 현상(늘새바람)

- 1) 편 현상: 산 사면을 타고 상승하여 비를 내리고 산맥을 넘어온 공기가 고온 건조해지는 현상.
- ① 우리나라에서는 주로 초여름에 태백산맥을 넘어오는 바람이 대표적이라 늘새바람이라고 한다.
- ② 이로 인해 영서지방은 고온 건조한 공기의 영향으로 농작물 재배에 많은 곤란을 겪는다.



편 현상(늘새바람)

2) 편 현상 과정

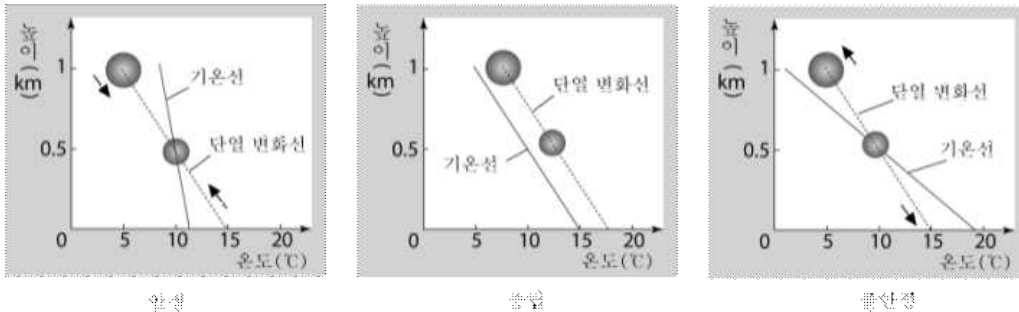


II. 대기의 안정도와 구름

1. 대기의 안정도

(1) 대기의 안정도

상승하거나 하강하는 공기 덩어리는 단열 감률에 따라 온도가 변한다. 이렇게 변한 공기의 온도와 주위 공기의 온도 차에 따라 기류가 달라진다. 공기 덩어리의 온도가 주위 온도보다 높으면 밀도가 작아 가벼우므로 상승하고, 주위 온도보다 낮으면 밀도가 커서 무거워 하강한다.



1) 안정층

- ① 주변 공기의 기온 감률이 건조단열감률보다 작은 공기에서 공기 덩어리가 상승하면 온도가 주위보다 낮아져 무거워지므로 원래 위치로 되돌아가게 된다.
- ② 아래쪽으로 향하는 공기 덩어리는 주변 공기보다 온도가 높아지므로 가벼워져서 부력을 받아 원래 위치로 되돌아간다.
- ③ 이렇게 공기 덩어리가 항상 제자리로 되돌아가려는 성질을 가진 기층을 안정층이라고 한다.

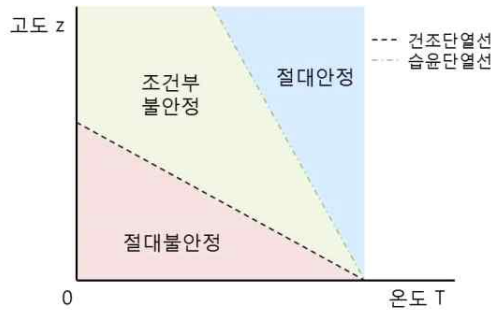
2) 불안정층

- ① 주위 공기의 기온 감률이 건조단열보다 큰 공기에서 공기 덩어리가 상승하면 주위보다 온도가 높아져 부력을 받아 계속 상승하고 원래 위치에서 점점 멀어지게 된다.
- ② 아래쪽으로 향하는 공기 덩어리는 주위보다 온도가 낮아지므로 무거워져서 계속 하강하여 원 위치로부터 점점 멀어진다.
- ③ 이러한 대기의 상태를 불안정층이라고 한다.

3) 중립층

- ① 주변 공기의 기온 감률이 건조단열감률과 같은 공기에서는, 상승한 공기 덩어리의 온도가 주위 공기의 온도와 같아, 이동한 위치에 그대로 있으려고 한다.

(2) 수증기의 포화 여부에 따른 대기의 안정도



- 1) 절대 안정: 기온 감률이 습윤단열감률보다 작은 경우에는 공기 덩어리의 수증기 포화나 불포화에 관계없이 안정하다.
- 2) 절대 불안정: 기온 감률이 건조단열감률보다 큰 경우에는 공기 덩어리의 수증기 포화나 불포화와 관계없이 불안정하다.
- 3) 조건부 (불)안정: 기온 감률이 건조단열감률보다 작고 습윤단열감률보다 큰 경우, 공기 덩어리가 수증기로 포화되지 않았을 때는 안정하고, 포화되었을 때는 불안정하다.

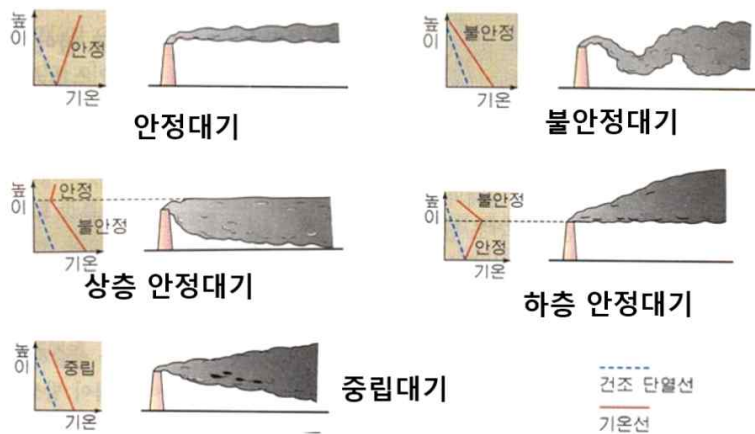
(3) 대기의 안정도와 구름의 모양

불안정한 기층에서는 상승기류가 강하므로 적운형 구름이 발달하고, 안정한 기층에서는 상승기류가 약하므로 층운형 구름이 발달한다.

2. 대기의 안정도와 날씨

(1) 대기의 안정도와 오염 물질의 확산

대기 중으로 배출되는 오염 물질의 확산 정도는 대기의 안정도와 밀접한 관련이 있다. 그림과 같이 굴뚝의 연기가 퍼져 나가는 모양을 보고 대기의 안정도를 파악할 수 있다.

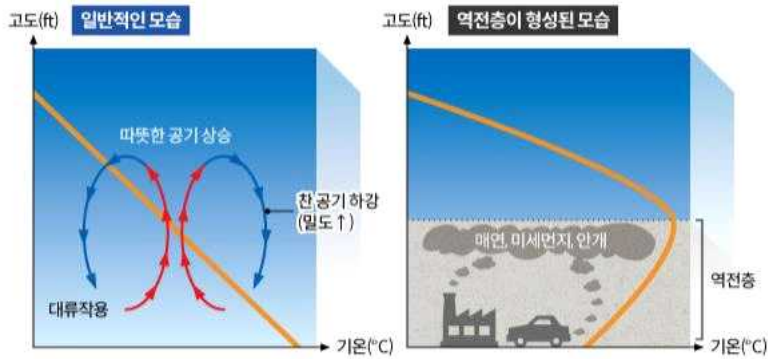


대기 안정도에 따른 굴뚝 연기의 확산 모형

- ① 안정: 공기의 연직 운동이 활발하지 않아 연기가 수평으로 얇게 퍼져간다.
- ② 불안정: 공기의 연직 운동이 활발하여 연기가 상하고 활발하게 퍼져간다.
- ③ 중립: 공기는 이동한 위치에 그대로 있기 때문에 연기가 원추형으로 퍼져간다.

(2) 역전층

일반적인 대류권의 기온 분포와 다르게 위층으로 갈수록 기온이 높아지는 분포를 하고있는 경우를 일반적인 경우에 대해 역전되어 있다는 의미로 역전층이라고 하며, 절대 안정한 층이다.



고도에 따른 대기 구조

1) 복사 역전: 바람이 약하고 건조하며 맑은 날 밤에는 지표의 복사 냉각이 활발하게 일어난다. 이때 지표 부근의 공기가 냉각되므로 역전층이 형성된다. 새벽에 잘 생기며 내륙 지방에는 안개가 잘 생성된다.

2) 역전층 발생 시 나타나는 현상

① 지표가 냉각되면서 복사 안개가 잘 형성된다.

② 공기층이 안정한 상태이므로 연직 운동이 잘 일어나지 못해 배기가스 등에 의한 스모그가 발생하기도 한다.

③ 지표 쪽 소리의 전달 속력이 위층보다 느려 소리가 지표 쪽으로 굴절되면서 소음이 커지는 경향이 있다.

3) 스모그의 종류

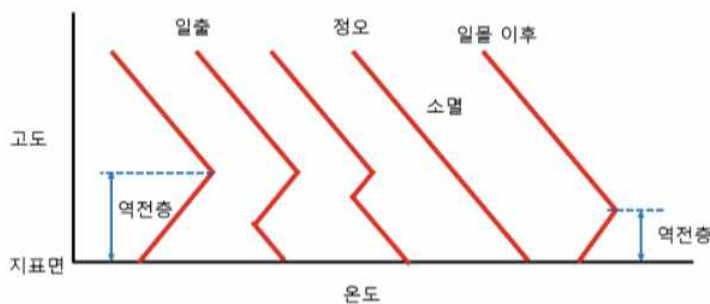
① 황화 스모그(런던형 스모그): 석탄, 석유의 연소로 생기는 황산화물이나 일산화탄소가 원인이 되어 생기는 스모그를 말한다. 겨울에 주로 발생하며, 호흡기를 심하게 자극해 폐질환을 일으킨다.

② 광화학 스모그(LA형 스모그): 주로 자동차 연료가 연소되어 생성된 질소산화물이 촉매가 되어, 공기 중의 산소분자가 햇빛에 의한 광화학 반응을 받아 오존( $O_3$ )이 된다. 이 오존( $O_3$ )이 탄화수소류와 섞여서 뿌옇게 보이게 되는 스모그를 말한다. 식물 생장에 방해가 되기도 하며, 눈, 코, 호흡기 자극 증상을 일으키기 때문에 오존 주의보, 오존 경보 등을 발령하게 된다.

4) 역전층의 일변화

① 생성 과정: 해가 진 후 지표의 복사 냉각이 진행됨에 따라 지표 쪽의 기온 감소가 더 크게 일어나 하부 역전층이 발생하며 생성된다.

② 소멸 과정: 해가 뜬 후 지표면이 태양복사를 흡수함에 따라 지표 쪽의 기온 증가가 더 크게 일어나 지표 쪽 역전층이 사라지면서 역전층이 상층으로 밀려가 소멸된다.



겨울철 새벽에서 일몰 후까지 기층의 안정도 변화



3. 구름과 안개의 종류

(1) 구름의 종류

구름이 하늘을 가린 비율과 구름의 모양을 관찰하면 대기의 상태를 파악할 수 있다.

1) 모양에 따른 분류

- ① 층운형: 수평으로 얇게 발달하는 구름
- ② 적운형: 뭉게구름처럼 두껍게 발달하는 구름

2) 생성 높이에 따른 분류

- ① 상층운(6~13 km): 구름의 두께가 얇고 흩어져 있으며, 주로 빙정으로 이루어져 있다. 권운, 권적운, 권층운이 이에 속한다.
- ② 중층운(2~6 km): 구름의 두께는 상층운보다 두꺼우며, 물방울과 빙정으로 이루어져 있다. 고적운, 고층운이 이에 속한다.
- ③ 하층운(지표~2 km): 대부분 물방울로 이루어져 있으며, 층운, 층적운, 난층운이 이에 속한다.
- ④ 연직운: 대기가 불안정할 때 발달하는 구름으로 적운과 적란운이 이에 속한다. 하층운의 높이부터 상층운의 높이까지 수직으로 두껍게 발달하며, 천둥과 번개를 동반한 많은 비가 내린다.

3) 기본 구름형 10가지: 권운, 권적운, 권층운, 고적운, 고층운, 층적운, 난층운, 층운, 적운, 적란운이 있다.



(2) 안개

공기 중의 수증기가 응결하여 생긴 작은 물방울이 지표 가까이 떠 있는 현상을 안개라고 한다.

1) 냉각에 의한 안개

- ① 활승 안개: 공기가 산 사면을 타고 오를 때 단열 냉각되어 생기는 안개로, 산안개라고도 한다.
- ② 이류 안개: 따뜻한 공기가 차가운 지면 위를 이동해 가면서 냉각되어 생기는 안개
- ③ 복사 안개: 바람이 거의 없고 습도가 높은 날 밤에 지표면의 복사 냉각으로 공기가 냉각되어 발생하는 안개로 땅안개라고 하며, 역전층이 생길 때 나타난다.

2) 증발에 의한 안개

- ① 증발 안개: 찬 공기와 접한 따뜻한 수면에서 증발이 일어나 생기는 안개, 김 안개라고도 하며

---

겨울철 호수 표면에 생기는 안개가 대표적이다.

② 전선 안개: 온난 전선의 따뜻한 기층에서 생긴 따뜻한 빗방울이 찬 공기층으로 낙하하는 중에 발생하는 안개.

## IV. 강수

### 1. 강수 과정

#### (1) 구름의 구성 성분

구름은 주로 물방울과 얼음 입자(빙정)로 되어있다.

1) 빙정: 기온이 0℃ 이하일 때, 기온과 습도에 따라 여러 형태로 만들어지며 점점 성장하여 떨어지면 눈 입자가 된다.

2) 과냉각 물방울: 0℃ 이하의 온도에서도 얼지 않고 액체 상태로 존재하는 물방울.

3) 응결핵, 빙정핵: 수증기가 물방울로 응결되거나 빙정으로 승화될 수 있게 도와주는 대기 중의 미세한 입자.

① 응결핵 없이 수증기만으로 공기 중에서 응결이 일어나려면 상대습도가 400% 이상 되어야 한다. 그러나 실제 대기는 응결핵이나 빙정핵 역할을 하는 입자를 상당수 포함하고 있으며 상대습도가 100% 이상이면 응결이 잘 일어난다.

② 공기 중을 떠다니는 소금 입자, 화산재, 토양 입자, 꽃가루 등이 있는데, 이 중 바닷물의 물보라로 인해 공기 중으로 유입된 작은 소금 입자들이 중요한 응결핵 역할을 한다. 0℃ 이하에서는 이러한 입자에 공기 중 수증기가 승화되어 달라붙으면서 빙정이 만들어지므로 빙정핵이라고 한다.

③ 응결핵의 종류: 소금 입자와 같이 크고, 흡습성과 용해성이 좋은 에어로졸이 응결핵으로 적합하다.

④ 빙정핵의 종류: 미세한 모래 입자, 점토 입자, 화산재 등과 같이 물에 잘 녹지 않는 에어로졸이 있으며, 인공강우 실험에 쓰이는 아이오딘화은 등의 미립자도 빙정핵에 해당한다.

#### 4) 빗방울

구름 입자의 지름은 평균 0.02mm이지만, 구름에서 낙하할 수 있는 빗방울의 최소 지름은 약 2mm이다, 따라서 구름 입자가 비가 되려면 약 100배 정도 커져야 한다. 구의 부피는 반지름의 3제곱에 비례하므로 빗방울 입자는 구름 입자보다 1,000,000배가 커져야 하며, 구름 입자가 100만 개는 모여야 빗방울이 된다.

#### 5) 우박

너운 구름 속에서 과냉각된 빗방울이 낙하하는 도중에 강한 상승기류를 만나 다시 0℃ 이하의 상승으로 올라가는 과정을 여러 번 반복하면, 얼음이 눈 입자보다 크게 성장하여 떨어지게 되는데, 이를 우박이라고 한다. 지름은 5~50mm이다.

#### 6) 눈

육각형 모양의 결정으로 성장해 있으며, 결정 하나의 크기는 보통 2~3mm, 큰 것은 5mm가 넘기도 한다.

#### (2) 강수 과정

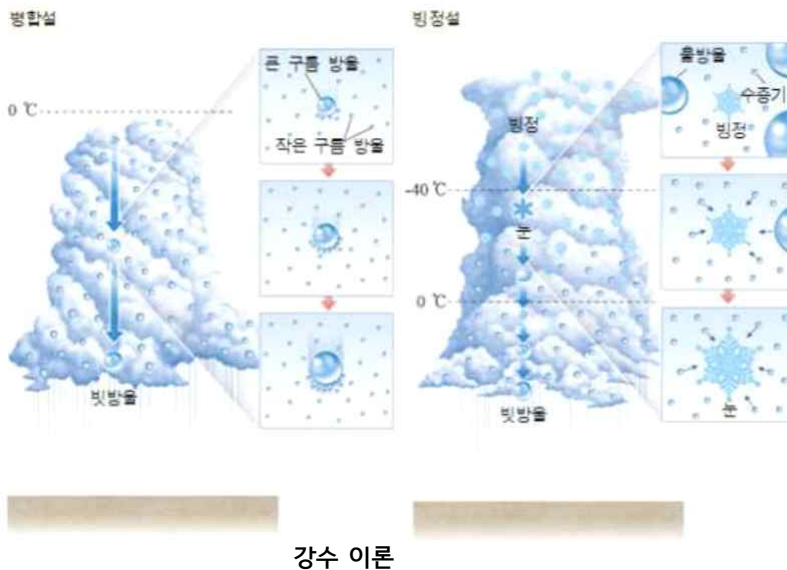
공기 중의 수증기가 응결하여 구름 입자를 만들지만 구름 입자가 빗방울로 성장하기 위해서는 응결되는 과정만으로 부족하다. 구름 입자가 빗방울로 성장하는 강수 과정은 빙정설과 병합설로 설명할 수 있다.

1) 빙정설(차가운 비)

- ① 환경: 중위도나 고위도 지역에서 발생하는 구름에는 물방울과 빙정이 함께 존재하는 경우가 많다.
- ② 강수 조건: 같은 온도에서 과냉각 물방울에 대한 포화수증기압이 빙정에 대한 포화수증기압보다 커야 한다.
- ③ 강수 과정: 구름 내부에 있던 물방울에서 증발한 수증기가 빙정에 승화되어 달라붙으면서 빙정이 성장한다. 빙정이 충분히 무거워져 낙하를 시작하면 눈, 지상의 기온이 높아 녹으면 비가 되어 내린다.

2) 병합설(따뜻한 비)

- ① 환경: 열대 지방이나 여름철 중위도 지방의 구름 온도는 0℃ 이상으로 빙정을 포함하고 있지 않다. 이 구름 속에서 다양한 크기의 물방울이 존재한다.
- ② 강수 조건: 구름 속 다양한 크기의 물방울들이 서로 충돌하여, 보다 큰 물방울을 만든다.
- ③ 강수 과정: 성장한 물방울이 충분히 무거워지면 낙하하게 된다.



(3) 인공강우

비가 내리지 않는 구름 속에서 비를 내리게 하는 것을 인공강우라고 하며, 구름 속에 인공 강수를 만들기 위해 뿌려주는 입자를 구름 씨라고 하는데, 빙정설과 병합설에서 서로 다른 물질을 넣어 준다.

① 빙정설에 의한 방법

구름 속에 빙정핵의 역할을 하는 드라이아이스나 아이오딘화은을 뿌려서 강수를 촉진 시킨다.

② 병합설에 의한 방법

구름 속에 물을 뿌려줌으로써 큰 물방울과 작은 물방울의 충돌과 병합을 촉진시켜 비를 내리게 한다. 최근에는 분말 상태의 소금 입자나 염화칼슘을 뿌리기도 한다.

## 제2절 대기의 순환

### I. 바람

지구상의 각 지점과 상하층 사이에는 대기의 상태가 서로 다르므로 이들 사이에는 공기의 수평 및 연직 이동이 있다. 이 중 수평 방향으로 움직이는 공기를 바람이라고 하고 연직 방향으로 움직이는 공기를 기류라고 한다,

#### 1. 대기의 운동을 지배하는 힘

공기를 움직이게 하는 힘은 기압의 수평 분포에 기인하는 기압 경도력이다. 일단 운동을 시작한 공기는 지구 자전에 의한 전향력을 받게 되고, 원운동을 하게 되면 이에 필요한 원심력을, 지표 근처의 공기는 마찰력을 받게 된다.

##### (1) 기압 경도력

유체의 운동을 일어나게 하는 근본적인 힘으로써, 두 지점 간 기압 차에 의해 생기며 고압부에서 저압부로 등압선에 직각으로 작용한다. 일반적으로 대기는 기압 경도력에 의해 수평으로 운동할 뿐, 상승하지는 않는다. 그 원인은 연직 방향으로 작용하는 기압 경도력은 중력과 힘의 평형을 이루어 있기 때문이다.



#### 공기에 작용하는 힘

수평 방향의 기압 경도력의 크기  $F_p$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_p = \frac{m\Delta P}{\rho\Delta L} \quad (\Delta P: \text{지점간의 기압차}, \Delta L: \text{두 등압선사이의 수직거리})$$

보통 일기도에서는 4hPa 간격으로 등압선을 그리므로 기압 경도력의 크기는 등압선 간격이 좁을수록 커진다.

##### (2) 전향력

지구 자전의 경향으로 지구상이 관측자에게는 운동하는 모든 물체가 그 운동 방향에 대해 북반구에서는 오른쪽 직각으로, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 힘을 받아서 움직이는 것처럼 보이는데, 이 가상의 힘을 전향력이라고 한다.

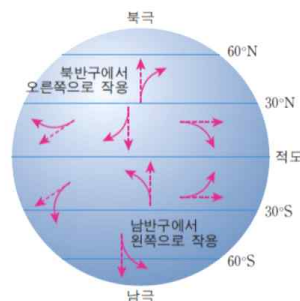
$$\text{전향력의 크기 } C = 2mv\omega\sin\phi$$

( $m$ : 질량,  $v$ : 속도,  $\omega$ : 지구 자전 각속도,  $\phi$ : 위도)

따라서, 전향력의 크기는 속도와 위도에 비례한다.

##### (3) 원심력

줄에 매달려 원운동하는 물체는 계속해서 운동 방향이 변한다. 이렇게 운동 방향을 바꿔주기 위해 선 중심을 향해 작용하는 힘이 있어야 되는데, 이 힘을 구심력이라고 한다. 그러나 물체를 회전 좌표계에서 보면 정지해 있으므로, 구심력과 크기는 같고 방향이 반대인 힘이 필요한데, 이



힘이 원심력이다.

원심력의 크기  $F_C = m \frac{v^2}{r}$  ( $m$ : 질량,  $v$ : 속도,  $r$ : 회전 반지름)

등압선이 곡선인 곳에서 공기는 원운동을 하게 된다. 이때 원운동을 유지시키는 힘이 필요하게 된다.

(4) 마찰력

지표면 가까이에서 움직이는 공기는 지표면이나 공기 자체의 점성에 의해서 마찰력을 받게 된다. 대기가 지표면의 마찰을 받는 범위는 지상 1km까지이며, 이를 대기 경계층이라고 한다.

- 1) 마찰력의 크기: 지표면이 거칠고, 가까울수록, 바람이 강할수록 마찰력은 커진다.
- 2) 마찰력의 방향: 운동 방향과 반대로 작용하여 속도를 감소시킨다.

2. 바람의 종류

(1) 대기 상층에서 부는 바람 - 지균풍, 경도풍

1) 지균풍: 높이 1km 이상의 상공에서 등압선이 직선일 때 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루면서 등압선에 나란하게 등속도로 부는 바람.

① 작용하는 힘: 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루어 바람이 분다.

② 풍향

- 북반구: 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향
- 남반구: 기압 경도력의 왼쪽 직각 방향

③ 풍속: 위도가 일정할 때 기압 경도력이 클수록, 기압 경도력이 같을 때 저위도로 갈수록 풍속이 증가한다.



- ① 기압 경도력이 작용하여 공기가 움직이기 시작한다.
- ② 움직이는 공기에 전향력이 작용하여 풍향이 변한다.
- ③ 풍속이 증가하면서 전향력의 크기가 커지고, 풍향이 더욱 오른쪽으로 휜다.
- ④ 전향력이 기압 경도력과 평형을 이루면 지균풍이 된다.

전향력=기압 경도력이므로,

$$2mv\omega\sin\phi = \frac{m\Delta P}{\rho\Delta L}, V = \frac{\Delta P}{\rho\Delta L} \frac{1}{2\omega\sin\phi}$$

따라서 지균풍의 속도는 기압 경도력에 비례하며, 기압 경도력이 같은 경우에는 고위도로 갈수록 작아진다. 한편 지균풍의 속도는 공기의 밀도에 반비례하므로 밀도가 작은 고층으로 올라갈수록 커진다.

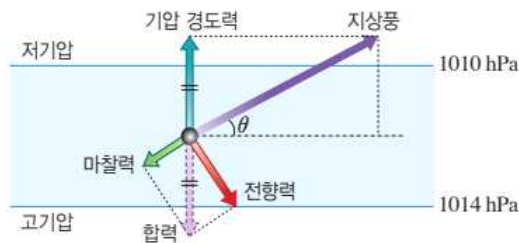
2) 경도풍: 높이 1km 이상의 상공에서 등압선이 곡선일 때 등압선에 나란하게 부는 바람

- ① 작용하는 힘: 기압 경도력과 전향력의 차이가 구심력으로 작용하여 바람이 분다.
- ② 구분: 저기압성 경도풍과 고기압성 경도풍으로 구분된다.

구분	저기압성 경도풍(북반구)	고기압성 경도풍(북반구)
작용하는 힘	<p>저기압 중심 방향으로 기압 경도력이 작용하고 전향력이 바깥쪽으로 작용하며, 이 두 힘의 차이가 구심력으로 작용하여 원형으로 바람이 분다. ⇒ 기압 경도력 &gt; 전향력 기압 경도력의 일부가 구심력 역할을 한다.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">\text{기압 경도력} - \text{전향력} = \text{구심력}</math> <math display="block">\left(\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{d} - 2v\Omega \sin\phi = \frac{v^2}{r}\right)</math> </div>	<p>고기압 중심에서 바깥쪽으로 기압 경도력이 작용하고 전향력이 중심 방향으로 작용하며, 이 두 힘의 차이가 구심력으로 작용하여 원형으로 바람이 분다. ⇒ 기압 경도력 &lt; 전향력 전향력의 일부가 구심력 역할을 한다.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">\text{전향력} - \text{기압 경도력} = \text{구심력}</math> <math display="block">\left(2v\Omega \sin\phi - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{d} = \frac{v^2}{r}\right)</math> </div>
풍향	시계 반대 방향	시계 방향
풍속	기압 경도력이 같다면 고기압성 경도풍은 저기압성 경도풍보다 전향력이 크게 작용하기 때문에 풍속이 더 빠르다. ⇒ 풍속: 고기압성 경도풍 > 저기압성 경도풍	

(2) 지상에서 부는 바람

1) 지상풍: 지표면의 마찰력이 작용하는 높이 1 km 이하에서 등압선을 가로질러 부는 바람



**지상풍이 부는 원리**

① 작용하는 힘: 전향력과 마찰력의 합력이 기압 경도력과 평형을 이루어 바람이 분다.

② 풍향

- 북반구: 기압 경도력에 대하여 오른쪽으로 비스듬하게 분다.

- 남반구: 기압 경도력에 대하여 왼쪽으로 비스듬하게 분다.

③ 풍속: 등압선의 간격이 좁을수록, 마찰력이 작을수록 증가한다.

④ 경각(θ): 바람과 등압선이 이루는 각으로, 마찰력이 클수록 커진다.



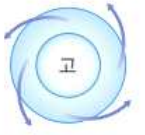
2) 등압선이 곡선일 때의 지상풍

① 작용하는 힘: 기압 경도력, 전향력, 구심력, 마찰력이 작용하여 바람이 분다.

② 풍향: 마찰력이 작용하므로 바람이 등압선과 각을 이루며 등압선을 가로질러 분다.

3) 보이스 발로트의 법칙

양팔을 벌리고 바람을 등지고 섰을 때 관찰자의 왼팔 앞이 저기압의 위치, 오른팔 뒤쪽이 고기압의 위치는 가리킨다. 지상풍이 부는 곳에서 고기압과 저기압의 위치를 찾을 때 유용하다.

구분	지상 저기압일 때		지상 고기압일 때	
북반구		바람이 바깥쪽에서 저기압 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.		바람이 고기압 중심부에서 바깥쪽을 향해 시계 방향으로 불어 나간다.
남반구		바람이 바깥쪽에서 저기압 중심부를 향해 시계 방향으로 불어 들어간다.		바람이 고기압 중심부에서 바깥쪽을 향해 시계 반대 방향으로 불어 나간다.

## II. 대기의 순환

### 1. 대기 순환의 규모

- 공간 규모, 시간 규모에 따라 분류한다.
- 대체로 공간 규모가 클수록 시간 규모도 크다.
- 소규모 운동은 수직 운동의 크기에 따라 특성이 결정된다.
- 대규모 운동은 수평 운동의 크기에 따라 특성이 결정된다.



대기 순환의 규모

대기 순환	수평 규모	시간 규모	현상	전향력
미규모	수백 m 이내	수초~수분	난류, 작은 소용돌이	영향이 거의 없다.
중규모	수백 m~수백 km	수분~수일	토네이도, 뇌우, 해륙풍, 산곡풍, 낄새바람	
종관 규모	수백 km~수천 km	수일~1주일	태풍, 고기압, 저기압	영향이 크다.
지구 규모	수천 km 이상	1주일 이상	대기 대순환, 편서풍 파동, 계절풍	

종관 규모 이상에서 규모가 커질수록 전향력이 크게 작용한다.

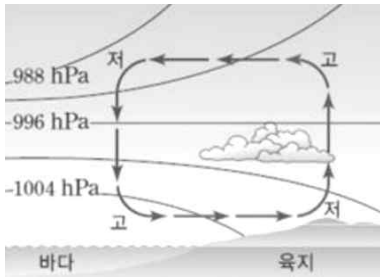
### 2. 열적 순환

#### (1) 열적 순환(열대류)

지표면의 물질 분포는 균질하지 않다. 따라서 같은 양의 에너지를 흡수해도 그 물질의 종류에 따라 가열되는 온도는 달라진다. 이러한 불균등 가열은 두 지점 사이의 기압차를 유발해 공기의 순환을 일으키는데 이러한 순환을 대기의 열적 순환이라고 한다.

#### (2) 열적 순환의 과정

육지 쪽에는 공기가 가열되고, 바다 쪽에는 냉각된다고 가정하면, 가열된 육지 쪽의 공기는 팽창하여 밀도가 감소하므로 저기압이 생기고, 냉각된 바다 쪽의 공기는 압축되어 밀도가 증가하므로 고기압이 생긴다. 두 지점 사이에 이러한 불균등 가열로 인해 기압 차가 생기게 되면 공기는



고기압에서 저기압 쪽으로 이동하게 되고 이것이 바람이 된다.

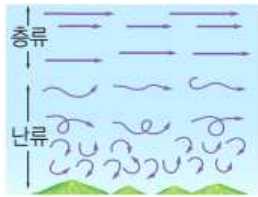
### 3. 여러 규모의 순환

(1) 미규모 순환 지속 시간이 가장 짧은 대기 운동

1) 난류: 지표면의 불균등 가열에 따른 열대류와 마찰의 영향으로 대기 경계층에서 발생하는 복잡하고 불규칙한 흐름

① 대기가 불안정하고 지표면이 거칠수록, 풍속이 빠를수록 강해진다.

② 지표면의 열, 수증기, 대기 오염 물질 등을 상공으로 확산시킨다.

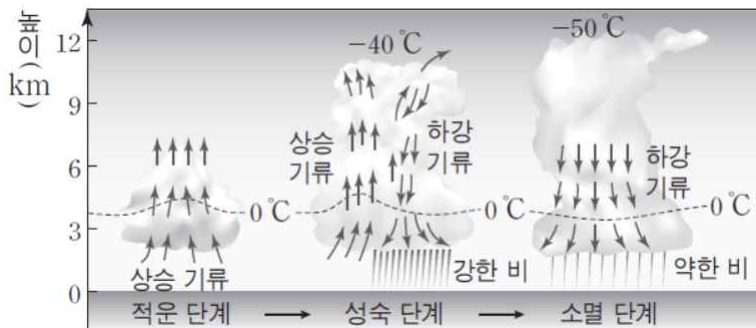


난류와 층류

(2) 중규모 순환

1) 토네이도: 깔때기 모양의 강력한 회오리바람으로, 거대한 뇌우가 발달할 때 잘 나타난다.

2) 뇌우: 적란운이 발달하면서 천둥, 번개를 동반하며 강한 소나기가 내리는 현상



3) 해륙풍: 해안가에서 육지와 바다의 열용량 차이로 하루를 주기로 풍향이 바뀌는 바람

해풍(낮)	육풍(밤)
육지가 바다보다 빨리 가열되어 육지에 저기압, 바다에 고기압 형성 → 바다에서 육지로 해풍이 분다.	육지가 바다보다 빨리 냉각되어 육지에 고기압, 바다에 저기압 형성 → 육지에서 바다로 육풍이 분다.
<p>지표 부근            • 기온: 바다 &lt; 육지            • 기압: 바다 &gt; 육지            • 바람: 바다 → 육지</p>	<p>지표 부근            • 기온: 바다 &gt; 육지            • 기압: 바다 &lt; 육지            • 바람: 바다 ← 육지</p>

① 낮에는 해풍이 불고, 밤에는 육풍이 분다.

② 바다보다 육지의 마찰이 크므로 해풍이 육풍보다 강하다.

③ 열대 지역에서 잘 나타나며 중위도에서는 고기압과 저기압의 이동이 잦아 뚜렷하지 않다.

4) 산곡풍: 산 비탈면과 주변 공기의 부등 가열에 의해 하루를 주기로 풍향이 바뀌는 바람

① 바람이 약한 맑은 날에 나타난다.

② 낮에는 곡풍이 불고, 밤에는 산풍이 분다.



(3) 중관 규모의 순환

1) 고기압: 주위보다 기압이 높은 지역으로, 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑다.

2) 저기압: 주위보다 기압이 낮은 지역으로, 상승 기류가 발달하여 날씨가 흐리다.

- 온대 저기압

- 열대 저기압

3) 태풍: 해수면 온도 27°C 이상인 열대 해상에서 발달한 열대 저기압 중에서 중심 최대 풍속이 17m/s 이상인 것.

(4) 지구 규모 순환

1) 계절풍: 대륙과 해양의 열용량 차이로 1년을 주기로 풍향이 변하는 바람

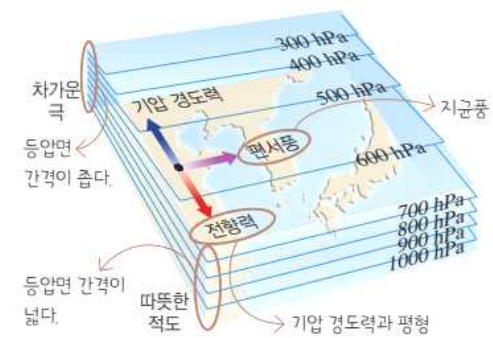


2) 편서풍 파동: 파장이 수천 km에 이르고, 파동의 변화는 1주~6주 정도에 걸쳐 일어난다.

① 편서풍의 발생: 저위도와 고위도의 기온 차이로 발생

- 저위도의 공기는 온난하고 고위도의 공기는 한랭하며, 한랭한 기층보다 온난한 기층이 더 두껍기 때문에 온난한 지역의 상층은 한랭한 지역의 상층보다 기압이 높다.

- 상공에서 기압 경도력은 저위도에서 고위도로 작용하며, 전향력과 평형을 이루면서 지균포이서에서 동으로 불어 편서풍이 된다.



- ① 높이에 따른 등압면 간격이 적도 지방은 넓고, 극지방은 좁다.
  - ② 적도에서 극으로 갈수록 등압면 고도가 낮아져 적도에서 극 쪽으로 기압 경도력이 작용한다.
  - ③ 기압 경도력의 반대 방향으로 전향력이 작용한다.
  - ④ 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루면서 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 지균포이서에서 동으로 불어 편서풍이 된다.
- ⇒ 편서풍 발생

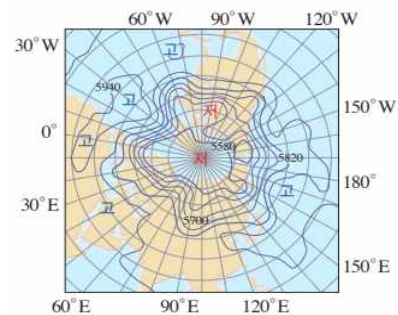
**편서풍의 발생 과정**

② 편서풍 파동: 중위도 상공의 편서풍이 지구 자전의 영향으로 파장이 긴 파동의 형태로 지구 둘레를 돌고 있는 것

- 편서풍 파동의 모습: 파장이 수천 km인 3개~6개의 파동이 지구 둘레를 감싸며 천천히 움직이고 있다.

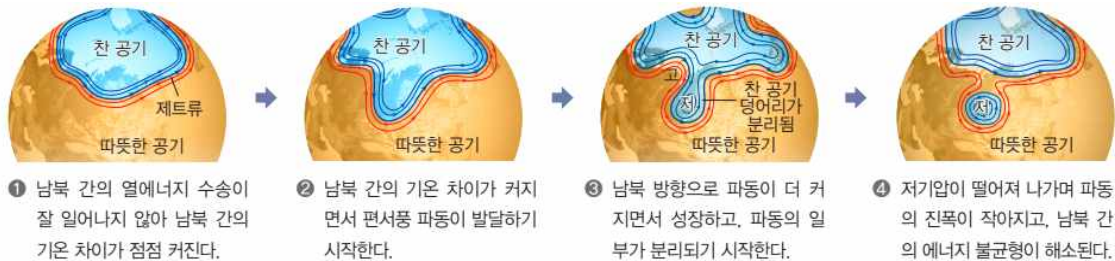
- 발생 원인: 저위도와 고위도의 기온 차이, 지구 자전에 의한 전향력

- 역할: 저위도의 과잉 에너지를 고위도로 수송하여 지구의 위도별 에너지 불균형을 해소한다.



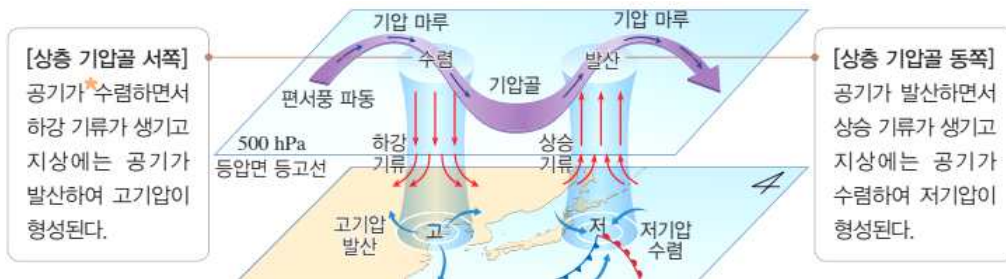
500hPa 등압면 일기도의 편서풍 파동 모습

③ 편서풍 파동의 변동: 파동의 진폭이 작을 때는 남북 간의 에너지 수송이 잘 일어나지 않아 기온 차이가 점점 커지고, 그 차이가 어느 한계를 넘어서면 이를 해소하기 위해 파동의 진폭이 커지면서 성장한다. 파동의 진폭이 커지면 에너지 수송이 활발하게 일어나 남북 간의 기온 차이가 줄어들면서 다시 파동의 진폭이 점점 작아지며, 이러한 변동이 반복된다.



### 편서풍 파동의 변동 과정

④ 편서풍 파동과 지상의 기압 배치 등고선이 저위도로 내려온 부분은 주위보다 기압이 낮아 기압골을 이루고, 고위도로 올라간 부분은 주위보다 기압이 높아 기압 마루를 이룬다.



### 편서풍 파동과 지상의 날씨

⑤ 날씨 변화: 편서풍 파동을 따라 상층의 기압골과 기압 마루가 동쪽으로 이동하므로 지상의 기압 배치도 동쪽으로 이동하며 날씨가 변한다.

3) 대기 대순환: 지구 규모의 열에너지 이동이 일으키는 가장 큰 규모의 대기 순환이다.

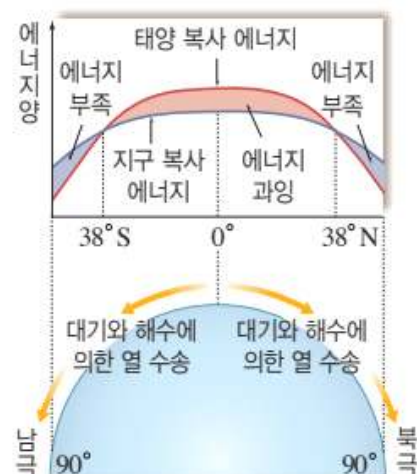
① 위도에 따른 복사 에너지 불균형

- 위도에 따른 복사 에너지 분포

· 저위도: 지구의 태양 복사 에너지 흡수량 > 지구 복사 에너지 방출량 → 에너지 과잉

· 고위도: 지구의 태양 복사 에너지 흡수량 < 지구 복사 에너지 방출량 → 에너지 부족

② 위도별 에너지 불균형 해소: 대기와 해수의 순환으로 저위도의 과잉 에너지가 고위도로 이동하여 지구 전체적으로는 복사 평형을 유지한다. → 위도 38° 부근에서 에너지 이동량이 가장 많다.

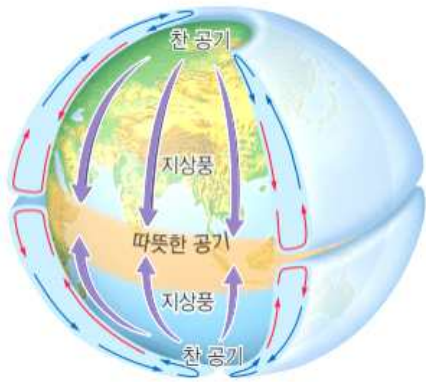


위도별 에너지 불균형

③ 대기 대순환

- 발생 원인: 위도에 따른 에너지 불균형

- 대기 대순환 모델

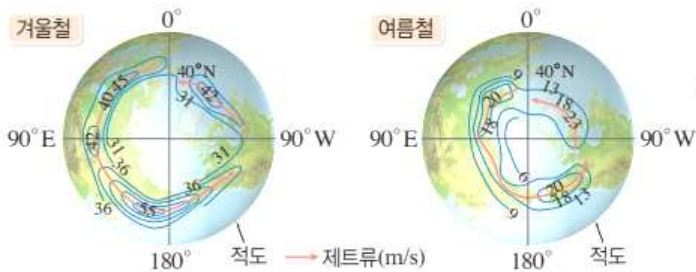


지구가 자전하지 않을 때



지구가 자전할 때

- 4) 제트류: 편서풍 파동에서 축이 되는 좁고 강한 흐름
- ① 한대 제트류: 남북 간의 기온 차이에 가장 급격한 변화가 나타나는 중위도 지역의 대류권 계면에서 나타나는 제트류
  - ② 아열대 제트류: 위도 30° 부근의 대류권 계면에 나타나는 제트류로, 한대 제트류에 비해 풍속이 느리다.



**[계절에 따른 제트류의 변화]**

- 위치: 겨울철에는 저위도로, 여름철에는 고위도로 이동한다.
- 풍속: 남북 간의 기온 차이가 큰 겨울철에 빨라진다.

### 제3절 날씨의 변화

#### I. 기단과 전선

##### 1. 기단(Air mass)

한 장소에 공기가 오랫동안 머물러 있으면서, 기온이나 습도가 지표면 상태와 비슷해진 공기 덩어리를 기단이라고 한다.

##### (1) 기단의 종류와 특성

기단의 발원지가 대륙인 대륙성 기단, 발원지가 바다인 해양성 기단 그리고 한곳에 오래 머무르는 정체성 기단, 지구 규모의 바람에 의해 수시로 이동해 가는 이동성 기단으로 구분한다.

##### (2) 기단의 변질

기단이 발원지를 떠나 이동하면 이동한 지역의 영향을 받아 온도가 습도가 달라져서 원래의 성질과 다르게 변하며 날씨에 영향을 미친다.

##### 1) 한랭 기단의 변질

한랭한 기단이 따뜻한 지표면 위로 이동하면, 기단 하층부의 온도가 높아지면서 대기가 불안정해진다. 따라서 상승기류가 나타나며, 적란운이 발생해 강한 비나 눈이 내릴 수 있다.



한랭 기단의 남하

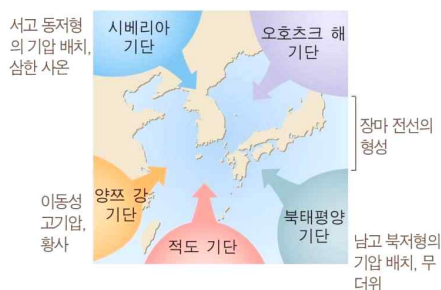
##### 2) 온난 기단의 변질

따뜻한 기단이 찬 지표면 위로 이동하면 기단 하층의 온도가 낮아지면서 대기가 안정된다. 따라서 날씨가 비교적 맑으며, 층운형 구름이 발생한다.



온난 기단의 북상

##### (3) 기단의 영향과 우리나라의 날씨



1) 봄, 가을

온난 건조한 양쯔강 기단의 영향으로 이동성 고기압이 자주 지나가므로 날씨의 변화가 심하다. 봄에 건조한 날씨가 지속되면 편서풍을 타고 중국 쪽에서 날아온 황사가 대기를 뿌옇게 만드는 황사 현상을 일으킨다.

2) 초여름

초여름에는 고온다습한 북태평양 기단과 한랭다습한 오호츠크해 기단이 만나 장마전선을 형성하여 많은 장맛비가 내린다.

3) 여름

고온 다습한 북태평양 기단의 영향으로 남고북저형의 기압배치가 나타나고, 남동계절풍이 분다. 북태평양에서 불어오는 덥고 습한 공기 때문에 무더운 날씨가 계속되고, 낮 동안에 가열된 지표면에서는 대기 불안정으로 공기를 강하게 상승시켜 두꺼운 적란운에 소나기가 발생하기도 한다.

4) 겨울

한랭 건조한 시베리아 기단의 영향으로 서고동저형 기압 배치가 나타나고, 북서계절풍이 강하게 분다. 한파와 폭설 등이 나타나기도 한다.

2. 전선

기온과 습도가 다른 공기 덩어리가 만나서 생기는 경계면을 전선면이라고 하고, 이 전선면이 지표면과 만나서 생기는 경계선을 전선이라고 한다.

(1) 전선이 종류

- 1) 한랭 전선: 찬 공기가 따뜻한 공기 쪽으로 이동할 때, 따뜻한 공기 밑을 파고 들어 생기는 전선이다.
- 2) 온난 전선: 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 타고 올라가면서 형성되는 전선이다.



한랭 전선과 온난 전선

전선 \ 성질	한랭 전선	온난 전선	
전선면의 기울기	급하다	완만하다	
전선의 이동속도	빠르다	느리다	
구름의 종류	적운형	층운형	
강수 형태	소나기	지속적인 비	
강수 구역	전선의 뒤쪽 (좁은 지역)	전선의 앞쪽 (넓은 지역)	
강수 시간	짧다	길다	
통과 후 변화	기온	하강	상승
	기압	상승	하강
	풍향	남서풍 → 북서풍	남동풍 → 남서풍

3) 폐색 전선: 한랭 전선의 이동 속도가 온난 전선보다 빨라서 두 전선이 겹쳐진 전선이다. 넓은 구역에 구름이 생기고 강수 구역이 넓다.

① 한랭형 폐색 전선: 한랭 전선 뒤쪽의 차가운 공기가 온난 전선의 차가운 공기보다 더 차가운 경우 생긴다.

② 온난형 폐색 전선: 온난 전선 앞쪽의 차가운 공기가 한랭 전선의 차가운 공기보다 더 차가운 경우 생긴다.

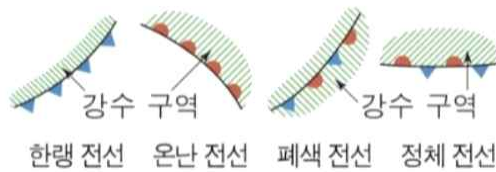
4) 정체 전선: 성질이 다른 두 기단의 세력이 거의 비슷하여 움직이지 않을 때 기단 사이에 생기는 전선이다. 우리나라 초여름에 생기는 장마전선이 대표적이다.

① 동서로 길게 형성되며 북태평양 기단의 세력이 강해지면 북상하고 약해지면 남하하면서 한 달이 넘게 오랫동안 많은 비가 내린다.

② 강수 구역은 주로 장마전선의 북쪽에 생긴다.



장마전선과 강수



전선의 기호와 강수 구역

## II. 기압과 날씨(중관규모)

### 1. 고기압

주위보다 기압이 높은 곳을 고기압이라고 한다. 북반구에서는 바람이 등압선에 비스듬히 시계 방향으로 불어 나가고, 남반구에서는 시계 반대 방향으로 불어 나간다.

#### (1) 고기압에서의 날씨

하강 기류 → 주위 기압 증가 → 공기의 단열압축 → 온도 상승 → 증발, 구름 소멸 → 날씨 맑음

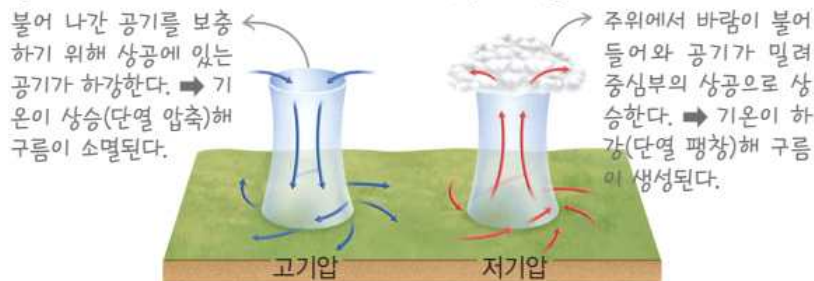
#### (2) 고기압의 종류

1) 온난 고기압: 대기 대순환에 의해 중위도에서 상층 공기가 아래로 내려오면서 생성, 키 큰 고기압, 북태평양 고기압

2) 한랭 고기압: 고위도 지역의 추운 지역에서 하층 공기가 냉각되어 생성, 키 작은 고기압, 시베리아 고기압

→ 두 고기압 모두 주위보다 기압이 높고, 정체성 고기압

### [고기압과 저기압 지역에서의 공기의 이동(북반구)]



2. 저기압

주위보다 기압이 낮은 곳을 저기압이라고 한다. 북반구 지상에서 바람은 시계 반대 방향으로 불어 들어가고, 남반구에서는 시계 방향으로 불어 들어간다.

(1) 저기압에서의 날씨

상승기류 → 주위 기압 감소 → 공기의 단열 팽창 → 온도 하강 → 수증기 응결, 구름 생성 → 날씨 흐림

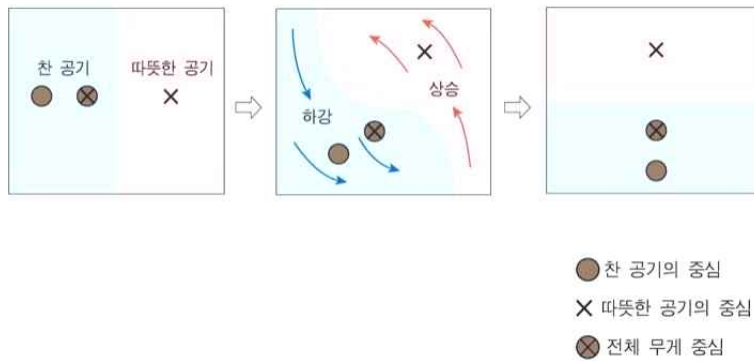
(2) 저기압의 종류

1) 온대저기압

한대 전선대 부근에서 성질이 다른 두 공기 덩어리 사이에서 발생하는 저기압을 말하며, 보통 저기압이라고 하면 대체로 온대저기압을 말한다.

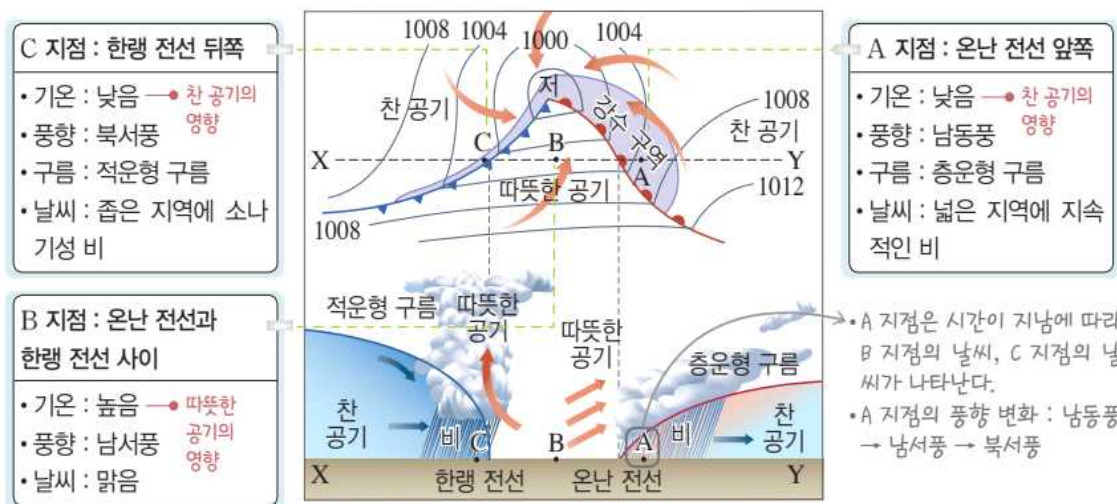
① 발생: 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나는 정체 전선상의 파동으로부터 발생하는데, 찬 공기가 남하하는 남서쪽으로 한랭 전선이, 따뜻한 공기가 북상하는 남동쪽으로 온난 전선이 발달한다. 이렇게 만들어진 온대저기압은 편서풍을 타고 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

② 에너지원: 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 내려올 때 찬 공기의 위치 에너지가 운동에너지로 전환되며 발달한다.

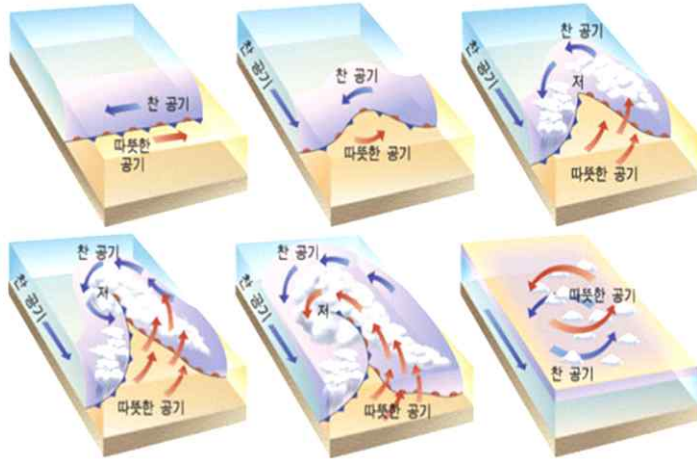


온대저기압의 에너지원

③ 날씨: 온대저기압은 온난 전선과 한랭 전선이 시간 차를 두고 통과하기 때문에 날씨 변화가 심하다.



#### ④ 온대 저기압의 일생



- 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나는 한대 전선대에서 정체 전선이 발생한다.
- 기층이 불안정해지면서 정체 전선상에 파동이 발생하여 한랭 전선과 온난 전선이 만들어진다.
- 온대저기압의 형태를 갖추고 편서풍을 따라 이동하며, 두 전선이 가까워져 폐색 전선이 만들어진다.
- 폐색 되면서 찬 공기는 아래쪽으로 따뜻한 공기는 위쪽으로 이동하면서 기층이 안정해지고 공기가 모두 섞이면 전선이 소멸된다.

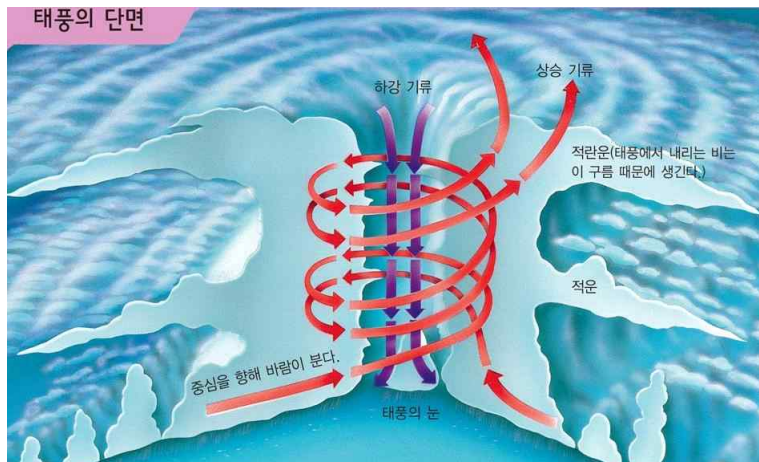
#### 2) 열대저기압

① 발생: 수온이 27°C 이상인 적도 부근(5°~25°)의 열대 해상에서 북동 무역풍과 남동 무역풍이 만나는 열대 수렴대의 편동풍 파동으로부터 발생한다.

열대저기압 중 최대 풍속이 17m/s 이상인 것을 태풍이라고 한다. 동아시아 지역에서는 태풍, 북미에서는 허리케인, 동남아, 오세아니아에서는 사이클론이라고 부르기도 한다. 단시간 동안 많은 양의 에너지를 고위도로 이동시켜 지구의 열수지 평형에 기여한다.

② 태풍의 이동: 무역풍을 따라 북서쪽으로 이동하다가 편서풍 구역에서는 방향을 바뀌어 북동쪽으로 빠르게 이동한다. 보통 태풍의 이동 속도는 무역풍대보다 편서풍대에서 빠르는데 이는 편서풍대에서는 대기 대순환에 의한 지상의 바람과 태풍의 이동 방향이 거의 같기 때문이다.

③ 태풍의 구조: 일기도 상에서 등압선이 조밀하게 모여 있는 동심원의 형태로 나타나며 반지름은 대략 500km에 이르고 중심부에는 하강 기류가 나타나 날씨가 맑고 바람이 약한 구역인 태풍의 눈이 있다.

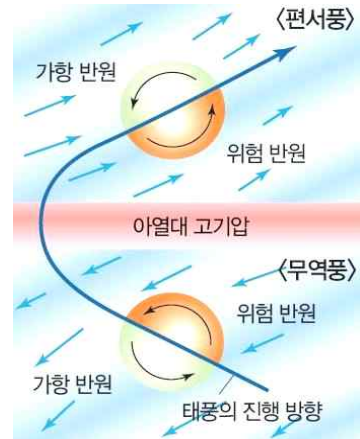




④ 태풍의 에너지원: 수권과 기권의 상호작용으로 수증기가 물방울로 응결하면서 방출하는 응결열(숨은열, 잠열)이 에너지원이다. 따라서 태풍이 차가운 바다에 진입하거나 상륙하면 수증기 공급이 줄어들고 지면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해지고 결국 소멸한다.

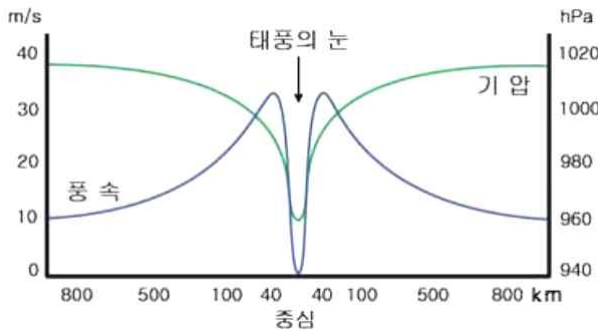
⑤ 태풍의 피해

- 위험 반원: 태풍 진행 방향의 오른쪽은 태풍의 회전에 의한 풍향과 태풍의 진행 방향 및 대기 대순환의 바람 방향과 일치하여 풍속이 크고 파고가 높아 피해가 크다.
- 안전 반원: 태풍 진행 방향의 왼쪽은 태풍의 회전에 의한 풍향과 태풍의 진행 방향 및 대기 대순환의 바람 방향이 서로 반대가 되며 상대적으로 풍속이 약하다.



⑥ 풍향의 변화: 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역은 시계 반대 방향으로 풍향이 변하며, 위험 반원인 오른쪽은 시계 방향으로 풍향이 변해간다.

⑦ 기압과 풍속: 기압은 태풍의 눈에서 가장 낮고, 풍속은 태풍의 눈 주위에서 가장 크게 나타난다. 태풍의 바깥쪽에서 안쪽으로 불어 들어가던 바람은 중심부에 가까이 갈수록 풍속이 강해지는데 이것은 중심으로 불어 들어가는 공기 덩어리의 회전 반지름이 작아지므로 각운동량 보존 법칙에 따라 속력이 증가하기 때문이다. 태풍의 중심에서 5~20km 정도 거리에서 강수량과 풍속이 최대가 되며 공기 덩어리가 더 이상 안쪽으로 들어가지 못하고 나선운동을 하며 상승한다.



태풍의 구조에서의 물리량

종류	구분	온대 저기압	태풍
발생장소		위도 60°부근의 한대 전선대	위도 5°~25°의 열대 해상
규모		지름 수천 Km 정도	지름 200~1000Km 정도
전선		온난전선, 한랭전선을 동반한다.	전선을 동반하지 않는다.
등압선		타원, 간격이 넓다.	거의 원형, 간격이 좁다.
바람		중심부의 풍속이 강하다. 전선에서 풍향, 풍속이 급변한다.	중심부는 풍속이 약하다.
에너지원		기층의 위치 에너지	수증기의 응결열(숨은 열)

온대저기압과 열대저기압(태풍)의 비교

# Chapter 4. 해양학

## 제1절 해수의 성질

### I. 해수의 물리량

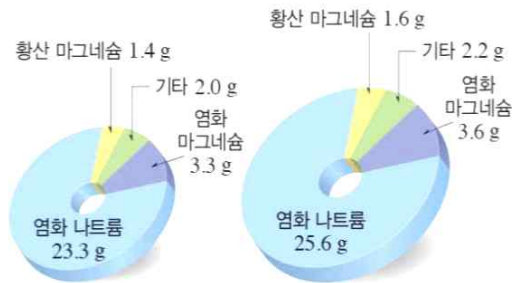
\* 염분: 해수 1kg 속에 용해되어있는 염류의 양을 g 수로 나타낸 것을 염분이라고 한다. 전 세계 바닷물의 평균 염분은 약 35psu이다.

(1) 염류: 해수에 녹아있는 물질을 염류라고 하는데, 대부분 이온 상태로 녹아있으며  $Cl^-$ ,  $Na^+$  이 약 85% 이상을 차지한다.



해수 중 주요 염류들의 양

(2) 염분 비 일정의 법칙: 해수에 녹아있는 염분은 다르더라도 염류 사이의 조성비는 항상 일정하다는 법칙이다. 특정 염류의 비율이 일정하므로 한 성분의 양만 알게 되면 다른 성분들의 양도 알 수 있다.



### 염분비 일정의 법칙(30psu와 33psu에서 염류의 양)

(3) 염분의 측정

1) 염소량에 의한 측정: 크누센의 실험식  $S=1.80655 \times Cl(\%)$  이용

2) 무게에 의한 측정: 일정량의 순수한 해수를 증발시키고 남은 잔여물의 무게를 재어 염분을 계산한다.

3) 전기 전도도에 의한 측정: 해수의 전기 전도도는 염분에 비례한다는 사실을 이용

(4) 해수의 표층 염분 변화

표층 염분의 변화 요인으로는 증발량, 강수량, 결빙, 해빙, 강물과 지하수의 유입, 해류 등이 있으며, 이 중 증발량과 강수량이 가장 큰 영향을 미친다.

1) 증발량과 강수량: 증발이 될 때는 거의 순수한 물만 증발하게 되고 염류는 거의 증발하지 않기 때문에 증발량이 많아지면 염분은 높아진다.

① 중위도 지역은 증발량이 많고 강수량이 적어서 염분이 높다.

② 빙물을 염분이 낮으므로 강수량이 많아지면 염분은 낮아진다.

③ 우리나라의 경우, 동해보단 서해가, 겨울보다는 여름에 염분이 낮다

2) 하천수의 유입: 하천수는 민물이기 때문에, 염분이 매우 낮다. 따라서 하천수의 유입이 많은

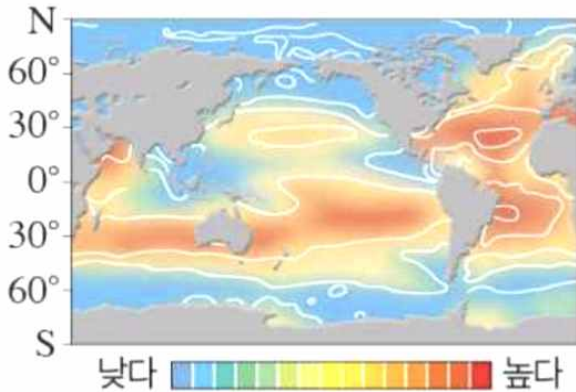
우리나라 서해안은 동해보다 염분이 낮다.

3) 난류와 한류: 난류는 온도가 높아서 바다의 암석이나 토양으로부터 염류들이 많이 녹아 나오게 되므로 한류에 비해 염분이 높은 경향을 보인다. 우리나라 동해안 남쪽 바다는 동한 난류의 영향으로 염분이 높고, 동해안 북쪽은 북한 한류의 영향을 받아 염분이 낮다.

4) 결빙과 해빙: 얼음이 얼 때는 순수한 물만 얼기 때문에 얼음이 얼고 난 주변의 물은 염분이 높아진다.

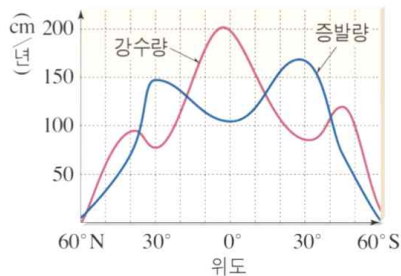
(5) 전 세계 해양의 표층 염분 분포

표층 염분에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 증발량과 강수량이다.

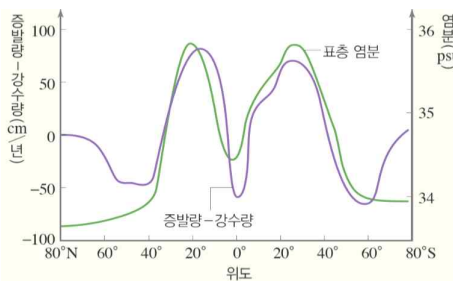


전 세계 해양의 표층 염분

1) (증발량-강수량) 값에 의한 표층 염분 분포



위도별 강수량과 증발량



증발량과-강수량과 염분의 위도별 분포

위도 0° 부근: 염분이 낮다.(적도 저압대)

위도 30° 부근: 염분이 가장 높다.(중위도 고압대)

위도 60° 부근: 염분이 낮다.(고위도 저압대)

2) 주변 환경에 의한 표층 염분의 분포

지중해와 같이 막힌 바다에서는 염분이 대체로 높다.

건조한 기후조건인 사막으로 둘러싸인 홍해 같은 바다는 표층 염분이 매우 높다.

큰 강 하구에 위치한 대륙의 연안에서는 염분이 낮다.

극 지방 부근에서는 결빙이 일어나면 염분이 높아지고, 해빙이 일어나면 염분이 낮아진다.

대서양이 태평양보다 염분이 높게 나타난다.

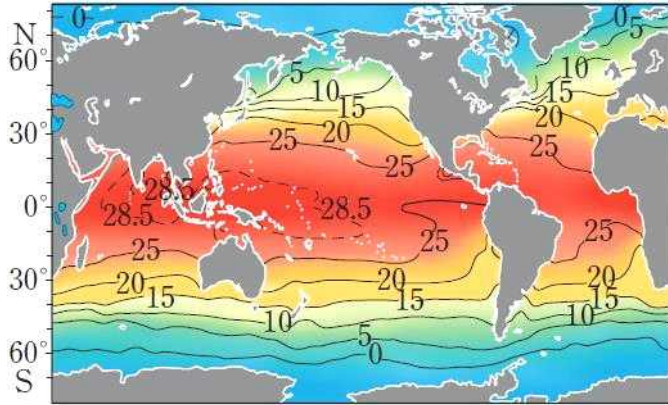
2. 해수의 온도

(1) 위도에 따른 표층 수온

해수의 온도는 주로 태양 복사 에너지에 의해 달라지므로 고위도로 갈수록 낮아지고 저위도로 갈수록 높아지는 경향을 보인다. 지리상의 적도와 열적도가 1년 동안 조금씩 달라진다.

(2) 전 세계 해양의 해수면 온도 분포

등수온선이 대체로 위도에 평행하다. 이는 해수면의 온도가 일사량에 의해 결정되기 때문이다.



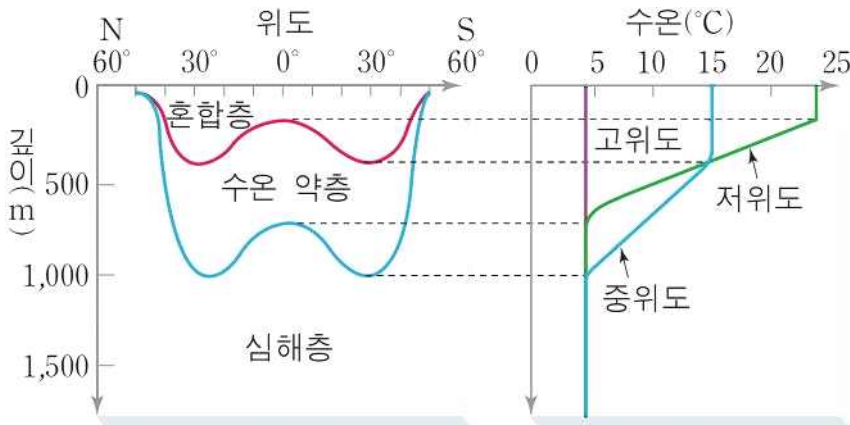
(단위:°C)

**위도에 따른 표층 수온 분포**

(3) 수온의 연직 분포

태양 복사 에너지는 수심 10m까지가 80% 이상 흡수되고, 100m까지가 약 98%가 흡수되며, 100m보다 깊은 곳은 거의 도달하지 않는다. 이와 같이 해수 표면에 도달한 태양 복사 에너지의 양은 수심이 깊어질수록 급격히 감소하여 수온이 연직 분포가 달라진다.

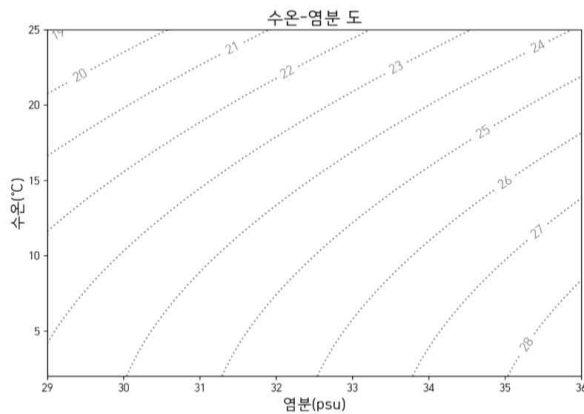
- 1) 혼합층: 표층에서 부는 바람에 의해 잘 섞이는 층. 수심이 깊어져도 수온이 일정하게 나타난다. 여름철보다 바람이 강한 겨울철에 두꺼워지며, 위도 30° 부근의 중위도 지역에서 두껍게 형성된다.
- 2) 수온약층: 혼합층 아래쪽에 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 여름철에는 바람이 약하고 강한 태양 복사 때문에 해수면 온도가 높고 혼합층이 얇아져 상대적으로 수온약층이 두껍게 발달한다.
- 3) 심해층: 보통 극지방에서 냉각된 해수가 오랜 시간 동안 아래로 침강하여 전 위도에 걸쳐 분포하게 된 층이다.



**전 지구적인 해양의 심층 구조**

(4) 수온-염분도(T-S 다이어그램): 해수의 밀도 변화(심층 순환)

성질이 다른 수괴는 서로 만나더라도 바로 섞이지 않으므로 수온과 염분이 거의 변하지 않는다. 따라서 수괴의 성질을 조사하여 수온-염분도에 나타내면 그 기원과 경로를 추정할 수 있다.



### 3. 해수의 밀도

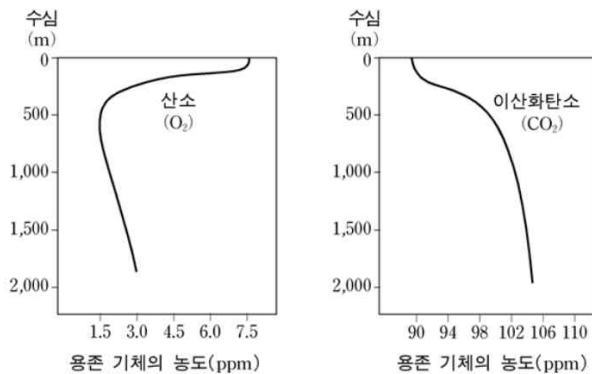
표층 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정된다. 일반적으로 수온이 낮고 염분이 높을수록 증가한다. 또한 수심이 깊어질수록 수압이 증가하여 해수가 압축되므로 밀도가 증가한다. 수온의 변화폭이 염분의 변화폭보다 더 크므로 해수의 밀도 변화는 수온의 영향을 가장 크게 받는다.

### 4. 해수 중의 용존 기체, 색, 투명도

해수 중에는 산소, 이산화탄소 외에도 질소 등의 기체가 용해되어있어 해양 생물의 서식에 중요한 역할을 한다.

해수에 대한 기체의 용해도는 수온이 낮을수록, 수압이 클수록, 염분이 작을수록 높아진다.

해수에 녹아있는 기체: 이산화탄소, 산소, 질소 등의 순이며 이산화탄소는 대기 중보다 약 60배 정도 더 크다.



(1) 용존 산소(DO): 물속에 녹아있는 분자 상태의 산소를 용존산소라고 하며 물속에 사는 어패류나 호기성 미생물은 이러한 용존 산소를 이용하여 호흡한다. DO는 수온이 높을수록, 플랑크톤이 이상 증식하는 경우 작아진다.

표층: 수심 약 100m까지의 해수에는 대기 중의 산소가 직접 녹아 들어가고 식물성 플랑크톤의 광합성이 활발하게 일어나기 때문에 용존 산소량이 가장 많다. 빛이 도달할 수 있는 최대 깊이인 100m 정도까지 용존 산소량의 최대값이 나타난다.

중층: 수심 약 200m~800m 정도의 깊이에서는 광합성에 의해 공급되는 산소가 거의 없는 반면, 동식물의 호흡이나 유기물의 분해 등으로 용존 산소는 급격히 감소해서 매우 적은 값을 나타낸다.

심층: 수심 약 1000m 이상에서는 용존 산소가 풍부한 한 대 지방의 찬 해수가 오랜 세월을 두

고 가라앉아 형성된 심해층이 분포하고 있어 용존 산소량이 많다. 여기에는 플랑크톤의 먹이가 되는 영양 염류도 풍부하고 용승류 등에 의해 이 지역의 물이 상승하게 되면 용존 산소와 영양 염류가 풍부해 좋은 어장을 형성하게 된다.

(2) 색

바닷물은 빨간색을 잘 흡수하며 파란색이나 녹색은 거의 흡수하지 않나 푸르게 보인다. 부유물이 많은 경우 황색을 띠고, 플랑크톤이 많으면 녹색, 규조류가 많으면 갈색을 띤다. 붉은색 플랑크톤이 크게 번식하면 바닷물이 붉은색을 띠는데, 이를 적조현상이라고 한다.

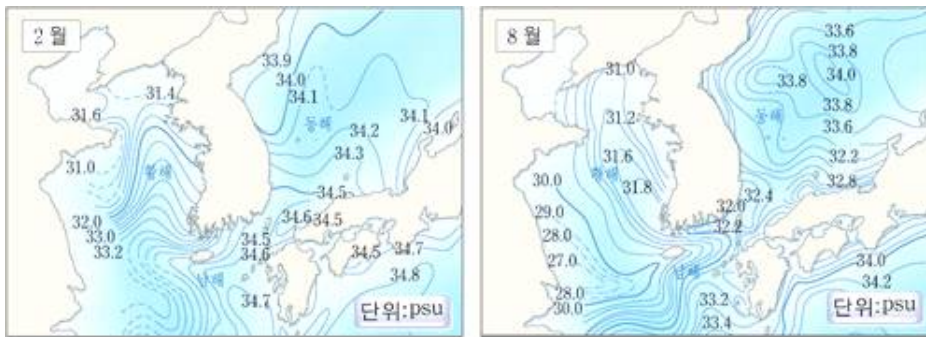
(3) 투명도

지름 30cm의 백색 원판을 바다에 가라앉혀 이것이 보이지 않는 순간의 깊이를 투명도로 정의하며, 육수나 해수의 투명도는 결정하는 값이 된다. 투명도는 부유물질이나 플랑크톤이 적을수록 크다.

일반적으로 투명도가 높을수록 바다는 진한 남색을 띠는데 이는 깊은 곳까지 보이기 때문이다. 난류는 플랑크톤이 적어 투명도가 높은 편이다. 대표적으로 쿠로시오(黑潮) 해류가 있다.

5. 우리나라 주변 해역의 염분 변화

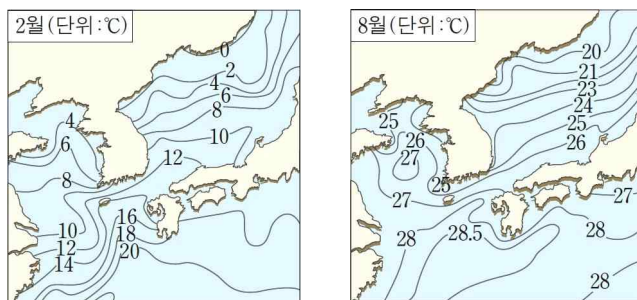
(1) 우리나라 주변 해역의 염분



우리나라 주변 바다의 염분 분포

- 1) 남해 > 동해 > 황해
- 2) 겨울 > 여름
- 3) 육지로부터의 거리가 멀수록 염분이 높다.

(2) 우리나라 주변 해역의 수온 변화



연교차: 황해 > 동해 > 남해

(황해는 수심이 얕고 대륙의 영향을 많이 받기 때문에 등수온선이 해안선에 나란하게 나타나는 경향이 있다.)

## 제2절 해수의 운동

### I. 해파와 해일

1. 해파: 해수면이 교란되어 생긴 출렁거림이 파동에너지의 형태로 퍼져나가면서 생기는 물 입자의 주기적인 상하운동을 말하며 이동하지는 않는다.

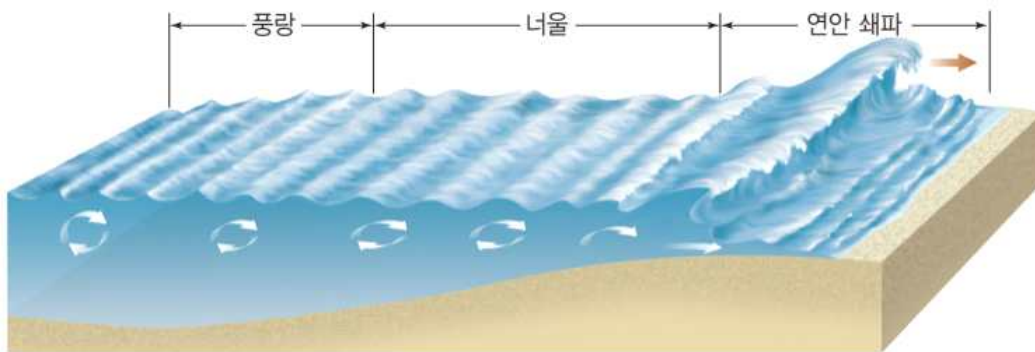


(1) 해파의 발생: 해파는 주로 해수면 위를 부는 바람의 에너지를 받아 발생하지만, 해저 지진, 화산활동 등에 의해서도 발생한다.

(2) 해파의 전파: 해파가 전파될 때 에너지는 해파의 진행 방향으로 물 입자의 운동을 통해 전달되지만, 물 입자는 원 궤도를 그리며 주기적으로 원운동을 하여 처음 위치로 되돌아올 뿐 해파를 따라 진행하지 않는다. 해파는 물 입자가 거의 움직이지 않지만, 해류는 물 입자가 함께 이동한다.

### 2. 해파의 분류

(1) 모양에 따른 해파의 분류: 풍랑, 너울, 연안 쇄파



1) 풍랑: 바람이 불어 해수면이 거칠어지면서 발생한 여러 파장의 해파가 합쳐져 마루가 삼각형 모양으로 뾰족하게 된 해파로, 파장과 주기가 짧다. → 풍역대에서 발달하며, 발달할 수 있는 최대 크기가 되면 바람이 불어도 더 이상 커지지 않는다.

2) 너울: 풍랑이 전파되어 풍역대를 벗어나면서 마루가 둥글고 규칙적인 형태가 된 해파로, 풍랑에 비해 파장과 주기가 길다.

3) 연안 쇄파: 너울이 수심이 얇은 해안에 도달하여 해저의 마찰로 전파 속도가 느려지고, 파장이 짧아지며, 파고가 높아져서 파의 봉우리가 해안 쪽으로 넘어지면서 부서지는 해파.

(2) 수심과 파장에 따른 해파의 분류: 심해파, 천해파

구분	심해파	천해파
그림		
정의	수심( $h$ )이 파장( $L$ )의 $\frac{1}{2}$ 보다 깊은 곳에서 진행하는 해파	수심( $h$ )이 파장( $L$ )의 $\frac{1}{20}$ 보다 얇은 곳에서 진행하는 해파
물 입자의 운동	해저면의 영향을 받지 않아 물 입자는 원운동을 한다. $\Rightarrow$ 원의 크기는 수심이 깊어질수록 급격히 작아진다.	해저면의 영향으로 물 입자는 타원 운동을 한다. $\Rightarrow$ 수심이 깊어질수록 더 납작한 타원 운동을 하며 해저면에서 수평으로 왕복 운동을 한다.
전파 속도	전파 속도( $v$ ) = $\sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$ ( $g$ : 중력 가속도) $\Rightarrow$ 파장( $L$ )이 길수록 속도가 빠르다.	전파 속도( $v$ ) = $\sqrt{gh}$ $\Rightarrow$ 수심( $h$ )이 깊을수록 속도가 빠르다.

(3) 해파의 작용

해파의 굴절 해안에 천해파가 접근하면, 수심이 얕아지면서 전파 속도가 느려진다.

- 1) 해파의 마루를 연결한 선은 등수심선과 평행하고, 파도는 대체로 해안선에 나란하게 다가오며, 해파의 진행 방향은 해안선에 수직이다.
- 2) 곳에서 수심이 먼저 얕아지면서 전파 속도가 느려지고, 만에서 전파 속도가 빠르므로 해파는 곳 쪽으로 휘어진다.



해파의 굴절

3. 해일

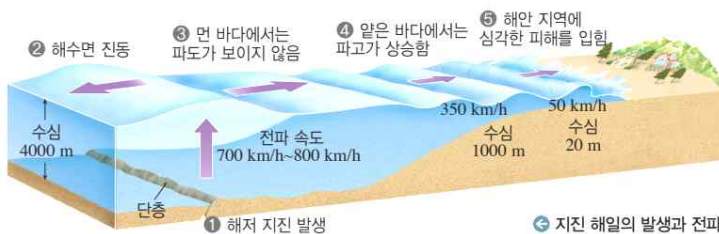
여러 원인에 의해 해수면이 급격하게 상승하여 해수가 육지로 밀려드는 현상으로, 주로 해저 지진과 폭풍에 의해 발생한다.

(1) 지진해일(쓰나미)

1) 발생: 해저에서 지진, 화산 폭발, 단층 등의 갑작스러운 지각변동이 발생할 때, 파장이 매우 긴 파동이 형성되어 해안가로 밀려오면서 생긴 해일 대부분 해저 지진으로 발생

2) 특징

- ① 파고: 수심이 깊은 먼 바다에서는 파고가 약 1 m 정도로 낮지만, 수심이 얕은 해안가로 오면 속도가 느려지고 파장이 짧아지면서 파고가 수 m~수십 m로 높아진다.
- ② 파장: 수백 km 이상으로 파장이 매우 길다.
- ③ 전파 속도: 천해파의 성질을 띠므로 전파 속도는 수심에 따라 달라지며, 해안으로 올수록 느려진다.





(2) 폭풍해일

1) 발생: 태풍이나 강한 저기압이 해안으로 접근할 때, 낮은 중심 기압과 강한 바람에 의해 해수면이 급격하게 상승하여 발생한다.

① 폭풍 해일도 파장이 길어 천해파의 성질을 띤다.

② 해수면 상승 원인: 중심 기압이 낮으면 해수면이 상승하고, 저기압에 동반된 강한 바람이 해수를 밀어 올려 해수면이 더 상승한다.

(3) 해일 피해: 해일 발생 당시의 기압, 만조 시기, 해안 및 해저 지형에 따라 달라진다.

1) 해수면이 높아지는 만조 때, 폭풍 해일이 발생하면 해일의 위력이 더 강해진다. 2) 강풍이 불어오는 만과 같은 지역에서는 폭풍 해일의 위력이 강해진다.

3) 우리나라에서는 태풍이 다가오는 여름철에 남해안 등에서 폭풍 해일 피해가 발생하며, 지진 해일보다 폭풍 해일의 발생 횟수가 많다.

(4) 해일에 대처하는 방법

1) 해안에 방파제 등의 구조물을 설치하여 해수가 직접 유입되는 것을 막는다.

2) 해일 발생 예보나 경보가 발령되면 즉시 안전한 고지대로 대피한다.

3) 태풍의 진로를 예상하여 폭풍 해일에 대비한다.

II. 조석

1. 조석과 기조력

(1) 조석: 해수가 수평으로 이동하여 해수면의 높이가 주기적으로 높아졌다 낮아지는 현상이다.

1) 만조(고조): 조석으로 하루 중 해수면이 가장 높은 때

2) 간조(저조): 조석으로 하루 중 해수면이 가장 낮은 때

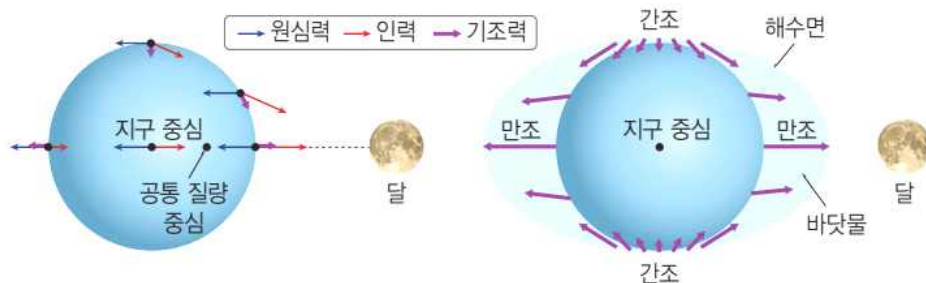
(2) 기조력: 조석 현상을 일으키는 힘으로, 지구와 천체(달, 태양 등)가 공통 질량 중심을 중심으로 회전할 때 생기는 원심력과 천체가 지구에 작용하는 인력의 합력

1) 기조력의 크기: 천체의 질량에 비례하고, 천체까지 거리의 세제곱에 반비례한다.

$$\text{기조력}(T) \propto \frac{\text{천체의 질량}(m)}{\text{천체까지의 거리}^3(r^3)}$$

2) 달과 태양에 의한 기조력: 달에 의한 기조력이 태양에 의한 기조력보다 약 2배 더 크다. 달은 태양에 비해 질량이 훨씬 작지만, 지구로부터의 거리가 훨씬 가깝기 때문이다.

3) 달에 의한 기조력



① 기조력에 영향을 주는 힘

② 기조력의 크기에 따른 해수의 분포

① 원심력의 크기와 방향은 지구상의 어느 지점에서나 같다.

② 각 지점에 작용하는 달의 인력은 달에서 가까운 곳이 먼 곳보다 크다.

③ 각 지점에서 원심력과 인력의 차이가 기조력으로 작용한다.

④ 기조력은 달에서 가장 가까운 곳과 달에서 가장 먼 곳이 최대이다. → 달을 향한 쪽과 달의 반대쪽에서는 만조가, 달과 직각을 이루는 쪽에서는 간조가 나타난다.

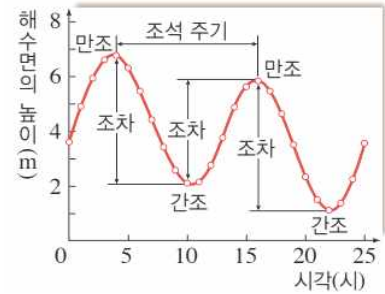
## 2. 조석 양상

(1) 만조와 간조: 지구가 자전하기 때문에 하루 동안 만조와 간조가 반복되어 나타난다.

(2) 조류: 조석에 의해 만조와 간조 사이에 나타나는 밀물, 썰물과 같은 수평 방향의 해수의 흐름

(3) 조차: 만조와 간조 때의 해수면의 높이 차이

(4) 조석 주기: 만조(간조)에서 다음 만조(간조)까지 걸리는 시간으로, 약 12시간 25분이다. → 조석 주기가 약 12시간 25분인 까닭: 지구가 자전하는 동안 달이 지구 주위를 같은 방향으로 공전하기 때문이다.



하루 동안 해수면의 높이 변화

## 3. 지역에 따른 조석 양상

지구의 자전축이 기울어져 달의 공전 궤도면과 지구의 적도면이 일치하지 않은 상태로 지구가 자전하기 때문에 위도에 따라 조석이 다르게 나타난다.

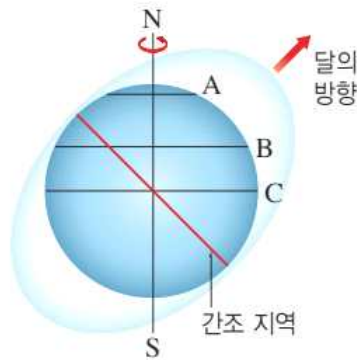
(1) 조차: 하루 동안 나타나는 조차가 지역에 따라 달라질 수 있다.

(2) 조석 주기: 하루 동안 만조와 간조가 일어나는 횟수와 주기가 지역에 따라 다르다.

(3) 만조와 간조가 일어나는 양상: 일주조, 혼합조, 반일주조로 구분한다.

일주조(A)	하루 동안 만조와 간조가 각각 1회씩 나타난다. → 고위도 지역
혼합조(B)	하루 동안 만조와 간조가 각각 2회씩 나타나지만 만조와 간조 사이의 시간 간격이 일정하지 않고, 조차가 다르다. → 중위도 지역
반일주조(C)	하루 동안 만조와 간조가 각각 2회씩 나타나며, 조차가 비슷하다. → 저위도 지역

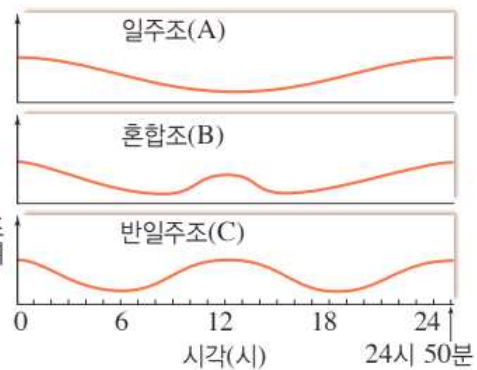
• 반일주조의 조석 주기는 약 12시간 25분이다.



A. 고위도 지역

B. 중위도 지역

C. 저위도 지역



### 위도별 만조와 간조의 횟수와 하루 동안 해수면의 높이 변화

(4) 전 세계 대양의 조석 양상: 반일주조가 가장 많이 나타나고, 일주조가 가장 적게 나타난다.

(5) 우리나라의 조석 양상

1) 서해안: 하루에 비슷한 높이의 만조와 간조가 각각 2번 나타난다. → 반일주조

2) 동해안: 하루 동안 나타나는 만조와 간조의 높이가 다르다. → 혼합조

4. 대조와 소조

달이 지구를 공전하면서 태양, 지구, 달의 상대적인 위치에 따라 기조력의 크기가 달라진다.

(1) 태양, 지구, 달이 일직선상에 있을 때 기조력의 크기가 가장 크다.

(2) 기조력이 가장 큰 시기에 조차가 가장 크게 나타난다.

(3) 대조와 소조

1) 대조(사리): 조차가 가장 큰 시기로, 달의 위상이 삭과 망일 때 일어난다.

2) 소조(조금): 조차가 가장 작은 시기로, 달의 위상이 상현과 하현일 때 일어난다.

3) 대조와 소조가 나타나는 태양, 지구, 달의 상대적 위치

구분	대조(사리)	소조(조금)
정의	조차가 최대가 되는 시기	조차가 최소가 되는 시기
태양, 지구, 달의 상대적 위치		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양, 지구, 달이 일직선상에 위치한다. ⇒ 망 또는 삭</li> <li>달과 태양의 기조력이 합해져서 조차가 최대가 된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양, 지구, 달이 지구를 중심으로 직각을 이룬다. ⇒ 상현 또는 하현</li> <li>달과 태양의 기조력이 상쇄되어 조차가 최소가 된다.</li> </ul>
달의 위상과 한 달 동안 해수면의 높이 변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>조차가 가장 큰 시기: 음력 1일경인 삭과 15일경인 망(보름) → 약 15일 주기로</li> <li>조차가 가장 작은 시기: 음력 7일경인 상현과 22일경인 하현 → 조차 크기가 변한다.</li> <li>한 달에 각각 약 2회의 대조와 소조가 나타난다.</li> </ul>	

III. 해류의 발생

1. 해류

일정한 속력과 방향으로 지속적으로 움직이는 대규모의 해수 흐름이다.

(1) 해류의 발생

해류가 발생하는 원인은 크게 외적인 원인과 내적인 원인으로 구분할 수 있다.

1) 외적인 원인: 대기 순환으로 인하여 직접적인 영향을 받는 표층수에서의 해류 즉, 표층류이며 바람이 주요 원인이 된다. 이를 풍성순환이라고 하며, 이렇게 발생한 해류는 표층 순환을 이루게 된다.

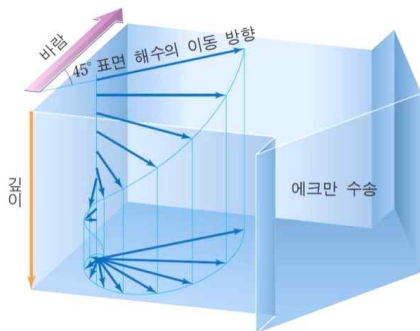
2) 내적인 원인: 수온과 염분의 변화에 따른 밀도 변화에 의해 나타나는 심층류이다. 이를 열염 순환이라고도 하며, 이렇게 발생한 해류가 심층 순환을 이룬다.

3) 해류 발생의 에너지원: 표층류와 심층류 모두 그 원인은 태양 복사 에너지이다.

(2) 생성 원인에 따른 해류의 분류

1) 취송류: 일정 방향으로 오랫동안 부는 바람이 해수면에 작용하는 마찰력에 의해 발생하는 해류. 전향력 때문에 북반구는 풍향에 대하여 약 45° 오른쪽 방향으로 이동하고, 남반구는 45° 왼쪽 방향으로 이동한다. 대부분의 표층 해류는 취송류이며, 적도 해류, 북대평양 해류, 북대서양 해류, 남극순환해류 등이 이에 속한다.

에크만 수송: 취송류가 생길 때 전향력의 영향을 받아, 북반구에서는 수심이 깊어짐에 따라 해수의 흐름이 시계방향으로 바뀌어 가면서 유속이 느려진다. 유속 표시의 끝부분을 연속적으로 연결하면 오른나사의 나선 모양이 만들어지는데 이를 에크만 나선이라고 한다. 이와 같은 흐름의 평균적인 값은 바람이 불어가는 방향에 대해 오른쪽 방향이며 이러한 수송을 에크만 수송이라고 한다.



**에크만 나선과 에크만 수송**

2) 경사류: 기압차, 바람, 강수, 증발, 하천수의 유입 등에 의해 해수면에 경사가 생길 때 경사 방향으로 중력에 의한 수압 경도력이 작용하여 만들어지는 해류는 경사류라고 하며, 전향력 때문에 북반구에서는 경사 방향에 대해 오른쪽 직각방향으로 이동하고, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 흐르게 된다.

- 적도 반류는 적도 해류가 태평양의 동쪽에서 서쪽으로 흐른 결과 생긴 경사에 의해 형성된 경사류로, 적도에서는 전향력이 없으므로 해수면 경사 방향인 서에서 동쪽으로 흐른다.

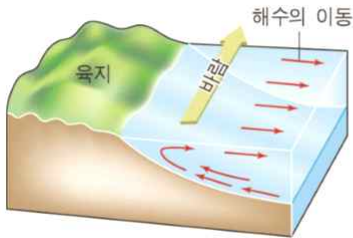
3) 보류: 해수가 이동하고 난 빈자리를 채우기 위해서 흐르는 해류는 보류라고 한다. 대표적으로 연안용승류가 있다.

- 연안용승류: 대륙의 동해안에서 남풍계열의 바람이 불거나 대륙의 서해안에서 북풍계열의 바람이 부는 등 해안과 나란한 성분의 바람이 불어 에크만 수송에 의해 해수가 먼 바다 쪽으로 이동이 생길 경우 이를 보충하기 위해서 심층에서 찬물이 상승하는데 이러한 해수의 흐름을 연안용승류라고 한다.

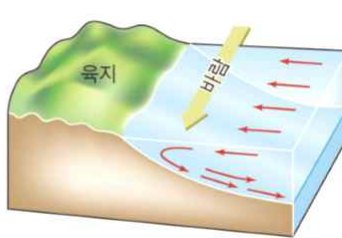
연안용승류는 심층에 있던 찬 해수가 올라오기 때문에 주변보다 5~10℃ 정도 낮은 수온 분포를 나타내며 용존 산소와 영양염류가 풍부하기 때문에 좋은 어장이 형성된다. 또한 대기의 냉각으로 안개가 많이 끼어 안전사고가 자주 발생하기도 한다.

적도 용승류: 적도 부근에서 무역풍에 의해 발생한 에크만 수송이 고위도 쪽으로 일어나 표층수를 발산시키므로 심층수가 올라오는 용승류가 발생한다.

저기압(태풍)에 의한 용승: 북반구에서 저기압이나 태풍의 중심 부근에서는 시계 반대 방향으로 강한 바람이 지속적으로 불고 있으므로 오른쪽 직각 방향으로 에크만 수송이 발생한다. 따라서 저기압 중심에서 해수의 발산이 나타나기 때문에, 중심에서 찬 해수가 올라오게 된다.



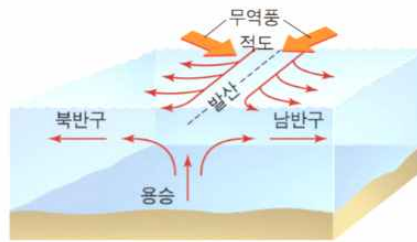
▲ 연안 용승



▲ 연안 침강



▲ 연안 용승으로 인한 냉수대



▲ 무역풍에 의한 적도 용승

4) 밀도류: 수온과 염분의 변화에 의해 생긴 밀도차에 의해 발생하는 해류를 밀도류라고 하며 유속이 매우 느리다. 밀도가 높은 해수는 가라앉고 밀도가 낮은 물은 위로 올라가면서 해류를 형성한다.

지중해 해류: 증발량이 많고 강수량이 적은 지중해의 해수가 대서양의 해수보다 밀도가 높기 때문에 대서양으로 빠져나갈 때 대서양 표층수 아래로 가라앉는다.

남극 저층수, 북대서양 심층수 등

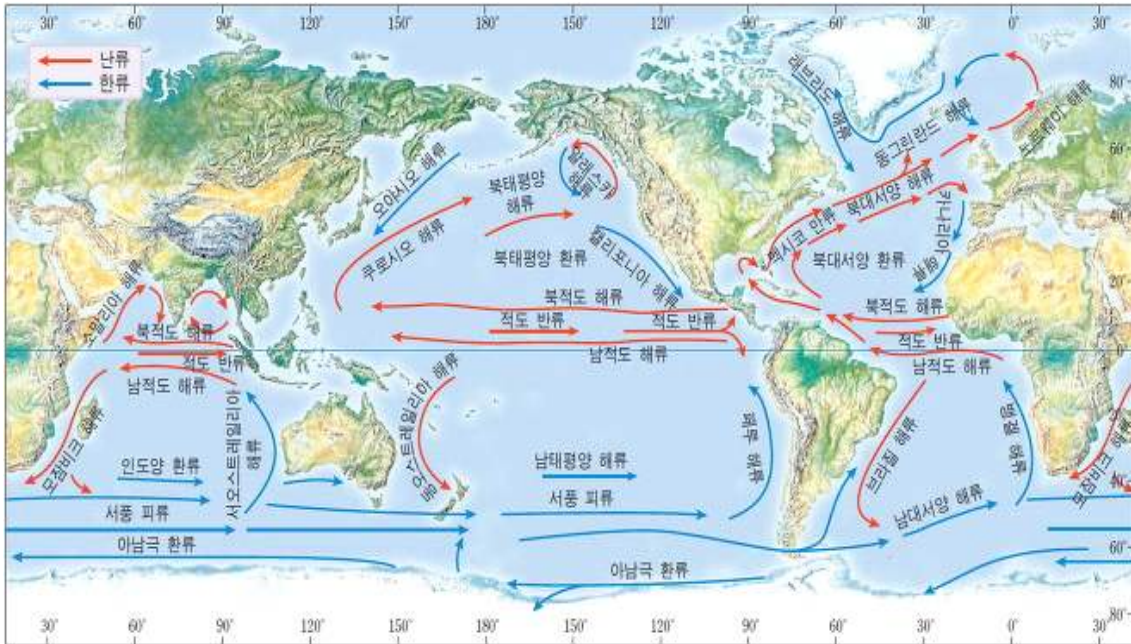
(3) 온도에 따른 해류의 분류

1) 난류: 저위도에서 고위도로 흐르는 해류, 수온과 염분이 높다. 용존산소량이 적고, 영양염류의 양이 적다. 쿠로시오해류와 멕시코 만류 등이 있다.

2) 한류: 고위도에서 저위도로 흐르는 해류, 수온과 염분이 낮다. 용존산소량과 영양염류가 많이 녹아있다. 캘리포니아 해류와 페루해류 등이 있다.

3) 난류와 한류의 영향

난류와 한류는 주변 기후에도 영향을 주는데, 같은 위도의 지역이 난류의 영향을 받으면 평균 기온이 더 높게 나타나기도 한다.

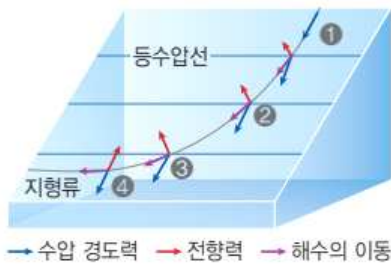


세계의 해류

2. 지형류 평형

(1) 지형류: 해수 중에서 밀도의 불균등 분포나 해수면의 경사 등이 원인이 되어 수압 경도력이 생기면, 수압 경도력과 전향력이 평형을 이루는 상태에서 해류가 흐르게 되는데 이를 지형류라고 한다.

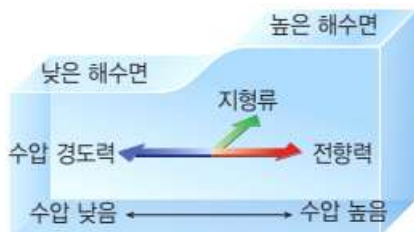
1) 지형류의 발생: 에크만 수송에 의해 해수가 이동하면 해수면 경사가 생기고, 수압 경도력이 작용하여 해수가 이동하기 시작한다. 전향력에 의해 휘어지다가 수압 경도력의 직각 방향으로 등수압선에 나란하게 지형류가 흐른다.



- ① 수압 경도력이 작용하여 해수는 수압이 낮은 곳으로 이동한다.
- ② 해수가 이동하면 전향력이 작용하여 해수의 이동 방향이 오른쪽으로 휘어진다.
- ③ 해수의 유속이 빨라지고, 전향력이 커지면서 해수의 이동 방향은 계속 휘어진다.
- ④ 전향력이 수압 경도력과 크기가 같고 방향이 반대가 되면, 두 힘이 평형을 이루어 등수압선에 나란하게 지형류가 흐른다.

지형류의 발생 과정

2) 지형류 평형: 수압 경도력과 전향력이 평형을 이룬 상태로, 두 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다. → 해양의 거의 모든 해류는 지형류 평형 상태에서 흐른다.



북반구에서 지형류 평형

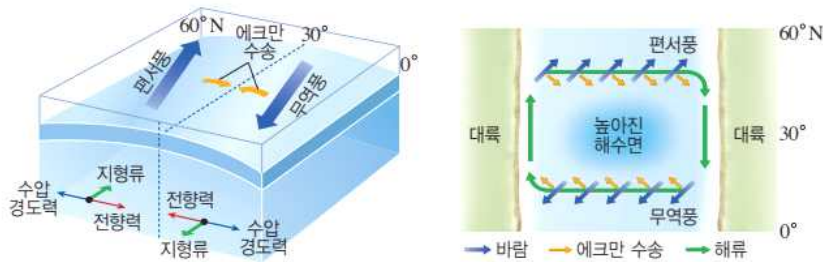
3) 지형류의 방향

① 북반구: 수압 경도력의 오른쪽 90° 방향

② 남반구: 수압 경도력의 왼쪽 90° 방향

4) 지형류의 속력: 저위도로 갈수록, 해수면의 경사가 클수록 빠르다.

(2) 북반구 아열대 해양의 지형류 형성: 북반구 아열대 해양에서는 무역풍과 편서풍이 해수의 에크만 수송을 일으켜 지형류가 발생한다.



**북반구 아열대 해양에서 지형류 발생**

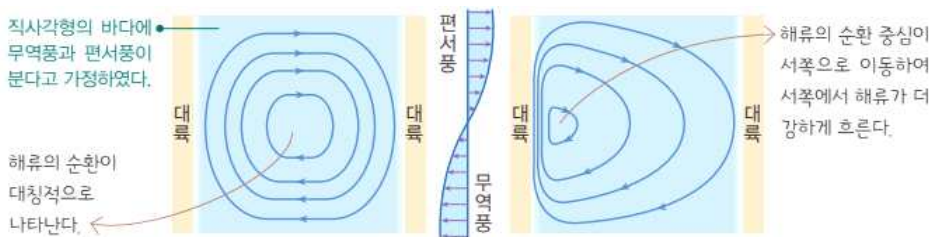
**아열대 순환(북반구)**

- 1) 에크만 수송: 무역풍은 해수를 바람 방향의 오른쪽 직각 방향인 북쪽으로 이동시키고, 편서풍은 해수를 바람 방향의 오른쪽 직각 방향인 남쪽으로 이동시킨다.
- 2) 해수면 경사: 해수의 이동으로 위도 30°N 부근의 해수면 높이가 상승하며 해수면이 높은 곳에서 낮은 곳으로 수압 경도력이 발생한다.
- 3) 지형류 형성: 전향력이 수압 경도력의 반대 방향으로 작용하여 평형을 이루면, 무역풍대에서는 동에서 서로, 편서풍대에서는 서에서 동으로 지형류가 흐른다.
- 4) 아열대 순환 형성: 위도와 나란하게 흐르던 지형류가 대륙에 부딪혀 이동 방향이 휘어지면서 환류를 이루어 시계 방향의 아열대 순환이 형성된다. 남반구에서는 시계 반대 방향으로 흐른다.

(3) 경계류: 해양의 서쪽 연안 경계에서 흐르는 해류를 서안 경계류, 동쪽 연안 경계에서 흐르는 해류를 동안 경계류라고 한다.

1) 서안 강화 현상 아열대 순환에서 해양의 서쪽에서 해류가 더 강하게 흐르는 현상

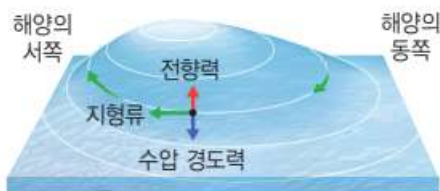
① 원인: 스토멜은 전향력의 크기가 고위도로 갈수록 커지기 때문에 발생한다고 설명했다.



**전향력이 일정할 때**

**전향력이 고위도로 갈수록 커질 때**

② 지형류의 세기: 아열대 해양에서 순환의 중심이 서쪽으로 치우치므로 수압 경도력이 해양의 동쪽보다 서쪽에서 더 크기 때문에 해양의 서쪽에서 지형류가 더 강하게 흐른다.



**서안 강화 현상과 지형류**

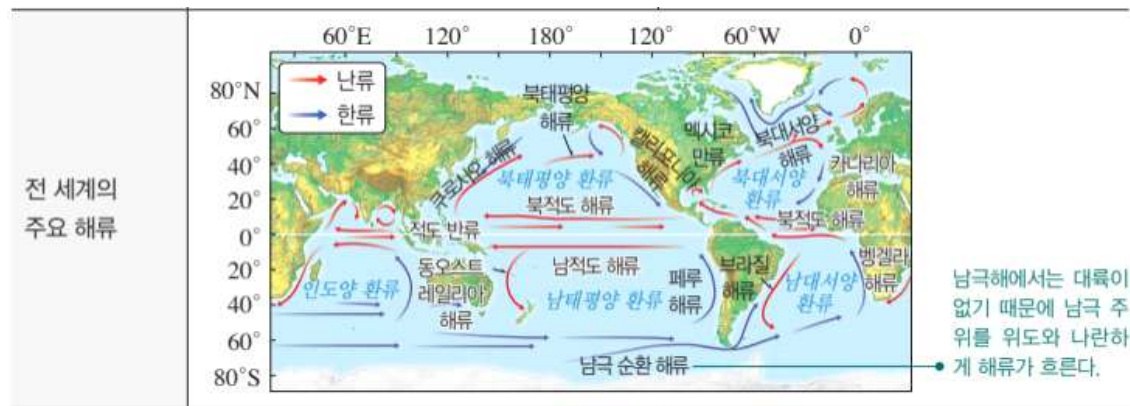
2) 서안 경계류와 동안 경계류

- ① 서안 경계류: 해양의 서쪽을 따라 고위도 쪽으로 좁고 빠르게 흐르는 해류
- ② 동안 경계류: 해양의 동쪽을 따라 저위도 쪽으로 비교적 넓고 느리게 흐르는 해류



서안 경계류와 동안 경계류

구분	서안 경계류	동안 경계류
흐름의 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭이 좁다. 100 km 이내</li> <li>• 깊이가 깊다. 2 km까지</li> <li>• 유속이 빠르다. 수백 km/일</li> <li>• 유량이 많다. 50 Sv~100 Sv 이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭이 넓다. 1000 km까지</li> <li>• 깊이가 얕다. 0.5 km 이내</li> <li>• 유속이 느리다. 수십 km/일</li> <li>• 유량이 적다. 10 Sv~15 Sv 정도</li> </ul>
해수의 성질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저위도에서 고위도로 흐르는 난류</li> <li>• 고온 고염분의 해수</li> <li>• 영양 염류와 용존 산소량이 적다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고위도에서 저위도로 흐르는 한류</li> <li>• 저온 저염분의 해수</li> <li>• 영양 염류와 용존 산소량이 많다.</li> </ul>
예	쿠로시오 해류, 멕시코만류	캘리포니아 해류, 카나리아 해류



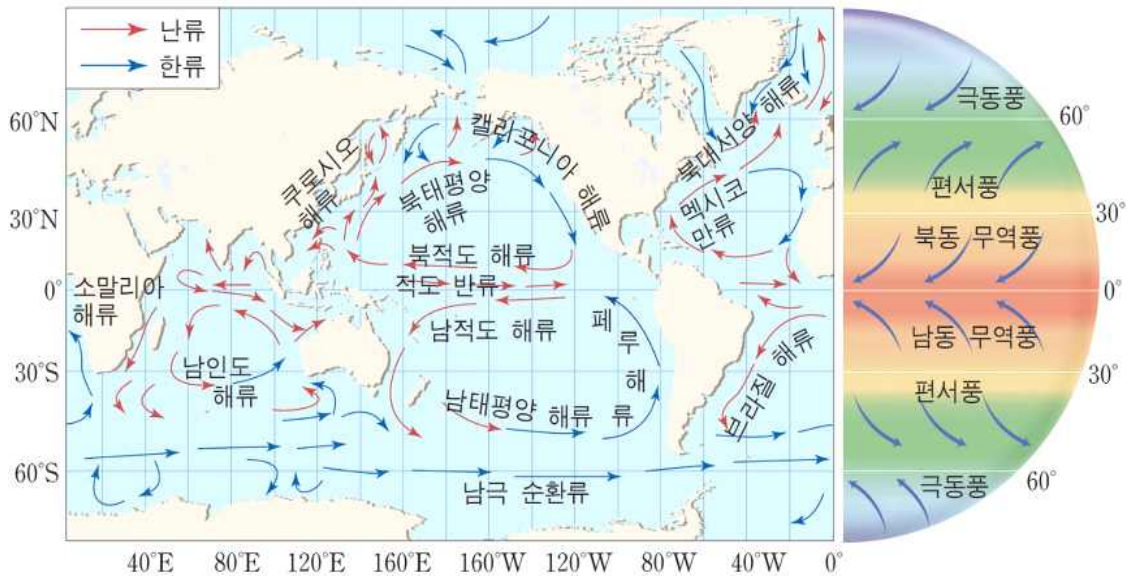
3. 세계의 해류

(1) 표층 해수의 순환

표층 해수의 순환은 주로 바람에 의해 발생되며, 수심 약 400m 이내의 혼합층에서 일어난다. 따라서 대기 대순환과 밀접한 관계가 있으며 대기 대순환과 마찬가지로 남반구와 북반구에서 거의 대칭적인 모습을 띤다. 북반구에서 바다는 대륙에 의해 동서가 막혀 있고 남반구는 그렇지 않아 조금은 다른 양상의 해수 이동이 나타난다.

- 1) 역할: 저위도와 고위도 사이의 열 수송 역할을 담당하고 있으며 전세계 기후와 환경에도 큰 영향을 미치고 있다.
- 2) 특징: 바다가 대륙에 의해 막혀 있고, 지구 자전의 영향으로 북반구에서는 시계 방향의 순환이, 남반구에서는 시계 반대 방향의 순환이 대칭적으로 나타난다.





표층 순환과 대기 대순환

(2) 태평양의 표층 순환

1) 열대 환류: 북반구(남반구)에서 북동 무역풍(남동 무역풍)에 의해 생성된 북적도 해류(남적도 해류)가 서태평양으로 흐르며, 그로 인해 생긴 동태평양 방향으로의 해수면 경사에 의해 적도 반류가 만들어지면서 만들어지는 순환을 말한다.

2) 아열대 환류

① 북반구(남반구) 저위도에서 북동 무역풍(남동 무역풍)에 의해 생성된 북적도 해류(남적도 해류)가 태평양의 서안 경계에 다다르게 되면서 환류를 형성하게 되고 전향력의 성분 변화가 유속을 증가시키는 역할을 하면서 서안 경계류인 쿠로시오 해류(동오스트레일리아 해류)를 형성하게 된다.

② 북반구(남반구) 중위도에서 편서풍에 의해 생성된 북태평양 해류(남극 순환 해류)가 태평양의 동안 경계에 다다르게 되면서 환류를 형성하게 되고 전향력의 성분 변화가 유속을 감소시키는 역할을 하면서 동안 경계류인 칼리포니아 해류(페루 해류)를 형성하게 된다.

3) 아한대 환류: 북태평양 해류 → 알래스카 해류 → 오야시오 해류의 순환을 북아한대 환류라고 하며 남반구에서는 바다가 트여 있어서 아한대 환류는 나타나지 않고 남극 주위를 한 바퀴도는 남극 순환 해류가 나타난다.

(3) 대서양의 표층 순환

1) 북아열대 환류: 북적도 해류 → 멕시코 만류 → 북대서양 해류 → 카나리아 해류로 이어지는 시계 방향의 순환을 말한다.

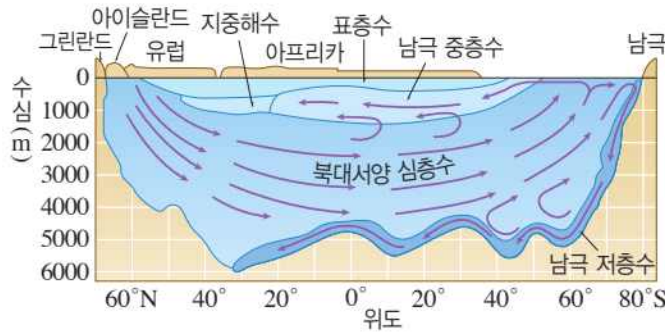
2) 남아열대 환류: 남적도 해류 → 브라질 해류 → 남극 순환 해류 → 벵겔라 해류로 이어지는 시계 반대 방향의 순환을 말한다.

(4) 해수의 심층 순환

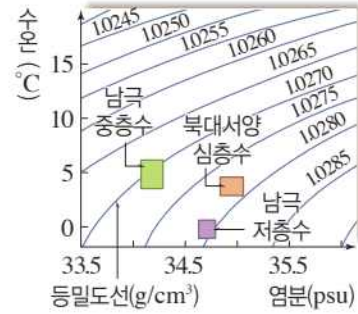
수온과 염분 변화에 따른 해수의 밀도 차이에 의해 일어나는 순환

1) 특징: 심층 순환은 그 속도가 매우 느리므로 직접 관측하기 어렵고 수온과 염분 및 밀도를 조사하여 간접적으로 흐름을 알아낸다.

2) 대서양에서의 심층 순환



대서양의 심층순환

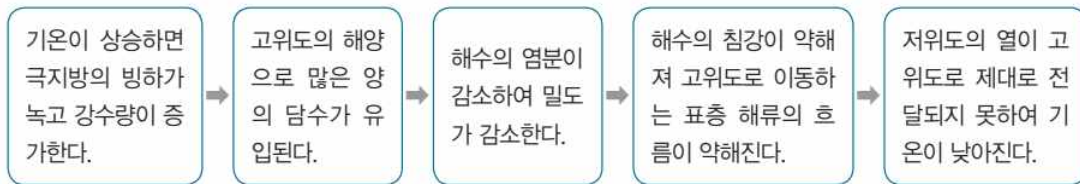


대서양 수괴의 수온 염분도

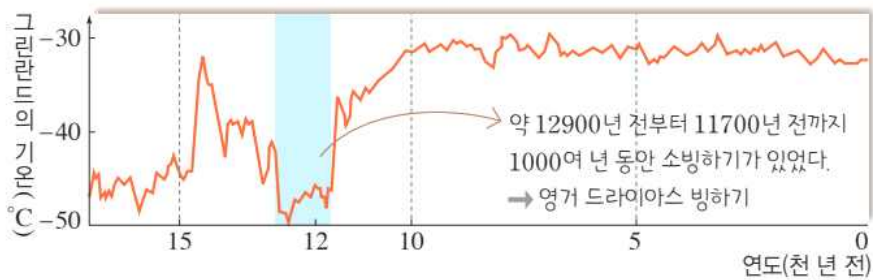
- ① 남극 저층수: 남극 대륙 주변의 웨델해에서 만들어지며 해저를 따라 이동하여 30°N까지 흐른다.
- ② 북대서양 심층수: 그린란드 해역에서 만들어진 북대서양 심층수는 수심 약 1500~4000m 사이에서 60°S까지 흐른다.
- ③ 남극 중층수: 60°S 부근에서 형성되며 침강 후 수심 1000m 부근에서 20°N까지 흘러간다.

3) 심층 순환의 역할

- ① 거의 지구 전체 수심에 걸쳐 일어나면서 해수를 순환시킨다.
- ② 표층 순환과 연결되어 열에너지를 수송하여 남북 간의 열수지 불균형을 해소한다.
- ③ 용존 산소가 풍부한 표층 해수를 심해로 운반하여 심해층에 산소를 공급한다.



④ 해수의 순환과 지구 기후 변화



영거 드라이아스 빙하기가 나타난 원인: 약 12900년 전 지구가 따뜻해져 북극의 빙하가 많이 녹아 북대서양으로 많은 양의 담수가 유입되었다. → 북대서양의 염분이 낮아지면서 해수의 밀도가 감소하여 침강이 약화되었다. → 멕시코만류가 북상하지 못하여 유럽 지역의 기온이 낮아졌고, 이를 시작으로 전 지구적으로 춥고 건조한 기후가 되었다.

4. 우리나라 주변의 해류

난류	쿠로시오 해류	북태평양의 서쪽을 따라 북상하는 해류 → 우리나라 주변을 흐르는 난류의 근원	
	황해 난류	쿠로시오 해류의 일부가 황해로 북상하는 해류	
	쓰시마 난류	쿠로시오 해류의 일부가 우리나라 남해안과 대한 해협을 거쳐 동해로 흐르는 해류	
	동한 난류	쓰시마 난류의 일부가 동해로 흘러가면서 우리나라 남동 연안을 따라 북상하는 해류	
한류	연해주한류	러시아 연안을 따라 남하하는 한류	
	북한 한류	연해주한류의 일부가 동해안을 따라 남하하는 해류	
*서한연안류		서해안을 따라 흐르는 해류	
조경 수역		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 난류와 한류가 만나는 해역 → 동한 난류와 북한 한류가 만나 조경 수역을 형성한다.</li> <li>• 조경 수역의 위치는 여름철에는 북상하고, 겨울철에는 남하한다.</li> <li>• 조경 수역에는 플랑크톤이 많아 좋은 어장이 형성되고, 한류성 어종과 난류성 어종이 공존하여 수산 자원이 풍부하다.</li> </ul>	

(1) 우리나라 주변 해류의 성질

- 1) 동한 난류, 황해 난류: 쿠로시오 해류의 지류로, 수온과 염분이 높고 용존 산소량과 영양 염류가 적다. 동한 난류의 유속은 여름철에 빠르고, 겨울철에 느리다. 황해에는 겨울철에 중국 연안류가 남쪽으로 흐르므로 황해 난류의 영향이 약해진다.
- 2) 북한 한류: 연해주 한류의 지류로, 수온과 염분이 낮고 용존 산소량과 영양 염류가 많다.

제3절 해양의 변화

I. 해양 환경

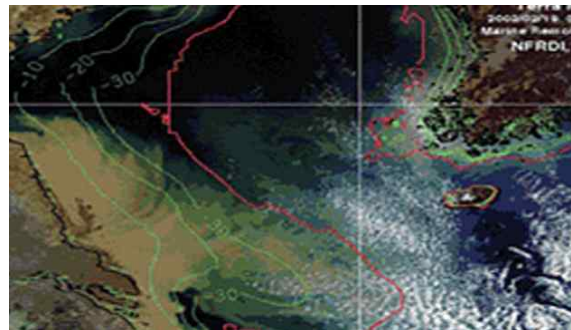
1. 해양 탐사

(1) 원격 탐사

현재는 주로 인공위성에 의한 원격 탐사를 많이 활용하고 있다.

(2) 해양 원격 탐사의 종류

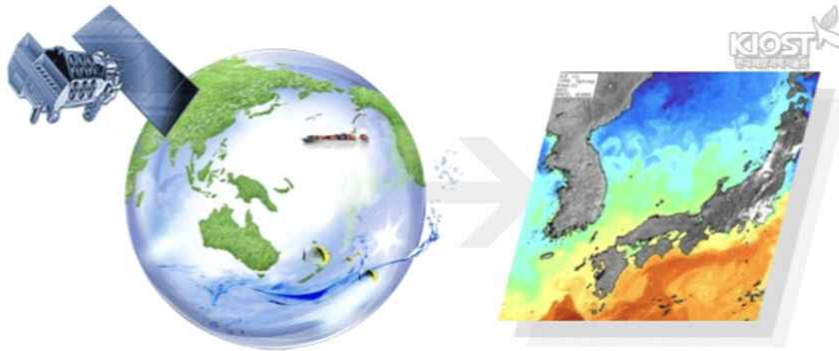
1) 가시광선 원격 탐사: 해수의 특정 성분이 가시광선을 반사하거나 흡수하는 설질을 이용하여 해수 표면의 플랑크톤, 부유 물질, 수질이나 해양오염, 적조현상 등을 관측한다. 주간에는 관측이 가능하나 야간이나 구름이 많이 끼었을 때는 관측이 불가능하다.



가시광선 원격탐사(부유물질 분석)

2) 적외선 원격 탐사: 해수 표면의 온도가 증가하면 적외선 복사 에너지의 세기가 증가하는 성질을 이용하여 표층의 수온을 측정하고, 구름의 높이와 분포량, 엘니뇨 현상 등을 관측하며, 소

규모 소용돌이, 조경수역의 위치와 어장의 이동까지도 파악을 할 수 있다.



### 적외선 원격 탐사

3) 마이크로파 원격 탐사: 인공위성에서 발사한 마이크로파가 해수면에서 반사되어 되돌아 오는데 걸리는 시간을 측정하여 해수면의 높이와 파도의 높이를 측정하고 해일, 조석, 해류 등을 관측한다.

### (3) 해양 원격 탐사의 장점

- 1) 넓은 지역을 동시에 관측할 수 있으며, 극지까지도 관측 범위를 넓힐 수 있다.
- 2) 인공위성이 지구 주위를 주기적으로 공전하므로, 주기적인 탐사가 가능하다.
- 3) 많은 인력과 장비를 필요로 하지 않으며, 현장 접근이 어려운 해역도 탐사할 수 있다.

## II. 해양 환경의 변화

### 1. 지구 온난화의 영향

해양 환경의 변화가 해양 생태계에 엄청난 변화를 초래하였다.

- (1) 생태계의 변화: 해수 온도 상승으로 한류성 어족의 어획량이 감소하고, 난류성 어족의 어획량이 증가하는 경향이 나타났다.
- (2) 백화현상: 탄산칼슘의 침전물에 의해 바다가 뿌옇게 되는 현상을 백화현상이라고 하는데, 어패류나 해조류에 달라붙어 폐사시킨다.



### 백화현상(갯녹음)

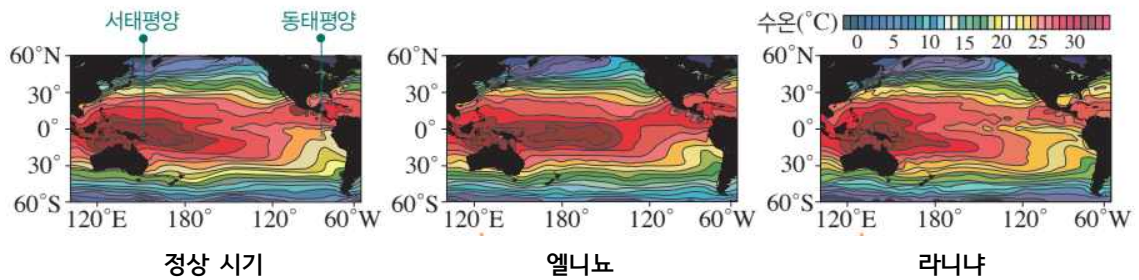
(3) 적조현상: 부영양화된 호수, 하천, 바다에 영양 염류가 적조생물을 대량으로 번식하게 하여 바다가 붉게 변하는 현상으로 산소 부족으로 어패류가 죽거나 수질이 악화된다.

(4) 녹조현상: 부영양화된 호수, 하천의 영양 염류가 녹조류를 증가시켜 물 색깔이 녹색으로 변하고 수중 생물이 죽어 악취가 나는 현상이다.

2. 엘니뇨와 라니냐

(1) 엘니뇨: 적도 부근의 동태평양에서 중앙 태평양까지의 표층 수온이 평년보다 0.5°C 이상 높은 상태로 5개월 이상 지속되는 현상 ➔ 발생 원인: 무역풍 약화

(2) 라니냐: 적도 부근의 동태평양에서 중앙 태평양까지의 표층 수온이 평년보다 0.5°C 이상 낮은 상태로 5개월 이상 지속되는 현상 ➔ 발생 원인: 무역풍 강화



(3) 정상 시기

- 1) 서쪽으로 부는 무역풍에 의해 따뜻한 표층 해수가 서태평양으로 이동한다
- 2) 동태평양: 해수의 빈자리를 채우기 위해 심해의 차가운 물이 용승하게 되어 표층 수온이 낮고, 따뜻한 해수층 두께가 얇다.
- 3) 서태평양: 따뜻한 표층 해수의 이동으로 표층 수온이 높고, 따뜻한 해수층의 두께가 두껍다. 상승기류가 생기기 때문에 구름이 잘 발생하고 비가 많이 내린다.

구분	정상시	엘니뇨 시기	라니냐 시기
모형			
발생 과정	무역풍에 의해 동태평양의 따뜻한 표층 해수가 서태평양 쪽으로 이동한다. 적도 해류	무역풍이 정상시보다 약해져 서태평양의 따뜻한 표층 해수가 동태평양 쪽으로 이동한다.	무역풍이 정상시보다 강해져 서태평양 쪽으로 이동하는 따뜻한 해수가 많아진다.
해양 변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동태평양: 이동한 표층 해수를 채우기 위해 용승이 일어나 표층 수온이 낮고, 온난 수역의 두께가 얇다.</li> <li>• 서태평양: 표층 수온이 높고, 온난 수역의 두께가 두껍다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동태평양: 용승이 약화되어 표층 수온이 높아지고, 온난 수역의 두께가 두꺼워진다.</li> <li>• 서태평양: 표층 수온이 낮아지고, 온난 수역의 두께가 얇아진다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동태평양: 용승이 강화되어 표층 수온이 낮아지고, 온난 수역의 두께가 얇아진다.</li> <li>• 서태평양: 표층 수온이 높아지고, 온난 수역의 두께가 두꺼워진다.</li> </ul>

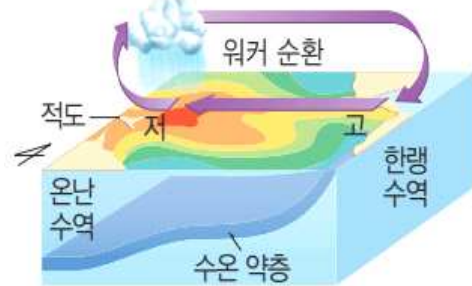
엘니뇨와 라니냐의 발생 과정

3. 남방 진동

수년에 걸쳐 열대 태평양의 동·서 기압 분포가 서로 반대로 나타나는 주기적인 현상 ➔ 엘니뇨와 라니냐 시기에 기압 분포가 반대로 나타난다.

(1) 워커 순환: 열대 태평양에서 형성되는 동서 방향의 거대한 대기 순환

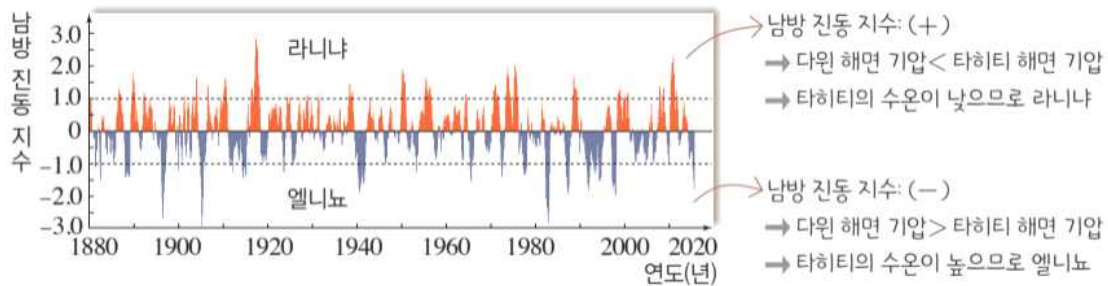
- 1) 서태평양: 따뜻한 해수에 의해 저기압이 형성되어 따뜻한 공기가 상승한다. → 강수량이 많다.
- 2) 동태평양: 찬 해수의 용승에 의해 고기압이 형성되어 찬 공기가 하강한다. → 강수량이 적다.
- 3) 남방 진동과 기후 변화: 해수면 기압이 변하면서 워커 순환의 상승 기류, 하강 기류가 달라져 열대 해역에 기후 변화가 생기고, 전 지구적인 기후 변화에 영향을 준다.



**평상시 워커 순환**

(2) 엘니뇨 남방 진동 엘니뇨와 라니냐는 해수면의 온도 변화이고, 남방 진동은 대기의 기압 분포 변화인데, 이들은 대기와 해양의 상호 작용으로 함께 일어나므로 엘니뇨 남방 진동 또는 엔소(ENSO)라고 한다. 2년~7년 사이의 주기로 발생한다.

- 남방 진동 지수: 적도 태평양 동쪽과 서쪽의 월 평균 기압 차이를 나타내는 지수로, 남태평양의 타히티섬에서 측정한 해면 기압에서 오스트레일리아의 다윈 지방에서 측정한 해면 기압을 뺀 값으로 정의된다.
- 남방 진동 지수는 엘니뇨 시기에는 (-) 값, 평상시에는 (+) 값으로 나타나며, 라니냐 시기에는 큰 (+) 값으로 나타난다.

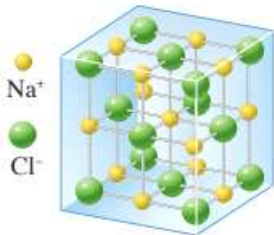


## chapter 5. 지질과 지사학

### 제1절 지각의 물질

#### I. 광물의 구조

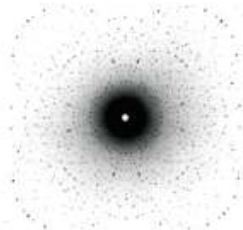
1. 광물의 조건: 광물이란, 자연적으로 만들어진 고체의 무기물이나 화합물을 말하며, 일정한 화학 조성과 규칙적인 내부 결정 구조로 되어 있다. ex) 암염( $NaCl$ )



암염의 결정 구조

- 지구의 지각은 암석으로 구성되어 있고, 암석을 구성하는 기본 물질은 광물이다.

- (1) 고체의 무기물: 동식물에 의해 직접 만들어지지 않은 고체 물질
- (2) 일정한 화학 조성: 광물은 원소 또는 화합물로 이루어져 있다.
- (3) 규칙적인 결정 구조: 광물은 구성 원자들이 규칙적으로 배열되어 있다.
  - ① 원자가 규칙적으로 배열된 것을 결정질이라고 한다.
  - ② 광물 내부의 규칙적인 원자 배열을 알아내는 방법: 광물에 X선을 통과시키면 규칙적으로 배열된 점무늬(라우에 점무늬)가 나타난다.



라우에 점무늬

③ 광물은 대부분 결정질(석영, 암염 등)이다. 비결정질에는 유리, 흑요석, 단백석 등이 있다.

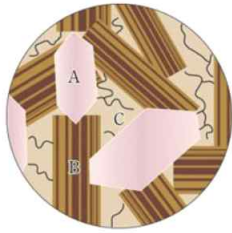
#### 2. 광물의 성질

##### (1) 광물의 결정

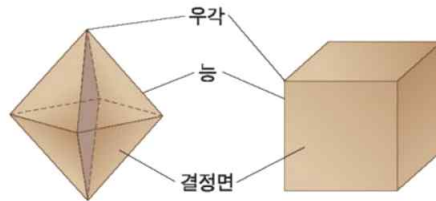
광물 중 원자나 이온의 규칙적인 배열에 따라 독특한 외형을 이루는 것을 결정이라고 한다. 광물의 결정은 종류에 따라 그 모양이 다르다.

1) 외형이 발달한 결정면의 형태에 따른 분류:

- ① 자형: 외부 방해받지 않고 자신의 고유한 결정형을 가진 형태로서 고온에서 정출된다.
- ② 반자형: 고온에서 먼저 정출된 광물의 방해를 일부 받지만 고유한 결정면을 가진 형태이다.
- ③ 타형: 먼저 정출된 광물의 결정들 사이에서 성장하여 고유한 결정면을 갖추지 못한 형태로 저온에서 정출된다.



A : 자형, B : 반자형, C : 타형



자철석

황철석

**자형, 반자형, 타형**

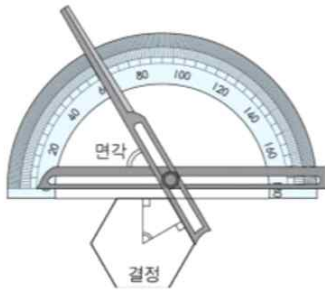
**결정의 3요소**

2) 오일러의 법칙

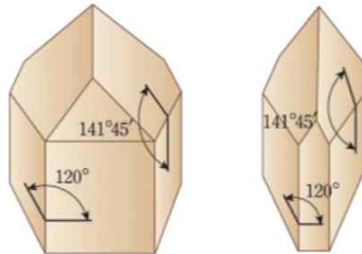
하나의 결정에서 결정면의 수를  $F$ , 우각의 수를  $S$ , 능의 수를  $E$ 라고 하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.  $F + S = E + 2$

3) 면각 일정의 법칙

같은 종류의 광물에서는 결정면의 외형이나 크기가 다르더라도 대응하는 면각이 항상 일정하다. 접촉 측각기나 반사 측각기를 이용하여 측정한다.



**면각의 측정(접촉 측각기)**



**면각 일정의 법칙**

2) 결정계

결정계	등축정계	정방정계	육방정계	사방정계	단사정계	삼사정계
결정계의 요소	$x=y=z$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$x=y \neq z$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$x_1=x_2=x_3$ $x \perp z, \theta=60^\circ$	$x \neq y \neq z$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	$x \neq y \neq z$ $\alpha=\gamma=90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	$x \neq y \neq z$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
간단한 결정형						
광물 예	금강석, 형석, 암염	지르콘, 황동석, 회중석	석영, 방해석, 흑연	자연황, 황옥, 감람석	정장석, 보통휘석, 석고	사장석, 남정석, 규회석

(2) 광물의 물리적 성질

1) 색: 광물마다 나타나는 고유한 색깔

① 광물의 색은 광물 고유의 화학 조성, 결정 구조의 영향을 받아 서로 다른 파장의 빛을 선택적으로 흡수 또는 반사하여 나타내거나 불순물 등에 의해 결정된다.

② 규산염과 결합하는 양이온의 종류에 따라 유색 광물과 무색 광물로 구분한다.



- 유색 광물: Fe, Mg 함량이 높아 어둡게 보인다.

ex) 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모 등

- 무색 광물: Na, K 함량이 높아 투명하거나 흰색, 밝은색으로 보인다.

ex) 석영, 사장석, 정장석 등

2) 조흔색: 조흔색 광물을 조흔판(초별구이 도자기 판)에 굽었을 때 묻어 나오는 가루의 색

광물	 금	 황동석	 황철석	 자철석	 적철석
색	노란색			검은색	
조흔색	노란색	녹흑색	검은색	검은색	적갈색

3) 쪼개짐과 깨짐

① 쪼개짐

광물에 물리적인 힘을 가했을 때 광물이 특정한 방향으로 갈라지는 성질

- 결합력이 약한 면을 따라 나타난다.



② 깨짐

- 광물에 물리적인 힘을 가했을 때 광물이 방향성 없이 불규칙하게 갈라지는 성질

- 모든 방향으로 결합력이 비슷한 경우에 나타난다.

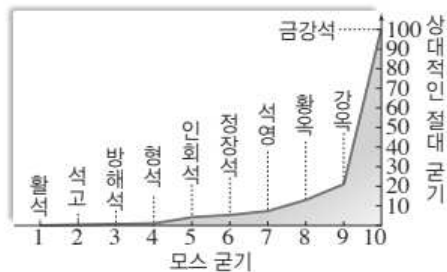


4) 굳기(경도): 광물의 단단한 정도

① 광물을 구성하는 원자나 이온의 밀도가 클수록, 화학적 결합력이 강할수록 광물이 단단하다.

② 두 광물을 서로 긁었을 때 긁히는 쪽이 더 무르다.

③ 모스 굳기계: 모스가 정한 표준 광물 10개의 상대적인 굳기 순서 → 모스 굳기 숫자가 클수록 단단한 광물이다.



5) 광택

광택 광물 표면에서 반사되는 빛에 대한 느낌으로, 금속광택과 비금속 광택으로 구분한다. 비금속 광택에는 유리 광택, 진주 광택, 견사 광택, 지방 광택 등이 있다.



방연석의 금속 광택

6) 광물의 또 다른 물리적 성질

- ① 비중: 같은 부피의 4°C 물의 질량에 대한 광물의 질량비로, 같은 종류의 광물은 비중이 같다.
- ② 자성: 광물에 자석을 가까이 대면 달라붙는 성질. ex) 자철석

(3) 광물의 화학적 성질

1) 동질이상: 화학 성분은 같지만, 생성 온도와 압력 조건에 따라 결정 구조가 달라 서로 다른 성질을 갖는 광물

- ① 금강석과 흑연(C)
- ② 홍주석, 남정석, 규선석( $Al_2SiO_5$ )
- ③ 방해석, 아라고나이트( $CaCO_3$ )

2) 유질동상: 유사한 화학 성분을 가지고 있으면서 동일한 결정 구조를 지니는 광물을 유질동상이라고 한다.

- 방해석( $CaCO_3$ ), 능철석( $FeCO_3$ ), 마그네사이트( $MgCO_3$ ) → 모두 육방정계

3) 고용체: 광물의 고성 비율이 어느 범위 내에서 변하면서 일정한 결정 구조를 가지는 광물을 말한다. 따라서 비중이 일정한 범위 안에서 변한다. 고용체 성분은 생성되는 온도에 따라 결정되므로 성분을 분석하면 생성 온도를 알아낼 수 있다.

- 감람석( $Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4$ )

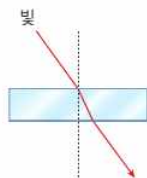
(4) 광물의 광학적 성질

1) 자연광과 편광: 자연광은 진행 방향에 수직인 모든 방향으로 진동하지만, 편광판을 통과한 빛은 한 방향으로만 진동하는데, 이를 편광이라고 한다.

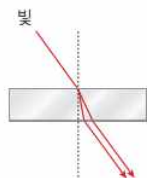
2) 단굴절과 복굴절

① 단굴절: 빛이 광물 내부를 통과할 때 방향과 관계없이 빛의 속도가 일정하여 한 방향으로 굴절하는 현상으로, 등방체 광물(광학적 등방체)에서 일어난다. ex) 암염, 형석 등

② 복굴절: 빛이 광물 내부를 통과할 때 빛의 속도가 진행 방향에 따라 달라져 진동 방향이 서로 수직인 두 개의 광선으로 갈라지면서 굴절하는 현상으로, 이방체 광물(광학적 이방체)에서 일어난다. ex) 방해석, 석영, 흑운모, 각섬석 등



단굴절



복굴절



방해석의 복굴절

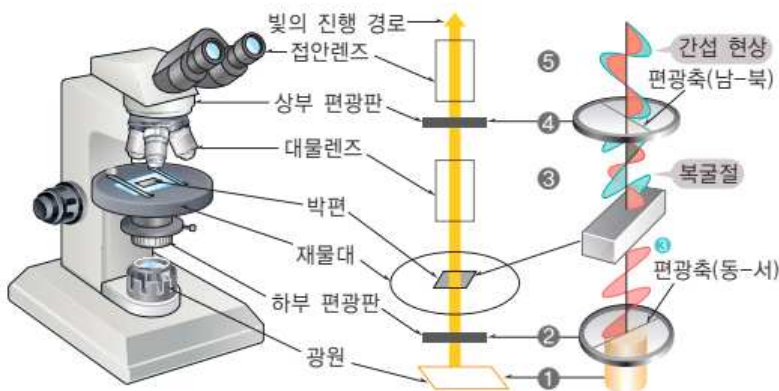
3) 투명 광물과 불투명 광물

- ① 투명 광물: 석영, 방해석과 같이 빛이 통과할 수 있는 광물로, 조암광물 중에서 규산염 광물은 모두 여기에 속한다. 복굴절 여부에 따라 광학적 등방체와 광학적 이방체로 구분한다.
- ② 불투명 광물: 황철석, 방연석 등과 같이 빛이 통과할 수 없는 광물로 대부분 금속 광물이다.
- ③ 이방체와 등방체: 복굴절이 나타나는 광물을 이방체라 하고, 빛이 한 갈래로 굴절하는 단굴절이 일어나는 광물을 등방체라고 한다.

4) 편광 현미경: 편광판을 이용한 현미경으로, 광물의 광학적 성질을 관찰할 수 있다.

① 편광 현미경의 구조

- 재물대(회전 재물대)를 기준으로 위에는 상부 편광판, 아래에는 하부 편광판이 있다.
- 하부 편광판은 편광 현미경에 고정되어 있고, 상부 편광판은 끼웠다 뺐다 할 수 있다.
- 일반적으로 하부 편광판은 동서 방향으로 진동하는 빛만 통과시키고, 상부 편광판은 남북 방향으로 진동하는 빛만 통과시킨다. ➔ 상부 편광판과 하부 편광판은 빛이 통과하는 방향이 서로 수직이다.
- 재물대 위에 광물 박편이나, 암석 박편을 놓고 관찰하며, 재물대는 360° 회전시킬 수 있다.



편광 현미경의 구조

- ① 광원에서 나오는 빛이 사방으로 진동한다.
- ② 빛이 동-서 방향으로 진동한다.
- ③ 빛이 이방체 광물을 통과하면 복굴절이 일어난다.
- ④ 빛이 남-북 방향으로 진동한다.
- ⑤ 복굴절 된 빛이 간섭을 일으켜 광학적 성질을 관찰할 수 있다.

② 편광 현미경을 이용한 광물 관찰

- 개방 니콜과 직교 니콜

· 개방 니콜: 상부 편광판을 뺀 상태로, 광물의 투명성, 색, 다색성, 결정형, 입자 크기, 쪼개짐 등을 관찰할 수 있다.

· 직교 니콜: 상부 편광판을 끼운 상태로, 간섭색, 소광 등을 관찰할 수 있다.

- 개방 니콜 상태에서 관찰할 수 있는 광물의 광학적 성질

- 색: 하부 편광판을 통과한 빛이 광물을 통과할 때 광물에 흡수되어 나타나는 현상
- 다색성: 재물대를 돌리면 광축 방향에 따라 광물이 빛을 흡수하는 정도가 달라져 색과 밝기가 미세하게 변하는 현상 ➔ 이방체 광물 중 유색 광물에서만 나타난다. ex) 흑운모, 각섬석 등

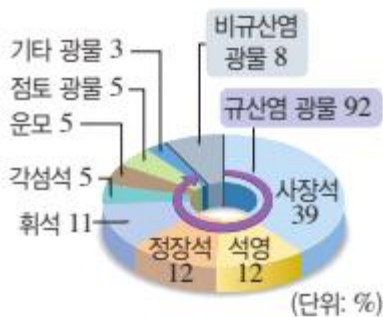
- 직교 니콜 상태에서 관찰할 수 있는 광물의 광학적 성질

- 간섭색: 이방체 광물을 관찰할 때 복굴절로 만들어진 두 방향의 빛이 서로 간섭을 일으켜 나타나는 현상
  - 소광 현상: 상부 편광판을 통과한 빛이 전혀 없어 어둡게 보이는 현상으로, 채물대를 돌리면 등방체 광물은 항상 어둡게 보이는 완전 소광이 관찰되고, 이방체 광물은 90°마다 한 번씩 광물이 어두워진다.
- ③ 채물대 위에 박편이 없는 상태에서 직교 니콜로 관찰하면 암흑 상태로 보인다.  
 ➔ 까닭: 상부 편광판을 통과한 빛과 하부 편광판을 통과한 빛이 수직이기 때문이다.

### 3. 조암광물

(1) 조암광물: 지각의 약 90% 이상을 이루고 있는 20여 종의 광물

- 1) 조암광물은 크게 규산염 광물과 비규산염 광물로 구분한다.
- 2) 지각과 맨틀을 구성하는 광물은 대부분 규산염 광물이다.

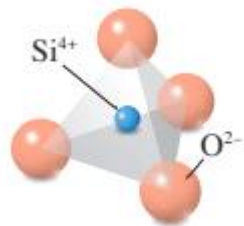


조암광물의 부피비

(2) 규산염 광물




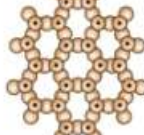

규산염 사면체를 기본 구조로 한다.

1) 규산염 사면체( $SiO_4$  사면체): 중심에 규소 이온( $Si^{4+}$ )이 있고, 네 개의 꼭짓점에 산화 이온( $O^{2-}$ )이 위치하여 규산염 사면체( $SiO_4^{4-}$ )를 이룬다.



#### 규산염 사면체

- 2) 규소 이온은 산화 이온에 비해 크기가 작다.
- 3) 규산염 광물의 결합구조: 규산염 사면체에 양이온이 결합하거나 규산염 사면체끼리 산소를 공유하여 다양한 구조의 규산염 광물이 만들어진다.
  - (1) 독립형 구조: 각 사면체는 다른 규산염 사면체와 결합하지 않아 공유하는 산소가 없다.
  - (2) 단사슬 구조: 규산염 사면체의 산소 2개가 공유 결합하여 1개의 긴 사슬 모양을 이룬다.
  - (3) 복사슬 구조: 산소 2개를 공유하는 규산염 사면체와 산소 3개를 공유하는 규산염 사면체가 교대로 배열되어 2개의 단사슬 사면체 구조가 연결된 형태이다.
  - (4) 판상 구조: 규산염 사면체가 산소 3개를 인접한 사면체와 공유하여 판 모양으로 연결된다.
  - (5) 망상 구조: 규산염 사면체끼리 산소 4개를 모두 공유하여 입체 모양으로 연결된다.

광물	감람석	휘석	각섬석	흑운모	석영
구조	독립상	단쇄상	복쇄상	판상	망상
SiO <sub>4</sub> 사면체 구조	○ O 원자 ● Si 원자 				
결정형	짧은 기둥 모양	짧은 기둥 모양	가늘고 긴 기둥 모양	육각형의 판 모양	육각 기둥 모양
정출 온도	고온 ←————→ 저온				
포개짐	없음	2방향	2방향	1방향	없음
화학식	SiO <sub>4</sub>	SiO <sub>3</sub>	Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub>	Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>
공유 산소 수	적음 ←————→ 많음				
풍화 안정도	약함 ←————→ 강함				

(3) 비규산염 광물

- 1) 탄산염 광물: CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (탄산 이온) 방해석, 백운석
- 2) 산화 광물: O<sup>2-</sup> (산화 이온) 자철석, 적철석, 강옥
- 3) 황화 광물; S<sup>2-</sup> (황화 이온) 황철석, 황동석, 방연석
- 4) 황산염 광물: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (황산 이온) 석고, 중정석
- 5) 할로젠화 광물: F<sup>-</sup> (플루오린화 이온), Cl<sup>-</sup> (염화 이온), Br<sup>-</sup> (브로민화 이온), I<sup>-</sup> (아이오딘화 이온) 암염, 형석
- 6) 원소 광물: 다른 원소와 결합하지 않은 광물. Au(금), Ag(은), Cu(구리) 등

II. 암석

지각을 이루는 암석은 그 생성 원인에 따라 화성암, 퇴적암, 변성암으로 구분할 수 있다.

1. 화성암

지구 내부의 지각이나 상부 맨틀의 물질이 녹아 이루어진 고온의 규산염 용융체를 마그마라고 하고, 지표로 흘러나온 것을 용암이라고 하는데, 마그마나 용암이 굳어서 생성된 암석을 화성암이라고 한다.

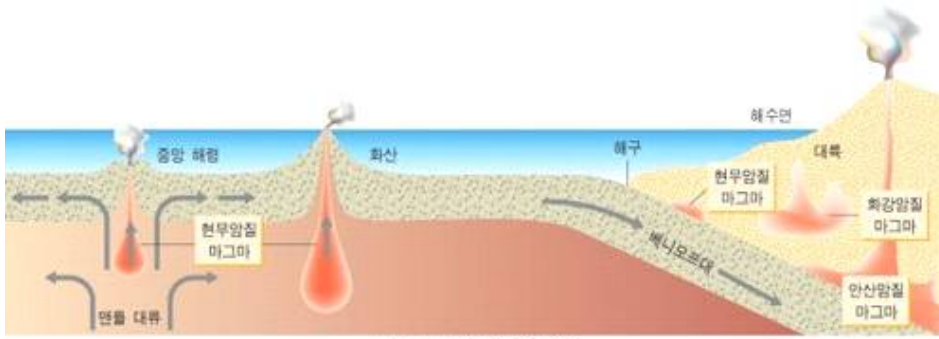
(1) 마그마의 생성

마그마는 상부 맨틀이나 지각 하부의 특정 조건이 갖추어진 지역에서 생성된다.

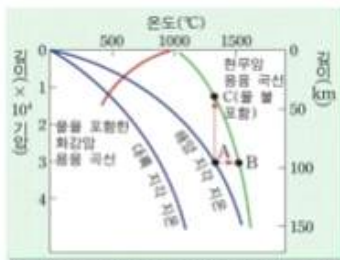
1) 마그마의 종류: 일반적으로 화학 조성(SiO<sub>2</sub> 함량)에 따라 현무암질 마그마, 안산암질 마그마, 유문암질(화강암질) 마그마로 구분한다.

① 현무암질 마그마의 생성 : (A→C) 해령 하부에서 맨틀 대류의 상승으로 압력이 낮아지는 경우, (A→B) 열점에서 온도가 상승하는 경우, (A→C) 뜨거운 플룸의 상승으로 압력이 낮아지는 경우 생성된다. 수렴대의 경우 용융점이 낮아져서 현무암질 마그마가 생기기도 한다.

② 화강암질 마그마의 생성 : 물을 포함한 화강암의 경우 현무암보다 용융 온도가 낮아 해양판이 대륙판 밑으로 섭입되는 베니오프대(섭입대)와 접해있는 대륙판의 하부에서 화강암질( 또는 안산암질) 마그마가 생성



마그마 생성 장소의 종류



깊이에 따른 지온분포 곡선과 용융온도 곡선

2) 마그마의 성분

마그마의 주성분은 지구의 구성 원소인  $O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg$  등으로 이루어져 있으며, 이러한 성분이  $SiO_2, Al_2O_3$  등과 같은 산화물의 형태로 나타난다. 가장 풍부한 성분은  $SiO_2$ 이다.

3) 결정 분화 작용(보엔의 반응 계열)

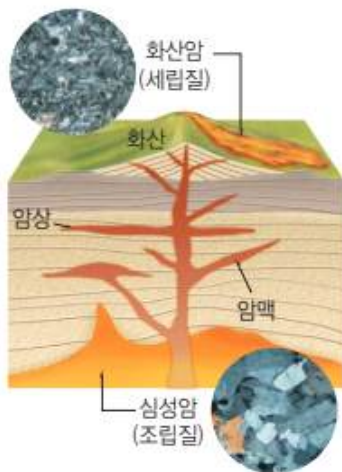
마그마가 냉각되어 광물이 만들어질 때 용융점이 높은 광물부터 정출되고, 용융점이 낮은 광물은 나중에 정출이 되게 된다. 이러한 과정 동안 마그마의 성분이 변하게 되는데 이것을 마그마의 분화 작용이라고 한다. 보엔의 반응 계열이라고도 하는데, 마그마의 분화 작용을 설명하기 위해서 보엔이 제안했으며 광물이 정출되는 순서를 온도에 따라서 나타내었다. 불연속 반응계열과 연속 반응 계열로 나뉘며 다음과 같이 표현된다.



- 결정 분화가 진행될수록  $SiO_2, K_2O, Na_2O$ 는 증가하고,  $MgO, CaO, FeO+Fe_2O_3$ 는 감소한다.

4) 화성암의 산출 상태

- ① 분출암: 마그마가 지각의 갈라진 틈이나 화산체의 분화구를 통해 분출하여 굳어진 암석, 용암류의 형태로 흘러나와 굳은 화성암체.
- ② 관입암: 마그마가 지표 쪽으로 상승하는 도중 지하 깊은 곳이나 지표 가까이에서 관입하여 굳어진 화성암체.
  - 저반: 면적이 약  $200km^2$  이상인 거대한 화성암체
  - 암주: 주로 저반의 일부이며 위쪽으로 뿔뿔하게 솟아오른 화성암체
  - 암상: 지층에 수평으로 관입한 판상의 화성암체
  - 병반: 암상과 비슷하게 관입하여 렌즈 모양으로 관입한 화성암체
  - 암맥: 마그마가 암석의 틈을 따라 비스듬히 관입하여 맥상으로 형성된 화성암체
  - 암경: 화구로 연결되는 분화구를 따라 굳어진 기둥 모양의 화성암체



5) 화성암의 분류

화성암은 암석의 조직과 구성 광물의 화학 조성에 따라 분류한다.

- ① 조직에 따른 화성암 분류: 구성 광물의 크기, 마그마 냉각 속도, 산출 상태에 따른 분류
  - 화산암: 마그마가 지표로 분출하여 빨리 냉각되어 구성 광물의 크기가 작은(세립질) 암석
  - 반심성암: 마그마가 비교적 얇은 깊이까지 올라와 냉각되어 굳은 암석
  - 심성암: 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되어 구성 광물의 크기가 큰(조립질) 암석
- ② 화학 조성( $SiO_2$  함량)에 따른 화성암 분류
  - 염기성암:  $SiO_2$  52% 이하, 현무암질 마그마가 식어 만들어진 암석, 고철질암이라고도 하며, 유색 광물 함량이 많아 어두운색을 띤다.
  - 중성암:  $SiO_2$  52%~63%, 안산암질 마그마가 식어 만들어진 암석.
  - 산성암:  $SiO_2$  63% 이상, 유문암질 마그마가 식어 만들어진 암석, 규장질암이라고도 하며, 무색 광물의 함량이 많아 밝은색을 띤다.

6) 마그마가 만든 지형

- ① 화산암 지형: 제주도, 울릉도, 독도, 철원 일대, 백두산 등
  - 현무암과 주상절리, 용암대지가 발달했다.
- ② 심성암 지형: 금강산, 설악산, 북한산, 수락산, 불암산 등
  - 화강암과 판상절리, 화강암 돛이 발달했다.

SiO <sub>2</sub> 함량		52 %	63 %			
산출 상태	조직	분류	염기성암 (고철질암)	중성암	산성암 (규장질암)	
		색	어두운색 ←	(색) →	밝은색	
		원소	Ca, Fe, Mg ←	(많은 원소) →	Na, K, Si	
		밀도	3.2 g/cm <sup>3</sup> ←	(조직 밀도) →	2.7 g/cm <sup>3</sup>	
화산암	세립질이나 유리질	현무암	안산암	유문암		
반심성암	조립질	휘록암	섬록 반암	석영 반암		
심성암		반려암	섬록암	화강암		
조암 광물의 함량(무피비) (%)		80		60	40	20
무색 광물		80		60	40	20
유색 광물		20		40	60	80
		김람석	휘석	사장석	각섬석	흑운모
						석영
						정장석

화성암의 조직과 화학조성에 따른 분류

## 2. 퇴적암

지표의 암석이 풍화·침식 작용을 받은 쇄설물이나 화산쇄설물, 생물의 유해 등이 쌓여서 숙성작용을 받아 굳어져서 생성된 암석을 퇴적암이라고 한다.

### (1) 퇴적 환경

퇴적물이 쌓이는 곳 → 육상 환경, 연안 환경, 해양 환경으로 구분한다.



- ① 육상 환경: 육지 내에 주로 쇄설성 퇴적물이 퇴적되는 곳. ex) 선산지, 강, 호수, 사막, 범람원, 빙하 등
- ② 연안(전이) 환경: 육상 환경과 해양 환경 사이에 있는 곳. ex) 삼각주, 해빈, 사주, 석호 등
- ③ 해양 환경: 가장 넓은 면적을 차지하는 퇴적 환경. ex) 대륙붕, 대륙 사면, 심해저 평원 등

### (2) 퇴적암의 분류: 구성 물질의 기원에 따라 구분

① 쇄설성 퇴적암: 암석이 풍화, 침식을 받아 생성된 입자나 화산 분출물이 쌓여 만들어진 퇴적암.

역암	사암	세일	응회암
자갈, 모래, 점토	모래, 점토	점토	화산재



② 화학적 퇴적암: 물속에 녹아 있던 석회 물질, 규질, 산화철, 염분 물질이 침전하거나 물이 증발함에 따라 잔류하여 만들어진 퇴적암

 석회암	 처트	 암염
탄산 칼슘(CaCO <sub>3</sub> )	규질	염화 나트륨(NaCl)

③ 유기적 퇴적암: 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 만들어진 퇴적암

 석탄	 * 석회암	 * 처트
식물체	석회질 생물체	규질 생물체

(3) 퇴적 구조

퇴적 장소와 퇴적 환경에 따라 퇴적암에 나타나는 특징적인 구조 → 퇴적 당시의 환경을 추정하거나 지층의 상하 관계를 밝히는 데 이용된다.

1) 사층리

① 물이나 바람의 방향이 자주 변하는 환경에서 층리가 기울어진 상태로 쌓인 퇴적 구조

② 퇴적 환경: 사막이나 하천

③ 과거 물이 흘렀던 방향이나 바람이 불었던 방향을 알 수 있다.

2) 점이 층리

① 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 퇴적 구조

② 퇴적 환경: 심해저

③ 저탁류로 형성되는 쇄설성 퇴적암에 잘 나타난다.

3) 연흔

① 물결의 영향으로 퇴적물 표면에 생긴 물결 모양이 남은 퇴적 구조

② 퇴적 환경: 수심이 얇은 곳

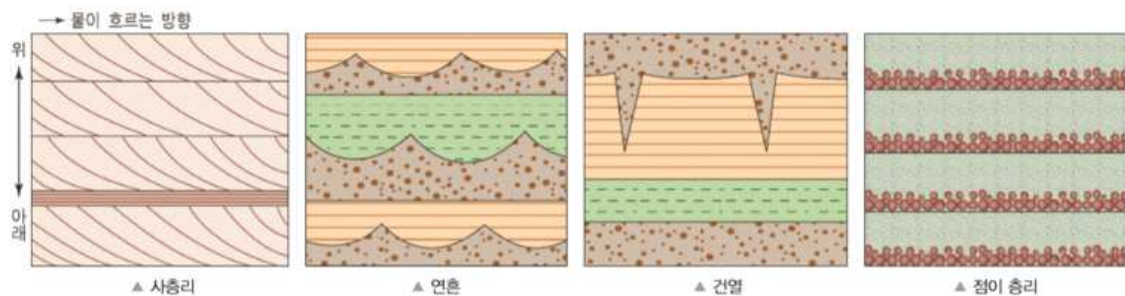
③ 물의 흐름이 양쪽으로 반복적으로 나타나면 대칭 형태를 보이고, 한 방향으로 나타나면 비대칭 형태를 보인다.

4) 건열

① 건조한 환경에 노출되어 퇴적물 표면이 V자 모양으로 갈라진 퇴적 구조

② 퇴적 환경: 건조 기후 지역

③ 점토처럼 입자가 매우 작은 퇴적물이 수면 위의 건조한 환경에 노출되었을 때 만들어진다.



(4) 퇴적암의 형성

퇴적물이 오랜 세월에 걸쳐 다져지고 굳어져서 단단한 퇴적암이 되는 과정을 속성작용이라고 하고 다짐 작용과 교결작용으로 구분할 수 있다.

- 1) 다짐 작용: 퇴적물이 오랫동안 쌓여 아래의 퇴적물이 위에 쌓인 퇴적물에 눌리면서 퇴적물 입자 사이의 간격이 좁아져 치밀하게 다져지는 작용
- 2) 교결작용: 지하수에 녹아 있던 석회 물질, 규질, 산화철 등이 퇴적물 사이에 침전되어 퇴적물 입자 사이의 간격을 메우며 서로 붙여 굳어지게 하는 작용

(5) 우리나라의 퇴적암 지형

1) 전라북도 부안군 채석강

- ① 형성 시기: 중생대 말기
- ② 퇴적 환경: 호수
- ③ 주요 퇴적암: 역암, 사암
- ④ 연흔, 층리, 단층, 습곡이 관찰된다.
- ⑤ 해식 절벽, 해식 동굴이 관찰된다.



2) 전라북도 진안군 마이산

- ① 형성 시기: 중생대 말기
- ② 퇴적 환경: 호수와 호수 주변부
- ③ 주요 퇴적암: 역암
- ④ 용기하여 차별 침식을 받아 형성된 지형으로, 표면에 타포니가 많다.



3) 강원도 태백시 구문소

- ① 형성 시기: 고생대 초기
- ② 퇴적 환경: 바다
- ③ 주요 퇴적암: 셰일, 석회암
- ④ 연흔과 건열이 관찰된다.
- ⑤ 고생대 삼엽충 화석이 발견된다.



4) 경상남도 고성군 덕명리 해안

- ① 형성 시기: 중생대 말기
- ② 퇴적 환경: 호수와 호수 주변부
- ③ 주요 퇴적암: 사암, 셰일
- ④ 연흔과 건열이 관찰된다.
- ⑤ 공룡 발자국과 새 발자국 화석이 발견된다.



5) 제주도 한경면 수월봉

- ① 형성 시기: 신생대 말기
- ② 퇴적 환경: 수성 화산 활동
- ③ 주요 퇴적암: 응회암
- ④ 층리와 화산탄 때문에 퇴적층이 눌린 구조가 관찰된다.



### 3. 변성암

암석이 원래의 조건보다 높은 온도와 압력 조건에 놓이면 고체상태를 유지하면서 새로운 광물을 성장시키는 재결정 작용이 일어나서 다른 암석으로 바뀌게 되는데 이를 변성 작용이라고 하고 이렇게 만들어진 암석을 변성암이라고 한다.

#### (1) 변성 작용

1) 접촉 변성 작용: 마그마가 기존의 암석을 관입할 때 열에 의해 마그마의 접촉부를 따라 좁은 범위에서 일어나는 변성 작용

① 혼펠스 조직: 재결정 작용을 받아 생성된 광물들이 방향성 없이 맞물려 있으며, 치밀하고 단단하게 짜인 조직 → 혼펠스에서 잘 나타난다.

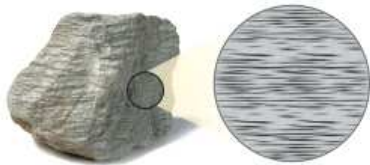
② 입상 변정질 조직: 재결정 작용을 받은 광물 입자가 크고, 크기가 고르며, 방향성이 없이 맞물려 있는 조직 → 규암, 대리암 등에서 잘 나타난다.

2) 동력 변성 작용: 섭입대와 같이 양측에서 미는 힘이 작용하는 경우 암석에 비틀리는 힘이 가해진다. 이런 곳에서는 주로 압력에 의한 변성 작용이 나타날 수 있다. 이런 강한 비틀림 작용을 받아 변성된 암석을 압쇄암이라고 한다.

3) 광역 변성 작용(동력 열변성 작용): 지구 내부로 들어갈수록 상부의 무게 때문에 압력이 증가하며 온도도 증가한다. 따라서 깊이가 증가할수록 변성 정도가 증가하며 온도와 압력이 모두 작용하는 변성 작용이 일어난다. 변성 범위는 비교적 넓은 범위에서 일어나며 광물 입자가 재배열된 엽리가 나타난다.

① 엽리: 암석에 일정한 방향으로 압력이 작용하면 광물이 압력에 수직인 방향으로 배열되어 평행한 줄무늬가 나타나는 조직으로, 엽리에는 편리와 편마 구조가 있다.

- 편리: 세립질 암석에 압력이 가해져 광물이 얇은 판상으로 배열된 조직 → 편암에 잘 나타난다.

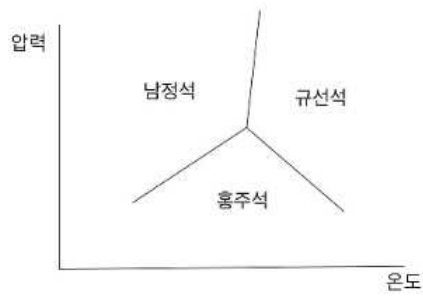


- 편마 구조: 조립질 암석에 압력이 가해지거나 편리가 있는 암석이 재결정 작용을 받아 유색 광물과 무색 광물이 재배열되면서 이루는 두꺼운 줄무늬 조직 → 편마암에 잘 나타난다.



#### (2) 변성 광물의 생성

화학조성이  $Al_2SiO_5$ 로 동질이상 관계인 홍주석, 남정석, 규선석은 안정하게 존재할 수 있는 온도와 압력의 범위가 각각 다르다. 이와 같은 자료는 실험을 통해 밝혀진 것인데 이를 이용하면 조산대 내에서의 압력과 온도변화 등을 알아낼 수 있다.



→홍주석은 저온·저압 환경에서 생성되고, 남정석은 저온·고압, 규선석은 고온·고압 환경에서 생성된다는 것을 알 수 있다. 또한 각각의 생성 조건 상태에서 안정하다. 세 선의 교점은 세 광물이 공존할 수 있는 조건으로 삼중점이라고도 한다.

(3) 변성암의 분류와 종류

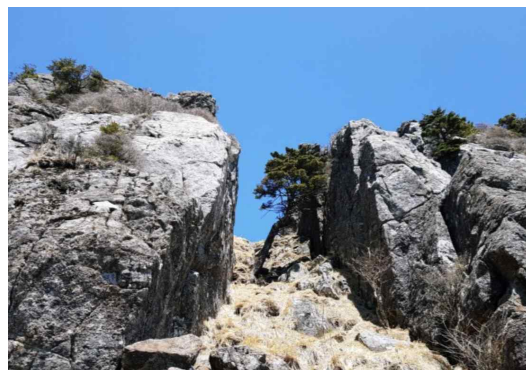
변성 작용	기존 암석	변성암	변성암의 조직	
접촉 변성 작용	세일	혼펠스	혼펠스 조직	
	사암	규암	입상 변정질 조직	
	석회암	대리암		
광역 변성 작용	세일	점판암	세립질	쪼개짐
		천매암 <small>변성도 증가</small>		
		편암	조립질	편리
		편마암		편마 구조
	현무암	각섬암	엽리가 발달함	
	화강암	(화강) 편마암		

(4) 변성암과 지형

- 1) 인천광역시 용진군 대이작도, 백령도
  - ① 우리나라에서 가장 오래된(약 25억 년 전) 변성암 존재
  - ② 습곡, 단층 등의 지형이 나타남.
  - ③ 선캄브리아대 후기 규암층이 넓게 분포
  - ④ 해식절벽, 해식동굴, 콩돌해변 등이 나타남.
- 2) 지리산
  - ① 대부분 선캄브리아대 변성암인 편마암으로 구성.
  - ② 최고봉인 천왕봉은 중생대 섬록암.



용진군 대이작도 혼성암



지리산 천왕봉 인근 섬록암

## 제2절 지표의 변화

### I. 풍화작용

암석이 대기나 물, 기온변화, 생물의 작용 등에 의해 부서져 토양이 되는 작용을 풍화작용이라고 한다. 기계적 풍화, 화학적 풍화, 생물학적 풍화로 분류할 수 있으며 이러한 풍화작용이 함께 진행된다.

#### 1. 기계적 풍화 작용

암석의 성분 변화 없이 물리적인 힘으로 인해 잘게 부서지는 현상으로 식물의 뿌리, 기온변화, 물의 동결 작용, 압력의 감소 등에 의해 일어난다.

##### (1) 기계적 풍화 작용이 우세한 장소

고위도의 한랭한 지역이나 고산지대, 건조한 사막 지역 등에서 우세하게 일어난다.

##### (2) 기계적 풍화작용의 종류

##### 1) 박리 작용

① 암석 위의 두꺼운 토양층이 제거되면, 암석층을 이루고 있던 압력이 감소하고 이로 인해 암석이 팽창하면서 양파껍질처럼 얇게 벗겨지며 부서진다.

② 판상절리가 발달한다.



##### 2) 물의 동결 작용

① 암석의 틈으로 스며든 물이 얼면서 부피가 증가하면 틈이 더 벌어지면서 쪼개진다.

② 산사면 아래 테일러스(부서진 돌무더기)가 생성된다.



##### 3) 결정 작용

① 암석의 틈 속에 스며든 물이 증발하면서 물에 녹아 있던 광물 성분이 침전되어 결정으로 성장하게 되고, 주위에 압력을 가해 암석이 쪼개진다.

② 바위산에 타포니(암석 절벽에서 약한 부분이 풍화되어 둥글게 떨어져 나간 벌집 모양의 지형) 구조가 나타난다.



## 2. 화학적 풍화 작용

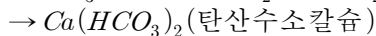
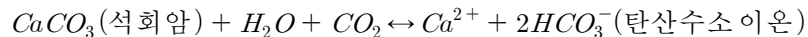
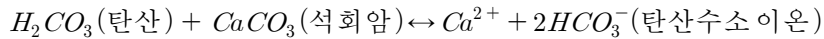
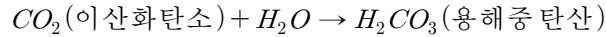
물, 이산화탄소, 산소 등에 의해 암석의 광물 성분이 변하거나 용해되어 풍화되는 작용이다.

### (1) 화학적 풍화작용이 우세한 장소

물을 매개로 해서 일어나므로 고온 다습한 지역에서 잘 일어난다(열대, 해안지역 등).

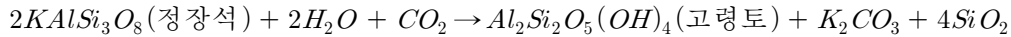
### (2) 화학적 풍화 작용의 종류

1) 탄산 작용(용해 작용): 이산화탄소가 용해되어있는 물의 침투에 의해 용해되는 작용으로 석회암 지대에서 잘 나타나 특유의 지형을 만든다. 물 속에 녹아있는 이산화탄소는 석회암을 쉽게 용해 시킨다.

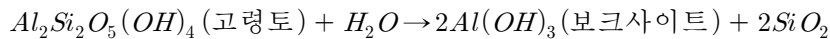


### 2) 가수 분해

가장 흔한 광물 중 하나인 정장석이 이산화탄소가 녹은 물에 용해되었을 때 잘 녹지 않는 고령토가 남고 나머지는 물에 녹아서 제거된다.

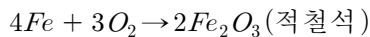


고령토는 점토광물의 일종으로 점토의 주성분이며 온대 지방에서는 안정한 광물이다. 그러나 열대 지방에서는 고령토가 다시 가수분해되어 알루미늄의 원석인 보크사이트가 생성된다.



### 3) 산화 작용

산소와 결합하는 현상으로 산화제일철은 지표면에서 산소와 결합하여 산화제이철로 변하여 쉽게 부서진다. 암석 속의 철은 산소와 반응하여 적철석이나 갈철석이 된다. 이 과정에서 붉게 변한다.



### 4) 킬레이션(Chelation)

생물이나 유기물이 일으키는 생화학적 풍화작용을 말하여, 생물이 분비하는 산이나 부패할 때 생기는 물질에 의해 암석이 녹거나 파괴되는 작용을 킬레이션이라고 한다. 화학적이면서 유기적인 풍화라고 볼 수 있다.

### (3) 풍화작용의 결과

암석이 잘게 부서져서 물이나 공기와 접하는 표면적이 넓어지므로 화학적 풍화작용이 촉진된다. 또 단단한 암석이 화학적 풍화를 받아 약해지면 기계적 풍화작용이 더 쉽게 일어날 수 있다.

## II. 사태

1. 사태: 단단하게 굳지 않은 토양이나 퇴적물, 암석 등의 물질이 중력에 의해 경사면을 따라 낮은 곳으로 흘러내리는 현상

### (1) 사태의 원인

1) 자연적인 원인: 지진, 화산, 집중호우 등


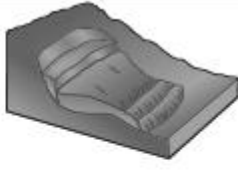


2) 인공적인 원인: 건설 과정에서 생기는 지반의 교란, 과도한 벌목, 경작지 조성 등

### (2) 사태의 발생

경사면의 각도가 안식각보다 크면 불안정해지므로 사태가 발생할 수 있다.(안식각: 물체가 미끄러지지 않는 최대 각도)

2. 사태의 종류

- 1) 미끄럼 사태: 건조한 토양이나 암석이 내부 구조를 변형시키지 않으면서 일정한 면에서 미끄러지면서 이동하는 사태
- 2) 유동에 의한 사태: 내부 구조를 변형시키면서 점성이 큰 물질이 흘러내리는 것처럼 움직이는 사태

암석 낙하	함몰 사태
<p>절벽의 사면으로부터 커다란 암석 덩어리나 암석의 파편, 흙 등이 중력에 의해 굴러 떨어지는 현상 도로면의 절개지나 경사가 급한 사면에서 주로 발생한다.</p> 	<p>커다란 암석 덩어리나 토사가 오목하게 파인 미끄럼면을 따라 움푹 꺼져 내려앉는 현상 폭우나 장기간 내린 비로 인해 굳어지지 않은 표토가 물로 포화되거나 사면의 경사가 매우 급할 때 발생한다.</p> 
미끄럼 사태	포행 (뒹 거어가다, 行 다니다)
<p>굴곡진 사면이나 평탄한 미끄러운 사면을 따라 토양과 암석이 마치 액체와 같이 흘러내리는 현상 눈에 보이지 않는 암석 내의 균열, 층리면, 접리면을 따라 발생한다.</p> 	<p>토양이나 암석이 사면 아래로 아주 느린 속도로 서서히 이동하는 현상 산사면에 자라는 나무는 포행으로 아래 부분이 휘어져 자란다.</p> 

III. 토양

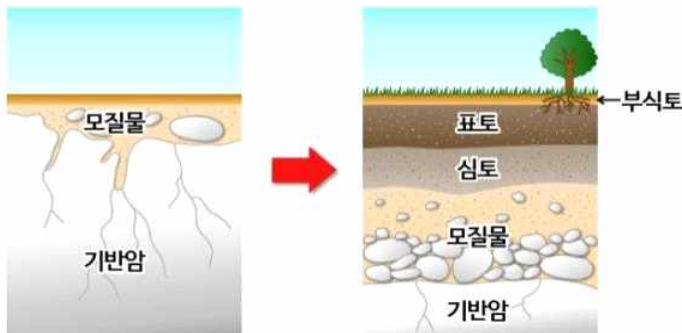
1. 토양

암석이 풍화작용을 받아 생성된 점토 광물과 생물로부터 유래된 유기 물질로 이루어져 있다.

2. 토양의 생성

(1) 성숙한 토양의 단면

기반암 → 모질물 → 심토 → 표토



(2) 성숙한 토양의 생성 순서

기반암 → 모질물 → 표토 → 심토(점토 광물과 산화철이 많음)

3. 토양의 유실

토양의 파괴와 이용 증가, 폭우 등으로 인해 유실이 발생한다.

(1) 방지 대책

1) 사방댐: 굴곡이 큰 계곡이나 강에 건설하여 자갈이나 모래의 유실이나 산사태를 방지할 목적으로 만든 댐



2) 다랑논: 경사면을 따라 평평하게 계단 모양으로 개간한 논



3) 등고선을 따라 만든 밭

4) 윤작이나 사이짓기

5) 보존 농업 양식: 논·밭갈이를 최소화하고, 추수 후 작물의 잎과 줄기로 농경지를 덮어서 유실이 일어나는 것을 막는 방법

6) 객토: 오염된 토양을 제거하고 깨끗한 토양으로 바꿔주는 방법

4. 산성화

(1) 원인

1) 화학 비료의 과다 사용: 흙 속에 남은 화학 물질이 산화되어 산성화된다.

2) 공장 매연이나 자동차 배기가스의 성분이 빗물에 녹아 산성비가 되어 토양에 유입된다.

(2) 대책

1) 화학 비료의 사용량을 줄이고, 자연 퇴비를 사용한다.

2) 공장 굴뚝에 여과 장치 설치를 의무화하고, 자동차 배기가스 배출 기준을 강화한다.

5. 토양의 성질

(1) 공극률

토양의 부피에 대한 공극이 차지하는 부피의 비율. 입자가 고를수록 크다.

$$\text{공극률 (\%)} = \frac{\text{공극의 총 부피}}{\text{토양의 총 부피}} \times 100$$

(2) 투수성

토양이 물을 통과시키는 능력. 입자의 크기가 클수록 투수성이 좋다.



#### IV. 지표의 변화

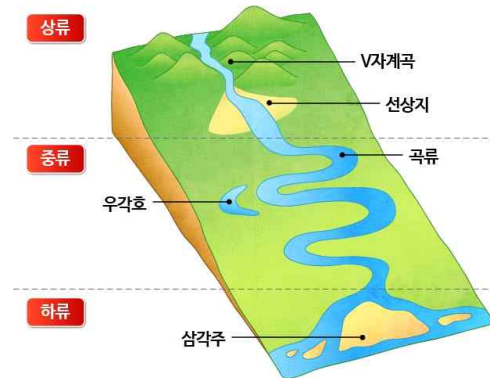
##### 1. 유수의 작용

###### (1) 침식 작용

하천의 상류에서는 주로 강바닥을 밑으로 깎아 내려가는 하방 침식에 의해 V자형 계곡이 만들어지고 하류에서는 주로 하안을 깎아 넓어지는 측방 침식이 일어난다.

###### (2) 퇴적 작용

하천의 상류에서 하류로 갈수록 선상지 → 범람원 → 삼각주를 형성한다. 상류에서 하류로 갈수록 입자의 크기는 작아지고 분급이 양호해지며 원마도는 커지는 경향을 보인다. 또한 대체로 공극률은 커지며 투수성은 작아진다.



##### 2. 해수의 작용

###### (1) 침식 작용

- 1) 해식 절벽: 해수(파도)에 의한 작용으로 깎여서 형성된 해안가 절벽
- 2) 해식 대지: 얇은 바다 밑에 평탄하게 침식되어 있는 땅
- 3) 해안 단구: 해식 대지가 융기하면서 반복적인 과정을 통해 만들어진 계단식 지형
- 4) 해안 동굴: 파도의 침식으로 해안가 절벽에 만들어진 동굴

###### (2) 퇴적 작용

- 1) 사취(사주): 모래가 해류에 의해 밀려와 육지 끝에 붙어서 길에 뺀 퇴적층
- 2) 육계도: 사취가 발달하여 연결된 섬
- 3) 석호: 사취가 바다를 막아 만들어진 호수
- 4) 리아스식 해안: 우리나라 남서해안에 발달한, 해안선이 복잡한 침강 해안



해안 지형

##### 3. 빙하의 작용

###### (1) 빙식 작용: U자곡, 혼(Horn)

###### (2) 빙퇴 작용

- 1) 빙퇴석: 빙하에 의해 운반되어 온 퇴적물로 이루어진 암석으로, 분급과 원마도가 불량하다.
- 2) 호상 점토층: 여름과 겨울철에 빙하가 녹는 속도의 차이로 인해 퇴적되는 물질이 달라서 형성된 층리로서 여름에는 밝고 조립질인 퇴적물이, 겨울에는 세립질인 어두운 퇴적물이 퇴적된다.



#### 4. 지하수의 작용

##### (1) 용해 작용

- 1) 석회 동굴: 지하수가 석회암 지대를 따라 이동하면서 석회암을 녹여서 만들어진 동굴
- 2) 돌리네: 석회 동굴의 함몰에 의해 형성된 지표면 함몰지
- 3) 카르스트 지형: 석회암 지대에서 지하수에 의한 화학적 풍화로 형성된 지형, 고생대 석회암이 분포하는 지역에 주로 나타난다.(강원도 영월, 정선, 삼척, 충북 단양, 제천 등)



- (2) 침전 작용: 석회 동굴 생성물(종유석, 석순, 석주 등)

#### 5. 바람의 작용

##### (1) 바람에 의한 침식(풍식) 작용

모래바람이 날리는 사막에서 주로 발생

- 1) 버섯바위: 바람에 의해 날리는 모래 먼지 바람에 의해 거대 바위의 하층은 침식이 강하고 위쪽은 덜하여 아래가 좁고 위가 큰 바위



**버섯바위와 삼릉석**

- 2) 삼릉석: 3개의 면과 능이 발달된 암석
- 3) 오아시스: 바람에 의해 침식이 일어나 지하수가 지표에 드러난 호수

(2) 바람의 퇴적(풍퇴) 작용

- 1) 사구: 바람에 의해 이동하는 모래가 퇴적되어 형성된 모래 언덕



**충남 태안 신두리 해안사구**

- 2) 황토층: 직경 0.05mm 이하 미세 모래 먼지가 바람에 날려 중국 황하 유역에 널리 분포되어 있는데 이를 황토층이라고 한다. 이는 중앙아시아에서 날아온 것으로, 70m에 이르는 두께를 이루기도 한다. 봄철에 황하 유역이 건조해지면 우리나라로 불어오는 편서풍에 의해 황토가 운반되어 오는데, 이를 황사라고 한다.
- 3) 황사 현상: 작은 모래나 황토 먼지가 저기압으로 상승하여 상층 편서풍을 타고 멀리까지 날아가 서서히 낙하하는 현상
  - ① 발원지: 우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 중국과 몽골의 사막 지대와 황하 중류의 황토지대이다.
  - ② 발생 조건: 강한 바람과 상승 기류가 나타나고 지표는 건조하며 토양 입자는 미세할 경우 잘 발생한다.
  - ③ 발생 시기: 주로 봄철에 많이 발생하며 중국 내륙 지역의 삼림 파괴와 사막화가 가속되고, 고온 건조한 상태가 지속되고 있어 우리나라의 연간 황사 발생빈도와 그 정도가 증가하는 추세이다.
  - ④ 피해: 일사량을 감소시키고, 건강에 위협을 주며, 항공, 운수, 반도체 등 정밀산업 등에 손실을 준다.

### 제3절 지각의 변동

#### I. 화산과 지진

##### 1. 화산활동

지하에서 형성된 마그마가 지각의 약한 부분을 뚫고 지표로 올라와 고온의 용암과 고체 물질 및 가스를 분출하는 현상

##### (1) 화산 분출물

화산활동으로 배출되는 물질. 화산가스(기체), 용암(액체), 화산쇄설물(고체)

① 화산가스: 대부분 수증기( $H_2O$ ), 이 외 이산화탄소( $CO_2$ ), 이산화황( $SO_2$ ), 황화수소( $H_2S$ ), 질소( $N_2$ ), 염소( $Cl_2$ ) 등이 있다.

-  $SiO_2$  함량이 많은 마그마일수록 화산가스의 함량도 많다.

- 화산가스양이 많을수록 분출 압력이 강해 폭발적 분출이 일어난다.

② 화산쇄설물: 화산활동으로 인한 충격 등으로 인해 부서진 상태로 분출되는 암석 조각이나 가루 물질. 화산 퇴적층은 점이 층리와 유사한 구조이며 화산 층은 분화구에서 멀어질수록 작아지는 측방 분급이 나타난다. 화산 분출물의 격렬한 방사상 확산으로 사구와 사층리도 나타날 수 있다.

- 화산탄, 화산 암괴, 화산력, 화산재, 화산진, 스크리아, 부석 등

화산진	화산재	화산력	화산암괴	화산탄
0.06mm이하	0.06~2mm	2~64mm	64mm이상	64mm이상

③ 화쇄류: 온도가 높은 화산재와 화산가스가 혼합되어 화산의 경사면을 따라 빠르게 흐르며, 주변 지역에 큰 피해를 준다.

④ 용암: 마그마에서 화산가스가 빠져나간 나머지 액체 상태의 물질이 지표로 흘러나오는 것이며 마그마와 마찬가지로  $SiO_2$  함량에 따라 분류한다.

##### (2) 용암의 종류와 성질

구분	현무암질 용암	안산암질 용암	유문암질 용암	
SiO <sub>2</sub> 함량	52% 이하	52~63%	63% 이상	
온도	높다	↔	낮다	
점성	작다	↔	크다	
유동성	크다	↔	작다	
화산 가스 분출량	적다	↔	많다	
분화 형태	조용히 분출	용암과 화성쇄설물 교대로 분화	격렬한 폭발성 분화	
화산체	경사	완만하다	↔	급하다
	지형	순상화산	성층화산	용암돔(종상화산)
	형태			

(3) 현무암질 용암의 구분(굳기 전 용암의 표면 상태에 따라 구분)

- ① 피상용암(아아 용암): 표면이 거칠고 작은 가지 구조가 밀집된 모양이 나타나는 용암
- ② 로피용암(파호이호이 용암): 매끈한 긴 줄 모양의 용암. 온도가 높고, 가스 함량이 높아 점성이 작으므로 용암류가 빠르게 흐른다. 바다로 흘러 들어가면 물과 만나 급격히 식으면서 베개 모양의 용암이 만들어지기도 한다. 해령 부근이나 열곡대에서 바다나 강으로 흘러 들어간 부분에서 많이 관찰된다(우리나라 한탄강 유역). 또한 용암 외부는 식었지만, 내부는 식지 않아 계속 흘러 용암동굴이 만들어지기도 한다(우리나라 제주도 만장굴).

(4) 화산의 분류

1) 화산의 활동 여부에 따른 분류

- ① 활화산: 현재 활동하고 있는 화산.
- ② 휴화산: 현재는 활동이 중지되었으나, 과거 활동 기록이 있는 화산.
- ③ 사화산: 화산이지만, 과거 활동 기록이 없는 화산.

2) 화산체의 모양에 따른 분류

- ① 용암대지: 점성이 매우 작아서 유동성이 큰 현무암질 용암이 대량 분출하여 생긴 평평한 대지. 인도 데칸고원, 우리나라 개마고원, 강원도 철원 용암대지 등이 대표적이다.
- ② 순상화산: 점성이 작아서 유동성이 큰 현무암질 용암이 완만하게 퍼져서 형성된 화산이다. 제주도 한라산과 하와이 마우나로아 화산이 대표적이다.
- ③ 성층화산: 안산암질 용암류와 화산쇄설물이 교대로 분출하여 층을 이루면서 퇴적하여 생긴 화산이다. 일본 후지산이 대표적이다.
- ④ 분석구: 마그마가 폭발적으로 분출하면서 생긴 화산쇄설물이 원추 모양으로 쌓여 만들어진 비교적 작은 화산체이다. 제주도의 수많은 기생화산(오름)들이 그 예이다.
- ⑤ 종상화산: 점성이 크고 유동성이 작은 유문암질 용암이 지표로 분출하여 화구 위로 솟아올라 종(鐘) 모양처럼 생긴 화산이다. 제주도의 산방산과 울릉도가 대표적이다.
- ⑥ 탐상화산: 점성이 매우 큰 용암이 지표에 나오기 전 굳은 후 밑에서 떠밀려 올라와 기둥 형태의 뾰족한 봉우리가 된 화산이다. 파나마 마르티니크섬의 몽펠레 화산이 대표적이다.

(5) 화산활동의 형식

1) 틈새 분출: 용암은 대부분 현무암질로 용암대지를 형성한다.

2) 중심 분출: 폭발적으로 분출하는 원추 화산의 형태를 띠거나 현무암질 용암의 분출로 순상화산의 형태를 띤다.

3) 화산의 여러 형태

① 마르: 화산 지대에 큰 웅덩이가 있으나 화구 주위는 낮고 밋밋한 언덕을 형성할 뿐 화산체의 형태가 없다. 용암 지하의 가스가 폭발하여 만들어진 웅덩이이며, 화산쇄설물이나 용암류의 분출은 거의 없었던 화산 지형이다. 제주도의 산굼부리가 대표적인 예이다. 이곳에 물이 고이면 화구호가 된다.

② 칼데라: 화산체의 중심부나 가까운 지역에 원형의 웅덩이가 있는데, 이를 칼데라라고 한다. 분화구와는 다르게 규모가 훨씬 크며, 대부분 분화구 주변이 함몰되어서 생긴다. 백두산 천지와 같이 칼데라에 물이 차면 칼데라호가 된다.

(6) 화산 활동의 영향

1) 피해: 화산 쇄설류에 의한 재산과 인명 피해, 유독 가스에 의한 피해, 다량의 화산재 분출로 인한 기후변화 등

2) 이용: 광상 형성, 온천 개발 등의 관광 산업 발달, 지구 내부 에너지를 이용한 난방 및 지열 발전, 장기적으로 비옥한 토양 형성 등

## 2. 지진

### (1) 지진의 세기

1) 규모(Magnitude): '리히터 규모'라고도 한다. 지진 발생 시 진원으로부터 방출되는 실제 에너지의 총량을 나타낸 것으로, 동일 지진에 대한 규모는 장소에 관계없이 일정하다.

2) 진도(Intensity): 발생한 지진에 대한 사람의 느낌이나 주변의 물체 또는 구조물의 흔들림 정도를 수치로 나타낸 것이다. 진도는 진원까지의 거리에 따라 그 값이 다른 상대적인 세기로 진원이나 진앙으로부터의 거리가 가까울수록, 규모가 클수록 커진다. 또한 지역의 지질 조건이나 구조물의 특성에 따라 달라질 수도 있다. 우리나라에서는 진도계급을 12단계로 구분한 MM진도(수정 메르칼리 진도)를 사용하고 있다.

### (2) 지진의 종류

#### 1) 발생 원인에 따른 분류

① 단층 지진: 지층이 오랫동안 힘을 받는 과정에서 탄성에너지가 저장되고, 암석층이 탄성 한계 이상에 다다르면 지층이 끊어지면서 지진파의 형태로 에너지가 방출되는 지진이다. 지각 내의 지진은 대부분 단층 지진인 경우가 많다.

② 수렴대(베니오프대) 지진: 해양판이 대륙판 아래로 섭입하면서 발생하는 지진으로 환태평양 지진대의 대부분을 차지하며, 천발, 중발, 심발 지진이 모두 발생한다.

③ 화산 지진: 지하의 마그마가 유동하거나 관입하는 과정에서 땅이 흔들리거나, 방출된 가스에 의해 또는 화산이 폭발할 때 지각이 흔들릴 때 발생하는 지진으로 해령의 열곡대에서 빈번하게 발생한다.

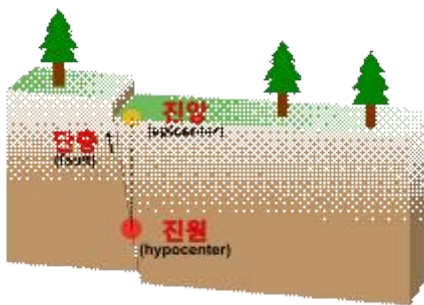
④ 기타 지진: 지하 동굴 등이 함몰되면서 생기는 함락지진, 건축이나 토목공사 현장에서 발생하는 인공지진 등이 있다.

#### 2) 발생 깊이에 따른 분류

① 천발 지진: 진원 깊이 70km보다 얇은 지진. 지구상에 발생하는 지진의 80% 이상이 천발 지진이다. 지진의 범위는 좁지만 피해는 큰 편이다.

② 중발 지진: 진원 깊이 70~300km의 지진

③ 심발 지진: 진원 깊이 300km보다 깊은 지진. 태평양 주변과 서인도 제도 부근에서만 제한적으로 발생하며 지진이 범위는 넓지만 피해는 적은 편이다.



진원과 진앙

### 3. 화산대와 지진대의 분포

(1) 화산대: 화산활동이 활발한 지점을 연결한 띠 모양 지역

(2) 지진대: 지진이 활발한 지점을 연결한 띠 모양 지역

(3) 화산대와 지진대의 특징

1) 화산과 지진은, 판이 경계에서 판들의 상대적인 운동으로 발생하기 때문에 화산대와 지진대의 분포는 거의 일치한다.

- 2) 지구상 모든 지역에서 고르지 않고 특정 지역에 띠 모양으로 분포한다.
- 3) 대륙의 중앙부에는 거의 분포하지 않으며, 상당수 대륙과 해양이 접하는 경계이거나 큰 산맥을 따라 집중되는 경향이 있다.

#### 4. 전 세계 주요 화산대와 지진대



세계 주요 화산대와 지진대 & 판의 경계

- 1) 환태평양 화산대·지진대: 태평양 연안을 따라 둥근 형태로 분포하는 지진대로 '불의 고리'라고 불린다. 전 세계 화산의 60%, 지진의 80%가 집중되어 있으며 천발~심발 지진이 모두 발생한다.
- 2) 알프스-히말라야 화산대·지진대: 지중해에서 히말라야산맥을 거쳐 인도네시아까지 이어지는 지역이다. 대륙의 충돌로 습곡산맥이 발달해 있고 지진 활동이 활발하다. 전 세계 지진의 약 15%가 발생한다.
- 3) 해령 화산대·지진대: 태평양, 대서양, 인도양의 심해저에 위치하는 해저산맥(해령)을 따라 발달하는 지역이다. 해령 중앙의 열곡, 해령을 가로지르는 변환단층에서 지진이 발생하며, 거의 천발 지진만 발생한다. 전 세계 지진의 약 5%가 발생한다.

## II. 지각 변동과 지질 구조

### 1. 지각 변동

#### (1) 변동대와 순상지

- 1) 변동대: 화산대와 지진대, 조산대 등을 말하며 주로 대륙 주변부에 발달한다.
  - ① 해령: 대부분의 대양에 발달하여 일반적으로 해양의 중앙부를 따라 길게 발달하지만 동태평양 해령의 경우처럼 치우쳐 나타나기도 한다. 해령 정상부에는 V자 형태의 열곡이 발달해 있으며, 여기서 화산 활동과 지진이 발생한다.
  - ② 해구와 호상열도: 해구는 해양의 가장자리 섭입대를 따라 길게 분포하며, 섭입대 위쪽 지표에는 해구와 나란하게 화산섬들이 부채꼴 형태로 배열되는데 이를 호상열도라고 한다. 해구와 나란하게 천발 지진이, 대륙 쪽으로 들어갈수록 심발 지진이 발생하며, 호상열도에서는 화산과 지진이 활발하게 일어난다.
  - ③ 조산대: 히말라야 산맥이나 안데스 산맥과 같이 습곡산맥이 길게 분포하는 지역으로 대륙의 가장자리를 따라 길게 띠 모양으로 분포한다.

④ 순상지: 선캄브리아대에 형성되어 고생대 이후부터 현재까지 지각 변동을 거의 받지 않은 평탄하고 안정한 지역으로 주로 대륙의 중앙부에 분포한다. 시베리아의 앙가라 순상지, 북아메리카의 캐나다 순상지, 인도 순상지 등이 있다.

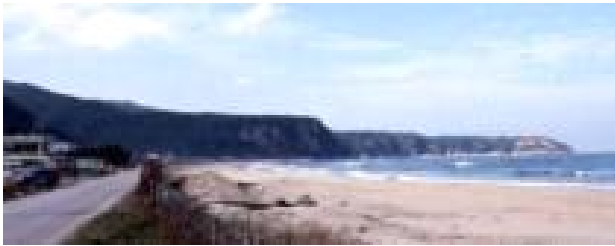
(2) 조륙 운동과 조산운동

1) 조륙 운동: 넓은 범위에 걸친 대륙 또는 지반의 융기 또는 침강 운동

① 원인: 풍화·침식으로 가벼워진 대륙지각은 융기하며, 운반된 퇴적물이 바다 밑에 쌓여 무거워지면 침강한다. 이처럼 조륙 운동은 지각이 평형을 이루기 위해 일어난다.

② 증거

- 융기: 높은 산에서 해양 생물 화석 발견, 세라피스 사원 기둥의 천공 조개 구멍, 해안 단구 지형 등



동해안 해안 단구

- 침강: 리아스식 해안, 익곡, 다도해, 해저 삼림 등

2) 조산운동: 습곡산맥이 형성되는 과정

① 조산대의 분포: 알프스-히말라야 산맥, 로키-안데스 산맥과 같은 대규모의 습곡산맥이 분포하는 곳으로 대체로 대륙의 주변부를 따라 좁고 긴 띠 모양으로 분포한다.

- 고생대의 조산대: 유럽의 스칸디나비아 반도의 칼레도니아 산맥, 북아메리카의 애팔래치아 산맥 등이 있다.

- 중생대와 신생대의 조산대: 알프스-히말라야 산맥, 북아메리카의 로키 산맥, 남아메리카의 안데스 산맥 등이 있다.

② 원인: 판 구조 운동에 따른 습곡산맥의 형성은 지각의 수평 운동에 의한 것으로 설명하고 있다. 즉, 판과 판이 충돌하거나 밀도가 큰 판이 밀도가 작은 판 밑으로 침강할 때 횡압력을 받아 습곡산맥이 형성되는 것으로 보고 있다.

③ 대규모 습곡산맥의 특징

- 해양 생물의 화석이 산출된다.

- 광역 변성 작용을 받았으며, 산맥의 중심부에 마그마의 관입이 있기도 하다.

- 습곡과 역단층이 많이 나타난다.

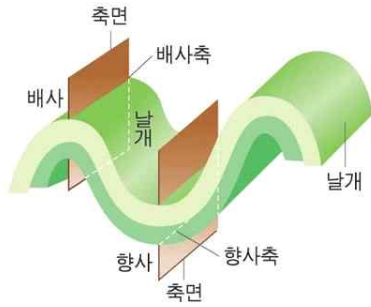
2. 지질 구조

지각 변동의 흔적이나 암석에 기록되어 있는 것을 지질 구조라고 한다. 이는 과거에 일어난 지각 변동의 형태나 규모를 알아내는 중요한 자료가 된다. 지질 구조의 종류에는 습곡, 단층, 부정합, 절리 등이 있다.

(1) 습곡: 수평으로 퇴적된 층이 횡압력을 받아 휘어진 구조로 주로 지하의 고온·고압 환경에서 만들어진다. 조산대에서 잘 나타난다.

1) 구조와 명칭: 습곡 구조에서 위로 볼록한 구조를 배사, 아래로 오목한 부분을 향사, 습곡의 가장 굽은 부분을 습곡축, 축을 기준으로 배사, 향사 사이의 기울어진 부분을 습곡 날개라고 한다.

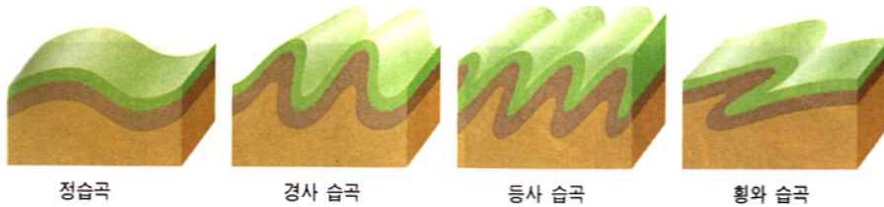




**습곡의 구조**

2) 습곡의 종류: 습곡축의 기울기와 날개 면의 경사에 따라 구분한다.

- ① 정습곡: 습곡축이 수평면에 대해 수직, 날개 면의 경사각이 같고 방향만 반대이다.
- ② 경사습곡: 습곡축이 수평면에 대해 비스듬하고, 날개 면의 경사가 서로 반대이다.
- ③ 등사습곡: 습곡축과 두 날개의 경사각과 경사 방향이 같다.
- ④ 횡외습곡: 습곡축이 수평면에 대해 거의 수평에 가깝게 기울어져 있다.

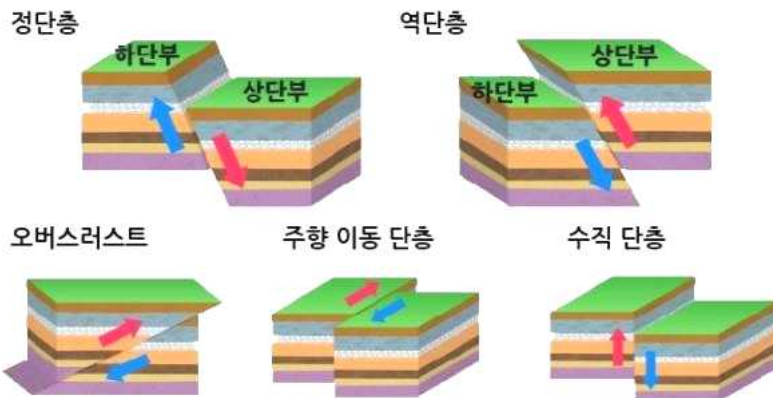


(2) 단층: 지층에 장력이나 횡압력 등이 작용하여 생긴 틈을 경계로 양쪽의 지반이 상대적으로 이동하여 어긋난 구조이다. 온도가 낮은 지표 근처에서 만들어진다.

1) 구조와 명칭: 단층에서 두 지반이 서로 어긋난 면을 단층면이라고 하고 경사진 단층면을 기준으로 위쪽에 있는 지괴를 상반, 아래쪽에 있는 지괴를 하반이라고 한다.

2) 단층의 종류: 단층은 단층면의 경사와 상반과 하반의 상대적인 이동에 따라 구분한다.

- ① 정단층: 지층이 장력을 받아 상대적으로 내려간 단층. 판의 발산형 경계인 해령이나 열곡대에서 주로 만들어진다.
- ② 역단층: 지층이 횡압력을 받아 상반이 상대적으로 올라간 단층으로, 판의 수렴형 경계인 해구나 습곡산맥 부근에서 주로 만들어진다. 단층면을 따라 지층의 역진이 나타날 수도 있다.
- ③ 주향이동단층: 지반이 경사 방향으로의 이동 없이 단층면을 따라 수평으로 이동한 단층. 수평 단층이라고도 한다.
- ④ 오버스러스트(Overthrust): 횡외습곡이 더욱 심한 횡압력을 받아서 생성된 단층으로 단층면의 경사가 45° 이하인 대규모의 역단층이다. 습곡산맥에서 쉽게 발견된다.



(3) 부정합: 연속적으로 쌓인 두 지층 사이의 관계를 정합이라고 하고, 오랫동안 퇴적이 중단되어 긴 시간적 간격이 존재하는 상하 두 지층 사이의 관계를 부정합이라고 한다.

1) 부정합의 형성 과정: 부정합은 지층의 퇴적 → 지각의 융기 → 침식 → 지각의 침강 → 지층의 퇴적 과정을 거쳐 형성된다.

2) 부정합의 종류

① 평행 부정합: 부정합면 아래·위 경사가 평행한 것으로, 조륙 운동을 받은 지역에서 잘 나타난다.

② 경사 부정합: 부정합면 아래가 습곡 작용으로 경사져 있는 부정합으로, 조산운동을 받은 습곡 지역에서 잘 나타난다.

③ 난정합: 부정합면 아래에 결정질인 심성암이나 변성암이 분포하는 부정합으로, 가장 긴 시간 간격이 있는 부정합이다.

3) 부정합의 특징: 부정합면 위에는 흔히 기저역암이 존재하며, 부정합면 위아래 지층에서 산출되는 화석은 큰 차이를 보이므로 지질시대를 구분하는 기준이 된다.



(4) 절리: 암석 내에 형성된 틈이나 균열. 단층과는 달리 양쪽 지반의 상대적인 이동이 거의 없다.

1) 생성 원인: 마그마나 용암이 빠르게 냉각되면서 수축할 때, 지하 깊은 곳의 암석이 융기할 때, 지층이 습곡 작용을 받을 때 생성된다.

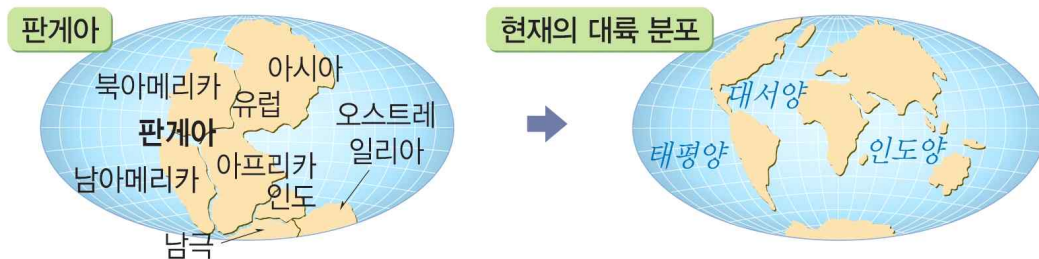
2) 종류: 화산암에서 나타나는 주상절리, 심성암에서 잘 나타나는 판상절리 등이 있다.

3) 특징: 절리는 암석의 표면적을 넓혀 줌으로써 풍화작용을 촉진하고, 절리가 발달한 지역은 지반이 약하다.

### III. 대륙의 이동과 판의 운동

1. 대륙이동설(베게너, 1915)

(1) 대륙이동설: 과거에 하나로 붙어있던 대륙(판게아)이 분리되고 이동하여 현재와 같은 대륙 분포를 형성하였다.

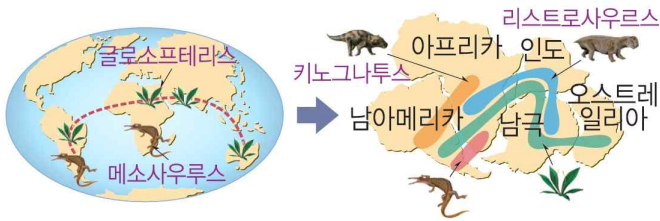


(2) 베게너가 제시한 대륙 이동의 증거

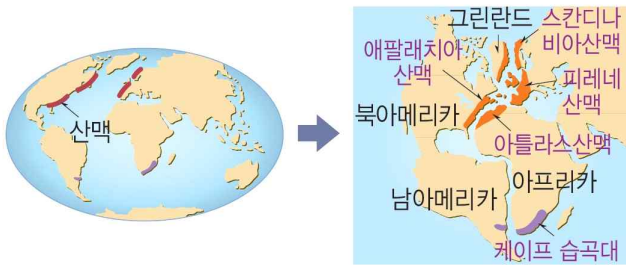
① 해안선 일치: 남아메리카 동해안과 아프리카 서해안의 해안선이 일치한다.



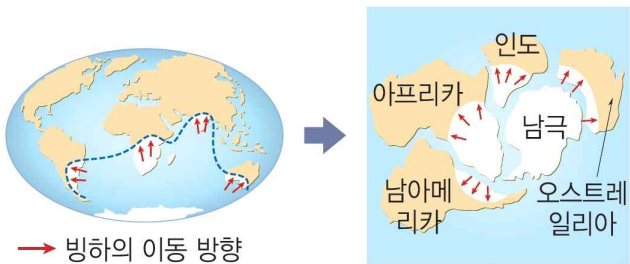
② 화석 분포: 멀리 떨어진 대륙에서 같은 종의 고생물 화석이 발견된다.



③ 지질 구조의 연속성: 북아메리카와 유럽에서 산맥의 지질 구조가 연속적으로 나타난다.



④ 빙하의 흔적: 떨어져 있는 대륙들을 하나로 모으면 빙하의 중심이 남극 근처에 모여 있었다.

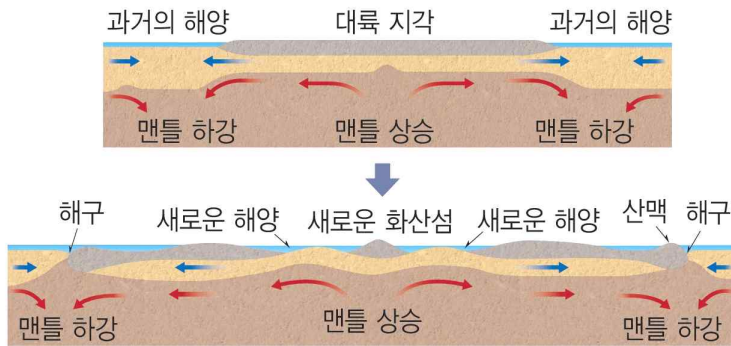


(3) 대륙이동설의 한계: 대륙의 수평 이동 개념을 처음으로 도입하였으나, 대륙 이동의 원동력을 설명하지 못해 받아들여지지 않았다.

2. 맨틀 대류설(홈즈, 1929)

(1) 맨틀 대류설: 맨틀 내 방사성 원소의 붕괴열과 지구 중심에서 공급되는 열에 의하여 맨틀 상하부에 온도 차가 생기고, 맨틀 내부에서 느리게 열대류가 일어난다.⇒ 맨틀 대류의 상승부에서는 마그마의 활동으로 새로운 지각이나 바다가 형성되며, 맨틀 대류의 하강부에서는 지각이 맨틀 속으로 들어가면서 두꺼운 산맥이 형성된다.

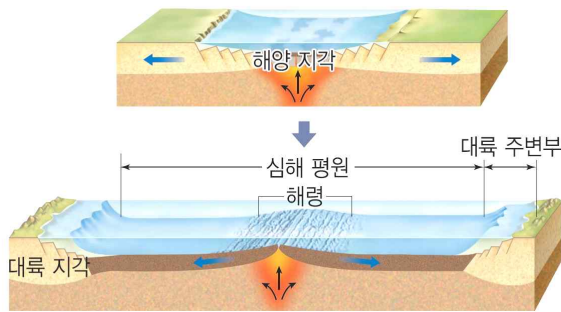
(2) 맨틀 대류의 증거를 제시하지 못해 수용되지 않았다.



맨틀 대류설의 모형

3. 해저 확장설(헤스와 디즈, 1962)

(1) 해저 확장설: 해령에서 새로운 해양지각이 만들어지고, 양쪽으로 갈라져 이동하면서 해양지가 확장되고, 오래된 해양지각은 해구에서 지구 내부로 침강한다.



(2) 배경: 20세기 중반 탐사 장비와 기술의 발달로 해저 지형이 밝혀졌다.

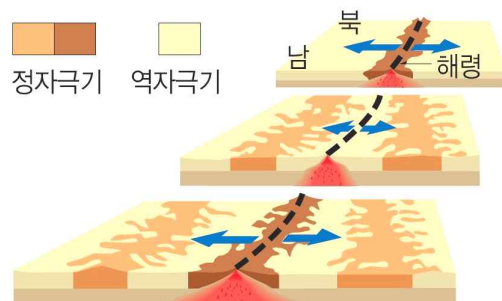


$$\text{수심 } h = \frac{1}{2}vt \quad (v: \text{물 속에서 초음파의 속도}, t: \text{초음파 왕복시간})$$

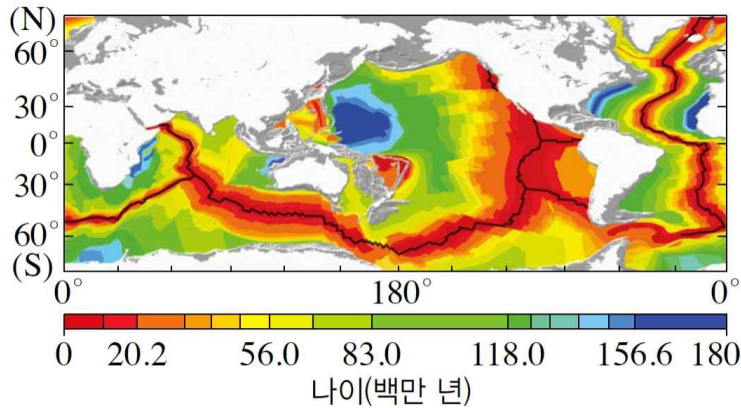
음향 측심법 원리

(3) 해양저 확장설을 뒷받침하는 증거

- 1) 변환단층: 해령은 변환단층에 의해 어긋나 있으며, 해령과 변환단층에서 지진이 일어난다.
- 2) 고지자기: 정자극기와 역자극기의 고지자기 줄무늬가 해령을 중심으로 대칭이다.

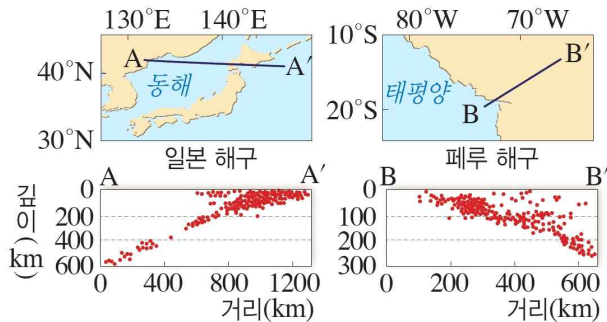


고지자기 줄무늬



해양 지각의 연령 분포

- 3) 해양지각의 연령: 해령에서 멀어질수록 지각의 나이가 증가하며, 해저 퇴적물이 두껍다.
- 4) 섭입대 주변에서 진원의 분포: 해구에서 대륙 쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 점점 깊어지며, 섭입대에서 화산활동으로 호상열도가 형성된다.

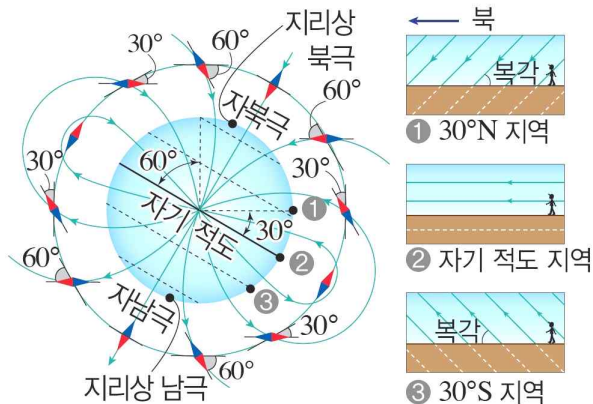


4. 고지자기 연구와 대륙이동설의 부활

(1) 대륙의 이동을 알아내는 방법

1) 지구 자기장: 지구 자기장의 북극을 자북극이라고 하며, 자북극은 지리상의 북극과 일치하지 않는다. 어떤 지점에서 나침반의 N극이 가리키는 방향을 자북, 지리상의 북극 방향을 진북이라고 한다.

- ① 편각: 수평면 위에서 자북과 진북 사이의 각
- ② 북각: 자침이 수평면과 이루는 각



위도에 따른 자기력선과 북각의 변화

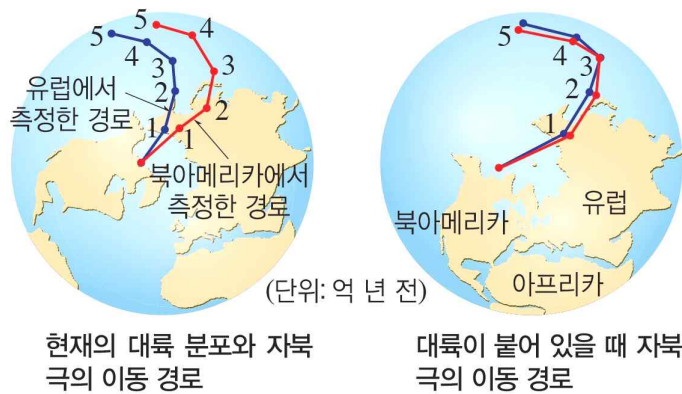
2) 고지자기 연구: 지질시대에 생성된 암석에 남아있는 잔류 자기를 고지자기라고 한다. 암석에 기록된 고지자기의 편각과 복각을 연구하면, 암석이 생성된 당시의 위도나 자북극의 이동을 알 수 있다.

① 암석에 기록된 고지자기 복각이  $+90^\circ$ 이면 암석이 만들어질 때 자북극에 위치하였고, 고지자기 복각이  $-90^\circ$ 이면 암석이 만들어질 때 자남극에 위치하였다.

② 남북 방향으로 이동한 대륙에서 생성된 암석은 생성된 위치에 따라 복각의 크기가 다르다.

③ 암석에 기록된 고지자기 자료를 이용하면 암석이 생성될 당시 지자기 북극의 위치를 결정할 수 있다.

3) 자북극의 이동: 유럽과 북아메리카 대륙에서 측정한 자북극의 이동 경로를 이용하여 대륙의 이동을 알 수 있다.



⇒ 두 대륙에서 측정한 자북극의 이동 경로가 다르다. 자북극의 이동 경로를 합쳐보면 과거에 두 대륙이 하나로 모여 있었다는 것을 알 수 있다. 자북극의 이동 경로가 다른 까닭은 하나로 모여 있던 대륙이 분리되어 이동했기 때문이다. 이처럼 고지자기 연구는 대륙이동설을 부활시키는 계기가 되었다.

#### IV. 판구조론

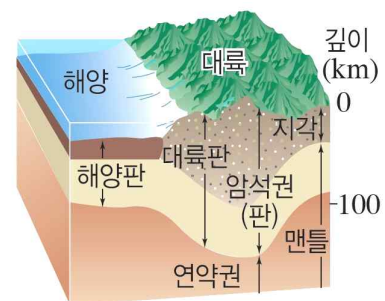
##### 1. 판의 구조와 분포

###### (1) 판의 구조

1) 판: 지표로부터 지하 약 100km까지 매우 단단한 물질로 이루어져 있는 부분을 암석권 또는 판이라고 한다. 판은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함한다.

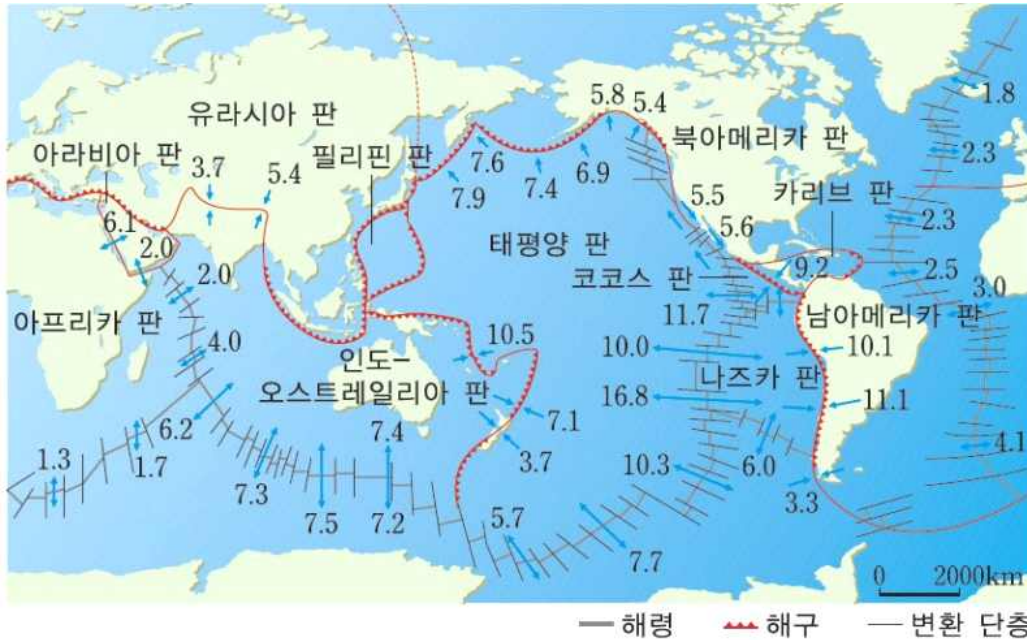
현무암질의 해양지각을 포함하는 해양판과 화강암질의 대륙지각을 포함하는 대륙판으로 나뉘며 해양판의 밀도가 대륙판보다 크다.

2) 연약권: 암석권 아래에 있는 지하 약 100~400km 구간으로, 부분적으로 용융되어 있어 느린 속도로 맨틀의 대류가 일어나는 곳이다.



(2) 판의 분포: 지구 표면은 크고 작은 10여 개의 판으로 이루어져 있는데, 이들 판이 맨틀 대류를 따라 느린 속도로 움직이면서 상호작용을 하여 판의 경계에서 화산, 지진 등의 지각 변동

을 발생시킨다.



▲판의 분포와 이동 방향 및 이동 속도(숫자의 단위 : cm/년)

(3) 판 이동의 원동력: 맨틀 대류에 의한 힘, 해령에서 판을 밀어내는 힘, 해구에서 섭입하는 판이 잡아당기는 힘 등이 작용하여 판이 이동한다.

(4) 판의 이동 속도: 일반적으로 해령과 섭입대가 같이 있는 판이 섭입대가 없는 판보다 빠르다. 가장자리에 해구가 있는 태평양판이 해구 없이 해령만 있는 대서양보다 해양저 확장 속도가 빠르다.

## 2. 판의 경계

판의 상대적인 이동 방향에 따라 크게 발산형, 수렴형, 보존형 경계로 나뉜다.

(1) 발산형 경계: 판이 양쪽으로 멀어지는 곳으로 해령과 열곡대가 대표적인 예이다. 맨틀 대류의 상승에 의한 압력 감소로 암석의 용융점이 내려가 현무암질 마그마가 만들어지면서 분출되는 곳이다.

• 해양판-해양판의 확장 : 해령

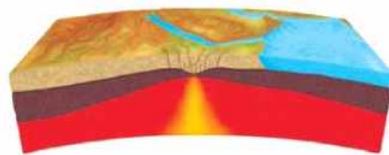
• 대륙판-대륙판의 확장 : 열곡대



▲해령

판의 생성, 천발지진과 화산활동이 일어난다.

예 대서양 중앙 해령



▲열곡대

천발지진과 화산활동이 일어난다.

예 동아프리카 열곡대

1) 해령, V자 열곡: 해양판과 해양판이 발산하는 경계이다. 고온의 맨틀 물질이 상승할 때는 압력이 감소하므로 현무암질 마그마가 생성된다. 이렇게 생성된 마그마가 해령의 열곡으로 분출하여 새로운 해양지각을 형성한다. 열곡이 갈라지는 과정에서 천발 지진이 발생한다. 동태평양 해

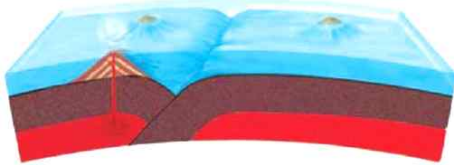
령, 대서양 중앙해령, 인도양 중앙해령 등이 있다.

2) 열곡대: 대륙판과 대륙판이 발산하는 판의 경계이다. 동아프리카 열곡대, 아이슬란드 열곡대 등이 있다.

(2) 수렴형 경계: 판이 가까워지면서 맨틀 대류가 하강하는 곳으로 섭입형 경계와 충돌형 경계가 있다. 판이 소멸하는 곳이므로 지각의 나이가 많다.

1) 섭입형 경계

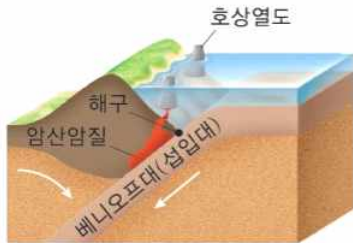
① 해양판-해양판: 밀도가 조금 더 큰 해양판이 밀도가 작은 해양판 아래로 섭입한다. 해구와 호상열도가 발달하고, 천발~심발 지진이 발생한다.



▲해양판-해양판 충돌

해구는 대륙의 연변부나 호상열도와 나란하게 분포하여 태평양 주변부에 주로 발달해 있다. 해구 중에서 가장 깊은 곳은 필리핀 부근의 마리아나 해구로 깊이는 약 11,000m에 달하며 해구 내에서도 가장 깊은 곳을 해연이라고 하는데 마리아나 해구 내의 비티아즈 해연이 있다.

② 대륙판-해양판: 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 아래로 섭입해 들어가면서 안산암질 마그마가 생성된다. 이렇게 생성된 마그마는 해구 부근의 습곡산맥이나 호상열도에서 관입하거나 분출한다. 섭입하는 과정에서 두 판의 마찰로 지진이 발생한다. 이때 경사진 섭입대를 베니오프대라고 하고 지진은 베니오프대를 따라 발생한다. 따라서 해구 부근에는 천발, 대륙쪽으로 갈수록 심발 지진이 발생한다. 일본 열도나 안데스 산맥을 예로 들 수 있다.



해양판과 대륙판의 섭입

③ 섭입형 경계에서 마그마의 생성: 해양지각과 해양 퇴적물이 섭입할 때 온도와 압력이 높아져 지각에 포함된 함수 광물에서 물이 빠져나온다. 맨틀에 공급된 물이 용융점을 낮춰 현무암질 마그마가 생성되고, 이 마그마가 상승하다가 대륙지각의 하부를 부분 용융시켜 유문암질 마그마가 만들어지며, 지표로 흘러나오는 과정에서 두 종류의 마그마가 혼합되어 안산암질 마그마가 생성된다.

2) 충돌형 경계: 밀도가 비슷한 두 판이 서로 충돌하면서 습곡산맥 같은 대규모 조산대를 형성하는 곳이다. 대륙판은 밀도가 작아 맨틀 속으로 섭입하지 못하므로 두 대륙판의 경계부와 그 사이 바다에 퇴적되었던 물질 및 지각의 물질이 횡압력에 의한 심한 습곡 작용과 역단층 작용을 받아 높은 산맥을 형성한다. 화산 활동과 심발 지진은 거의 없고, 천발~중발 지진이 발생한다. 산맥의 중앙부에는 마그마의 관입이 이루어지기도 한다.

(3) 보존형 경계: 이동 방향이 반대인 두 판이 서로 어긋나면서 변환단층을 형성하는 곳으로 판의 생성과 소멸은 없다.

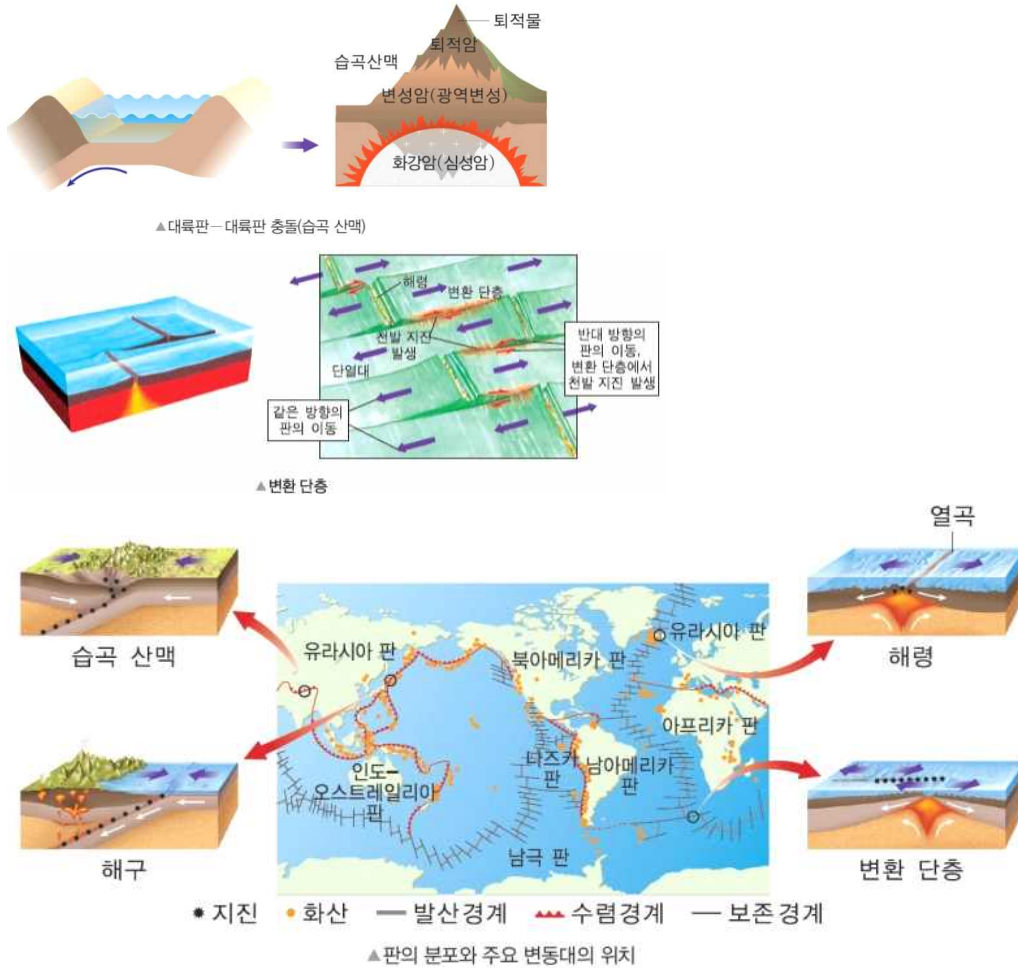
1) 맨틀 대류가 수평으로 이동하는 곳으로 맨틀 대류의 속도 차이 때문에 생긴 것이다.

2) 화산, 심발 지진은 없고, 천발 지진만 발생한다.

3) 변환단층: 양쪽 판이 서로 엇갈리며 평행하게 움직이는 경계에서 나타나는 수평단층이다. 산



안드레아스 단층, 케인 단층이 있다.

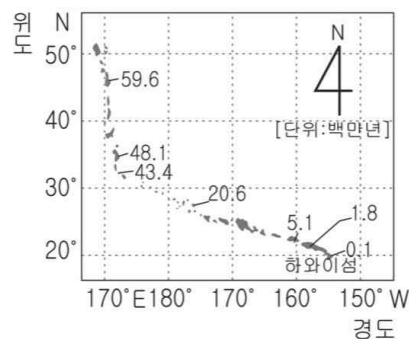
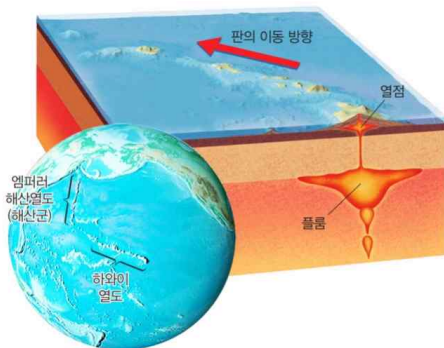


(4) 열점과 판의 이동

1) 열점: 맨틀 깊은 곳에 고정된 마그마의 근원이며, 열점에서 마그마는 기둥 형태(플룸)로 수직으로 올라와 암석권을 뚫고 화산을 형성한다. 열점은 판과 함께 이동하지 않고 한 지점에 고정되어 있으므로 그 근원이 상부 맨틀(연약권)이 아닌 하부 맨틀에 있음을 알 수 있다. 전 세계적으로 확인된 열점은 수십여 개이고, 대표적으로 하와이(해양판 내부)와 옐로스톤(대륙판 내부)이 알려져 있다.

2) 열점과 판의 이동 속도 : 열점과 화산섬 사이의 거리, 화산섬의 나이(생성 시기)를 알면 판의 이동 속도를 구할 수 있다.

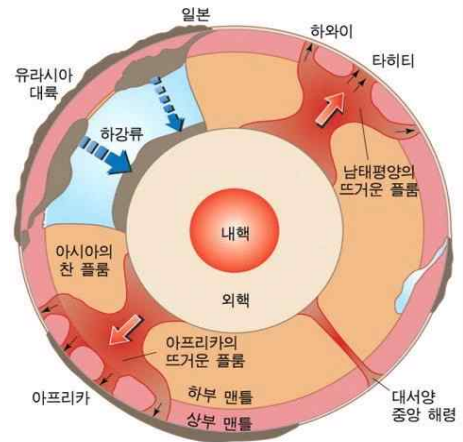
- 판의 이동 속도 = 화산섬과 열점 사이의 거리 / 화산섬의 나이



→ 하와이 열도에서 현재 화산활동은 하와이섬에서 일어난다. 화산섬의 나이는 열점에서 멀어질 수록 많다. 화산섬의 배열을 보면 판의 이동 방향을 알 수 있는데, 하와이 열도에 속한 화산섬들의 배열과 나이에 따르면, 태평양판은 열점에 대하여 북북서 방향으로 이동하다가 약 4천3백만 년 전부터 서북서 방향으로 이동하였다.

#### (5) 플룸 구조론

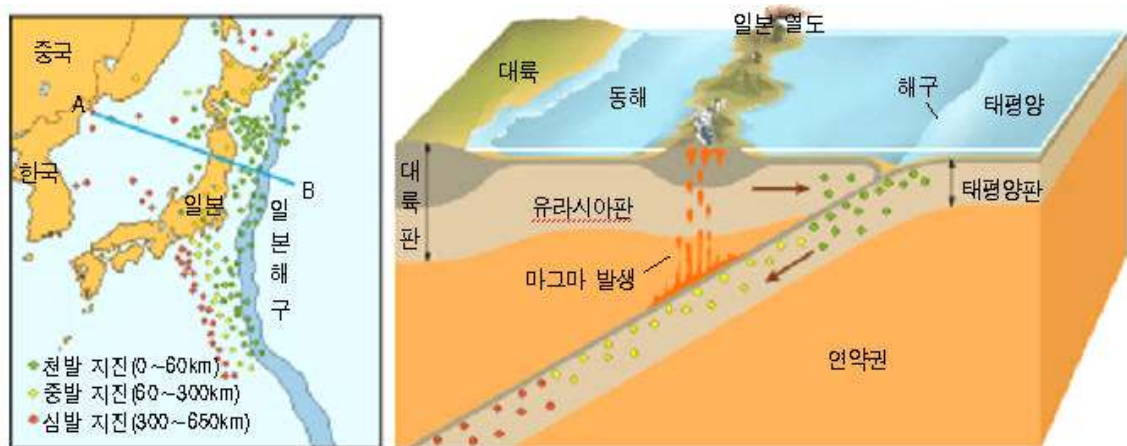
플룸이란, 맨틀과 외핵 경계에서 지각으로 빠르게 상승하거나 지각에서 맨틀 하부로 하강하는 기둥 모양의 물질과 에너지의 흐름이다. 맨틀 상부와 하부의 온도 차이에 따른 밀도 변화에 의해 상대적으로 고온인 맨틀 물질이 상승하는 뜨거운 플룸(hot plume)과 상대적으로 저온인 맨틀 물질이 하강하는 차가운 플룸(cold plume)이 유동하면서 지구 내부 구조를 지배한다는 가설이 플룸 구조론이다. 차가운 플룸은 외핵의 상부까지 내려가 온도 구조를 교란시켜 뜨거운 플룸을 생성시키며 뜨거운 플룸은 과거 초대륙을 분리시키는 역할을 한 것으로 추정된다. 뜨거운 플룸이 상승하는 곳은 판의 경계에도 존재하고 판 내부에도 존재한다.



- 뜨거운 플룸은 주변의 맨틀보다 온도가 높아 지진파의 속도가 느리다.
- 차가운 플룸은 주변의 맨틀보다 온도가 낮아 지진파의 속도가 빠르다.

#### (6) 우리나라 주변의 지각 변동

우리나라와 일본은 모두 유라시아 판에 위치한다. 일본은 수렴형 경계 부근에서 생성된 호상열도이고, 우리나라는 판의 경계에서 비교적 멀리 떨어져 있다. 따라서 일본에서는 화산과 지진이 활발하게 일어나는 반면 우리나라에서는 화산 활동이 잘 일어나지 않고 판의 운동에 의한 지진도 잘 일어나지 않는다.



우리나라 주변의 지각 변동

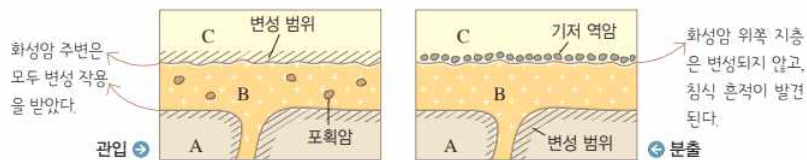
## 제4절 지질시대

### I. 지층과 화석

지사 연구의 기본 원리

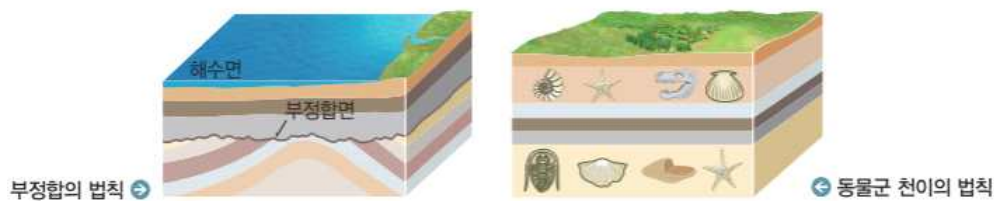
동일 과정의 원리: 현재 지구상에서 일어나고 있는 지질학적 현상은 과거에도 현재와 같은 속도와 과정으로 일어났다는 것으로, 18세기 말, 찰스 라이엘은 ‘현재는 과거를 아는 열쇠이다.’라고 주장하였다. 따라서 현재 지구상에서 일어나는 현상을 이해하면 지구의 역사를 해석할 수 있다.

- (1) 수평 퇴적의 법칙 일반적으로 퇴적물은 중력의 영향으로 수평으로 쌓인다. → 현재 지층이 기울어져 있거나 휘어져 있으면 지각변동을 받았다고 판단한다.
- (2) 지층 누층의 법칙 지층이 쌓일 때 아래쪽은 위쪽보다 먼저 퇴적되었다. → 지각변동으로 지층이 변형되거나 역전되지 않았다면 아래쪽 지층일수록 먼저 생성된 지층이다.
- (3) 관입의 법칙 관입한 암석은 관입 당한 암석보다 나중에 생성되었다. → 마그마가 관입하면 열 때문에 관입당한 암석은 변성 작용을 받으므로 변성된 암석이 먼저 생성된 것이다.



- 관입이 일어났을 때: 마그마가 기존의 암석을 뚫고 관입하면 화성암 주변은 모두 변성 작용을 받고, 기존 암석의 일부가 화성암 속에 포함될 수 있다.
- 분출이 일어났을 때: 마그마가 지표로 분출한 후 새로운 지층이 퇴적되었다면 분출한 화성암의 위쪽으로는 변성되지 않고, 침식 흔적이거나 기저역암이 나타난다.

- (4) 부정합의 법칙 부정합면을 경계로 상하 지층 사이에는 긴 시간 간격이 있다. → 이를 경계로 상하 지층을 이루는 구성 암석의 종류와 상태, 지질 구조, 화석의 종류가 달라진다.
- (5) 동물군 천이의 법칙 퇴적 시기가 다른 지층에서는 발견되는 화석의 종류가 달라진다. → 더 복잡하고 진화된 화석이 발견되는 지층이 나중에 생성된 지층이다.



### 2. 화석

지질 시대를 살았던 생물의 유해나 흔적이 지층 속에 보존된 것을 화석이라고 하며, 화석에 기록된 모든 옛 생물을 고생물이라고 한다. 공룡 발자국, 배설물, 알껍질, 조개가 살았던 흔적 등은 생흔 화석이라고 하며, 시베리아 얼음 속에서 발견된 매머드는 완전한 화석에 포함된다.

(1) 화석의 생존과 보존

#### ① 화석의 생성 조건

- 생물의 개체수가 많아야 한다.
- 뼈, 이빨, 껍데기처럼 단단한 부분이 많아야 한다.
- 죽은 후 냉동, 건조되거나 빨리 매몰되어 다른 생물에 의해 훼손되지 않아야 한다.

- 화석화 작용(치환, 재결정, 탄화 작용 등)을 받아야 한다.
- 퇴적암이 생성된 후 심한 지각 변동이나 변성 작용을 받지 않아야 한다.

② 화석의 보존

- 몰드: 생물의 유해가 없어지고 모양만 남은 것.
- 캐스트: 몰드에 다른 물질이 들어가 침전되어 생물의 원형이 남은 것.
- 인상(imprint): 나뭇잎과 같이 얇은 생물체의 몰드 화석은 암석에 찍힌 것처럼 나타남.
- 치환: 생물의 성분이 다른 광물질로 바뀌면서 생물의 형태와 내부 구조가 보존되는 작용

(2) 화석의 종류

① 표준 화석: 지질 시대를 구분하는 기준이 되는 화석

- 조건: 생존 기간이 짧고, 개체 수가 많으며, 분포 면적이 넓어야 한다.
- 대표적인 예: 삼엽충, 방추충(고생대), 암모나이트, 공룡(중생대), 화폐석, 매머드(신생대)

② 시상 화석: 생물이 살았던 당시의 환경을 알려 주는 화석

- 조건: 생존 기간이 길고, 분포 면적이 좁으며, 환경 변화에 민감해야 한다.
- 대표적인 예: 산호(따뜻하고 얕은 바다 환경), 고사리(온난 다습한 육지 환경)

3. 퇴적층과 퇴적 환경

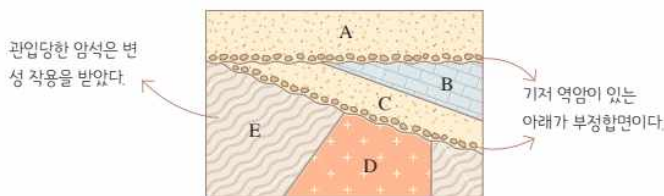
- ① 역암층: 하천이나 얕은 바다
- ② 석회암층: 온난, 비교적 깊은 바다
- ③ 빙퇴석, 호상 점토층: 한랭한 빙설 기후
- ④ 응회암, 집괴암층: 화산 활동 지역
- ⑤ 장식질 사암층: 풍화·침식이 빠르게 진행된 지역
- ⑥ 처트층: 심해 환경
- ⑦ 석탄층: 호수 및 하천의 온난 습윤한 기후
- ⑧ 암염, 석고, 적색 사암층: 열대 건조 기후

III. 지질학적 연대

1. 상대 연대

지층의 생성 시기와 지질학적 사건의 발생 순서를 상대적으로 밝혀낸 것이다. 지층의 상대 연대를 판단할 때는 지사학 법칙 이용한다. 다음은 적용의 예이다.

그림은 어느 지역의 지층 단면을 나타낸 것이다.



1. 관입의 법칙 적용: 관입한 암석은 관입당한 지층보다 나중에 생성된 것이다. ⇒ E → D
2. 부정합의 법칙 적용: 부정합이 나타나면 부정합면 아래층이 위층보다 오래되었고, 기저 역암이 있는 쪽이 위층이다. ⇒ E와 D → C, C와 B → A
3. 지층 누층의 법칙 적용: 지층이 역전되지 않았다면, 아래층이 위층보다 오래되었다. ⇒ C → B
4. 결론: 지층과 암석의 상대적인 생성 순서는 지층 E 퇴적 → 화성암 D 관입 → (부정합) → 지층 C 퇴적 → 지층 B 퇴적 → (부정합) → 지층 A 퇴적이다.

2. 절대 연대

암석의 생성 시기나 지질학적 사건의 발생 시기를 수치로 나타내는 것으로 방사성 원소의 반감기를 이용한다.

(1) 방사성 동위 원소: 시간이 지남에 따라 방사선을 방출하면서 일정한 속도로 붕괴하여 안정한 원소로 변한다.

- ① 모원소: 붕괴하는 원래의 방사성 동위 원소
- ② 자원소: 모원소가 붕괴하여 새로 생성된 안정한 원소

(2) 방사성 동위 원소의 반감기: 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 양의 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간 → 외부 온도나 압력의 변화에 관계없이 일정하다. 반감기는 방사성 동위 원소의 종류에 따라 다르다.

방사성 동위 원소		반감기(년)	효과적인 연대 결정 범위(년)	포함 물질
모원소	자원소			
<sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb	약 45억	1천만~46억	지르콘, 우라니아이트, 피치블렌드
<sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb	약 7억	1천만~46억	지르콘, 우라니아이트, 피치블렌드
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> Ar	약 13억	5만~46억	휘석, 흑운모, 백운모, 정장석, 화산암
<sup>87</sup> Rb	<sup>87</sup> Sr	약 492억	1천만~46억	흑운모, 백운모, 정장석, 각섬석
<sup>14</sup> C	<sup>14</sup> N	약 5730	100~7만	뼈, 나무 등 탄소를 포함한 유기물

(3) 절대 연대의 측정

방사성 동위 원소의 반감기와 절대 연령 암석 또는 광물 안에 포함된 모원소와 자원소의 양과 반감기를 이용하여 암석 또는 광물의 절대 연령을 측정할 수 있다.

① 방사성 붕괴 함수

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

(N: t년 후 모원소의 양, N<sub>0</sub>: 처음 모원소의 양, T: 반감기, t: 절대 연령)

또는, 절대 연령  $t = T \times$  반감횟수로 구한다.

② 적용의 한계

방사성 원소를 이용한 암석의 절대 연대 측정은 주로 화성암과 변성암에 이용된다. 퇴적암은 생성 시기가 서로 다른 퇴적물들이 모여 굳어진 것으로서 방사성 원소를 이용하여 퇴적암의 절대 연령을 구하는 것은 의미가 없다.

③ 방사성 탄소(<sup>14</sup>C)의 이용

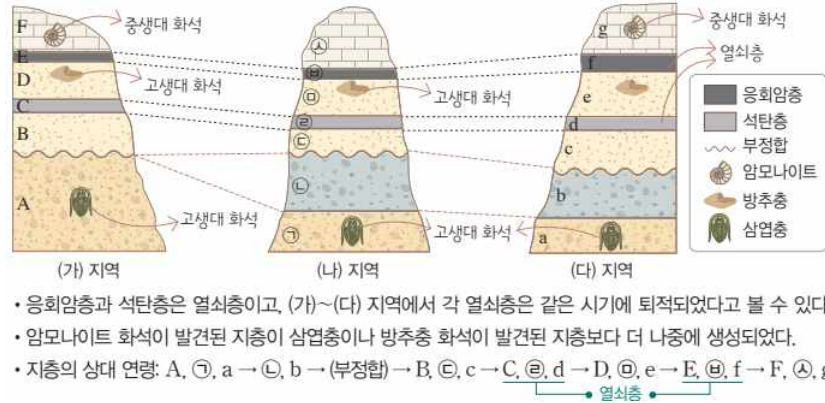
퇴적암의 절대 연대 측정의 경우는 퇴적층에 들어있는 화석을 통해 퇴적된 시기를 추정해 볼 수 있는데, 그 중에서 특히 방사성 탄소(<sup>14</sup>C)를 포함한 유기 생명체가 지층에 화석으로 남아있으면, <sup>14</sup>C의 반감기(약 5730년)를 이용하여 연대를 구할 수 있다.

3. 지층의 대비

서로 떨어져 있는 지층들을 비교하여 그 지층들이 생성된 시기의 시간적 선후 관계를 밝히는 것이다.

(1) 암상에 의한 대비: 지층을 구성하는 암석의 종류나 열쇠층을 이용하여 대비한다. → 비교적 가까운 거리에 있는 지층 대비에 이용

- 열쇠층(건층, key bed): 지층 대비에 기준이 되는 층 ex) 응회암층, 석탄층 등
  - 열쇠층의 조건: 비교적 짧은 시기 동안 퇴적되었으면서 넓은 지역에 분포하는 지층
- (2) 화석에 의한 대비: 진화 속도가 빠르거나 비교적 짧은 시기 동안 번성하여 퇴적 시기를 지시해 주는 표준 화석을 이용하여 대비한다. ➔ 멀리 떨어져 있는 지층 대비에 이용



### 지층의 대비

## III. 지질시대의 환경과 생물

### 1. 지질시대의 구분

#### (1) 지질시대의 구분 기준

지질시대는 지구의 탄생부터 현재까지를 의미하지만, 보통 지각이 생성된 약 40억 년 전부터 인류의 역사가 시작된 약 1만 년 전까지를 말한다.

① 생물계에서 일어난 급격한 변화: 많은 종류의 생물이 갑자기 전멸하거나 출현한 시기를 경계로 구분한다.

② 대규모 지각 변동: 상하 지층의 시간 차이가 크고, 화석의 종류가 뚜렷하게 달라지는 것을 경계로 구분한다. ➔ 주로 부정합면을 경계로 구분한다.

#### (2) 지질시대의 구분 단위(누대-대-기-세-절)

① 누대(이언): 지질시대를 구분하는 가장 큰 단위로, 퇴적암에서 화석이 비교적 풍부하게 발견되는 시기를 현생누대, 그 이전을 시생 누대, 원생 누대라고 한다.

② 대: 누대를 생물 화석의 큰 변화를 기준으로 대로 구분한다.

- 시생 누대, 원생 누대: 합쳐서 선캄브리아 누대라고도 한다.

- 현생누대: 고생대, 중생대, 신생대로 구분한다.

③ 기와 세: 생물의 진화 과정을 근거로 대를 더 작은 단위인 기로 구분하며, 기를 더욱 작은 단위인 세로 구분한다.

#### (3) 지질시대 구분표



2. 고기후를 조사하는 방법

① 빙하 코어 분석

- 빙하에 포함된 공기로부터 과거 대기 성분을 파악할 수 있다.
- 빙하에 포함된 꽃가루로 당시 환경을 추정할 수 있다.
- 산소 동위 원소비를 이용하여 기온을 추정할 수 있다. → 빙하 코어에는 눈이 쌓일 당시의 꽃가루나 대기 성분이 포함될 수 있기 때문

② 나무 나이테 조사

- 나무 나이테의 개수와 폭을 연구하여 과거의 기온과 강수량 변화를 추정한다. → 기온이 높고 강수량이 많으면 나이테의 폭이 넓고, 밀도가 작아진다.
- 비교적 가까운 과거(수천 년 전)까지의 기후를 알아낼 수 있다.

③ 화석 연구

시상화석의 종류와 분포로부터 과거의 환경을 추정한다.

ex) 고사리: 온난 습윤한 기후에서 서식하므로, 고사리 화석이 발견되면 그 당시 기후가 온난 습윤했음을 알 수 있다.

④ 유공충 화석 분석

바다에서 살았던 유공충 껍데기의 산소 동위 원소비를 이용하여 해수의 온도를 추정할 수 있다.

\*산소 동위 원소비

대기 중의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}O}{^{16}O}$ )는 기온이 높을수록 높고,

해양 생물체 화석 속의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}O}{^{16}O}$ )는 수온이 높을수록 낮다.

3. 지질시대의 환경과 생물

(1) 선캄브리아 시대(시생 누대, 원생 누대)

대기와 지각, 해양이 형성된 이후 긴 시간 동안 지구에는 생물이 출현하지 않았다. 따라서 선캄브리아 시대 초기에 대해 화석을 통해 알려진 것은 거의 없으며, 현재 발견되는 암석 중 가장 오래된 암석을 통해 그 시작 시기를 추정한다.

① 선캄브리아 시대의 지각변동: 오랫동안 여러 차례의 조산운동이 일어나 암석이 심하게 변성되어 화석이 드물다. 대부분 변성 작용을 심하게 받은 편암이나 화강편마암 같은 결정질 암석이 대부분이며 퇴적암은 거의 없다. 선캄브리아 시대에 형성된 지층 중에서 심한 지각변동을 받은 후 침식 작용만 받아 지형적으로 낮고 완만한 경사를 이루는 순상지로 많이 나타난다.

② 선캄브리아 시대의 환경: 이 시기에 수온이 높고, 햇빛이 잘 드는 얕은 바다에서 서식하던 남세균(사이아노 박테리아)이 넓게 분포하였는데, 이것들이 만들어낸 스트로마톨라이트를 통해 선캄브리아 시대가 대체로 온난한 기후였다는 것을 알 수 있다.

- 초기: 강한 자외선이 내리쬐고 있었으므로 육지에는 생명체가 나타날 수 없었고, 자외선이 도달하지 않는 바다에서 생명체가 먼저 출현하였다. 약 38억 년 전 시생 누대 초반에 최초의 광합성 생물이 출현하였고, 지구 환경에 큰 변화를 가져오게 되었다.

- 중기와 말기: 이 시기 퇴적층에서 빙하퇴적물이 발견되면서 아프리카 남부, 인도, 중국, 호주, 미국 북동부 등지에 빙하가 존재했다는 사실이 알려지게 되었다.

- 대기 성분: 시생 누대에는 대기 중에 산소가 거의 없었으며 핵이 없는 단세포 생물인 원핵생물이 이 시기에 탄생하였다. 이 시기의 생물인 남세균의 화석으로 스트로마톨라이트가 있다. 남세균이 바닷속에서 번성하면서 대기 중에 산소도 조금씩 늘어나기 시작했다.





- 데본기: 완족류가 번성하였으며, 폐어, 상어, 갑주어 등의 어류가 크게 번성하여 어류의 시대라고 한다. 양서류가 육상에 출현하였고, 고사리류가 번성하였다.
- 석탄기: 방추충(푸줄리나)가 번성하였고, 최초의 파충류가 출현하여 점차 완전한 육상동물로 진화하였다. 인목, 봉인목, 노목 등의 양치식물이 거대한 숲을 이루었으며, 잠자리, 거미 등의 곤충이 서식했다.
- 페름기: 양서류가 크게 번성하였고, 은행나무, 소철류 등의 겉씨식물이 출현하였으며, 말기에는 삼엽충, 갑주어, 방추충 등 고생대 생물이 전멸하는 대멸종 사건이 있었다.

### (3) 중생대

중생대는 약 2억 4천 5백만 년 전에서 6천 5백만 년 전까지 지속된 지질시대, 트라이아스기, 쥐라기, 백악기로 나뉜다.

- ① 중생대의 지각 변동: 트라이아스기 말부터 판게아가 분리되면서 생물의 서식환경이 다양해졌으며, 로키, 안데스산맥이 생성되기 시작했고, 한반도에서는 대보조산운동이 일어났으며 다량의 마그마가 지각 하부에 관입하였다. 쥐라기 초에 대서양이 생기기 시작하였으며 판게아가 분리된 대륙이 더욱 나뉘어 남아메리카, 아프리카, 인도, 오스트레일리아가 형성되었다.
- ② 중생대의 기후: 대기 중 산소의 양은 16% 정도였으며, 고생대에 비해 따뜻했다. 초기 지층에서 적색 사암층과 증발암이 나타나고 산호초가 시베리아까지 발견되는 것으로 보아, 온난 건조하였다. 쥐라기를 거쳐 백악기로 가면서 점차 고온 다습한 기후로 변했고, 말기에는 한랭한 기후로 급변하면서 공룡이 멸종하게 되었다.
- ③ 중생대의 생물: 고생대에 비해 많은 고등 생물이 등장하였다. 두족류의 일종인 암모나이트, 벨렘나이트 등이 바다에 번성했고, 고생대 후기에 출현한 파충류가 번성하였다. 식물로는 소철류, 송백류, 은행류 등의 겉씨식물이 출현해 번성하였다.
  - 트라이아스기: 육지에는 공룡, 바다에는 암모나이트가 출현하여 번성하였으며, 최초의 포유류가 출현하였다. 겉씨식물이 많아졌고, 소철류가 크게 번성하였다.
  - 쥐라기: 익룡이 출현하였고, 파충류와 조류의 특징을 모두 나타내는 시조새가 출현하였다. 겉씨식물이 큰 숲을 이루었다.
  - 백악기: 파충류의 진화가 절정에 달했으며, 말기에 암모나이트, 공룡 등이 멸종하였다. 백악기 초기에 활엽수가 나타났으며, 대기 중의 산소의 양이 증가하였다.

### (4) 신생대

신생대는 약 6천5백만 년 전에서 1만 년 전까지 지속된 지질시대, 지질시대 중 가장 짧은 기간을 차지한다. 팔레오기, 네오기, 제4기로 나뉜다.

- ① 신생대의 지각변동: 아프리카 대륙과 인도 대륙이 유라시아대륙과 충돌하면서 알프스·히말라야 산맥이 형성되었다. 대서양과 인도양이 확장되고, 태평양이 좁아지면서 태평양을 이루는 판들이 유라시아 대륙, 아메리카 대륙과 충돌하여 환태평양 조산대를 형성하였다.
- ② 신생대의 기후: 팔레오기에는 비교적 기온이 높았으며, 제4기에 들어서 기온이 급격히 떨어져 빙하기와 간빙기가 반복적으로 나타났다.
  - 팔레오기, 네오기: 바다에서는 대형 유공충인 화폐석이 번성하였으며, 육지에는 속씨식물이 번성하고 풀이 무성한 초원이 나타나 말, 매머드 등과 같은 포유류가 번성하였다.
  - 제4기: 생물은 현재와 비슷하며, 매머드를 비롯한 대형 포유류가 크게 번성하였고, 조류도 번성하였다. 말기에 인류의 조상이 출현하였다.



#### IV. 한반도의 지질과 지형

##### 1. 우리나라의 지질 분포

###### (1) 우리나라의 암석

선캄브리아대 변성암류가 약 40%, 중생대 화성암류가 약 35%, 고생대 이후 형성된 퇴적암류가 약 25%를 차지한다.

###### (2) 우리나라의 지체 구조구

① 육괴(지괴): 암석의 종류, 나이, 지질 구조 등으로 우리나라를 여러 개의 땅덩어리로 나누는데, 이를 육괴라고 하며, 우리나라의 육괴는 주로 선캄브리아대 변성 퇴적암류와 화강편마암으로 이루어져 있다. 고생대 이후 계속 육지에 드러나 있었다.

ex) 경기육괴, 영남육괴, 낭림육괴 등

② 퇴적분지: 육괴와 육괴 사이에 분포하며, 고생대 이후 지역에 따라 바다나 호수가 형성되어 퇴적층이 쌓인 곳이다.

ex) 포항 연일 분지, 경상 분지, 평남 분지, 두만강 분지 등

③ 습곡대: 습곡 작용으로 이루어진 지대로 지각 운동이 심하였던 곳이기 때문에 과거의 화산 대 및 지진대와 밀접한 관련이 있다.

ex) 고생대 옥천습곡대, 선캄브리아대 단천습곡대 등

④ 지구대: 대규모 단층으로 형성된 기다란 분지 형태 구조

ex) 길주-명천 지구대

⑤ 구조곡: 절리의 침식에 의해 형성된 지형적으로 길고 좁게 함몰된 지형

ex) 추가령 구조곡

###### (3) 우리나라 지질의 특성

① 고생대 페름기 초를 경계로 그 이전의 지층은 해성층이고, 그 이후의 지층은 대부분 육성층이다.

② 가장 오래된 암석은 변성 퇴적암류와 화강 퇴적암류이다.

- 화성암류: 대부분 중생대 관입한 화강암으로 남한 쪽에서는 대체로 중국 방향으로 분포한다.



- 화산암류: 대부분 신생대 현무암으로, 백두산, 철원, 제주도, 울릉도에 주로 분포한다.
- 퇴적암류: 대부분 고생대 해성층과 중생대 육성층이며, 신생대층은 주로 해안 부근에 좁게 분포한다.
- ③ 지질 분포: 서울과 원산을 잇는 추가령 구조곡을 경계로 북쪽은 불규칙하고 남쪽은 대체로 북북동~남남서 방향(중국 방향)으로 분포한다. 또한 추가령 구조곡의 북쪽에는 선캄브리아대와 고생대의 지층이 남쪽에는 중생대의 지층이 넓게 분포한다.
- ④ 중생대 쥐라기 후반 대보 조산 운동을 경계로 그 이전의 지층은 지각변동을 받아 습곡, 단층 같은 복잡한 지질 구조를 나타내지만, 그 이후의 지층은 대체로 단순한 지질 구조를 나타낸다.

## 2. 우리나라 지질의 특징

### (1) 선캄브리아 시대

우리나라 지층의 기반을 이루고 있는 선캄브리아 시대의 지층은 낭림육괴, 경기육괴, 영남육괴, 평남분지 등에 고르게 분포한다. 주로 편마암, 편암, 규암, 결정질 석회암 등의 변성 퇴적암류와 화강편마암으로 구성되며 가장 오래된 암석은 약 25억 년 전에 만들어진 변성암으로 밝혀져 있다. 이 시대의 지층은 여러 차례 지각 동과 화성활동으로 심하게 변성되었고, 화석이 드물어 지층의 선후관계나 지질시대를 명확히 밝히기는 어렵다.

#### ① 경기 편마암 복합체

- 한반도 지질의 기반을 이루는 암석으로 시생누대에서 원생누대까지 형성되었다.
- 주로 편마암, 규암, 결정질 석회암 등이 심한 습곡 구조를 보이며 분포한다.

#### ② 상원 누층군

- 원생 누대 후기의 지층이다.
- 평안남도과 황해도 일부, 경기 북부에 분포한다.
- 주로 석회암, 규암, 슬레이트 등으로 이루어져 있다.
- 석회암층에서는 남세균 활동으로 축적된 스트로마톨라이트가 산출되었다.

### (2) 고생대

고생대에는 큰 지각변동은 없었지만, 서서히 일어난 융기와 침강의 반복으로 퇴적이 중단된 시기가 있었다. 고생대 지층은 대부분 퇴적암으로 이루어져 있다. 전기 지층인 조선 누층군과 후기 지층인 평안 누층군으로 구분되고, 그 사이에 실루리아기의 지층인 회동리층이 분포한다. 실루리아기 중기에서 데본기, 석탄기 초까지는 우리나라가 육지에 드러나 있어서, 퇴적된 지층이 거의 없는데 이를 대결층이라고 한다. 이 시기 우리나라는 적도 부근에 있었던 것으로 추정된다.

#### ① 조선 누층군

- 캄브리아기에서 오르도비스기에 퇴적된 지층이다.
- 대부분 해성층이며, 강원도 남부와 충청북도 그리고 평안남도에 주로 분포한다.
- 석회암, 사암, 셰일 등으로 구성되며, 삼엽충, 완족류, 필석류, 코노돈트, 두족류 등의 화석이 산출된다.

#### ② 회동리층

- 실루리아기의 지층이며, 강원도 정선, 평창 지역에 분포한다.
- 주로 석회암으로 이루어져 있으며, 코노돈트 화석이 발견된다.

#### ③ 대결층

- 실루리아기 중기에서 데본기, 석탄기 전기에 이르는 동안 지층이 나타나지 않는데, 이를 대결층이라고 한다.

④ 평안 누층군

- 석탄기부터 중생대 트라이아스기 초에 걸쳐 퇴적된 지층이다.
- 주로 강원도와 평안남도에 분포하며, 무연탄층을 포함한다.
- 하부는 해성층으로 석회암이 사암, 셰일과 교대로 나타나며 중간에는 석탄층이 포함되어 있다. 석회암층에는 방추충, 완족류, 산호 등의 해양 생물 화석이 산출된다.
- 상부는 무연탄층이 좁게 나타나고, 양치식물의 화석이 발견되는 것으로 보아 육성층이며, 사암과 셰일일 반복적으로 나타난다.



(3) 중생대

한반도에서 조산운동과 화성활동이 가장 활발했던 시대로 모두 육성층으로 이루어져 있다. 중생대의 지질은 크게 화강암류와 퇴적암류로 구분된다.

화강암류는 쥐라기의 대보 화강암과 주로 경상도 지역에 불규칙하게 분포하는 백악기의 불국사 화강암으로 구분되며, 퇴적암류는 중생대 전기의 대동누층군과 추기의 경상누층군으로 구성되어 있고, 그 사이에 묘곡층(상부 쥐라계~하부 백악계)이 있다.



① 대동 누층군

- 트라이아스기 후기에서 쥐라기 초기에 걸쳐 호수에서 퇴적된 지층이다.
- 트라이아스기 후반에는 송림 변동의 영향으로 고생대의 퇴적분지가 사라지고, 작은 규모의 육성 퇴적분지가 형성되었다.
- 평양 부근, 함경북도, 충청남도 보령, 충청북도 단양, 경상북도 문경, 경기도 김포 등지에 분포한다.
- 역암, 사암, 셰일 그리고 석탄층으로 이루어져 있다.
- 규화목 등의 식물 화석과 담수어 화석 및 절지동물 화석 등이 발견된다.

② 묘곡층

- 경상북도 봉화군 묘곡리 부근에 소규모로 분포하며, 후기 백악기에 생성된 층이다.
- 흑색, 암회색의 셰일과 사암으로 구성되며 석탄층이 얇게 분포한다.
- 지질 구조가 복잡하고 연체동물과 다양한 식물 화석이 발견된다.

③ 경상 누층군

- 백악기에 주로 경상남북도 지역에 형성된 대규모의 호수에서 퇴적된 지층이다.
- 하부에는 주로 역암, 사암, 셰일 등 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있으며, 중간에는 퇴적층 사이에 화산암류와 응회암이 나타나고, 상부는 대부분 화산암류로만 구성되어 있다.
- 공룡 발자국 화석, 새 발자국 화석, 민물조개와 어류 화석, 식물 화석 등이 발견된다.
- 경상 누층군이 퇴적된 후 마그마가 관입하여 불국사 화강암이 형성되고, 화산 분출이 있었는데 이를 불국사 변동이라고 한다.

④ 지각변동과 화성활동

트라이아스기에는 송림 변동이, 쥐라기에는 대보 조산 운동이, 백악기에는 불국사 변동이 일어났

다.

- 송림 변동: 트라이아스기 말에 우리나라에서 일어난 조산운동으로 고생대 퇴적 분지를 완전히 육지화시켜 사라지게 하였다. 이 조산운동에 의해 소규모의 호수들이 한반도 곳곳에 생겼고, 한반도 북쪽의 지질 구조와 방향성에 큰 영향을 미쳤다.
- 대보 조산 운동: 쥐라기 말에 일어났으며 고생대 이후 한반도에서 일어난 지각변동 중에서 가장 격렬했던 대규모의 조산운동으로, 전에 형성된 지층은 심한 습곡과 단층 작용을 받아 변형되었고, 한반도에 새로운 호수들을 생성시켰다. 이 시기 우리나라 습곡산맥의 대부분이 형성되었으며, 대보 화강암이 대규모로 관입하였다.
- 불국사 변동: 백악기 후기에 한반도 남부를 중심으로 화산 활동을 동반한 화성활동이 광범위하게 일어났으며, 이 변동으로 경상분지, 설악산, 금강산 등 여러 지역에 불국사 화강암이 관입하였다.

#### (4) 신생대

신생대 퇴적층은 동해안을 따라 소규모로 나타나며, 소규모 화성활동에 의해 형성된 화산암류가 여러 곳에 산재해 나타난다.

##### ① 제3계

- 육성층과 해성층이 번갈아 나타난다. 전기에 주로 육성층, 후기에 해성층이 분포한다.
- 육성층으로 함경북도, 평안남도, 황해도 일대가 있고, 해성층으로 길주-명천 지역, 경상북도 포항 지역이 있다.
- 대부분 포항 등지의 동해안 일부 지역에 작은 규모로 분포하며 참나무와 유공충 등의 화석이 발견된다.
- 사암, 역암, 세일, 응회암 등으로 구성되고 갈탄층이 얇게 존재한다.



##### ② 제4계

- 백두산, 울릉도, 독도, 제주도, 철원 등지에서 화산 활동이 활발하게 일어나 화산쇄설물과 화산암이 형성되었으며, 현재 한반도의 모습이 만들어졌다.

### 3. 한반도의 지형

#### (1) 특징

- 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 동고서저의 지형을 이룬다.
- 하천은 산지의 경사를 따라 서쪽과 남쪽으로 흐르고, 하천의 중류와 하류에는 비교적 넓은 충적평야가 형성되어 있다.

#### (2) 특이 지형

##### ① 카르스트 지형

- 석회암 지대에서 지하수에 의한 화학적 풍화로 형성된 지형.
- 고생대 석회암이 분포하는 강원도 삼척, 정선, 영월, 충북 단양, 경북 울진 등이 대표적인 곳이다.
- 환선굴, 고수동굴, 백룡동굴 등의 석회동굴이 많이 발견되는 곳이며, 그 내부에는 종유석, 석순, 석주 등이 형성되어 있다.

##### ② 해안 지형

- 동해안: 해안선이 단순하고 산지가 해안 가까이 있어 넓은 평야가 없다. 해안을 따라 사주와

---

석호가 발달되었고, 사빈이 발달하여 해수욕장으로 사용된다.

- 서해안: 서해 남부에는 침강에 의해 해안선이 복잡해진 리아스식 해안이 발달하고 해안을 따라 넓은 평지가 나타난다. 조차가 크고 간석지가 발달했다.
- 남해안: 해안선이 복잡한 리아스식 해안이 발달했다. 조차가 서쪽으로 갈수록 커지고 간석지가 곳곳에 형성되어 있으며, 2000개 이상의 섬이 분포해 다도해를 이루고 있다.



리아스식 해안과 다도해

③ 화산지형

- 우리나라는 현재는 화산활동이 없지만, 과거 지질시대에는 화산활동이 활발했던 시기가 있었다.
- 화산 지형: 제주도(한라산, 각종 오름), 울릉도, 독도, 철원, 백두산 등



제주도 오름 군락



경기도 연천군 재인폭포

## 제5절 지질 조사와 광상

### I. 지질 조사

지역에 분포하는 암석의 종류와 분포상태 및 생성 순서, 지질 구조 등을 조사하는 것을 지질 조사라고 한다. 지질 조사의 목적은 조사할 암석과 지층이 어떤 변화를 거쳐 현재와 같은 지질 구조를 이루게 되었는지 알아내는 것이다. 이를 통해 터널이나 댐, 지하 구조물 등의 건설에 필요한 자료를 얻고, 산사태와 같은 자연재해를 예방한다.

#### 1. 주향과 경사

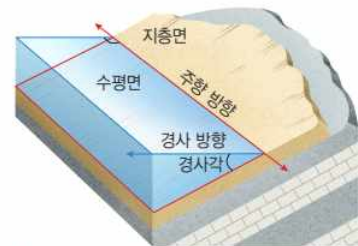
##### (1) 주향

- ① 주향선: 지층면과 수평면이 만나는 교선
- ② 주향: 주향선이 진북 방향과 이루는 각
- ③ 표시법: N을 기준으로 방향과 각도로 표시

ex) NS, N25°E, EW, N40°W

- ④ 측정: 클리노미터가 수평이 되도록 하여 한쪽 모서리를 지층면에 밀착시켜 자침이 가리키는 바깥쪽 눈금을 N 기준으로 읽는다. 클리노미터에는 E와 W가 반대로 되어있는데, 주향은 클리노미터의 나침반 바늘이 가리키는 대로 읽으면 된다.

- ⑤ 주향 보정: 클리노미터가 나타내는 주향은 자북이 기준이므로 편각만큼 보정하여 진북을 기준으로 표시해야 한다.



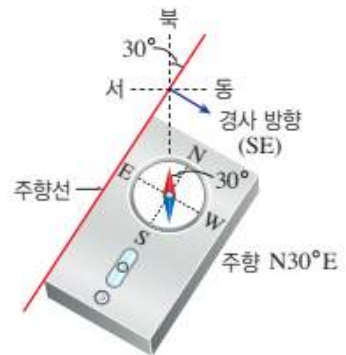
주향과 경사

##### (2) 경사

- ① 경사 지층면과 수평면이 이루는 각
- ② 표시법: 기울어진 정도를 앞에 쓰고 방향을 뒤에 쓴다.

ex) 40°SE, 20°NW, 60°SW, 30°NE

- ③ 측정: 클리노미터의 긴 면을 주향과 직각으로 세워 밀착시킨 다음 추가 가리키는 안쪽 눈금으로 표시된 각(E나 W)을 읽는다.



클리노미터의 구조

#### [주향을 읽는 방법]

- 주향 방향: 클리노미터의 N을 기준으로 자침이 가리키는 방향을 읽어 \*E 또는 W로 나타낸다.  
예 사진의 주향 방향: NE
- 주향 각도: 자침이 가리키는 바깥쪽의 주향 눈금을 읽는다.  
예 사진의 주향 각도: 30°
- 주향을 표시한다. 예 N30°E

#### [경사를 읽는 방법]

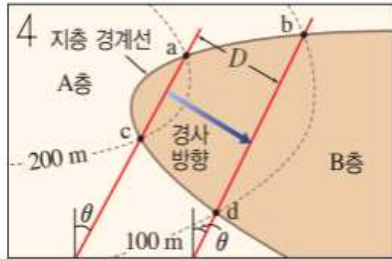
- 경사 방향: 주향 방향에 직각인 방향으로, 두 방향 중 한 방향이다. 어느 방향인지는 클리노미터로 판단할 수 없고, 실제 지형에서 판단한다.  
예 사진의 경사 방향: NW 또는 SE
- 경사각: 클리노미터의 E 또는 W를 기준으로 경사를 재는 지침이 가리키는 안쪽의 경사 눈금을 읽는다. 예 35°
- 경사를 표시한다. 예 35°NW 또는 35°SE



2. 지질도 작성과 해석

(1) 지질도에서의 주향과 경사

지질평면도를 통해 주향과 경사 방향, 경사각을 알 수 있다.



① 주향

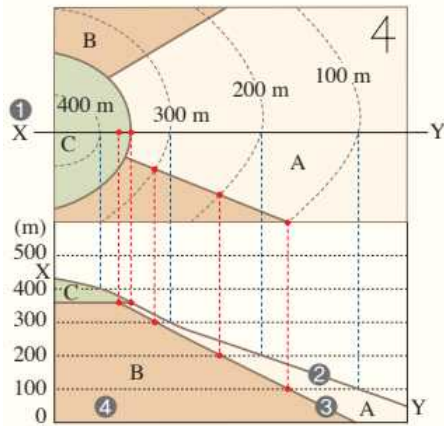
같은 높이의 등고선과 지층 경계선이 만나는 두 점을 연결한 직선(a-c 또는 b-d)의 방향이 주향이다.

② 경사

높은 고도의 주향선(a-c)에서 낮은 고도의 주향선(b-d) 쪽으로 수직선으로 그은 선의 방향으로 경사를 알 수 있다.

지질도에서 주향과 경사

③ 지질 평면도를 통해 지형의 단면을 해석하는 방법



① 단면을 그릴 부분 선택하기: 지질도에서 단면을 작성할 부분에 선 X-Y를 그린다.

② 지형의 단면 그리기: 선 X-Y와 등고선이 만나는 점을 단면에 같은 높이까지 수직으로 내린 후(-----), X에서 Y까지 지형의 단면을 그린다.

③ 지층의 경계 그리기: 선 X-Y와 주향선이 만나는 점을 단면에 같은 높이까지 수직으로 내린 후(-----), 만나는 점을 연결한다.

④ 색 칠하기: 암석의 분포를 고려하여 색을 칠한다.

[해석] 지층의 역전이 없었다면, 지층 A~C의 생성 순서는 B → A → C이다.

(2) 지질도에서 지층의 분포와 형태

수평층	수직층	경사층
지층 경계선이 등고선에 나란하게 나타난다.	지층 경계선이 등고선에 관계없이 직선으로 나타난다.	지층 경계선이 여러 등고선과 교차하여 곡선으로 나타난다.

(3) 지질도에서 지질 구조의 해석

습곡	부정합	단층
지층 경계선이 대체로 대칭적으로 나타난다. 지층 경계선의 경사 방향을 해석하여 배사와 향사를 알아낸다.	한 지층 경계선이 다른 지층 경계선을 덮는다. 부정합(경사 부정합)은 상하 지층의 경사가 다르다.	지층 경계선이 끊어지고, 같은 지층이 반복되어 나타난다. 단층면의 경사 방향과 상반과 하반의 이동을 해석하여 정단층과 역단층을 알아낸다.



(4) 지질도에서 사용되는 여러 가지 기호

암석의 기호	지질 구조의 기호					
 화강암	주향 경사		역전층		단층	
 역암 사암 세일 석회암	수평층		배사		추정 단층	
 점판암 편암 편마암 규암	수직층		향사		화석 산지	

## II. 지구의 자원과 친환경 에너지

### 1. 지하자원

지구 환경에서 자연적으로 만들어져 지하에 매장되어 있는 채취 가능한 자원을 말한다.

### 2. 지하자원의 종류

(1) 에너지 자원: 석유, 석탄, 천연가스 등의 일상생활에 사용되는 연료들이 대표적이다.

(2) 광물 자원: 우리에게 필요한 제품들을 생산하는데 사용되는 금속, 비금속 광물을 말한다.

#### ① 금속 광물 자원

- 금속 원소가 주성분인 광물, 대체로 은백색의 금속광택(예외적으로 금은 노란색, 구리는 붉은 색)이 나고, 열과 전기전도성이 좋으며, 제련 과정을 거쳐 이용한다.

- 금, 은, 구리, 철, 아연, 망가니즈, 텅스텐, 니켈, 주석 등

- 자동차, 건축, 조선, 전선, 전자부품, 우주항공산업, 반도체 등에 사용된다.

#### ② 비금속 광물

- 주로 비금속 원소로 이루어진 광물. 대체로 제련 과정이 필요 없으며 대신 분리, 분쇄 과정이 필요하다.

- 석회석, 고령토, 금강석, 점토, 규석, 운모, 장석 등

- 비료, 시멘트의 원료, 도자기, 유리, 내화벽돌, 반도체 소자 등에 사용된다.

### 3. 지하자원의 생성 및 개발

(1) 에너지 자원: 가장 많이 사용되고 있는 에너지 자원은 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석 연료이며, 이는 과거 지구상에 살았던 동식물의 유해가 오랜 세월을 거치면서 지질학적 변동을 받아 생성된 것이다.

① 석탄: 고생대, 중생대에 번성했던 거대 육상 양치식물이 분해되어 생성

② 석유와 천연가스: 세일에 포획된 해양 생물이 분해되어 생성

③ 가스 하이드레이트: 심해의 저온·고압 환경에서 탄소 성분의 기체가 물 분자와 결합하여 생성

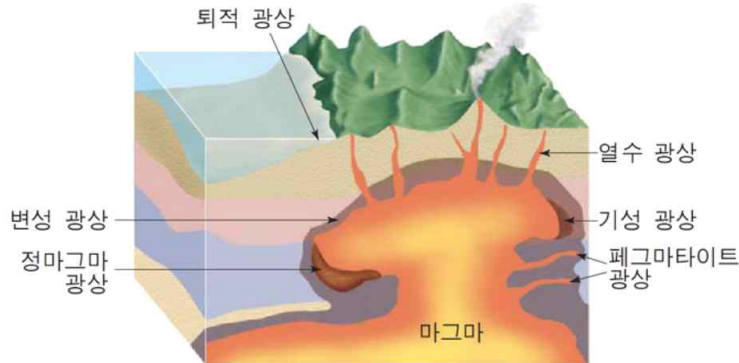
(2) 광물 자원: 화성, 퇴적, 변성 활동을 통해 암석이 생성되는 과정에서 만들어진다.

① 화성 광상: 마그마가 냉각되어 화성암이 형성되는 과정에서 용융점이 비슷한 유용한 성분이 모여 형성. 백금, 크로뮴, 니켈, 텅스텐, 철, 구리, 납, 아연, 금, 은, 금강석 등

② 퇴적 광상: 암석이나 광상이 지표에서 풍화되고 운반·퇴적되는 과정에서 유용한 성분이 모여 형성. 사금, 사철, 고령토, 보크사이트, 석회석 등

③ 변성 광상: 암석이나 광상이 변성되는 과정에서 유용한 성분이 재배열되거나 조성이 달라져

형성. 흑연, 활석, 석면 등



### 광상의 종류

(3) 광물 자원이 개발 과정: 탐광 → 채광 → 선광 → 제련

- ① 탐광: 지질조사, 지구 물리적인 방법 등으로 유용한 광물의 존재를 확인하고, 확실한 자료를 얻기 위해 시추를 하는 과정이다.
- ② 채광: 경제성이 확인된 후, 광물을 채취하는 과정이다.
- ③ 선광: 원하는 광물을 다른 광물과 가려내어 품위를 높이는 과정이다.
- ④ 제련: 원하는 광물을 녹여서 뽑아낸다.

(4) 광물 자원의 이용

금속 광물	이 용	비금속 광물	이 용
알루미늄	합금, 비행기, 건축 재료	점토 광물	종이, 도자기, 내화벽돌
망가니즈	강철, 합금, 의약품	고령토	종이, 도자기, 내화벽돌
철	기계, 건축자재	석회석	시멘트, 제철공업, 화학공업
금	보석, 전자제품, 치과 재료	형석	알루미늄 제련, 의약품
은	보석, 식기, 사진 재료	유황	화학공업 원료
납	도료, 전지, 휘발유 첨가제	규사	유리, 첨단 산업

### 4. 지하자원의 유한성

지하에서 오랜 세월을 걸쳐 생성되므로 인간의 시간으로 재생산이 불가능한 자원이다. 세계 산업 구조의 변화에 따라 화석 연료 뿐 아니라 희토류, 리튬과 같이 첨단 산업에 쓰이는 광물 자원의 소비도 증가하고 있다. 매장량은 한정되어 있고, 사용량은 늘어나고 있으므로 언젠가는 고갈될 자원이다.

### 5. 광상

지각에 유용한 광물이 농집된 곳을 광상이라고 한다. 이러한 광상에서 광석을 채굴하는 장소를 광산이라고 한다.

(1) 화성 광상(마그마 광상)

1) 정마그마 광상(600~1000℃): 마그마가 냉각되는 과정 초기에 휘발 성분이 적은 상태에서 용융점이 높고 비중이 큰 광물이 정출하여 마그마의 특정 부분에 집중됨으로서 생긴 광상이다. 염기성 화성암과 관계가 깊고 타이타늄, 철광, 크로뮴, 금강석 광상이 생성된다.

2) 페그마타이트 광상(500~600℃): 화강암질 마그마의 냉각 후반에 생긴 잔액 중에 휘발 성분이 농집하여 증기압이 높은 상태에서 생기는 광상으로 석영, 장석, 운모의 큰 결정체를 정출시켜

형성된다. 규모는 작으나 Be, Nb, U, Ce 등의 희유원소가 산출된다.

3) 기성광상과 접촉교대광상(370~500°C): 마그마가 더 냉각되어 잔액 중에 할로젠 원소 등의 휘발 성분이 증가하여 유동성이 커졌을 때, 잔류 용액이 주위의 암석을 침입하여 교대 작용을 일으킴으로서 생긴 광상이다. 휘발 성분이 주위 암석과 화학 반응을 일으켜 텅스텐, 주석 등이 포함된 기성광상이 형성되고 마그마 잔액이 석회암과 반응하여 철, 구리, 납, 아연 등과 석류석, 규회석과 같은 스킨 광물을 포함하는 접촉 교대 광상이 형성된다.

4) 열수 광상(370°C 이하): 마그마 분화 작용의 말기에 마그마의 잔액이 금, 황화물, 탄산염, 규산염 등을 함유하는 고온의 열수가 되어 기존 암석 중에 생긴 열극이나 공극을 채우거나 기존 암석과 교대하여 생성된다. 금, 은, 구리, 납, 아연 등이 산출된다.

(2) 퇴적 광상

유용한 광물이 특정한 장소에 농집되거나 퇴적될 때 생긴 광상이다.

1) 풍화 잔류 광상: 암석이나 광상이 화학적 풍화를 받을 때 쓸모없는 성분은 녹아서 흘러가고 물에 잘 녹지 않는 유용한 광물만 남아서 이른 광상이다.

① 장석을 많이 포함한 화성암이나 변성암이 풍화를 받으면 온대 지방에서는 고령토가 열대 우림 지역에서는 알루미늄의 원광물인 보크사이트가 된다.

②망가니즈나 철을 포함한 석회암에서 망가니즈 광상이나 철 광상이 생성되기도 한다.

2) 표사 광상: 광상이나 암석 중에 있던 광물들이 풍화·침식 작용으로 부서져서 유수에 의해 운반되면, 그 과정에서 비중이 큰 유용 광물들이 하천 바닥으로 가라앉아 한 장소에 집중되게 되는데, 이를 표사 광상이라고 한다.

- 사금, 백금, 금강석, 자철석, 지르콘 등의 광물이 대표적이다.

3) 침전 광상: 광물질이 용해되어있던 수용액이 증발이나 화학적 변화로 인해 침전되어 이루어진 광상. 퇴적암 중에 층을 이루어 나타나는 것이 보통이라 성층 광상 또는 광층이라고도 한다.

- 암염, 석고 광층은 증발 작용에 의한 침전 광상이고 철, 구리, 망가니즈, 우라늄 광층은 화학적 변화에 의한 침전 광상이다.

(3) 변성 광상

앞에서 언급한 광상이나 암석이 광역 변성 작용을 받으면 물리적 조건이 변하므로 여러 가지 유용한 광물이 새로 만들어지거나 다시 이동, 농집되어 광상을 만들기도 한다. 이를 변성광상 이라고 한다.

- 흑연은 무연탄이 변성 작용을 받아서 만들어진 변성 광상이다.

(4) 유기적 광상

1) 석탄: 고온다습한 지역의 습지에서 번성하던 식물이 수중에 매몰되어 무산소 환경으로 들어가면 먼저 토탄이 된다. 이 토탄이 열과 압력을 받으면 수분의 대부분과 일부 탄소를 잃어버리고 탄소가 주성분인 석탄이 된다.

- 석탄은 고정 탄소의 비율에 따라서 토탄 → 갈탄 → 역청탄 → 무연탄의 순으로 된다.

2) 석유와 천연가스: 석유와 천연가스는 대체로 함께 산출되며 같은 탄화수소를 가지고 있어서 그 기원은 동일하다. 석유와 천연가스는 지질시대에 살던 생물이 남긴 유해로서 퇴적암층 내에 존재하는데, 주로 해양성 퇴적물에 풍부하게 나타난다.

① 신생대 지층에 총 석유 매장량의 60%가 들어있고, 중생대 지층에 25%, 고생대 지층에 15%가 들어있다.

② 유기물을 함유한 지층이 석유가 되기까지 과정은 다음과 같다.

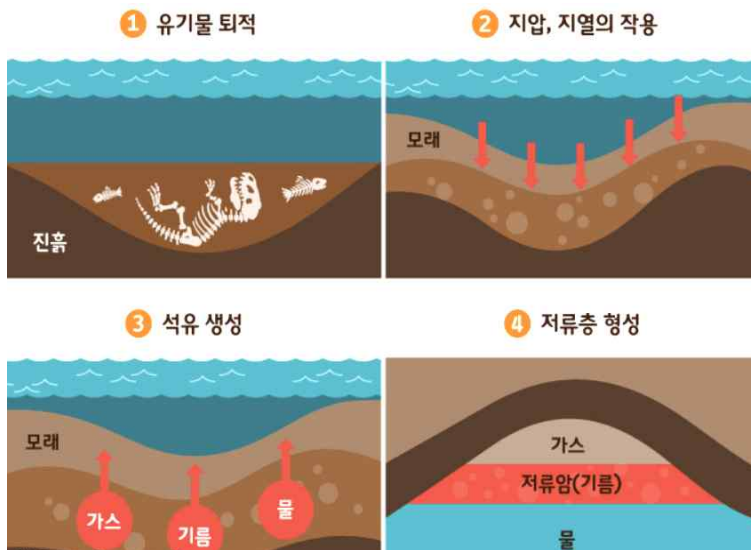
- 퇴적물에 섞인 유기물이 호수나 바다 밑에 퇴적된 후 환원 환경에서 박테리아의 작용을 받아

산소·질소·기타 원소가 제거되고 탄소와 수소가 남는 고분자 화합물인 케로젠이 된다.

- 케로젠이 열 분해되어 석유가 되므로 지층이 계속 쌓여서 유기물을 포함한 층이 깊이 묻혀 열과 압력을 받아 화학변화가 일어나야 한다.

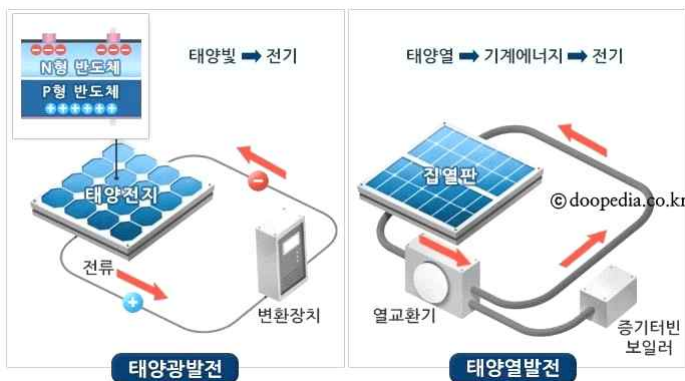
- 유기물이 성숙하여 석유로 변해가면서 이를 보존할 수 있는 사암 같은 다공질의 암층(저류암)이 있어야 하며, 이렇게 생긴 석유의 이동을 막기 위해 저류암 위쪽에 치밀하고 침투율이 낮은 암석층이 덮개암으로 있어야 한다.

- 석유가 모일 수 있는 배사구조나 돔 구조 같은 특수한 지질구조가 있어야 한다. 이러한 조건을 갖춘 유전에는 비중의 차이에 의해 상부에 천연가스, 중간에 석유, 하부에 물이 차지하고 있는 경우가 대부분이다.



## 6. 친환경 에너지

### (1) 태양 에너지



① 태양열 발전: 태양열로 직접 물을 끓여 증기를 발생시켜 터빈을 돌려 전기에너지를 생산하는 발전 방식이다.

② 태양광 발전: 태양 전지를 이용하여 태양광을 전기에너지로 직접 전환한다.

- 태양 전지: 반도체의 접합 면에 빛이 비치면 광전효과에 의해 전자의 이동을 일으켜 전기를 생산하는 장치.

- 장점: 무공해이며 재생에너지이다. 햇빛이 있으면 간단하게 설치할 수 있고 장치의 수명도 길다. 소음과 진동이 없고, 폐기물이 나오지 않으므로 환경오염도 거의 없다.

- 단점: 태양 빛이 비칠 때만 사용할 수 있고, 에너지 생산량을 일정하게 통제하기 힘들다. 공간이 많이 차지되며 초기 비용이 많이 든다.

(2) 풍력 에너지

바람의 힘으로 발전기를 돌려 전기에너지를 생산하는 풍력발전이 대표적이다.

- 장점: 설비가 비교적 간단하다.

- 단점: 바람의 세기나 방향이 항상 변하므로 발전량의 예측이 어렵다. 일정 속도 이상의 바람이 지속적으로 부는 지역에서만 이용이 가능하다.

(3) 조력 에너지

달과 태양의 인력에 의해 발생하는 밀물과 썰물의 흐름을 이용하며, 조력발전과 조류발전이 있다. 특히 우리나라 서해안에는 조석 간만의 차가 크므로 조력 에너지 개발에 적합하다.



조력 발전과 조류 발전의 원리

① 조력 발전: 주기적으로 해수면의 높이가 변하면서 나타나는 조석간만의 차를 이용한다. 바닷물의 위치에너지를 이용해서 에너지를 생산하는 방식이다.

- 장점: 날씨나 계절과 관계없이 언제나 발전할 수 있다. 발전량 예측이 가능하며, 대규모 전력 생산도 가능하다.

- 단점: 해수의 간헐 현상으로 갯벌이 사라지고 염분 농도가 변하여 해양 생태계에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다.

② 조류 발전: 자연적으로 발생하는 흐름인 조류에 직접 터빈을 설치함으로써 해수의 수평 흐름을 회전운동으로 변환시켜 전기에너지를 생산하는 방식이다. 바닷물의 운동에너지를 이용한다.

- 장점: 날씨나 계절과 관계없이 항상 발전할 수 있다. 특정 지역의 시간대별 유속을 알면 발전량 예측이 가능하고, 조력 발전과는 달리 생태계에 미치는 영향이 거의 없다.

- 단점: 조류의 흐름이 빠른 지역에만 설치가 가능하다.

(4) 파력 에너지

파력 발전: 바람에 의해 생기는 파도의 상하좌우 운동을 이용하는 것이다.

- 장점: 에너지를 지속적으로 이용 가능하고 청정에너지를 얻을 수 있다.

- 단점: 초기 투자비가 많이 들고 특정한 지역에 설치 가능하다.

(5) 지열에너지

지열 발전: 지구 내부의 열에너지를 이용하여 난방이나 발전 등이 이용한다. 지열로 물을 끓여 발생하는 증기로 터빈을 돌려 전기를 생산하는 방식이다.

- 장점: 친환경 에너지이며, 에너지 생산량이 비교적 일정하다.

- 단점: 화산 지대와 같이 지하의 마그마가 상승하여 지열이 많이 발생하는 곳이 유리하며, 초기 건설 비용이 많이 든다.