

# Chapter 1. 지구 일반

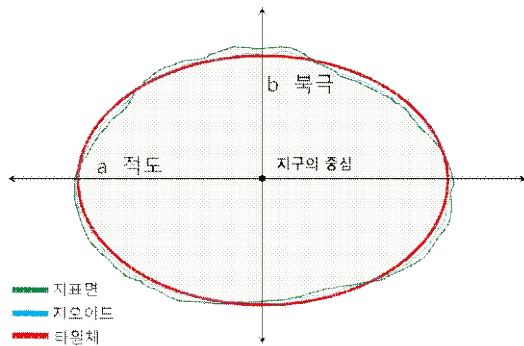


## 제1절 지구의 구조

### I. 지구의 모양

#### 1. 지구 타원체

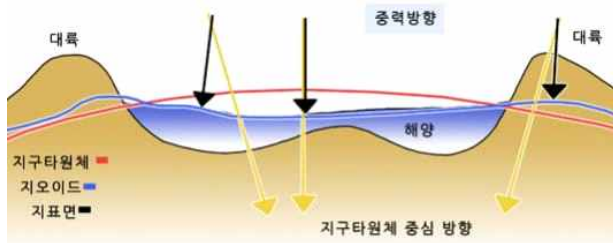
- (1) 원인: 지구 자전에 의한 원심력 때문에 적도 쪽이 긴 타원이다.
- (2) 편평도: 적도반지름과 극반지름의 차이를 편평도라고 하는데, 지구는 약 1/300 정도인 거의 구에 가까운 형태이다.
- (3) 이용: 삼각측량의 기준면, 지구 반지름, 지구의 둘레, 겹넓이, 부피 등을 계산하는 기준이 된다.
- (4) 증거
  - 진자의 주기는  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 고위도로 갈수록 중력가속도( $g$ )가 커진다. 따라서 진자의 주기가 고위도로 갈수록 짧아진다.
  - 만유인력은  $F=G\frac{M \cdot m}{R^2}$ 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  $1^\circ$  에 해당하는 지표상의 거리가 고위도로 갈수록 커진다.



지오이드 및 지구 타원체 모형

#### 2. 지오이드

- (1) 정의 : 평균 해수면을 육지까지 연장한 가상의 곡면을 말한다.
- (2) 특징
  - ① 평균 해수면은 중력의 방향에 거의 수직인 면의 하나이다.
  - ② 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.
  - ③ 해양에서는 지구 타원체보다 낮게, 대륙에서는 지구 타원체보다 높게 만들어진다.



지하 물질의 밀도에 따른 지오이드의 형태

(2) 이용

- ① 수준 측량의 기준면이다. 지구상 각 지점 간의 높낮이를 재는 것을 수준 측량이라고 하며, 해발고도 0m의 기준면이다.
- ② 중력 위치 에너지의 기준면이다. 지오이드는 중력에 의한 위치 에너지가 0인 면이다.

3. 지구가 구형(球形)이라는 증거

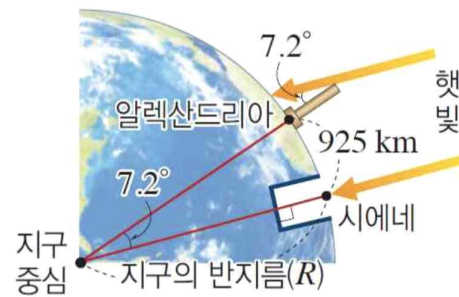
- 월식 때 비친 지구 그림자가 둥글다.
- 위도가 증가할수록 북극성의 고도가 높아진다.
- 인공위성에서 찍은 지구 모습이 둥글다.
- 고도가 높아질수록 시야가 넓어진다.
- 항구로 들어오는 배의 돛부터 보이기 시작한다.

II. 지구의 물리량

1. 지구의 크기 측정

(1) 에라토스테네스(Eratosthenes)의 방법

나일강 상류의 ‘시에네’에서는 하질날 정오, 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 경도에 위치한다.

② 에라토스테네스의 원리

‘부채꼴 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

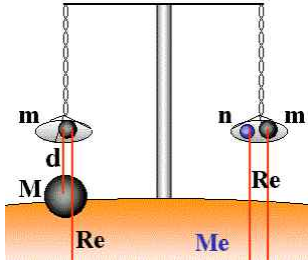
- 중력은 만유인력과 지구 자전에 의한 원심력의 벡터 합. 원심력의 크기가 아주 작으므로 지표에서 질량이  $m$ 인 물체에 작용하는 중력은 만유인력과 같다.
- 지구를 반지름이  $R$ 인 구형이라 가정하고, 질량이  $M$ 인 지구의 지표에서 질량이  $m$ 인 물체에 작용하는 만유인력의 크기  $F$ 는,

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

- 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.

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

### 3. 지구의 평균 밀도 측정

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

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

지각에서 발견되는 암석의 평균 밀도가 보통 대륙지각에서  $2.7g/cm^3$ , 해양지각에서  $3.0g/cm^3$  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 궤도 이심률이 작아서 원일점과 근일점에서 지구의 평균 온도 차이가 작다.

#### (4) 지구 자전축의 경사

지구는 자전축이 약  $23.5^\circ$ 로 기울어진 상태로 태양 주위를 공전하므로 계절의 변화가 생기며, 자전축 경사 각 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.



골디락스 존

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

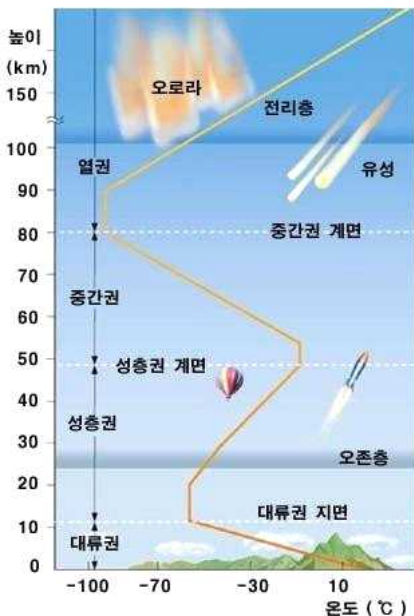
기권은 여러 기체가 혼합된 혼합물로 지상에서 100km 정도까지는 대기의 성분비가 일정해 균질권이라고 부른다. 지구 대기의 수증기를 제외한 성분은 질소(약 78%), 산소(약 21%)가 전체 질량의 99% 이상을 차지한다. 대기 중의 이산화탄소, 오존, 수증기 등의 기체들은 적은 양이지만, 기후 변화에 중요한 역할을 한다.

(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

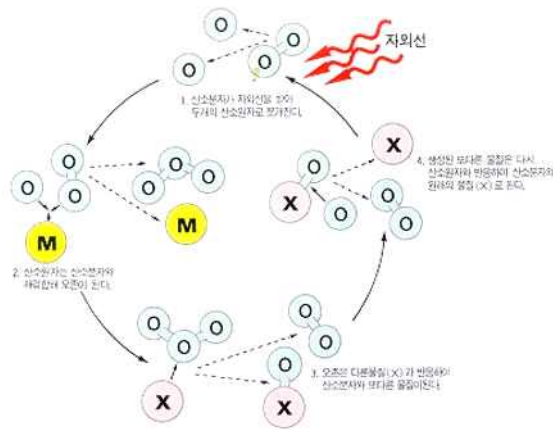
- 지표면에서부터 고도가 높아짐에 따라 지구복사 에너지의 도달량이 감소하여 기온이 낮아지는 층이다.
- 대류권계면: 대류권과 성층권의 경계면
- 지표면으로부터 고도 약 10~15km 정도(평균 11km)로, 위도와 계절에 따라 그 두께가 다르게 나타난다. 저위도, 여름철일 때 두껍다.
- 기권 전체 질량의 약 75% 정도를 차지하는 구역이다.
- 대류권의 기온 변화율: 1 km마다 평균 6.5°C 씩 증감한다.
- 수증기가 많고 대류현상이 일어나므로 구름, 비, 눈 등의 기상현상이 일어난다.

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 자외선을 막아 생물체를 보호해준다.



오존의 생성과 소멸

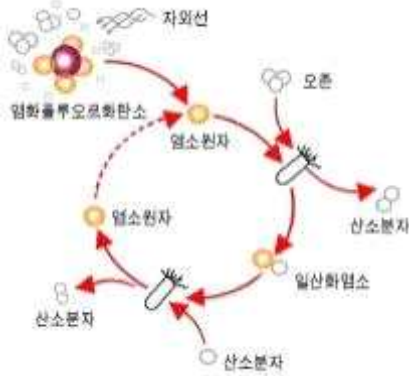
오존의 생성과 소멸이 적절한 상태에서 계속 평형을 유지하는 상태에 있다.

· 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<sub>2</sub>)를 만든다. 오존이 파괴된 후 염소 원자는 재생되기 때문에 하나의 염소 원자가 수십만 개의 오존을 파괴할 수도 있다.



오존 파괴 과정. 염화플루오로탄소

- 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, 폐 기능 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.

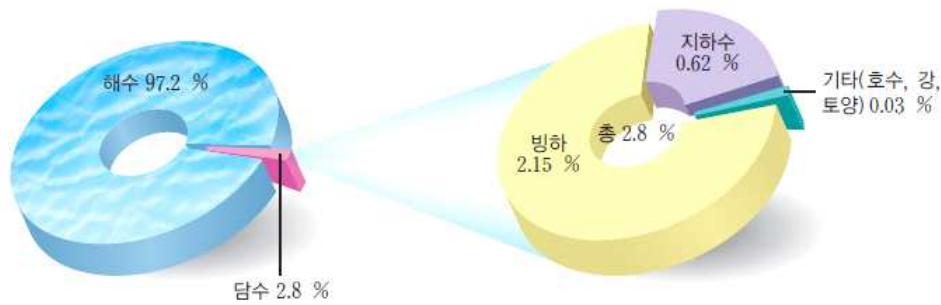
2. 수권

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 구성

(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( $CaCO_3$ ) 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

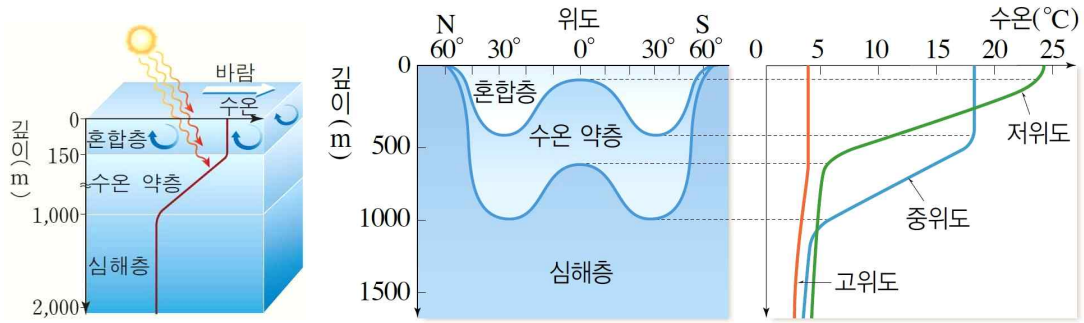
해수면으로부터 혼합층, 수온약층, 심해층으로 구분하며, 해수면에 도달하는 태양복사 에너지의 약 98% 정도가 수심 100m 이내에서 흡수된다.

- 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 장소나 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 심층 순환 과정에서 공급되고, 위도나 계절에 상관없이 수온 변화가 거의 없다.



(5) 위도에 따른 수권의 구조

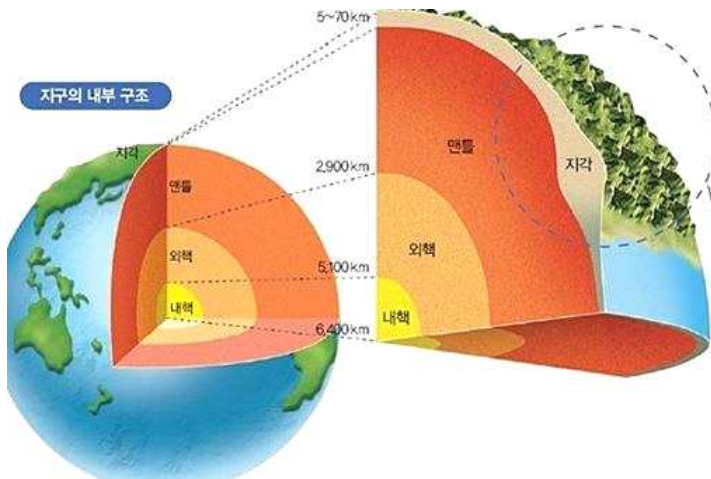
- 저위도(적도 부근) 해역: 일사량이 많고, 바람이 약해서 혼합층의 두께가 얇다. 수온약층이 가장 두껍게 발달한다.
- 중위도(30° N) 부근 해역: 바람이 강해서 혼합층의 두께가 가장 두껍다. 수온약층의 두께가 상대적으로 좁아진다.
- 고위도(60° N) 부근과 극 해역: 일사량이 적어, 혼합층, 수온약층이 나타나지 않고 5°C 미만의 심해층으로만 되어 있다.



해수의 층상 구조와 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.



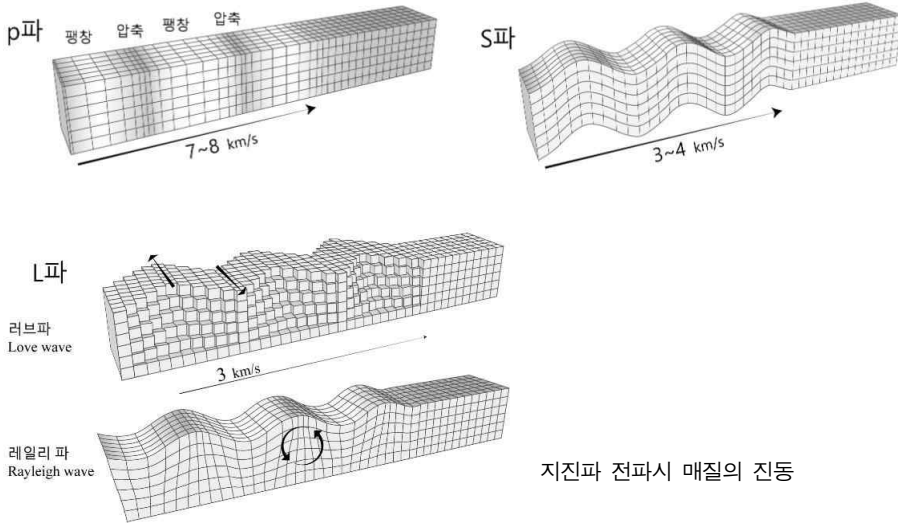
(1) 지진파에 의한 지구 내부 탐사

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                       |                  |

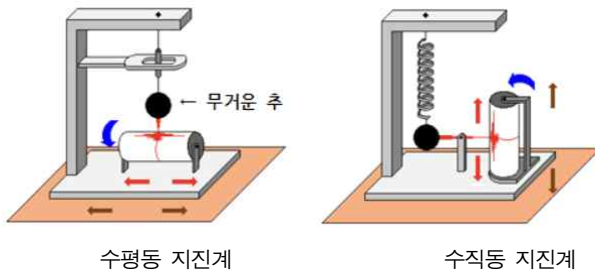


지진파 전파시 매질의 진동

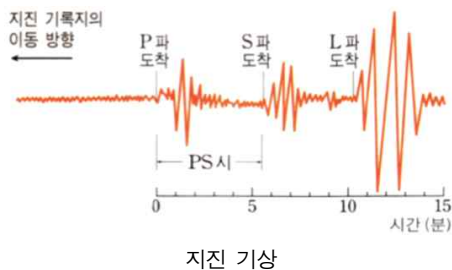
(3) 지진파의 기록과 해석

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.



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

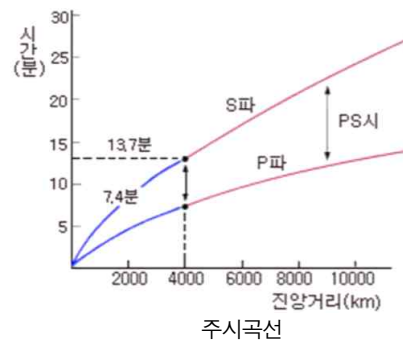
$$PS시 = (S파 도달 시간) - (P파의 도달 시간) = \frac{d}{v_s} - \frac{d}{v_p}$$

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

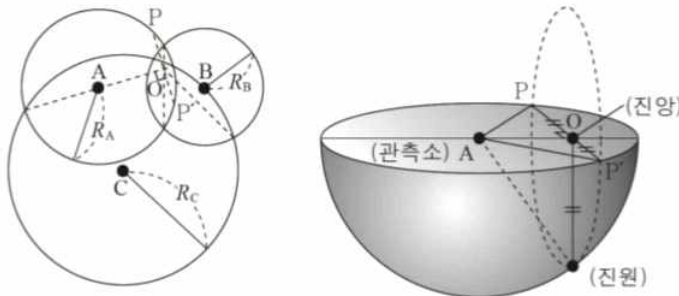
$$진원거리 (d) = \frac{v_p \cdot v_s}{v_p - v_s} \times ps시 \quad (v_p : P파의 전파속도, v_s : S파의 전파속도)$$

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.



⑤ 진앙의 위치와 진원 깊이 결정

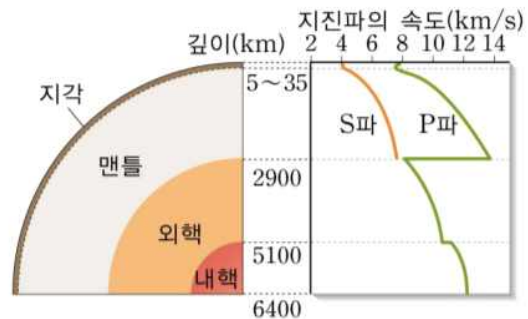


진앙과 진원

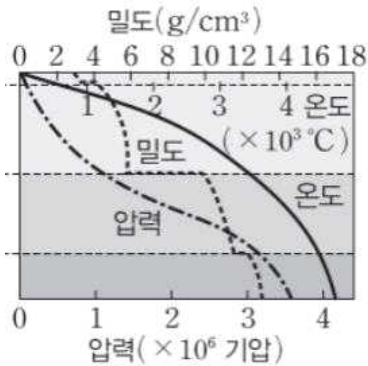
세 곳의 지진 관측소 A, B, C에서 각각의 진원거리( $R_A, R_B, R_C$ )를 반지름으로 하는 원을 그린 후, 공통원 세 개를 그려서 만나는 교점이 진앙(O점)이 된다. 그리고 그 교점에서 아무 원이나 한 원의 반지름과 수직의 현(P-P')을 그은 1/2인 값(OP=OP')이 진원의 깊이이다. 진앙의 위치를 결정하기 위해서는 최소 세 군데 이상의 관측소에서 관측된 진원거리가 필요하다.

(4) 지구 내부의 구조

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

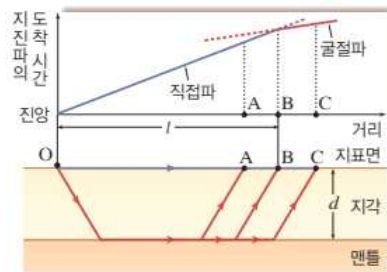


- 지구 내부의 온도와 압력 및 밀도 변화: 지구 내부로 갈수록 모두 증가
- 지온 상승률은 지각에서 가장 크다.
- 압력 증가율은 외핵에서 가장 크다.
- 밀도는 각 층의 경계면에서 급격히 변한다.

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 쉘유고슬라비아의 과학자 모호로비치치는 발칸반도에서 발생한 지진파를 분석하다가 P파의 주시곡선이 진앙 거리 200km인 곳에서 기울기가 급변한다는 사실을 발견하였다.

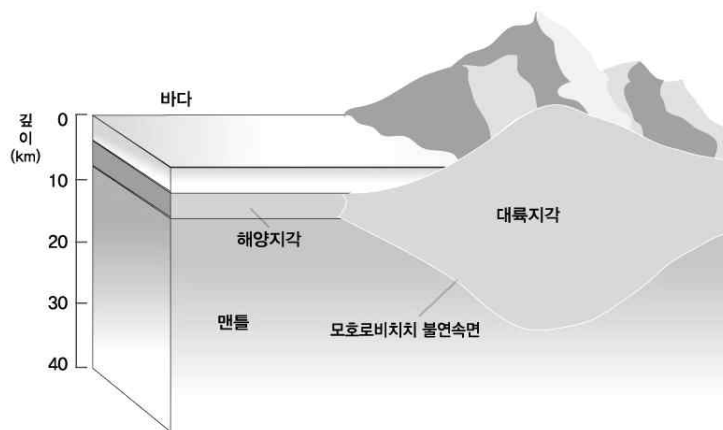


그는 진앙 거리 200km(B) 이내의 거리에는 직접파가 먼저 도달하지만, 그 이상의 거리에서는 굴절파가 먼저 도달하는 것이라고 생각했다. 진앙 거리가 200km 이상(C)에서 굴절파가 먼저 수신되는 이유는, 먼 거리를 통과해 오기는 하지만 상대적으로 지각보다 밀도가 큰 맨틀을 경유해 오게 되므로 빠른 속도로 전달되어 올 수 있기 때문이라고 보았다. 따라서 지각의 하부에는 지진파를 굴절시키는 밀도가 다른 경계면이 있을 것이라는 생각을 하고 이를 모호면이라고 하였다.

\*교차 거리( $l$ ): 직접파와 굴절파의 도달 시간이 같은 지점까지의 진앙 거리(B)를 교차 거리( $l$ )라고 한다. 교차 거리가 멀수록 지각의 두께가 두꺼움을 의미한다.

ii) 지각의 두께와 구성

- 대륙지각: 밀도가 작은 화강암질(약  $2.7\text{g/cm}^3$ ) 암석이 주성분이며, 평균 두께는 약 35km
- 해양지각: 밀도가 큰 현무암질(약  $3.0\text{g/cm}^3$ ) 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 원소로 이루어져 있다. 이 중에서 산소(O)와 규소(Si)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.

- 에어리 설

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.

- 플레이트 설

밀도가 자기 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.



에어리 설



플레이트 설

② 맨틀

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

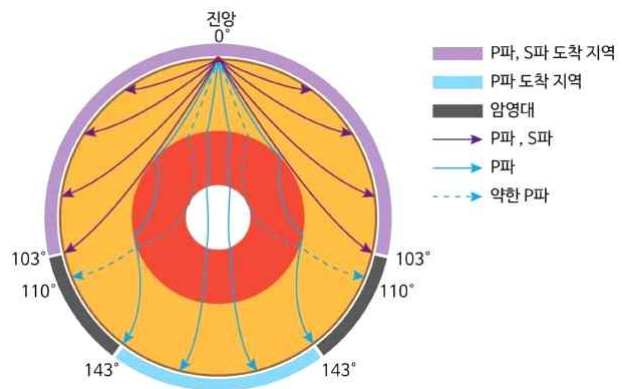
i) 구텐베르크 불연속면: 맨틀과 핵의 경계면

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 지진파의 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.

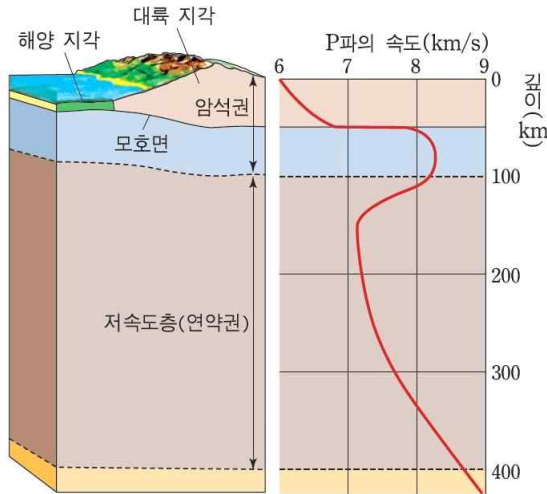
- 상부 맨틀: 모호면으로부터 깊이 약 400km까지의 구간으로 암석권과 연약권으로 구분한다.

· 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 볼러(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 우리은하의 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

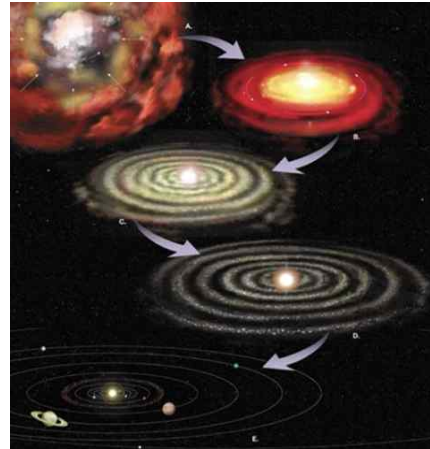
미행성 충돌→마그마의 바다→맨틀과 핵의 분리→원시 지각과 원시 바다 형성→원시대기의 변화

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.

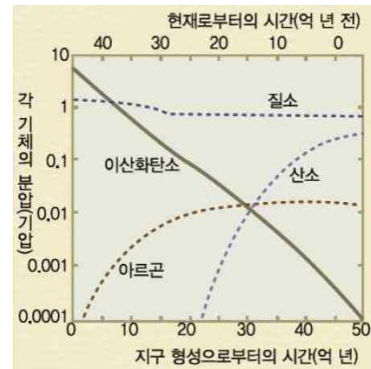
③ 맨틀과 핵의 분리: 마그마의 바다에서 철이나 니켈 같은 무거운 금속은 중심으로 가라앉아 핵을 형성하였고, 가벼운 규산염 물질은 위로 떠올라 맨틀을 형성하였다. 이렇게 지구는 지권과 기권을 형성하게 되었다.

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 중 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

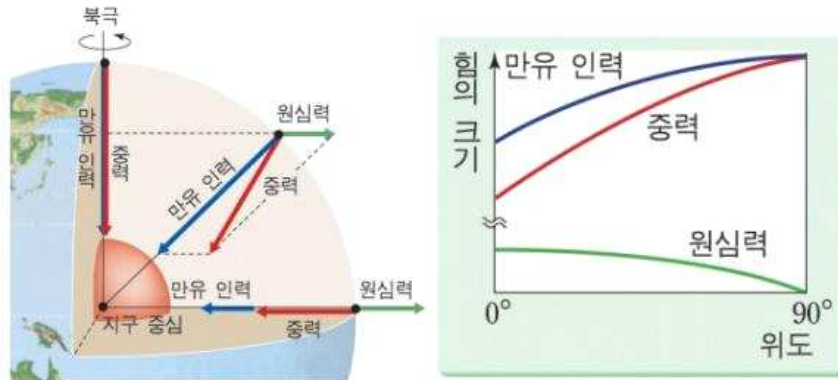
#### 1. 중력의 측정

##### (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(상대 중력값)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 측정



한 중력값을 서로 비교하기 위해 보정을 한다.

- 중력 보정에는 고도 보정, 부우계(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 부우계 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. 이와같이 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 부우계 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.

- 부우계 보정: 지오이드면 이상의 물질을 두께가 관측점과 지오이드면 사이의 거리 즉, 관측점의 표고인 무한 평판(부우계 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: 부우계 보정은 지오이드면 이상의 물질은 무한 평판으로 가정하여 보정하고 있다. 그러나 실제 지형은 기복이 있으며, 따라서 부우계 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 빼 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 부우계 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 중력이상이다.

[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 상관관이 있어서 주로 지오이드 등의 계산, 측지학적 연구에 많이 이용되고 있다.

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

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

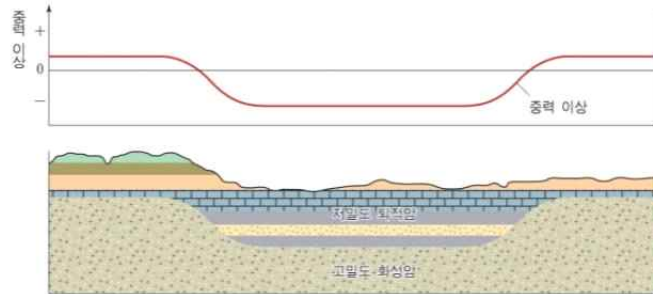
[부우계 이상={관측 중력±(프리에어 보정±부우계 보정+지형 보정)-표준 중력}]

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

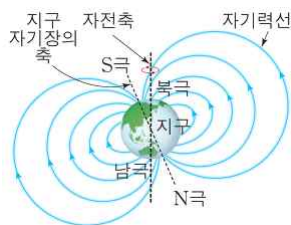
이와같이 중력 이상을 이용하여 지하자원을 찾거나 지하 구성 물질의 분포를 조사하는 것을 중력 탐사 (gravitational prospecting)라고 한다.

## 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) : 북극 +90°

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

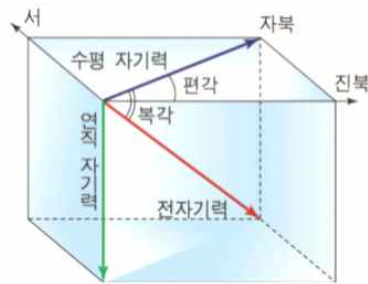
2) 자기 적도: 북극 0°

자기장이 수직 방향으로 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° 기울어져 있으므로 편각은 장소에 따라 다르다.

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

ex) 서울의 경우 6.5° 정도 서편각이 나타나며 6.5° W 또는 -6.5° 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°, 자기 적도 0°, 자남극 -90°

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 ±90° 이므로 연직 자기력이 최대가 되지만 수평자기력은 0이다.

② 자기 적도에서는 북각이 0° 이므로 연직 자기력은 0이고 수평자기력은 최대가 된다.

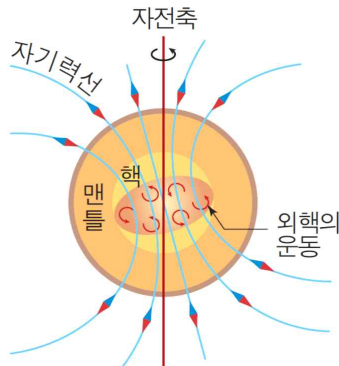
(3) 지구 자기의 변화

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

1) 영구 자석설: 지구 자기의 원인은 지구 내부에 영구자석이 존재한다고 생각했는데, 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 500-800°C인데 지표로부터 약 20-30km 깊이에 이르면 자성 물질의 온도가 500°C를 초과하게 된다. 따라서 이 정도 깊이보다 더 깊은 곳에서는 물질이 자성을 띠 수가 없으므로 영구 자석설은 부정될 수밖에 없었다.

2) 다이내모 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 다이내모(발전자)와 비슷하므로

다이나모 이론(Dynamo theory)이라고 하며 현재 지구 자기의 원인을 설명하는 이론 중에서 가장 유력한 것으로 알려져 있다.

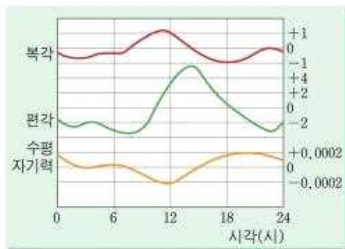


다이나모 이론의 원리

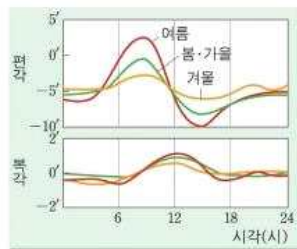
(4) 지구 자기장의 변화

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

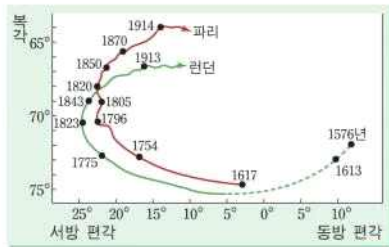


계절별 지구 자기의 일변화

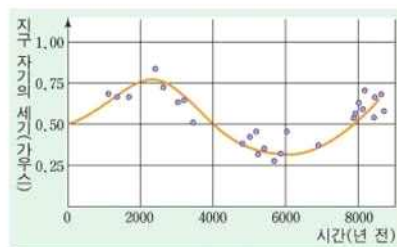
① 일변화의 특징: 낮이 밤보다 크고, 여름이 겨울보다 크다.

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 북각 또는 자기장의 세기가 점진적으로 변화하였음을 알 수 있다. 이처럼 오랜 세월이 걸쳐 지구 자기가 조금씩 변하는 현상을 지구 자기의 영년 변화라고 한다.



자극의 이동에 따른 북각과 편각의 영년 변화



지구 자기 세기의 영년 변화

① 영년 변화의 원인: 외핵의 대류가 그 원인으로 추정되고 있다.

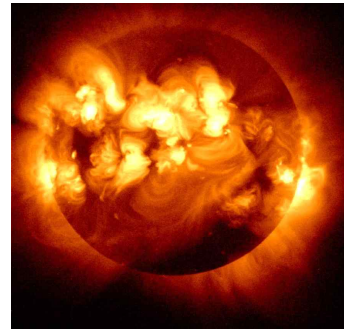
② 지자기 역전 현상: 지자기장의 방향이 현재의 방향과 완전히 반대로 되는 현상을 지자기 역전 현상이라고 하며 긴 주기는 약 100만 년, 짧은 주기는 약 10만 년 정도이다.

③ 확인 방법: 암석 속에 보존된 잔류자기를 이용한다.

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

3) 자기 폭풍: 지구 자기장의 변화가 일변화나 영년 변화와는 달리 급격하게 일어나는 경우가 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 자전 주기와 같은 약 27일인 것 두 가지가 있다.

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

④ 동반하는 현상



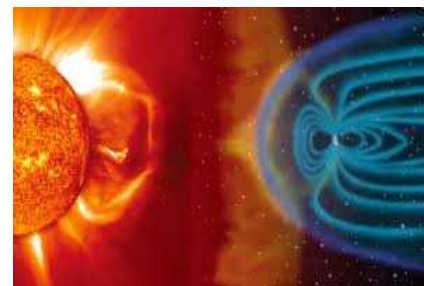
- 오로라: 태양에서 방출된 대전 입자 중 일부가 지구 자기장에 끌려와 밴앨런대에 붙잡혀 운동하게 될 때 공기 분자와 충돌하여 들뜬 다음 다시 가라앉으면서 빛을 내는 현상을 오로라 또는 극광 현상이라고 하는데 자기장이 밀집되어있는 고위도 지방(위도 60° 이상 지역)에서 잘 나타난다.

- 델린저 현상: 대기의 열권에 존재하는 E, F층은 전파를 반사시켜 통신에 사용되지만, D층은 전파를 흡수하여 통신에 방해가 된다. 종종 태양의 표

면에서 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.

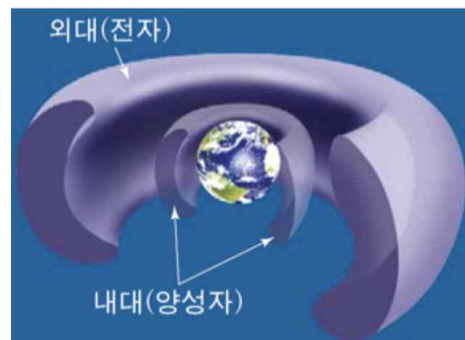
(5) 자기권과 밴 앨런대(외권)

지구는 우주 공간과 끊임없이 에너지를 교환하지만, 운석 등이 유입되는 경우를 제외하면 물질의 교환은 거의 일어나지 않는 닫힌 계에 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 나선 모양으로 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~약 3,000km)와 외대(주로 전자로 구성, 3,000~16,000km)로 구분된다.



### 제3절 지구의 에너지

#### I. 복사 에너지

##### 1. 흑체

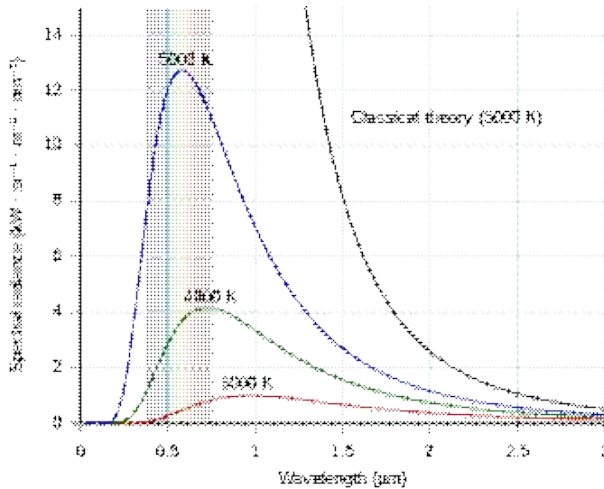
##### (1) 흑체 복사

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 표면온도(T)의 4제곱에 반비례한다.

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

① 단위 면적당 단위 시간에 방출되는 에너지(E)는 플랑크 곡선의 밑넓이에 해당한다.

② 별의 광도를 구할 때 이용한다. 별의 광도 =  $4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$

③ 태양도 별이므로 표면온도를 구할 때 이용할 수 있다.

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

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

① 2.7K 우주 배경 복사: 우주 배경에는 약  $1,000\mu\text{m}$ , 즉 1mm의 전파가 관측되는데 이는 3K의 흑체에서 방출되는 에너지와 같으며, 따라서 이를 2.7K 우주 배경 복사라고 한다.

② 별의 표면온도(T) 추정에 이용한다. 표면온도가 높으면 파장이 짧은 파란색의 가시광선을 많이 방출하고, 표면온도가 낮으면 파장이 긴 붉은색의 가시광선을 더 많이 방출하는 원리를 이용한다.

③ 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.

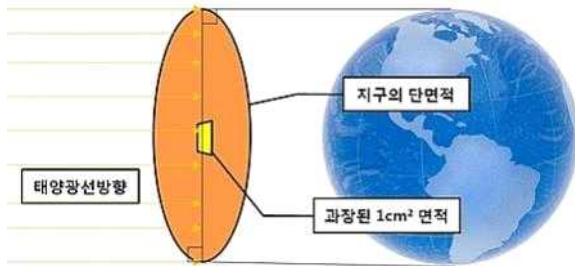
## II. 태양 복사와 지구 복사

### 1. 태양 복사 에너지

태양에서 방출하는 복사 에너지

#### (1) 태양 상수

1) 태양 상수: 행성의 대기권 밖에서 태양 빛에 수직인 단위면적( $1cm^2$ )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

① 지구의 태양 상수:  $I = 2cal/cm^2 \cdot min$

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

2) 태양이 1분간 방출하는 복사 에너지의 총량

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

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

- 슈테판-볼츠만의 법칙을 이용하는 방법: 태양이 1분 동안 방출하는 에너지가 태양의 광도이며 태양의 반지름을 R, 표면온도를 T라고 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 복사에너지의 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.  $\frac{I}{4} = 0.5cal/cm^2 \cdot min$

(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.

① 가시광선 영역: 파장  $0.4 \sim 0.7\mu m$ 로 좁지만, 태양에너지 전체의 약 43%를 차지한다.

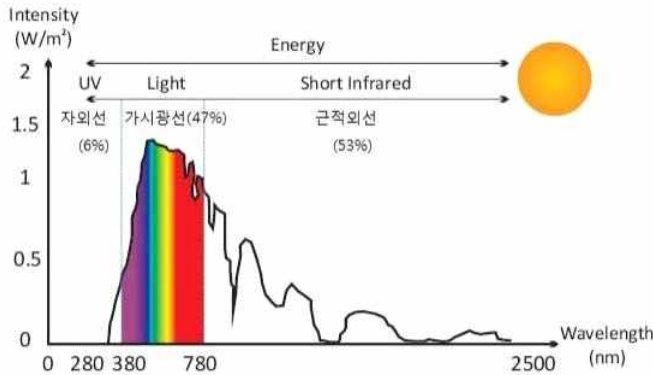
② 적외선 영역: 약 49%

③ 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.

① 광학적 창: 파장  $0.3 \sim 1\mu m$  영역의 가시광선과 근적외선의 일부는 지표면에 도달하는데 이 영역을 광학적 창(optical window)이라고 한다.

② 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.



파장에 따른 선택적 흡수

3) 선택적 흡수: 기체들은 종류에 따라 자기 특정한 파장의 복사 에너지만을 흡수하는 성질이 있으며, 이를 대기의 ‘선택적 흡수’ 라고 한다.  $\gamma$ 선은 대기 중의 질소와 산소가, 자외선은 오존( $O_3$ )이, 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  $\lambda_{max} = \text{약 } 10\mu m$  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.

#### (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

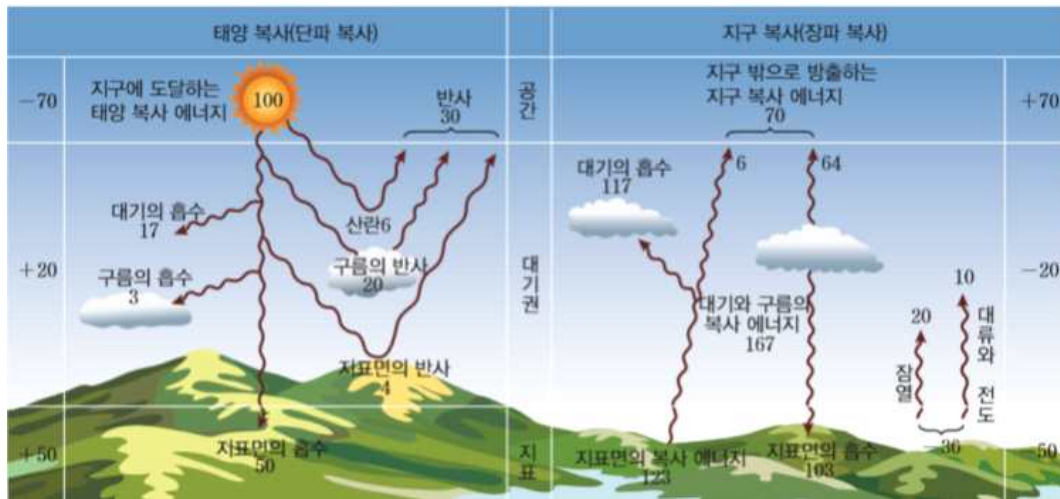
(2) 복사 평형 그림에서의 유의점

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

① 태양에너지의 세기: 태양 상수(I)를 지구 표면적으로 나누었을 때의 평균값을 말하며

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

② 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 온실 효과의 결과이다.



지구계에서의 복사 평형

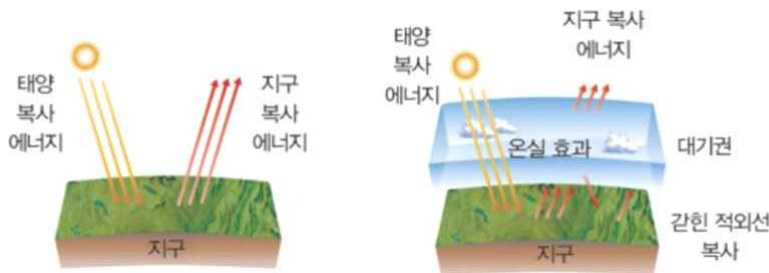
2) 반사율: 행성의 대기와 지표에 흡수되지 못하고 반사되는 태양 복사 에너지의 총합을 반사율(Albedo)라고 하며 구름의 반사(20), 대기와 지표의 반사(10)을 합해 30% 정도이다.

① 행성의 반사율: 행성의 대기가 많을수록 반사율이 커지는데, 금성은 대기의 농도가 매우 짙어 반사율이 75%로 가장 크고, 대기가 없는 수성은 7% 정도이다.

② 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<sub>2</sub>가 대기의 구성 성분이라 표면온도가 매우 높다.(약 470℃)

3. 온실 효과

온실기체가 가시광선(파장이 짧은 태양 복사 에너지)은 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 적외선(파장이 긴 지구 복사 에너지)은 흡수했다가 지표로 재방출함으로써 지표면 온도를 상승시켜 일정한 온도로 유지시키는 대기의 작용을 온실 효과라고 한다.



대기가 없을 때와 있을 때의 복사평형 관계

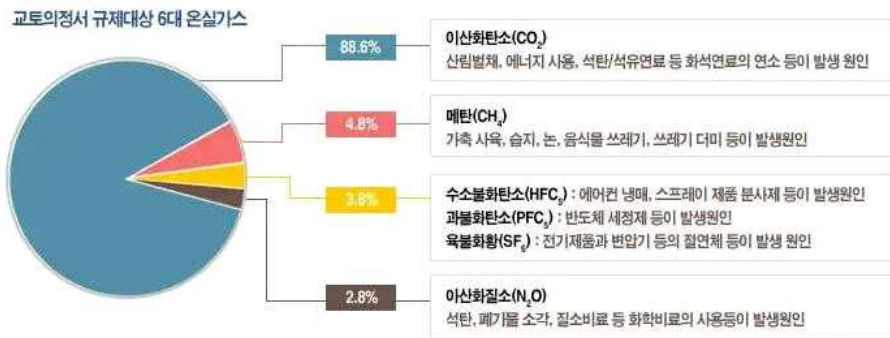
(1) 지구의 온실 효과

1) 대기가 없을 경우의 지구: 낮에는 지표 온도가 급격히 상승하지만, 밤이 되면 급격히 기온이 낮아져 달과 같은 상태가 될 것이다. 평균기온은 대략 -19℃ 정도일 것으로 예상된다.

2) 대기가 있는 경우의 지구: 현재 지구의 평균기온이 약 15℃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, 프레온 가스 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 역할을 하고 있다.

2) 이산화탄소: 단위 농도0당 온실 효과 기여도는 프레온 가스의 1/6,000, 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) 프레온 가스: 단위 농도0당 온실 효과 기여도는 이산화탄소의 6,000배 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

1) 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.

2) 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.

3) 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.

♣ 개념 확인 문제 ♣

1. 지구는 적도 반지름이 극반지름보다 긴 회전타원체이다. 다음 보기 중 고위도로 갈수록 증가하는 것을 모두 고르면?

|보기|

- |                         |           |
|-------------------------|-----------|
| ㄱ. 단진자의 주기              | ㄴ. 곡률 반지름 |
| ㄷ. 위도 1° 에 해당하는 지표상의 거리 | ㄹ. 표준 중력  |

- ① ㄱ, ㄴ      ② ㄱ, ㄹ      ③ ㄷ, ㄹ      ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ, ㄹ

2. 지구가 대체로 둥근 모양을 하고 있다는 사실을 증명하는 것과 거리가 먼 것은?

- ① 일식 관측
- ② 월식 관측
- ③ 위도에 따른 북극성의 고도 측정
- ④ 해안에서 멀어지는 배는 점점 가라앉는 것처럼 보임
- ⑤ 인공위성에서 찍은 지구의 사진

3. 다음 보기 중 지구가 회전타원체라는 과학적 증거를 옳게 고른 것은?

|보기|

- |                                    |
|------------------------------------|
| ㄱ. 동쪽으로 갈수록 일출 시각이 빨라진다.           |
| ㄴ. 추시계의 진동 주기가 고위도로 갈수록 길어진다.      |
| ㄷ. 위도 1° 사이의 지표 거리가 고위도로 갈수록 길어진다. |
| ㄹ. 지구는 자전하므로 이에 따른 힘을 받는다.         |
| ㅁ. 북극성의 고도는 고위도로 갈수록 높다.           |

- ① ㄱ, ㄴ      ② ㄴ, ㄷ      ③ ㄷ, ㄹ      ④ ㄹ, ㅁ      ⑤ ㄱ, ㅁ

4. 지오이드에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 해저 지형의 깊이 측정에 이용되는 면이다.
- ② 각 지점의 중력에 따라 굴곡이 생긴 면이다.
- ③ 일반적으로 산맥에서 보다, 바다에서 더 높게 그려진다.
- ④ 수준 측량의 기준이 된다.
- ⑤ 위치 에너지가 0인 면이다.

5. 지구 질량을  $M$ , 만유인력상수를  $G$ , 지구의 반지름을  $R$ 이라고 할 때 지구 표면에서의 중력가속도  $g$ 를 맞게 표현한 것은?

- ①  $\frac{GM}{R}$       ②  $\frac{GM}{R^2}$       ③  $\frac{GM^2}{R}$       ④  $\frac{G^2M}{R^2}$       ⑤  $\frac{G^2M}{R}$

6. 지구 질량은 변하지 않으면서 그 지름이 변한다고 가정할 때 현재 어떤 사람의 체중이 1/4로 줄어드는 경우는 지구의 지름이 어떻게 변한 것인가?

- ① 1/4배      ② 1/2배      ③ 2배      ④ 4배      ⑤ 변하지 않는다.

7. 단진자를 이용하여 어느 지점의 중력을 측정할 때, 다음 중 진자의 주기가 상대적으로 길게 측정될 수 있는 곳을 모두 고르면?

보기

- A. 산악지대      B. 고위도 지역      C. 지하수가 흐르는 곳  
D. 지하에 철광석이 묻힌 곳      E. 등속도로 비행하고 있는 비행기 내부

- ① A, B, D      ② A, C, E      ③ A, D, E  
④ B, C, E      ⑤ B, C, D

8. 다음 물리량 중 지구의 질량을 구하는데, 필요한 것으로 옳게 짝지은 것은?

보기

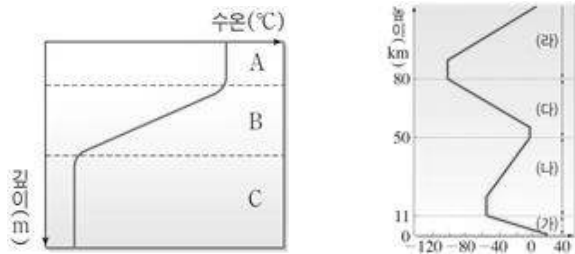
- A. 지구의 반지름      B. 지구의 공전궤도 반지름      C. 인공위성의 질량  
D. 인공위성의 공전 주기      E. 인공위성의 공전궤도 반지름

- ① A, B      ② A, D      ③ B, C      ④ C, E      ⑤ D, E

9. 지구 대기의 연직 구조를 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분한다. 각 구간에 대한 설명 중 틀린 것은?

- ① 대류권에서는 평균  $6.5^\circ\text{C}/\text{km}$ 의 비율로 기온이 변한다.  
② 대류권에서는 대류가 활발하여 권내의 공기가 상하로 잘 섞인다.  
③ 성층권에서는 고도 증가에 따라 기온이 상승한다.  
④ 중간권에서는 고도 변화에 관계없이 기온이 일정하다.  
⑤ 열권에서는 고도 증가에 따라 기온이 증가한다.

10. 다음 그림은 수온의 연직 분포에 따른 해수의 층상 구조와, 기온의 연직 분포에 따른 대기권의 층상구조를 나타낸 것이다. 그림에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



- ① 해수 B층의 운동상태와 비슷한 대기층은 (나)층이다.
- ② 대기권의 (가)층이 두꺼울수록 해수의 A 층이 두껍다.
- ③ 해수와 대기권에서 평균 밀도가 가장 큰 층은 각각 C와 (가)이다.
- ④ 대기권에서 온실효과가 가장 활발하게 일어나는 층은 (가)이다.
- ⑤ 대기권에서 (나)층의 기온 분포는 지구복사보다 태양 복사의 영향이 더 크다.

11. 화성의 대기와 비교할 때 지구의 대기에만 나타나는 현상은?

- ① 지표면 근처에서 높이에 따라 온도가 낮아진다.
- ② 열권에서는 높이에 따라 온도가 증가한다.
- ③ 대기 상부에서 이온의 밀도가 최대인 층이 존재한다.
- ④ 지표와 열권 중간에서 높이에 따라 온도가 증가하는 성층권이 형성된다.
- ⑤ 중위도에서 자전 방향과 같은 방향으로 강한 대기의 이동이 있다.

12. 다음 대기와 해수의 층상 구조에 대한 설명 중 잘못된 것은?

- ① 10km 이하의 고도에 분포하는 공기의 양은 전체 공기의 절반 이상이다.
- ② 한대지방은 수온이 낮기 때문에 혼합층이 발달하지 못한다.
- ③ 성층권은 11~50km 고도에 분포한다.
- ④ 대류권에서는 고도가 높아질수록 일정한 비율로 기온이 낮아지는 경향을 나타낸다.
- ⑤ 적도 수렴대에서는 혼합층이 수렴하여 두께가 얇다.

13. 대기 중의 오존층이 파괴되면 일어날 수 있는 현상은?

- ① 온실효과가 없어져 대기의 온도가 떨어질 것이다.
- ② 극 지방의 빙산이 녹아 해면 수위가 상승할 것이다.
- ③ 화산 폭발이 증가할 것이다.
- ④ 광화학 스모그 현상이 증가할 것이다.
- ⑤ 생명체에 유해한 자외선이 지표까지 당도하여 생명체를 죽일 것이다.

14. 지구의 자연 온실효과에 기여하는 성분 중 그 기여도가 가장 큰 것에서, 작은 것 순으로 바르게 배열한 것은?

- ① 이산화탄소 - 메테인 - 질소산화물 - 프레온 - 오존 - 수증기
- ② 메테인 - 질소산화물 - 이산화탄소 - 수증기 - 프레온 - 오존
- ③ 메테인 - 이산화탄소 - 수증기 - 프레온 - 오존 - 질소산화물
- ④ 수증기 - 이산화탄소 - 메테인 - 프레온 - 오존 - 질소산화물
- ⑤ 이산화탄소 - 수증기 - 메테인 - 프레온 - 오존 - 질소산화물

15. 지구온난화 문제에 대한 다음 설명 중 옳은 것을 모두 고르면?

**|보기|**

- A. 지구의 평균기온이 높아지면 해수에 녹는 이산화탄소의 양이 증가한다.
- B. 지구에서 대규모 화산활동이 자주 발생하면 평균 해수면의 높이가 증가한다.
- C. 화석연료의 사용을 줄이고 숲을 가꾸면 지구의 기온 상승을 억제할 수 있다.
- D. 지구 평균기온이 높아지면, 해수의 열팽창, 대륙 빙하의 융해로 해수면이 높아진다.

- ① A, B      ② B, C      ③ C, D      ④ A, B, C      ⑤ B, C, D

16. 다음 중 오존 경보가 발령되는 때는?

- ① 성층권의 오존량이 많을 때
- ② 성층권의 오존량이 적을 때
- ③ 지표 부근에 오존량이 많을 때
- ④ 지표 부근에 오존량이 적을 때
- ⑤ 남극에 오존 홀이 일정 수치 이상 커질 때

17. 지구 내부에서 P파의 속도가 가장 큰 부분은?

- ① 외핵      ② 내핵      ③ 하부 맨틀      ④ 상부 맨틀      ⑤ 해양 지각

18. 지진파에 대한 다음의 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 일반적으로 지진 기록상에 나타나는 S파의 진폭은 P파보다 크다.
- ② P파는 지구의 내핵을 통과한다.
- ③ 지각의 지진파 전파 속도는 맨틀보다 크다.
- ④ L파의 파괴력이 가장 크다.
- ⑤ 지진 기록계에는 P파가 가장 먼저 기록된다.

19. P파의 속도가 8km/s, S파의 속도가 4km/s라고 할 때, P파와 S파가 도착하는 시간 차이가 20초였다면 진원까지의 거리는?

- ① 40km      ② 80km      ③ 160km      ④ 320km      ⑤ 640km

20. 지진파를 통한 지구 내부 구조 연구에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① S파를 이용하여 외핵의 두께를 알아낼 수 있다.
- ② 진원으로부터의 지심각이  $142^\circ$  이상인 지역에는 P파가 도달한다.
- ③ 진원으로부터의 지심각이  $103^\circ$  이내인 지역에는 P와 S파가 모두 도달한다.
- ④ 암영대의 분포로부터 지구 내부의 액체 상태인 층을 알아내었다.
- ⑤ 진원으로부터의 지심각이  $110^\circ$  인 지역에는 외핵과 내핵의 경계면에서 반사되어 나오는 약한 P파가 도달한다.

21. 지구 내부 구조를 연구한 결과이다. 잘못된 것은?

- ① 고체인 맨틀의 밀도는 액체인 외핵의 밀도보다 작다.
- ② 지구의 평균 밀도는 지각을 이루는 암석의 밀도보다 크다.
- ③ 지진파의 불연속면에서 구성 물질이나 물질 상태가 달라진다.
- ④ 지구 내부에서 밀도가 큰 층일수록 지진파의 전파 속도가 빠르다.
- ⑤ 온도 증가율은 핵으로 갈수록 감소한다.

22. 다음 중 지진파 관측으로 알아낼 수 있는 것은?

- ① 지구 내부의 온도
- ② 지각의 두께
- ③ 지각의 구성 물질
- ④ 지각을 구성하는 암석의 생성 시기
- ⑤ 위 보기 모두 다 해당

23. 다음 중 대륙지각의 원소를 많은 순서대로 옳게 나열한 것은?

- ① 산소, 규소, 알루미늄, 철
- ② 산소, 철, 마그네슘, 규소
- ③ 철, 산소, 마그네슘, 칼슘
- ④ 철, 규소, 산소, 알루미늄
- ⑤ 규소, 철, 산소, 마그네슘

24. 다음 보기의 중력 보정 중 조사 지역의 밀도를 고려할 필요가 없는 것끼리 묶인 것은?

!보기

- |            |           |          |
|------------|-----------|----------|
| ㄱ. 후리아에 보정 | ㄴ. 부우계 보정 | ㄷ. 지형 보정 |
| ㄹ. 조석 보정   | ㅁ. 대기 보정  |          |

- ① ㄱ, ㄴ      ② ㄱ, ㄷ      ③ ㄴ, ㄹ      ④ ㄴ, ㅁ      ⑤ ㄹ, ㅁ



25. 중력 보정과 중력 이상에 대한 다음 설명 중 잘못된 것은?

- ① 고도 보정을 할 때는 기준면 위쪽은 (+)로 계산, 기준면 아래쪽은 (-)로 계산해주어야 한다.
- ② 부우게 보정 시 기준 면과 관측점 사이의 고도 차이를 알 필요가 있다.
- ③ 지형 보정을 하는 이유는 부계 보정 시 과보정 된 것을 다시 보정하기 위함이다.
- ④ 고도 이상은 고도 보정만을 했을 때의 관측 중력과 표준 중력의 차이이다.
- ⑤ 부우게 이상이 (+)이면 대륙을, (-)이면 해양을 나타낸다.

26. 지구 자기장의 편각과 북각에 대한 다음의 설명중 옳은 것은?

- ① 합하면  $180^\circ$  가 되는 보각의 관계이다.
- ② 지구의 쌍극자 축이 지구의 회전축과 이루는 각들로 정의된다.
- ③ 북반구의 경우 위도가 높을수록 두 각의 값은 커지는 경향을 보인다.
- ④ 두 각의 측정치는 시간에 따라 조금씩 변한다.
- ⑤ 두 각의 크기는 서로 반비례하는 관계를 보인다.

27. 다음은 지구 자기장에 대한 설명이다. 틀린 내용을 진술한 항은?

- ① 자북극과 자남극의 중간 지점에서 편각은  $0^\circ$  이다.
- ② 자극에서 수평자기력은 0이고 북각은  $90^\circ$  가 된다.
- ③ 자기장을 측정하기 위해서는 수평자기력, 편각 및 북각을 측정해야 한다.
- ④ 지구 자기장의 2~3일 정도 주기의 변화는 그 일차적인 원인이 태양활동에 있다.
- ⑤ 지구 자기장의 영년 변화는 암석 속에 포함된 자연 잔류 자기에 의해 판단할 수 있다.

28. 북반구의 어느 지점에서 나침반을 보았더니 N극이 북극성을 바라보는 방향에 대하여 왼쪽으로  $10^\circ$  를 가리키고 있었다. 만약 북극성을 정면으로 바라보면서 계속 나아가면 나침반의 N극 바늘은 어떻게 변하는가?

- ① 시계 방향으로 회전한다.
- ② 조금씩 시계 반대 방향으로 회전한다.
- ③ 조금씩 북극성 방향에 일치하게 된다.
- ④ 위아래로 진동한다.
- ⑤ 점점 위쪽을 향하게 된다.

29. 푸코 진자의 진동에 관한 설명이다. 틀린 것은?

- ① 진동면의 회전 주기는 극에서 24시간이다.
- ② 진동면의 회전 주기는 적도로 갈수록 더 길어진다.
- ③ 진동면의 회전 주기가 적도에서는 무한대이다.
- ④ 지구가 자전하지 않는다면 진자는 일정한 방향으로 진동을 계속 한다.
- ⑤ 진자의 진동 방향은 지구 자전 방향과 같다.

30. 다음은 어느 곳에서 시행한 푸코 진자의 진동 실험 자료 및 결과이다.

- 진동면의 회전 주기 = 48시간
- 진동면의 회전 방향: 반시계 방향
- 푸코 진자의 길이 = 10cm
- 푸코 진자의 주기 = 6초

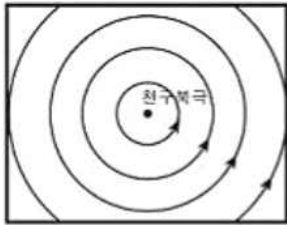
이에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?

- ① 실험 장소는 남반구이다.
- ② 실험 장소는 위도 60° 인 지방이다.
- ③ 지구의 공전을 증명하는 실험이다.
- ④ 주어진 값으로 실험 장소의 중력을 계산할 수 있다.
- ⑤ 실험 장소보다 더 저위도이면 진자의 주기는 짧아진다.

31. 북위 37° 인 지방에서 다음을 관측할 때 그 값이 가장 큰 것은?

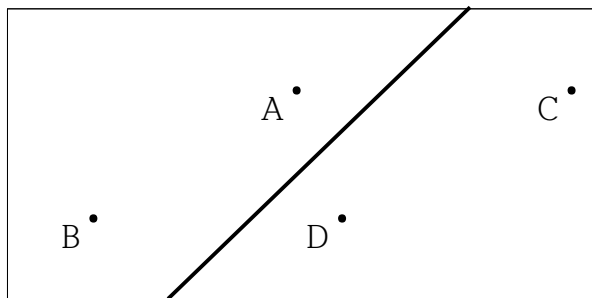
- ① 북극성의 고도
- ② 적위 15° 인 별의 남중 고도
- ③ 천정에 있는 별의 적위
- ④ 북극에서 37° 떨어진 별의 적위
- ⑤ 별의 일주운동 궤도와 지평선이 이루는 각

32. 그림은 천구 북극 부근의 별의 일주운동을 나타낸 것이다. 북극성의 고도가 37° 일 때, 지평선을 스쳐 지나가는 일주권을 가진 별의 적위는 얼마인가?



- ① 0°
- ② 37°
- ③ 53°
- ④ 63°
- ⑤ 90°

33. 다음 그림은 위도 30° N인 어느 지방의 동쪽 지평선 부근에서 관측한 별들의 위치를 나타낸 것이다.(단 E는 춘분점이다) 이 그림에 대한 설명으로 옳은 것을 다음 보기에서 모두 고르면?



- 보기
- ㄱ. B별은 D별보다 적위가 크다.
  - ㄴ. A별은 D별보다 남중 고도가 높다.
  - ㄷ. A별은 C별보다 먼저 지평선 위로 떠오른다.
  - ㄹ. B별은 C별보다 오랫동안 지평선 위에 떠 있다.

- ① ㄱ, ㄴ
- ② ㄴ, ㄷ
- ③ ㄷ, ㄹ
- ④ ㄱ, ㄴ, ㄹ
- ⑤ ㄴ, ㄷ, ㄹ

34. 지구가 자전하기 때문에 나타나는 현상은?

- ① 태양의 운동(연주 운동)      ② 계절에 따른 별자리 변화      ③ 별의 연주시차
- ④ 태풍의 진로 변화              ⑤ 해륙풍과 산곡풍

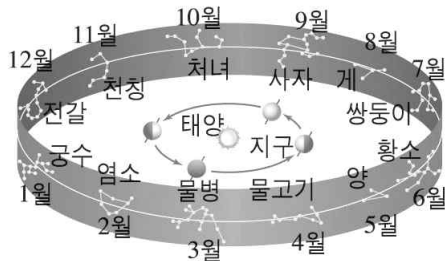
35. 지구의 자전축이 현재의 23.5° 에서 30° 로 더 기울어진다면 그때의 계절은 현재에 비해 어떻게 변화하겠는가?

- ① 현재보다 여름과 겨울 간의 차가 커질 것이다.
- ② 현재보다 여름과 겨울 간의 차가 작아질 것이다.
- ③ 변화가 없을 것이다.
- ④ 겨울은 변화가 없으나 여름은 더 더워질 것이다.
- ⑤ 여름은 변화가 없으나 겨울은 더 추워질 것이다.

36. 계절 변화를 가져오는 가장 중요한 이유는?

- ① 지구와 태양 간의 거리 변화      ② 태양 고도각(또는 천정각)의 변화
- ③ 지표 반사율의 변화              ④ 대기 흡수율의 변화
- ⑤ 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도의 변화

(37~39) 다음 그림은 천구의 적도와 황도 및 황도 12궁의 위치를 나타낸 것이다(단, 황도상의 월은 그 달 1일 태양의 위치이다).



37. 춘분날 자정에 남중하는 별과 추분날 해뜨기 직전 동쪽 지평선 부근에서 볼 수 있는 별자리를 순서대로 옳게 짝지은 것은?

- ① 물고기, 궁수                      ③ 물고기, 쌍둥이                      ⑤ 처녀, 사자
- ② 처녀, 쌍둥이                      ④ 처녀, 물고기

38. 위 그림의 황도상에서 3월경에 스펙트럼선의 청색편이가 나타나는 별은 어느 별자리에 있는가?

- ① 전갈    ② 물병    ③ 황소    ④ 사자    ⑤ 물고기

39. 우리나라에서 해뜨기 직전 동쪽 지평선 부근에 전갈자리가 보였다면, 이때는 대략 몇 월경인가?

- ① 3월경                      ② 6월경                      ③ 8월경                      ④ 10월경                      ⑤ 12월경

40. 북위 38° 인 지방에서 항성시가 12h일 때 천정에 위치하는 별의 적경과 적위는?  
 ① 0h, 38°      ② 6h, 23.5°      ③ 12h, 38°      ④ 18h, 52°      ⑤ 20h, 10°

41. 천구상에서 화성의 위치를 알고자 한다. 다음 중 천구의 어떤 것을 이용하면 쉽게 알 수 있겠는가?  
 ① 천구상의 수직권      ② 천구상의 적도면      ③ 천구상의 황도면  
 ④ 천구상의 시간권      ⑤ 천구상의 자오면

42. 하짓날 태양의 시간각이 3h일 때, 태양시와 항성시로 옳은 것은?  
 ① 3h, 9h      ② 3h, 15h      ③ 9h, 9h  
 ④ 19h, 15h      ⑤ 15h, 9h

43. 동짓날 항성시가 13h일 때 태양의 위치는?  
 ① 남동쪽 하늘에 있으며, 오전이다.  
 ② 남서쪽 하늘에 있으며, 정오이다.  
 ③ 남서쪽 하늘에 있으며, 오후이다.  
 ④ 지평선 아래로 진 밤이다.  
 ⑤ 태양의 적위가 주어지지 않아서 위치를 판단할 수 없다.

44. 북위 38° 인 지방에서 춘분날 항성시와 태양시의 차이는?  
 ① 0h      ② 6h      ③ 12h      ④ 24h      ⑤ 알 수 없다.

45. 다음 중 시간에 대하여 바르게 설명한 것은?  
 ① 1항성일은 1태양일보다 길다.  
 ② 항성시는 춘분점의 시간각으로 표현된다.  
 ③ 균시차는 항성시와 태양시의 차이이다.  
 ④ 시태양시는 가상의 태양을 기준으로 정의한 것이다.  
 ⑤ 우리나라의 표준시는 동경 135° 의 지방시이므로 세계시보다 9시간 느리다.

46. 지구 공전에 대한 다음 설명 중 옳은 것을 모두 고르면?

**[보기]**

- A. 지구 자전축의 경사가 계절 변화의 주된 원인이다.
- B. 하짓날 태양 광선은 북위 23.5° 인 지점에 수직으로 입사된다.
- C. 지구의 계절 변화는 태양으로부터 거리 변화에 의해 많은 영향을 받는다.
- D. 동지 무렵 북위 66.5° 이상인 지방에서는 태양을 볼 수 없다.
- E. 지구 공전궤도 이심률이 더 작아진다면 계절의 차이가 더 심해질 수 있다.

① A, B, D      ② A, B, E      ③ A, C, D      ④ B, C, E      ⑤ C, D, E

47. 다음 중 광행차 현상에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 광행차는 지구 자전 속도에 비례한다.
- ② 외행성에서는 광행차 현상을 관측할 수 없다.
- ③ 광행차는 별의 거리에 비례한다.
- ④ 지구에서 먼 내행성일수록 광행차 현상이 심하게 나타난다.
- ⑤ 광행차는 빛의 속도에 비례한다.

48. 다음 중 별의 표면 온도와 관계있는 것은?

- ① 허블의 법칙                      ② 케플러의 법칙                      ③ 플랑크 법칙
- ④ 슈테판-볼츠만 법칙              ⑤ 가우스 법칙

49. 온도가 태양의 2배이고, 반지름이 태양의 2배인 별의 주위에 대기 성분이 지구와 비슷한 행성이 공전하고 있다. 이 행성이 지구와 비슷한 온도를 가지려면 이 행성은 별로부터 얼마나 떨어져 있어야 하는가? (단, r은 지구와 태양 사이의 거리이다.)

- ① 10r              ② 8r              ③ 6r              ④ 4r              ⑤ 2r

50. 다음 중 화산이나 지진을 일으키는 에너지는?

- ① 방사성 원소의 붕괴에 의한 에너지              ② 태양복사 에너지
- ③ 핵융합 에너지                                      ④ 중력 에너지
- ⑤ 생물 에너지

51. 태양의 표면 온도가 현재의 6,000K에서 3,000K로 낮아졌다고 할 때, 다음 중 옳은 것은? (단,  $\lambda_{max}$ 는 태양의 최대 에너지 파장, E는 태양이 현재 방출하는 에너지양이다.)

- ①  $\lambda_{max}$ 는  $0.5\mu m$ , 에너지양은 1/16 E가 된다.
- ②  $\lambda_{max}$ 는  $0.25\mu m$ , 에너지양은 16 E가 된다.
- ③  $\lambda_{max}$ 는  $1.0\mu m$ , 에너지양은 1/16 E가 된다.
- ④  $\lambda_{max}$ 는  $1.0\mu m$ , 에너지양은 16 E가 된다.
- ⑤  $\lambda_{max}$ 는  $0.25\mu m$ , 에너지양은 1/4 E가 된다.

52. 어떤 별의 표면 온도가 12,000K 지구로부터의 거리는  $10^6 AU$ 이다. 이 별이 태양과 반지름이 같다고 할 때, 다음 중 옳은 것은? (단, 태양 상수는  $2cal/cm^2 \cdot min$ 이다.)

**||보기||**

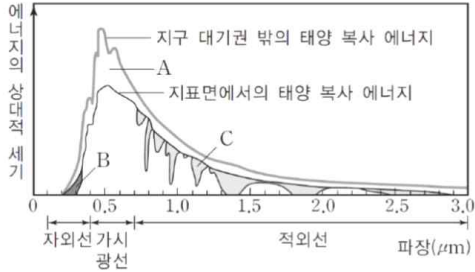
ㄱ. 별 A가 방출하는 복사에너지의 최대 파장은  $0.25\mu m$ 이다.

ㄴ. 플랑크 곡선을 그릴 때, 곡선 아래의 면적은 별 A가 태양의 2배이다.

ㄷ. 지구가 받는 별 A의 복사 에너지양은  $3.2 \times 10^{-11} cal/cm^2 \cdot min$ 이다.

- ① ㄱ              ② ㄴ              ③ ㄷ              ④ ㄱ, ㄴ              ⑤ ㄱ, ㄷ

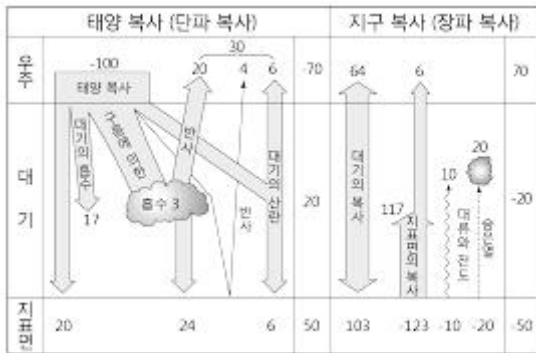
53. 그림 (가)는 지구에 입사된 태양복사 에너지의 세기를 파장에 따라 나타낸 것이며, 어두운 부분은 지표에 도달하지 않는 에너지를 나타낸 것이다.



주어진 자료를 바르게 해석한 것은?

- ① C 영역은 주로  $O_2$ 와  $O_3$ 에 의해 흡수된다.
- ② B 영역은 주로  $H_2O$ 와  $CO_2$ 에 의해 흡수된다.
- ③ A는 지구의 반사율이며, 지표에 도달하는 파장은 주로 가시광선이다.
- ④ 태양복사 중 에너지의 세기가 가장 큰 영역은 자외선이다.
- ⑤ 대기 중  $CO_2$ 양이 증가하면 지표에 도달하는 C 영역의 에너지양도 증가한다.

54. 다음 그림은 지구가 받아들이는 평균 태양복사 에너지  $0.5cal/cm^2 \cdot min$ 을 100%로 보았을 때의 열수지 관계를 모식적으로 나타낸 것이다.



이 자료에 대한 해석으로 맞는 것은?

- ① 대기가 우주로 복사하는 총에너지량은 70%이다.
- ② 지표가 흡수하는 총에너지량은 153%이다.
- ③ 지표의 복사량 중 대기에 흡수되는 양은 123%이다.
- ④ 지구에 도달하지만 흡수되지 않는 에너지량은 24%이다.
- ⑤ 지표면에서 증발로 대기 중에 흘러 들어가는 에너지량은 10%이다.

55. 태양에서 지구까지 거리를  $r$ , 지구의 반지름을  $R$ , 지구에서의 태양 상수를  $I$ 라고 놓는다. 그렇다면 거리가  $5r$ , 반지름이 지구의 10배인  $10R$ 인 목성이 1분 동안 받는 태양 복사 에너지의 총량은 지구의 몇 배인가?

- ①  $\frac{1}{2}$  배
- ② 2 배
- ③  $\frac{5^2}{10^2}$  배
- ④  $\frac{10^2}{5^2}$  배
- ⑤  $\frac{10}{5^2}$  배