

주제 지구의 내부 구조

지구 내부의 조사 방법

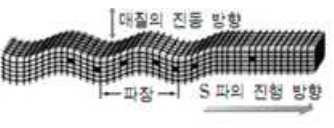
| | 지구 내부 조사 방법 |
|-------|--|
| 직접 조사 | 1. 시추 2. 맨틀 포획암 조사 |
| 간접 조사 | 1. 운석 연구 2. 지진파 연구 3. 고온 고압 실험 4. 지각 열류량 조사 |

지진과 지진파

(1) 지진 : 지구 내부에서 가해진 힘에 의해 암석이 탄성 한계를 넘으면 급격한 변형을 일으키면서 생긴 충격파가 사방으로 전달되는 현상

(2) 지진파 : 지진 활동으로 발생된 탄성 에너지가 파동의 형태로 전달

성질이 다른 경계면에서 반사 또는 굴절 하며, 같은 종류의 지진파라도 매질의 밀도와 상태에 따라 속도가 달라짐

| 지진파 | | 성질 | 지각에서의 속도 | 통과 매질의 상태 |
|-----|----|--|----------|------------|
| 실체파 | P파 |  매질의 진동 방향과 파의 진행 방향이 <u>나란함</u> | 5~8km/s | 고체, 액체, 기체 |
| | S파 |  매질의 진동 방향과 파의 진행 방향이 <u>수직</u> | 3~4km/s | 고체만 통과 |
| 표면파 | L파 | 타원 운동 또는 좌우 진동 지표면을 따라 전파 | 2~3km/s | 표면의 고체 매질 |

(3) 실체파의 종류와 특성 (ρ : 밀도, κ : 체적 탄성률, μ : 강성률(단단한 정도))

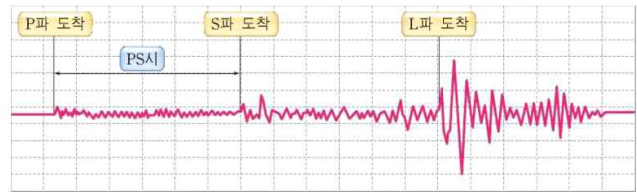
| | | P파 | S파 |
|----|-------|--|---------------------------------|
| 속도 | 결정 요인 | 밀도 + 강성률 | 밀도 × 강성률 |
| | 식 | $V_p = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\mu + \kappa}{\rho}}$ | $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ |
| | 크기 비교 | P파 > S파 | |
| 진폭 | | 작 음 | 크 음 |

지진파로 알 수 있는 정보

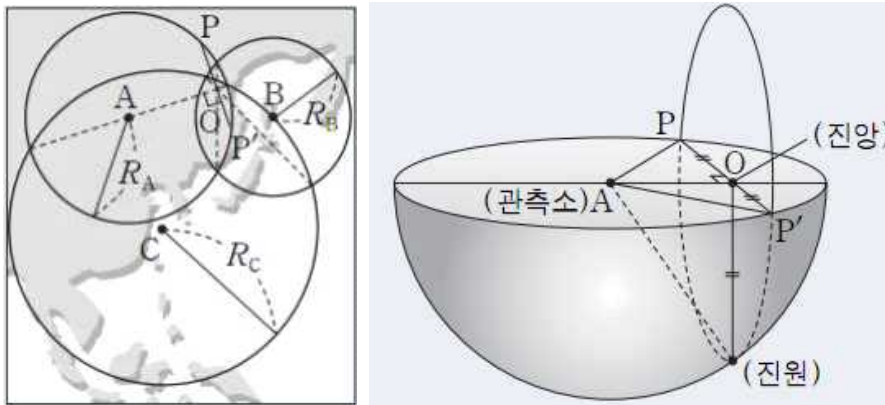
(1) PS시와 진원거리

PS시 : P파 도착 후 S파가 도착할 때까지의 사이 시간

$$\text{진원 거리(km)} : \frac{V_P \cdot V_S}{V_P - V_S} \times \text{PS시 (초)}$$



(2) 진앙, 진원의 위치

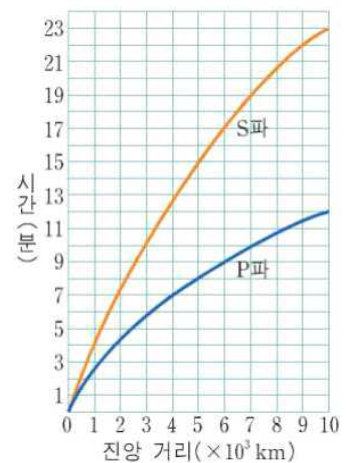


- ① 진앙의 위치 : 관측소 A, B, C에서 진원거리를 반지름으로 하는 원을 그렸을 때, 각 원들의 교점을 연결하면 세 개의 현이 교차하는 하나의 점(O)이 나타나는데, 이 점이 진앙임
- ② 진원의 깊이 : 세 관측소 중 임의의 관측소 A점과 진앙 O를 연결하는 직선 AO를 긋고, O점에서 직선 AO에 직교하는 현 PP'를 그으면 현PP'의 절반인 선분 OP 또는 OP'가 진원의 깊이

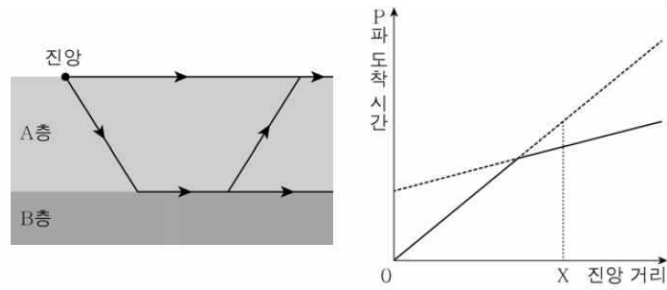
(3) 주시 곡선

지진파의 도착 시간과 진앙 거리와의 관계를 나타낸 그래프

- ① 진앙거리 : 주시곡선에 PS시를 대입하여 읽음
- ② PS시는 진앙거리와 비례
- ③ 기울기가 클수록 속도는 (큼 / 작음)

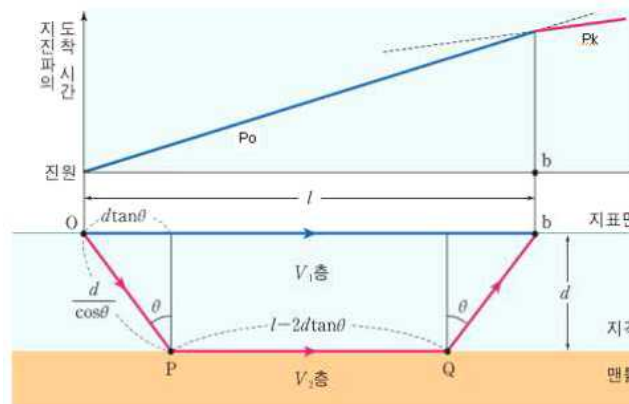


(4) 지각의 두께



- ① **직접파** : 지각만을 통과하여 지진 관측소에 직접 도착한 파
- ② **굴절파** : 맨틀로 굴절한 후 전달되어 도착한 파
- ③ 교차거리 : **직접파** 와 **굴절파** 가 동시에 도착한 진앙 거리

지각만을 통과하여 지진 관측소에 도착한 직접파와 맨틀로 굴절한 후 전달된 굴절파의 **기울기**로 각 층에서의 지진파의 **속도**를 구하고, 직접파와 굴절파가 동시에 도착한 거리로 **지각의 두께**를 구함



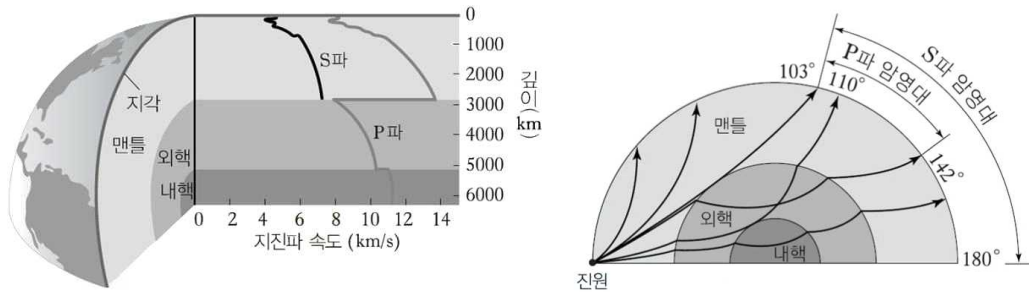
▪ 지각의 두께 = $\frac{l}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$

(단, l : 교차거리, V_1 : 지각에서의 지진파 속도, V_2 : 맨틀에서의 지진파 속도)

▪ 지각의 두께는 **교차거리**에 비례함

지구 내부의 구조

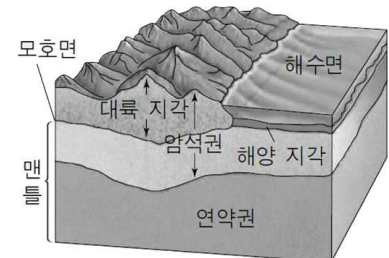
지구 내부를 통과하는 지진파가 굴절되거나 반사되는 성질을 이용하여 지구 내부가 지각, 맨틀, 외핵, 내핵의 층상 구조를 이루고 있음을 알아냄



| 지심각 | 내부 구조 | 지진파의 속도 특징 | 물리적 특징 |
|----------|-----------------------|--|---|
| 진앙~103° | 맨틀 | <ul style="list-style-type: none"> P파, S파 모두 도착 깊어질수록 속도 (증가 / 감소) | <ul style="list-style-type: none"> 고체 속도 증가 |
| 103° | 맨틀-외핵 경계 (구텐베르크 면) | <ul style="list-style-type: none"> S파 소멸 깊어질수록 속도 (증가 / 감소) | <ul style="list-style-type: none"> 속도 크게 감소 ⇒ 액체 상태로 변하기 때문 |
| 103~142° | 외핵 | <ul style="list-style-type: none"> 지진파의 암영대 | <ul style="list-style-type: none"> 액체 상태인 외핵을 알려줌 |
| 142~180° | | <ul style="list-style-type: none"> P파만 도착 깊어질수록 속도 (증가 / 감소) | <ul style="list-style-type: none"> 밀도 증가 |
| 110° | 내핵 | <ul style="list-style-type: none"> 깊어질수록 속도 (증가 / 감소) | |

(1) 지각

- 범위 : 지표 ~ 모호로비치치 불연속면
- 지각의 두께 : 대륙 지각은 약 35km, 해양 지각은 약 7km로 대륙 지각이 더 두꺼움
- 밀도 : 대륙 < 해양



(2) 맨틀

- 범위 : 모호로비치치 불연속면 ~ 구텐베르크 불연속면
- 구조
 - 상부맨틀 : 암석권(지각 + 최상부 맨틀) + 연약권(저속도층)
 - 전이대 : 높은 온도와 압력에 의해 광물의 상변이가 일어남
 - 하부맨틀 : 거의 균일한 조성을 보임

(3) 외핵

- 범위 : 구텐베르크 불연속면 ~ 핵-맨틀 경계 불연속면
- 발견 : 지심각 103~142°에 지진파가 전달되지 않고, 143° 이후에는 P파만 전달되는 것을 통해 발견됨
- 특징 : 액체 상태, 대륙보다 얇아 지구의 자기장 형성

(4) 내핵

- 발견 : 암영대 내에 지심각 110° 부근에 도달한 약한 P파의 발견으로 내핵의 존재를 알게 됨
- 특징 : 지구 중심에 있는 밀도가 가장 큰 물질

주제 지각의 물질(광물의 형태와 구조)

광물

암석을 이루는 무기질의 고체

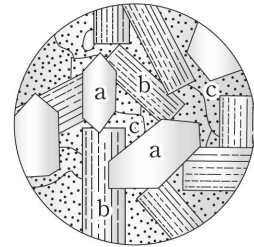
광물마다 고유의 화학 조성과 결정 구조가 있어 서로 다른 특징을 가짐

- 결정질 : 원자나 이온의 배열 상태가 규칙 적인 광물 예) 석영, 암염 등 대부분의 광물
- 비결정질 : 원자나 이온의 배열 상태가 불규칙 적인 광물, 유리질이라고도 함 예) 유리, 흑요석, 갈철석 등

(1) 광물의 결정형과 결정 형태

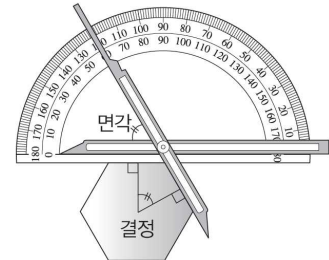
광물의 독특한 외부의 형태를 결정형이라고 하고, 광물은 결정면의 배열에 따라 여러 가지 모양으로 나타내는데 이를 결정 형태라고 함

| 자형 | 고유한 결정면을 가진 형태, (<u>고온</u> / 저온)에서 정출됨 |
|-----|--|
| 반자형 | 고온에서 먼저 생긴 광물의 부분적인 방해로 인해 일부만 고유한 결정면을 가진 형태 |
| 타형 | 먼저 생긴 광물의 결정들 사이에서 성장하여 고유한 결정면을 갖추지 못한 형태, (고온 / <u>저온</u>)에서 정출됨 |



(2) 광물의 내부 구조

라우에 점무늬 : 광물에 X선을 투과시켰을 때 규칙적으로 배열된 점무늬, 이를 이용하여 광물 내부의 원자나 이온의 배열 상태를 알 수 있음



(3) 면각 일정 법칙

서로 접하는 두 결정면에 내린 수선 사이의 각을 면각이라고 함
같은 종류의 광물은 외형이나 크기에 관계없이 대응하는 면각이 같음

광물의 물리적 성질

(1) 색 : 순수한 광물이 갖는 고유의 색을 자색, 불순물이 섞여 달라진 색을 타색이라고 함

(2) 조흔색 : 조흔판에 문질러 나타나는 광물 가루의 색

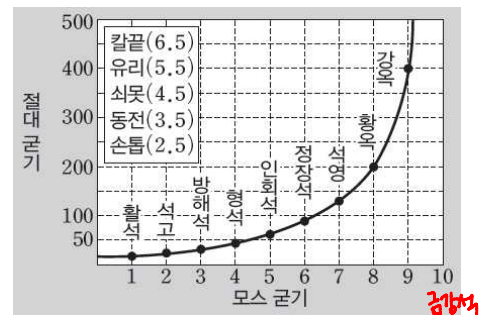
| 광물 | 금 | 황동석 | 황철석 |
|-----|-----|-----|-----|
| 색 | 노란색 | | |
| 조흔색 | 노란색 | 녹록색 | 검은색 |

(3) 쪼개짐과 깨짐

광물에 충격을 가했을 때 결합력이 약한 면을 따라 광물이 일정하게 갈라지면 쪼개짐, 불규칙하게 부서지면 깨짐이라고 함

(4) 굳기

광물의 단단한 정도, 두 종류의 광물을 서로 마찰시킬 때의 상대적인 단단함을 나타내는 모스 굳기계를 이용하기도 함

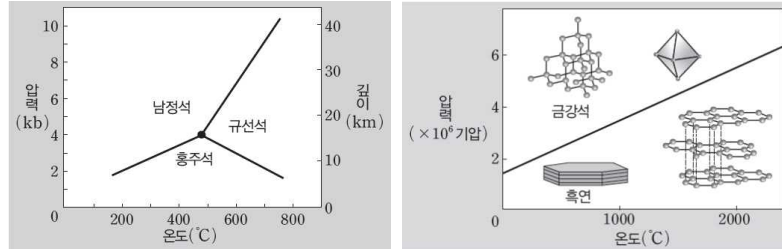


광물의 화학적 성질

광물마다 화학 조성이나 결정 구조가 다르기 때문에 독특한 화학적 성질을 가짐

(1) 동질 이상

광물의 화학 성분은 같으나 생성 당시의 온도와 압력 차이로 인해 결정형 과 물리적 성질 이 다른 광물



(2) 유질 동상

광물의 화학 성분이 유사하고, 결정형이 같고 물리적 성질이 서로 비슷한 광물

(3) 고용체

광물의 화학 조성이 일정한 범위 내에서 변하는 광물

광물의 광학적 성질

(1) 복굴절

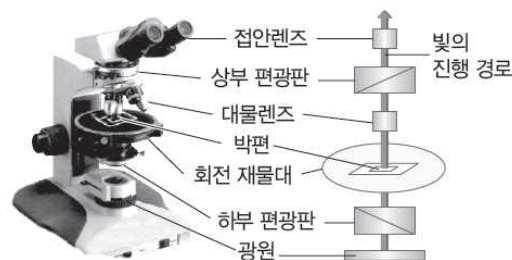
빛이 투명 광물 을 통과할 때 진동 방향이 서로 수직인 두 개의 광선으로 나뉘어 굴절하는 현상

빛이 두 갈래로 갈라져 굴절되기 때문에 광물 아래의 물체가 이중으로 보임

- 광학적 등방체 : 광물 내에서 방향에 관계없이 빛의 통과 속도가 일정한 광물, 단굴절 일으킴
- 광학적 이방체 : 광물 내에서 방향에 따라 빛의 통과 속도가 달라져서 굴절률에 차이가 생기는 광물, 복굴절 일으킴

(2) 편광 현미경

상부 편광판을 뺀 상태를 개방니콜, 상부 편광판을 넣은 상태를 직교니콜 이라고 함



■ 다색성

개방니콜 에서 박편을 재물대 위에 놓고 회전시킬 때, 광물의 색과 밝기가 일정한 범위에서 변하는 성질

■ 간섭색

직교니콜 에서 박편을 재물대 위에 놓았을 때 관찰되는 색, 복굴절에 의한 빛의 간섭에 의해 생성됨

■ 소광 현상

직교니콜 에서 박편을 재물대 위에 놓고 회전시키면 간섭색이 없어지면서 광물의 밝기가 어두워지는 현상

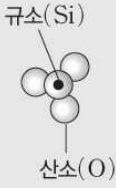
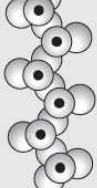
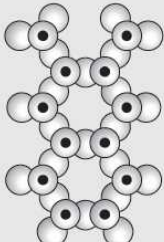
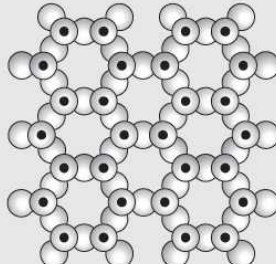
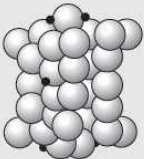
재물대를 360도 회전시킬 때 4 회 소광 일어남

주제 규산염 광물과 화성암

규산염 광물

1개의 규소와 4개의 산소가 결합된 SiO_4 사면체를 기본 단위로, 다른 이온과 결합되어 이루어진 광물

- 주요 조암 광물의 대부분은 규산염 광물임
- 고온 · 고압에서 정출된 광물일수록 결합 구조가 (복잡 / 단순) 하고, 저온 · 저압에서 정출된 광물일수록 결합 구조가 (복잡 / 단순) 하고 풍화에 강함
- Fe, Mg이 많이 함유된 광물은 색깔이 (밝고 / 어둡고) 밀도가 크며, Na, SiO_2 가 많이 함유된 광물은 색깔이 (밝고 / 어둡고) 밀도가 작음

| 명칭 | 독립상 구조 | 단쇄상 구조 | 복쇄상 구조 | 층상 구조 | 망상 구조 |
|--------|---|---|--|---|---|
| Si : O | 1 : 4 | 1 : 3 | 4 : 11 | 2 : 5 | 1 : 2 |
| 광물 | 감람석 | 휘석 | 각섬석 | 흑운모 | 석영 |
| | $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{-SiO}_4$ | $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{-SiO}_3$ | $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{-(Al, Si)}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ | $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ | SiO_2 |
| 결합 구조 |  |  |  |  |  |

① 광물의 정출 순서 : 감람석 → 휘석 → 각섬석 → 흑운모 → 석영

✓ 감람석, 석영 비교하기

② SiO_4 사면체끼리의 산소 공유 비율 : 감람석 < 석영

③ Si에 대한 O의 결합 비 : 감람석 > 석영

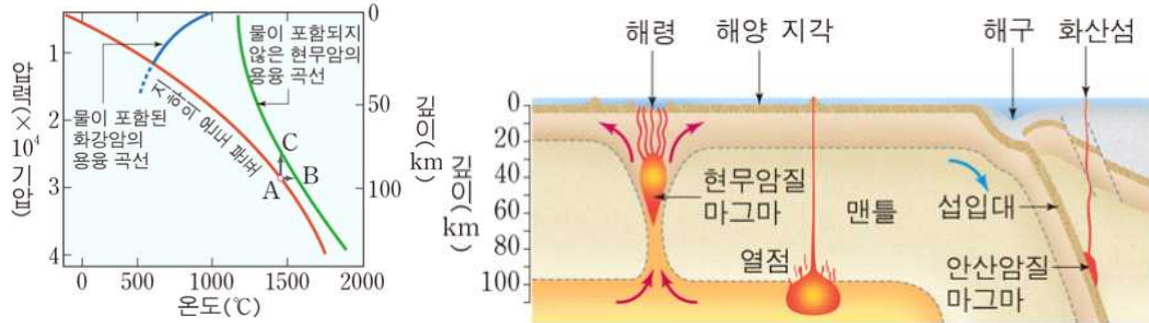
④ $\frac{\text{Si 원자 수}}{\text{O 원자 수}}$: 감람석 < 석영

비규산염 광물

- 규산염 광물을 제외한 원소 광물, 산화 광물, 황화 광물, 탄산염 광물 등을 비규산염 광물이라고 함
- 원소 광물은 다른 원소와 결합하지 않고 한 종류의 원소만으로 산출되는 광물로서, 금, 구리, 황 등이 있음
- 산화 광물은 자철석, 적철석, 강옥 등과 같이 산소가 금속 원소와 결합된 화합물임
- 방해석과 같은 탄산염 광물에 묶은 염산을 떨어뜨리면 이산화탄소 기포가 발생함

마그마의 생성

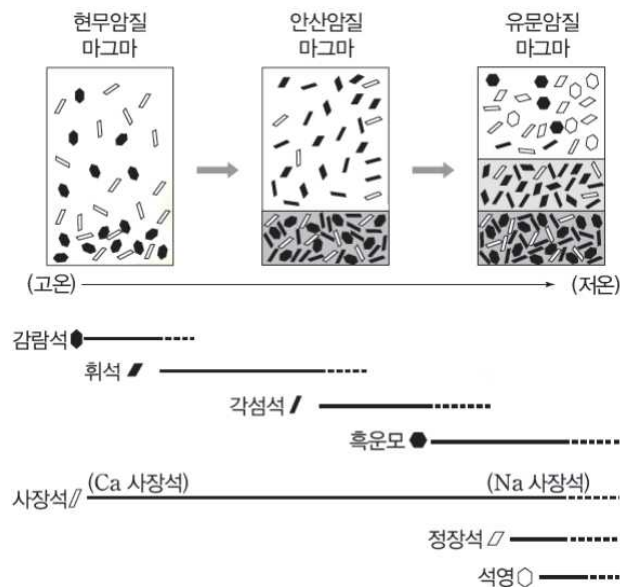
지하로 깊이 내려갈수록 온도가 증가하지만 압력도 증가하기 때문에 암석의 용융점은 지하의 온도 분포보다 항상 높음



| 구분 | 생성 조건 | 생성 위치 |
|----------|---|------------|
| 현무암질 마그마 | SiO ₂ 함량이 45%이하인 철과 마그네슘을 많이 포함한 맨틀 물질이 상승하면 압력이 낮아지거나, 열점과 같이 방사성 원소의 <u>붕괴열</u> 로 인해 온도가 상승하므로 맨틀 물질이 용융되어 만들어짐 | 해령, 열점 |
| 화강암질 마그마 | 대륙 지각의 하부에서는 물을 포함하는 화강암의 용융 곡선이 지하의 온도 곡선과 만나 만들어짐 | 대륙의 조산대 하부 |
| 안산암질 마그마 | <u>OH⁻</u> 를 포함한 광물을 많이 포함하고 있는 해양 지각이 섭입하는 경우, 현무암에 <u>물</u> 이 함께 섭입하므로 용융점이 (높아져 / <u>낮아져</u>) 만들어짐 | 섭입대 |

마그마의 분화 작용

고온의 마그마가 냉각되기 시작하면 모든 광물이 동시에 결정으로 정출되는 것이 아니라 용융점이 높은 광물부터 순서대로 정출되어 마그마의 성분이 변하는데, 이러한 작용을 마그마의 분화 작용이라고 함



보엔의 반응 계열

마그마의 분화 작용으로 규산염 광물이 정출되는 순서를 나타낸 것

| 마그마 종류 | 보엔의 반응 계열 | 온도 | 암석 | 구분 | 초기 정출 | 후기 정출 |
|--------------------------------|--|---------------------|-------------------------------|--|------------|---------------|
| 현무암질 ↓ 안산암질 ↓ 유문암질 | 불연속 반응 계열 감람석 ↓ 회석 ↓ 각섬석 ↓ 흑운모 ↓ 정장석, 백운모, 석영 | Ca 많음 ↓ Na 많음 | 고온 (초기 정출) ↓ 저온 (후기 정출) | 현무암 반려암 안산암 섬록암 유문암 화강암 | 정출 온도 | 높음 ↓ 낮음 |
| | | | | 색 | 어두움 | 밝음 |
| | | | | 밀도 | 큼 | 작음 |
| | | | | 많은 원소 | Fe, Mg, Ca | Na, K |
| | | | | SiO ₂ 함량 | 적음 | 많음 |
| | | | | 암석 예 | 현무암 | 화강암 |

- ① 연속 반응 계열 : 고온에서 Ca이 많이 포함된 Ca 사장석이 정출되고, 점차 온도가 내려가면서 Ca 사장석과 마그마의 잔액이 반응하여 Na 성분이 많이 포함된 Na 사장석이 정출됨
- ② 불연속 반응 계열 : 고온에서 감람석이 먼저 정출되고, 마그마 잔액과 감람석이 반응하여 회석이, 회석이 다시 마그마와 반응하여 각섬석이, 이어서 흑운모가 정출됨
- ③ 두 반응 계열은 저온에서 합쳐져 정장석 → 백운모 → 석영 순으로 정출됨

화성암

지구 내부에서 만들어진 마그마가 지각 내부와 지표에서 냉각되어 만들어진 암석

산출 상태에 따라 심성암, 반심성암, 화산암으로 구분되며 마그마의 냉각 속도가 달라 조직이 다르게 나타남

(1) 활동

- ① 화산 활동 : 마그마가 지표로 분출하는 활동
- ② 심성 활동 : 마그마가 지하에서 다른 암석에 관입하는 활동

(2) 화성암의 조직

화성암을 이루는 광물 입자들이 모여서 나타내는 특징

| 구분 | 조립질 조직 | 반상 조직 | 세립질 조직 |
|-------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 냉각 속도 | 느림 | 중간 | 빠름 |
| 특징 | 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 식어 굳어져 입자가 크고 고른 조직 | 마그마가 비교적 빨리 굳어져 세립질 바탕에 조립질 결정을 갖는 조직 | 마그마가 지표에서 급히 식어 굳어져 결정이 잘 성장하지 못한 조직 |

(3) 화성암의 분류

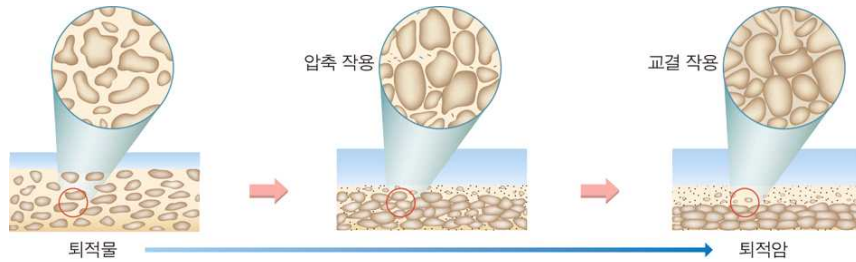
| 화학 조성에 의한 분류 | | | 염기성암 | 중성암 | 산성암 | |
|--------------|--------|---------------------|------------|--------|--------|-----------|
| 조직에 의한 분류 | 성질 | SiO ₂ 함량 | 적음 ← 52 % | → 66 % | → 많음 | |
| | | 색 | ← 어두운 색 | 중간 | → 밝은 색 | |
| | | 원소 | Ca, Fe, Mg | | | Na, K, Si |
| | | 조직 | ← 큼 | | → 작음 | |
| | 냉각 속도 | ↓ 많은 원소 밀도 | | | | |
| 화산암 | 세립질 조직 | 빠르다 | 현무암 | 안산암 | 유문암 | |
| 심성암 | 조립질 조직 | 느리다 | 반려암 | 섬록암 | 화강암 | |

주제 퇴적암과 변성암

퇴적암

지표의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 만들어진 퇴적물이 운반 및 퇴적되어 굳어진 암석

(1) 형성 과정

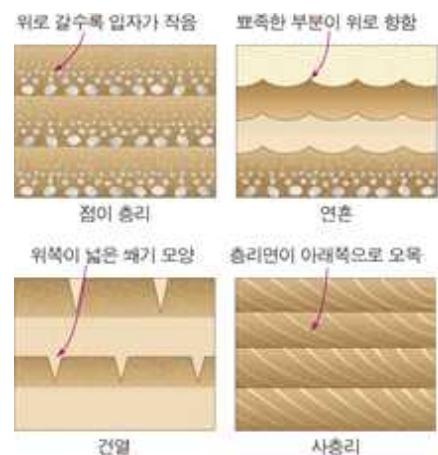


| | |
|-------|--|
| 압축 작용 | 퇴적물이 쌓이면 퇴적물의 무게에 눌러 아래 부분의 퇴적물 사이 간격이 감소함 퇴적물 사이에 있던 <u>물</u> 이 빠져 나가면서 치밀하고 단단해짐 |
| 교결 작용 | 물 속에 녹아 있던 CaCO_3 , SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 물질 등이 침전되면서 입자 사이의 간격을 메우고 입자들을 서로 <u>연결</u> 시켜줌 |
| 숙성 작용 | 퇴적물이 쌓인 후 퇴적암이 되기까지 거치는 모든 과정 숙성 작용이 진행될수록 퇴적암의 밀도는 (<u>증가</u> / 감소) 하고 공극은 (증가 / <u>감소</u>) 함 |

(2) 퇴적 구조

퇴적 장소와 퇴적 당시의 환경에 따라 다양한 특징적인 구조들이 발달되어 있는데, 이를 퇴적 구조라고 하며 퇴적 구조를 통해 퇴적 환경이나 지층의 상하를 판단할 수 있음

| 구조 | 점이 층리 | 연흔 |
|----|--|---|
| 특징 | 지층을 이루는 퇴적암의 한 층 내에서 아래쪽의 입자는 (<u>크</u>)고 / 작고) 위로 갈수록 입자가 (커지는 / 작아지는) 구조 | 수심이 (깊은 / <u>얕은</u>) 곳이나 바람이 부는 곳에서 형성되며 뾰족한 부분이 위로 향하고 파의 골에 해당하는 부분은 넓게 나타남 |
| 구조 | 사층리 | 건열 |
| 특징 | 모래나 작은 모래로 이루어진 지층에 평행하지 않고 경사져 있는 미세한 층리 수심이 (깊은 / <u>얕은</u>) 곳이나 바람의 방향이 자주 바뀌는 사막 환경에서 잘 나타남 | 얇은 물 밑에 있던 진흙층이 수면 위로 노출되어 수분이 증발되고 진흙이 <u>수축</u> 하여 갈라진 틈이 생김 |



쇄설성 퇴적암

지표의 암석이 풍화·침식되어 생긴 암석 조각이나, 화산 분출물이 쌓여서 형성된 퇴적암

| 입자의 크기 | 퇴적암 | | 퇴적물 |
|---------------------------------|---------|-----|-----|
| 2mm 이상 | 역암, 각력암 | | 자갈 |
| $2^{-4} \sim 2\text{mm}$ | 사암 | | 모래 |
| $2^{-8} \sim 2^{-4} \text{ mm}$ | 이암, 세일 | 실트암 | 실트 |
| 2^{-8} mm 이하 | | 점토암 | 점토 |

| 화산 쇄설물 | 화산진 | 화산재 | 화산력 | 화산암괴 |
|--------|-----------|------------|--------------------|-------------------|
| 입자의 크기 | 0.06mm 이하 | 0.06 ~ 2mm | 2 ~ 2^6mm | 2^6mm 이상 |

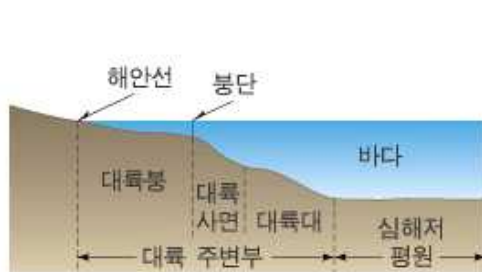
퇴적암의 생성 환경

(1) 육상 환경 : 강바닥, 호수, 사막 등

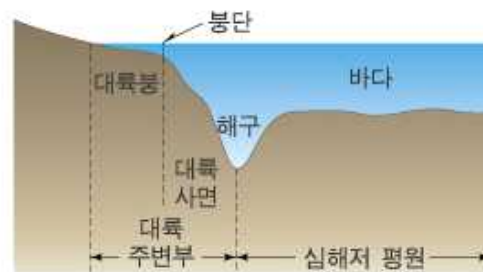
- ① 호상 점토층 : 여름에 퇴적된 밝은 색의 조립질 퇴적물과 겨울에 퇴적된 어두운 색의 세립질 퇴적물이 교대로 쌓여 형성됨
- ② 선상지 : 계곡과 평지가 만나는 곳에 형성되는 부채꼴 모양의 퇴적층

(2) 해양 환경 : 천해나 심해 등

- ① 대륙붕 : 퇴적암의 60% 정도가 형성되는 곳으로 열대나 아열대에서는 생물의 유해에 의해 석회암층이 형성됨
- ② 대륙대 : 저탁류에 의한 저탁암이 형성됨
- ③ 심해저 평원 : 주로 점토질 물질이나 유기질 물질이 퇴적됨



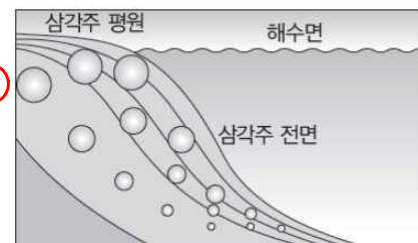
(㉞) 대서양형



(㉟) 태평양형

(3) 전이 환경 : 강의 하구와 바다가 만나는 삼각주, 석호 등

- ① 삼각주 : 점차 바다쪽으로 확장되므로 위로 갈수록 입자의 크기가 (커지는 / 작아지는) 경향이 나타남
- ② 석호 : 담수와 해수가 섞이는 곳, 염분의 변화가 커서 생물이 살기 어렵기 때문에 화석이 거의 없음



변성암

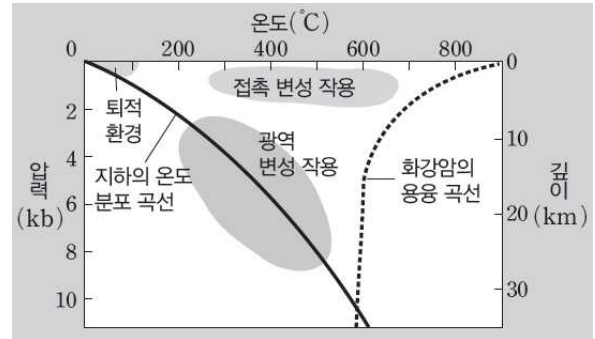
기존의 암석이 변성 작용에 의해 만들어지는 암석으로 변성작용은 크게 두 가지로 분류할 수 있음

변성 작용

(1) 접촉 변성 작용

마그마가 관입할 때 방출한 열에 의해 마그마와의 접촉부를 따라 일어나는 변성 작용

- **호펠스** 조직 : 입자의 방향성이 없으며 치밀하고 균질하게 짜여진 조직
- **임상 변정질** 조직 : 크기가 비슷하고 비교적 굵은 광물 입자로 짜여진 조직



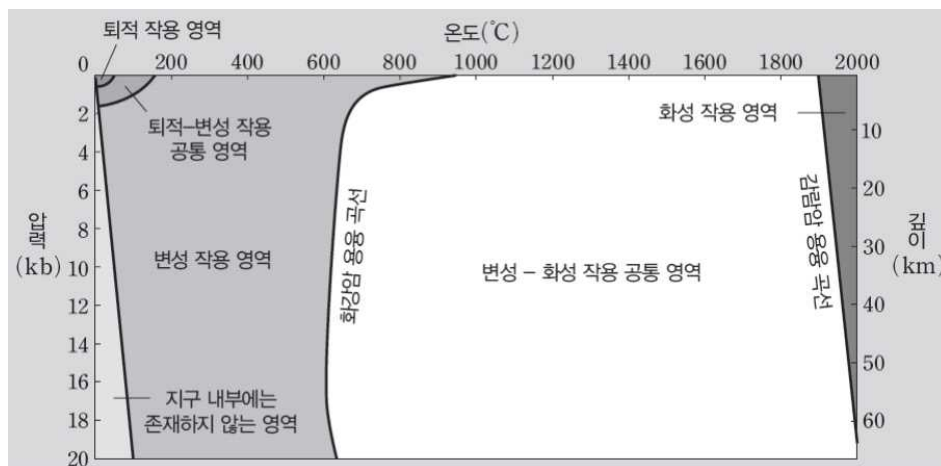
(2) 광역 변성 작용

조산 운동이 일어나는 지역에서 넓은 범위에 걸쳐 열과 압력에 의해 나타나는 변성 작용

- 편리 : 얇은 판상으로 배열된 엽리를 보이는 것, (조립질 / 세립질) 광물이 압력을 받을 때 생성되는 줄무늬 구조
- 편마 구조 : (조립질 / 세립질) 광물이 압력을 받거나 편리 구조가 더욱 심한 압력과 열을 받으면 **재결정** 작용으로 결정의 크기가 커지고 유색광물과 무색광물이 교대로 평행한 줄무늬를 이루는 구조

변성암의 종류

| 변성 작용 | 원인 | 원암 | 변성암 |
|-------|-------------------|-----|--|
| 접촉 변성 | 마그마의 관입 (주로 열) | 세일 | 호펠스 |
| | | 사암 | 규암 |
| | | 석회암 | 대리암 |
| 광역 변성 | 조산 운동 (열과 압력) | 세일 | 정판암 → 철매암 → 편암 → 편마암 |
| | | 사암 | 규암 |
| | | 석회암 | 대리암 |
| | | 현무암 | 녹색 편암 → 각섬석 편암 → 편마암 |
| | | 화강암 | 화강 편암 → 화강 편마암 |



*혼성암 : 암석의 용융점 부근에서 고변성 작용과 암석의 용융이 함께 일어나서 생성된 암석으로 변성암과 화성암의 특징을 함께 가짐

주제 판 구조론

판 구조론이 정립되기까지

(1) 대륙 이동설

베게너는 “초대륙이 분리되고 이동하여 현재와 같은 대륙 분포를 이루었다.”는 대륙 이동설을 주장했지만 대륙 이동의 원동력을 설명하지 못해 인정받지 못함

✓ 대륙 이동설의 증거

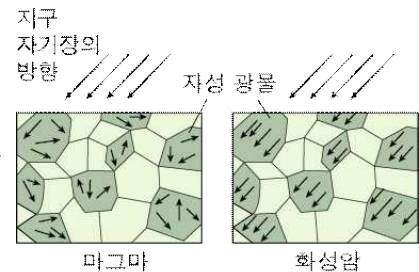
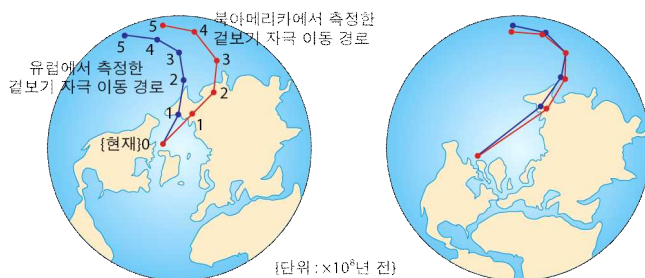
- ① 대서양 해안선의 일치
- ② 고생대 화석 분포의 연속성
- ③ 지질 구조의 연속성
- ④ 빙하 퇴적층의 분포와 빙하 이동 흔적의 연속성

(2) 맨틀 대류설

홈스가 “맨틀 내에서 일어나는 열 대류에 의해 대륙이 이동한다.”는 맨틀 대류설을 주장하여 대륙 이동의 원동력을 설명함

(3) 고지자기와 대륙 이동

- 잔류 자기 : 마그마가 식어 굳거나 퇴적물이 퇴적될 때 자성 광물이 당시의 지구 자기장 방향으로 자화되고, 그 후 지구 자기장의 방향이 변해도 당시의 자성 광물의 자화 방향은 그대로 보존되는 것
- 걸보기 자극 이동 경로의 비교

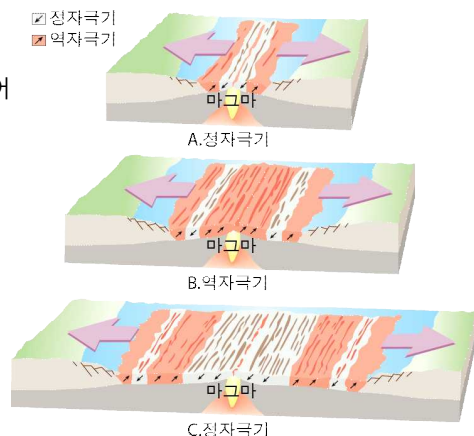


(4) 해저 확장설

헤스는 “맨틀 대류가 상승하는 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 대륙 쪽으로 이동함에 따라 해저가 확장되어 간다.”고 주장함

✓ 해저 확장설의 증거

- ① 해양지각의 나이
- ② 심해 퇴적물의 두께
- ③ 해저 고지자기 줄무늬의 분포



판의 경계와 지각 변동

(1) 발산형 경계

맨틀이 상승하여 판과 판이 멀어지는 경계, 새로운 지각이 만들어짐

- ① 대륙판과 대륙판의 발산 : 화산활동과 천발지진 발생, 열곡대의 갈라진 틈으로 현무암질 마그마가 분출하며 새로운 지각이 생성되고, 바닷물이 유입되어 새로운 바다가 형성됨 예 동아프리카 열곡대, 홍해
- ② 해양판과 해양판의 발산 : 화산활동과 천발지진 발생, 해양판이 갈라지는 곳에서 해령과 열곡이 형성되고 새로운 해양 지각이 생성됨 예 동태평양 해령, 대서양 중앙 해령

(2) 수렴형 경계

맨틀이 하강하여 두 판이 충돌하거나 밀도가 큰 판이 섭입하는 경계, 지각이 소멸됨

- ① 대륙판과 대륙판의 충돌 : 화산활동은 거의 없고, 천발~중발 지진이 발생함, 두 대륙판이 충돌하며 습곡 산맥이 형성됨 예 히말라야 산맥
- ② 해양판과 해양판의 수렴 : 화산활동과 천발~심발 지진이 발생, 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 해양판 아래로 섭입하면서 판의 경계에 해구가 형성되고 해구와 나란한 호상 열도가 형성됨 예 마리아나 해구-마리아나 제도
- ③ 대륙판과 해양판의 수렴 : 화산활동과 천발~심발 지진이 발생, 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 아래로 섭입하면서 판의 경계에 해구가 형성되고 해구와 나란한 호상 열도나 습곡 산맥이 형성됨 예 일본해구-일본 열도, 페루-칠레 해구-안데스 산맥

(3) 보존형 경계

판의 생성이나 소멸 없이 어긋나는 경계

변환 단층이 발달하며 변환 단층에서는 화산활동은 거의 없고 천발지진이 자주 발생함 예 산안드레아스 단층



주제 단열 변화

대기중의 물

(1) 포화 수증기량

단위 부피의 공기 속에 수증기를 최대한 포함했을 때의 수증기량
온도가 높을수록 포화 수증기량이 (증가 / 감소) 함

(2) 이슬점

현재 수증기량이 포화되는 온도

현재 수증기량이 많을수록 이슬점이 (높음 / 낮음)

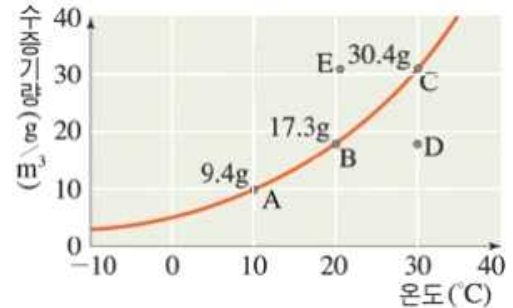
(3) 상대습도

대기가 최대로 포함할 수 있는 수증기에 대하여 수증기를 포함한 정도를 백분율로 나타낸 것

$$\text{상대습도} = \frac{\text{현재 수증기량}}{\text{포화 수증기량}} \times 100$$

① 온도와 이슬점의 차이가 클수록 상대습도 (커짐 / 작아짐)

② 현재 수증기량은 이슬점의 포화 수증기량과 같음



9. 위의 그림을 참고하여 D 공기의 상대 습도와 C 공기의 상대 습도를 구하시오.


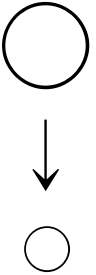
$$D = \frac{17.3}{30.4} \times 100 = 56.9\% \quad C = \frac{30.4}{30.4} \times 100 = 100\%$$

(4) 절대습도

단위 부피 속의 수증기량

단열 변화

외부와 열 교환이 차단된 공기의 부피 변화에 따른 온도 변화

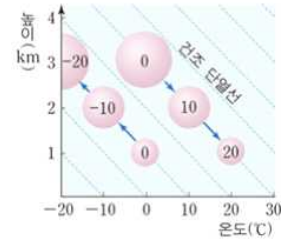
| 단열변화 | 단열 팽창 | 단열 압축 |
|------|---|---|
| 발생 | 보통 <u>저기압</u> 일 때 | 보통 <u>고기압</u> 일 때 |
| 특징 |  <ul style="list-style-type: none"> ⑦ 구름 <u>생성</u> ⑥ 수증기 <u>응결</u> ⑤ 기온 <u>감소</u> ④ 내부 에너지 <u>감소</u> ③ 부피 <u>증가</u> ② 주변 기압 <u>감소</u> ① 공기 상승 |  <ul style="list-style-type: none"> ① 공기 하강 ② 주변 기압 <u>증가</u> ③ 부피 <u>감소</u> ④ 내부 에너지 <u>증가</u> ⑤ 기온 <u>증가</u> ⑥ 물의 <u>증발</u> ⑦ 구름 <u>소멸</u> |
| | 1. 단위 부피 속 수증기량 : 증가 / <u>감소</u> 2. 이슬점 : 증가 / <u>감소</u> 3. 포화 수증기량 : 증가 / <u>감소</u> | 1. 단위 부피 속 수증기량 : <u>증가</u> / 감소 2. 이슬점 : <u>증가</u> / 감소 3. 포화 수증기량 : <u>증가</u> / 감소 |

단열 감률

공기가 상승/하강할 때 단열 변화로 온도가 변하는 비율

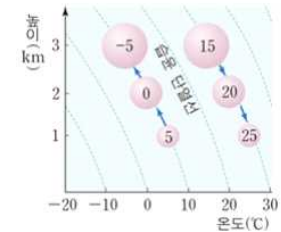
(1) 건조 단열 감률

(포화 / 불포화) 상태의 공기가 단열 변화할 때 높이에 따라 온도가 변하는 정도
높이가 100m 상승할 때마다 약 1 °C씩 감소함



(2) 습윤 단열 감률

(포화 / 불포화) 상태의 공기가 단열 변화할 때 높이에 따라 온도가 변하는 정도
높이가 100m 상승할 때마다 약 0.5 °C씩 감소함



(3) 이슬점 감률

높이에 따라 공기의 이슬점이 변하는 정도

높이가 100m 상승할 때, 불포화 공기일 때는 약 0.2 °C, 포화 공기일 때는 약 0.5 °C씩 감소함

(4) 기온 감률

높이에 따라 대기층의 온도가 변하는 정도

높이가 100m 상승할 때마다 약 0.65°C씩 감소함

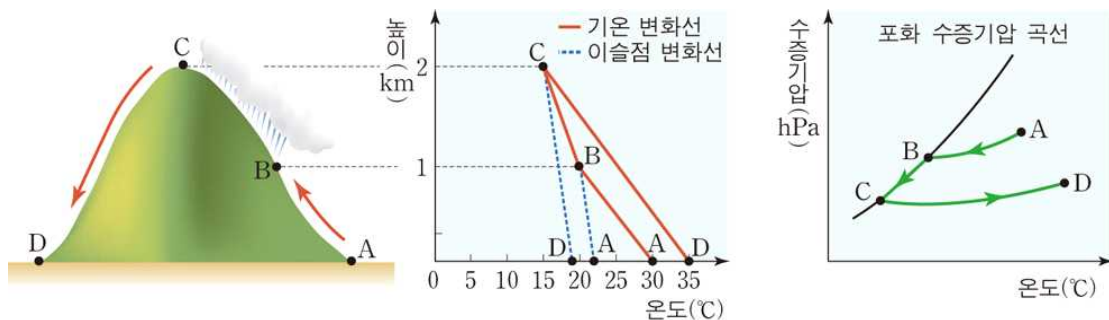
상승 응결 고도

구름이 생성되기 시작하는 높이 = 불포화된 공기가 상승하여 응결이 일어나기 시작하는 높이

$$H = 125(T - T_d) \quad (\text{단, } T \text{는 기온, } T_d \text{는 이슬점})$$

핀(Föhn) 현상

높은 산을 넘어온 공기가 산을 넘어 전에 비해 고온 건조해지는 현상



| 구간 | 공기 상태 | 단열 변화 | 기온 변화 | 이슬점 변화 | 상대습도 | 절대습도 |
|-------|-------|----------|----------------------------------|----------------------------------|----------|------|
| A → B | 불포화 | 건조 단열 팽창 | $-1^\circ\text{C}/100\text{m}$ | $-0.2^\circ\text{C}/100\text{m}$ | 증가 | 감소 |
| B → C | 포화 | 습윤 단열 팽창 | $-0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ | $-0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ | 100%로 일정 | 더 감소 |
| C → D | 불포화 | 건조 단열 압축 | $+1^\circ\text{C}/100\text{m}$ | $+0.2^\circ\text{C}/100\text{m}$ | 감소 | 증가 |

✓ 뽕새바람

우리나라에서 늦은 봄 ~ 초여름에 걸쳐 동해로부터 태백산맥을 넘어오는 북동풍으로, 핀 현상의 일종임

고온 건조한 뽕새바람으로 인해 태백산맥의 서쪽 지역이 피해를 입음

주제 대기 안정도

대기 안정도

대기의 안정 상태 및 불안정 상태를 나타내는 것으로 대기의 안정도는 공기 덩어리가 연직 방향으로 잘 움직일 수 있느냐 또는 그렇지 않느냐에 따라 결정됨

(1) 기온 감률 : 지표부터 특정 높이까지 온도가 감소하는 비율

단열 감률 : 공기가 이동할 때 온도가 감소하는 비율

(2) 안정한 기층 (기온 감률 < 단열 감률)

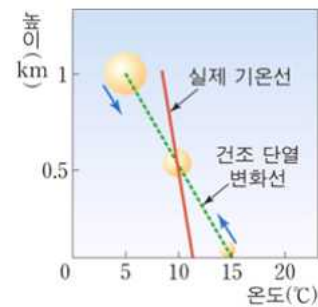
① 공기 상승 → 단열 팽창 → 기온 하강

⇒ 주위 공기보다 기온이 (높아 / 낮아) 원위치로 복귀

② 공기 하강 → 단열 압축 → 기온 상승

⇒ 주위 공기보다 기온이 (높아 / 낮아) 원위치로 복귀

③ 공기 덩어리의 상하 운동 (활발 / 억제)



(3) 불안정한 기층 (기온 감률 > 단열 감률)

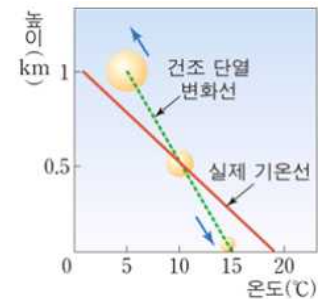
① 공기 상승 → 단열 팽창 → 기온 하강

⇒ 주위 공기보다 기온이 높아 계속 상승

② 공기 하강 → 단열 압축 → 기온 상승

⇒ 주위 공기보다 기온이 낮아 계속 하강

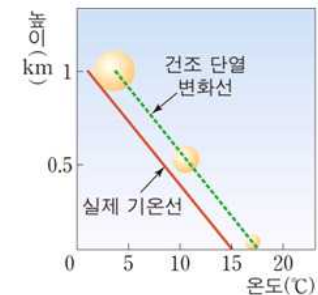
③ 공기의 연직 운동이 (활발 / 억제)



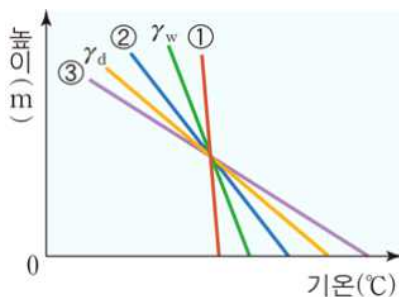
(4) 중립 (기온 감률 = 단열 감률)

상승하거나 하강한 공기의 온도가 주위 공기의 온도와 같게

되면 그 위치에 머물러 있는 경우



(5) 대기 안정도 판별

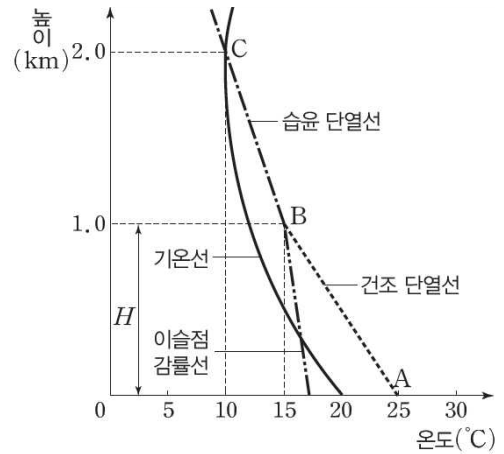


| ① | ② | ③ |
|----------------------------------|---|----------------------------------|
| 절대 안정 | 조건부 불안정 | 절대 불안정 |
| $\gamma < \gamma_w < \gamma_d$ | $\gamma_w < \gamma < \gamma_d$ | $\gamma_w < \gamma_d < \gamma$ |
| 공기의 연직 운동이 억제 ⇒ <u>층운형 구름</u> | 불포화 공기 ($\gamma < \gamma_d$) ⇒ <u>연직운동억제</u> 포화 공기 ($\gamma_w < \gamma$) ⇒ <u>적운형 구름</u> | 공기의 연직 운동이 활발 ⇒ <u>적운형 구름</u> |

(단, γ_d 는 건조 단열 감률이고 γ_w 는 습윤 단열 감률이다.)

적운의 형성

- ① 지표면 부근의 공기 덩어리가 부분적으로 가열되어 같은 높이의 주위 공기보다 가벼워지면 상승하기 시작함
- ② 공기 덩어리가 불포화 상태라면 상승하면서 건조 단열 변화에 의한 팽창이 일어나므로 기온은 A—B를 따라 낮아지고, 이슬점은 이슬점 감률선을 따라 낮아짐
- ③ 공기 덩어리가 상승하면 기온과 이슬점의 차이가 점점 (늘어나 / 줄어들어) 상대습도가 높아지다가 상승 응결 고도에 도달하면 포화 상태가 되어 응결이 일어나기 시작함
- ④ 상승 응결 고도에 도달하여 구름이 생성되기 시작한 공기 덩어리가 주위 공기보다 온도가 높으면 B—C를 따라 계속 상승함
- ⑤ 상승하는 공기 덩어리의 온도가 주위 공기의 온도와 같아지는 C 지점에 도달하면 더 이상 상승하지 않아 구름의 생성은 종료됨



대기의 안정도와 날씨

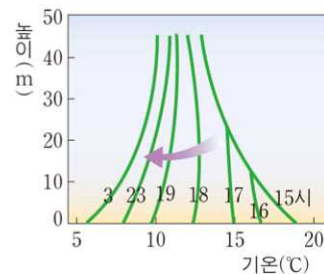
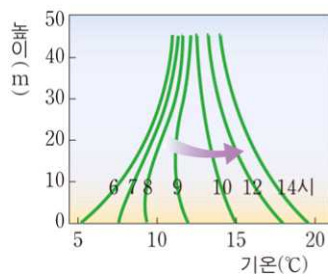
(1) 역전층

대기권에서 위로 올라갈수록 기온이 높아지는 분포를 보이는 구간

이런 경우 대기층이 가장 (안정 / 불안정) 함

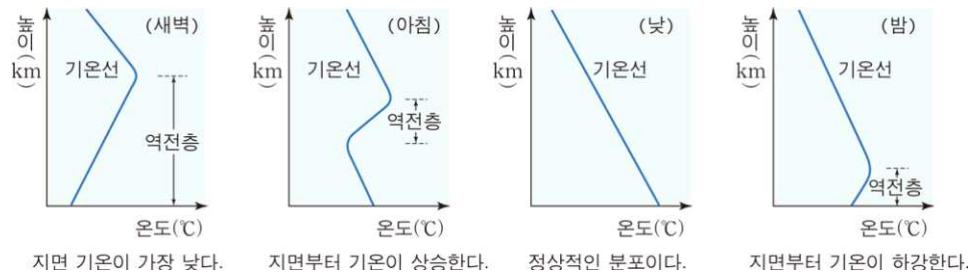
| 침강 역전층 | 복사 역전층 |
|--|---|
| 고기압 지역에서는 발달하는 하강 기류에 의한 단열 압축으로 기온이 상승하여 침강하는 상부의 공기가 하부에 있는 공기보다 기온이 높은 경우가 생김 | 찬 지면에 접한 공기가 밤사이에 냉각되어 생기는 역전층을 말하며 바람이 없는 맑은 봄, 가을 밤에 잘 생김 |
| 이류 역전층 | 전선 역전층 |
| 찬 대륙이나 공기 위로 따뜻한 공기가 이동해 오면 하부보다 상부의 기온이 높아져 역전층이 형성됨 | 온난 전선은 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 이동할 때 발생하므로 이때 역전층이 발달함 |

(2) 역전층의 생성과 소멸



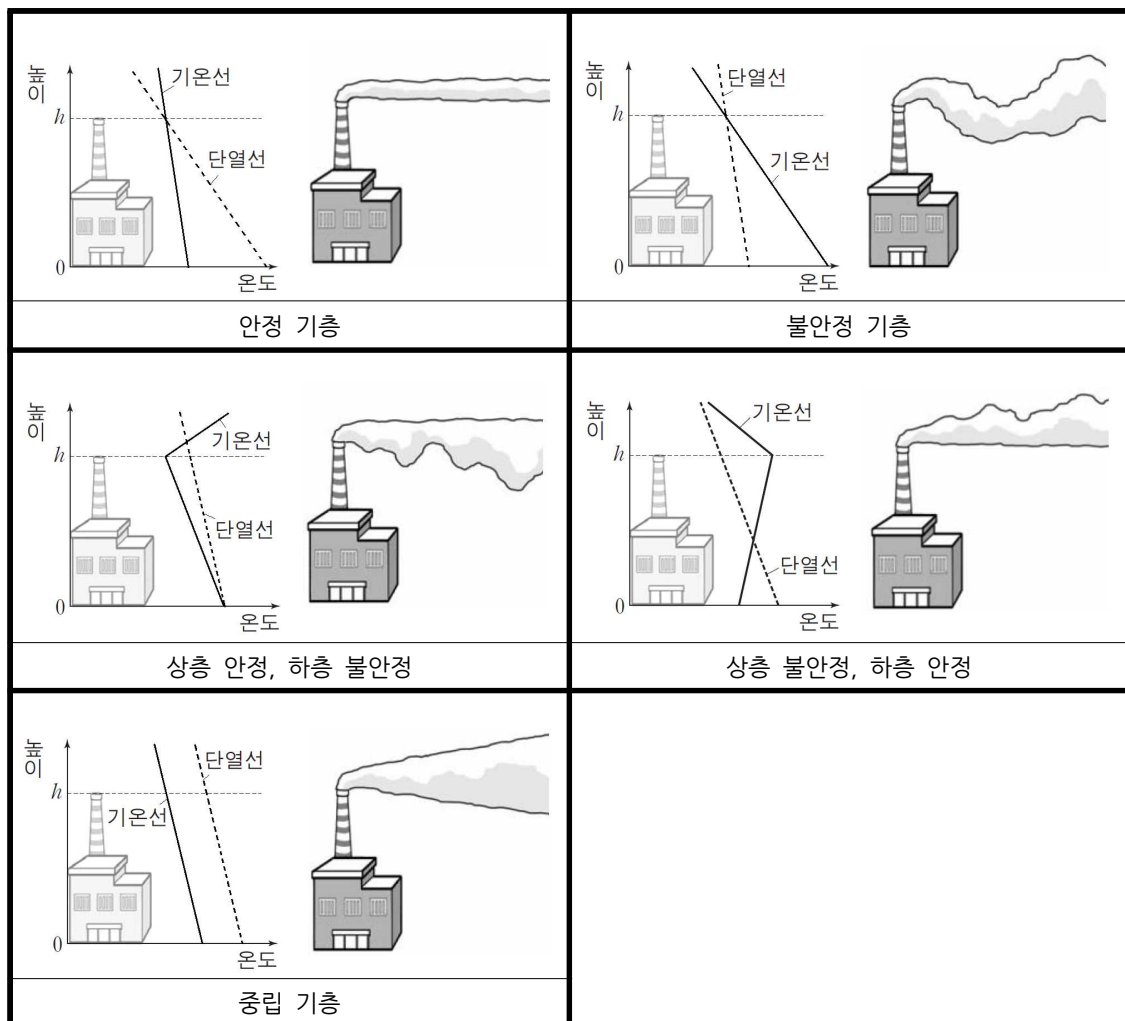
- ① 일출과 더불어 가열된 지표 근처의 공기는 14시경에 온도가 가장 높음
높이에 따른 기온 감률이 가장 커서 하루 중 가장 (안정 / 불안정) 한 대기가 됨

- ② 시간이 지나면 지표면이 냉각 되어 지표면 근처의 공기는 지표면에 열을 빼앗기면서 냉각되기 시작하여 해가 진 후에 역전층이 형성됨
- ③ 역전층은 밤을 지나면서 더욱 발달하여 해 뜨기 직전인 6시경에 가장 (얇음 / 두꺼움) 이때가 하루 중 가장 (안정 / 불안정) 하며 안개 나 스모그 가 잘 발생함
- ④ 일출이 되면 지표면이 가열되어 지표면에 접한 공기는 온도가 계속 상승함
오전에 시간이 지나면서 지표면이 점점 가열되고 한낮이 되면 역전층이 소멸되며 다시 불안정해짐



굴뚝의 연기

연기가 퍼져 나가는 모습을 보고 대기의 안정도를 파악할 수 있음



주제 바람에 작용하는 힘

대기의 압력

(1) 기압 : 대기의 압력으로, 공기 기둥의 평균 밀도를 ρ , 중력 가속도를 g , 공기 기둥의 높이를 h 라고 하면 기압 P 는 ρgh 로 표현할 수 있음

(2) 기압의 단위 : hPa (1hPa=100N/m²)

*1기압 = 76cmHg $\approx 1013 \times 100\text{N/m}^2 = 1013\text{hPa}$

(3) 기압의 변화 : 지표에서 위로 올라갈수록 공기의 밀도가 (커지고 / 작아지고), 공기 기둥이 짧아지므로 기압이 (높아진다 / 낮아진다).

바람에 작용하는 힘

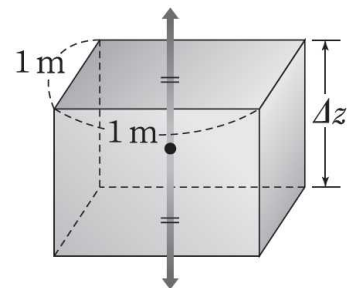
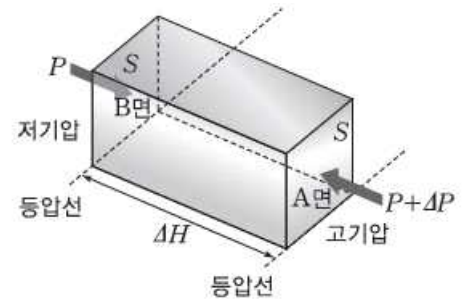
(1) 기압 경도력 : 두 지점 사이의 기압 차이에 의해 생기는 힘, 바람을 일으키는 근원적인 힘

- ① 방향 : 고기압에서 저기압 쪽으로 등압선에 직각 인 방향으로 작용
- ② 크기 : 기압의 크기가 각각 P , $P+\Delta P$ 인 두 등압선이 ΔH 거리만큼 떨어져 있을 때, 면적 S 인 A면과 B면에 작용하는 힘은 각각 $(P+\Delta P)S$, PS 임

→ 단위 질량의 공기에 작용하는 기압 경도력(P_H)= $\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta H}$

③ 정역학 평형

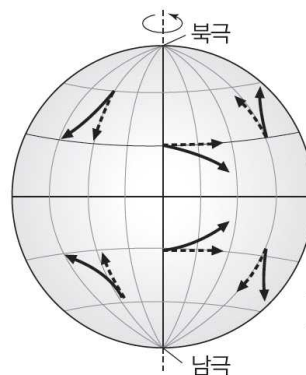
고도가 낮은 곳은 높은 곳에 비해 기압이 높으므로 기압 경도력은 고도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 작용함. 그러나 연직 방향의 기압 경도력은 공기의 질량에 의해 생기는 중력과 평형을 이루어 상쇄되어 공기는 수평 방향의 기압 경도력에 의한 운동만 나타나게 됨



(2) 전향력(C) : 지구 자전에 의해 나타나는 겉보기 힘, 지구 상에서 운동하는 물체에 작용

- ① 방향 : 북반구에서는 물체가 진행하는 방향의 오른쪽 직각 방향, 남반구에서는 물체가 진행하는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 작용함

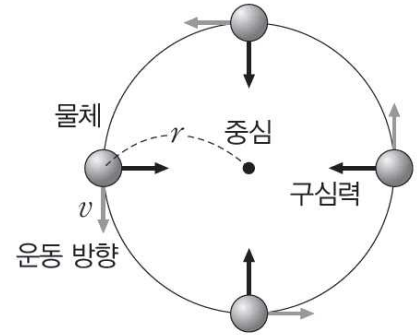
- ② 크기 : $C=2v\omega\sin\phi$ (v : 운동 속도, ω : 지구 자전 각속도, ϕ : 위도)



지구 자전의 효과

--- 물체를 던진 방향
→ 전향력에 의해 물체가 이동하는 방향

(3) 구심력 : 물체의 궤적을 직선이 아닌 곡선이 되게 만드는 힘, 바람에 작용하는 구심력은 기압 경도력에서나 중력에서의 질량처럼 이 힘을 만드는 요소가 있는 것이 아니고 물체에 작용하는 힘들의 합력임. 바람에 작용하는 구심력은 기압 경도력과 전향력의 차이로 나타남.



① 방향 : 회전축 방향으로 작용

② 크기 : $C_F = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ (C_F : 공기 1kg에 작용하는 구심력, v : 운동 속도, ω : 각속도, r : 회전 반지름)

(4) 마찰력 : 지표면 가까이에서 운동하는 공기는 지표면이나 공기 자체의 마찰에 의해 운동을 방해하는 힘

① 방향 : 풍향의 반대 방향으로 작용

② 크기 : 지표면이 거칠수록, 지표면에 가까울수록, 풍속이 클수록 커짐

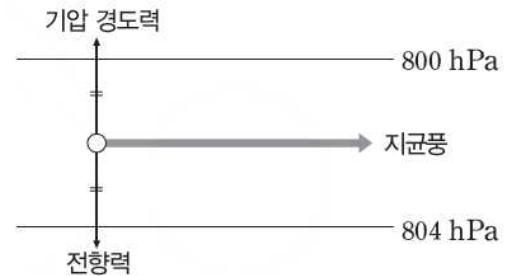
상공에서 부는 바람

(1) 지균풍 : 높이 1km 이상의 상층에서 등압선이 직선으로 나란할 때 부는 바람

① 작용하는 힘 : 기압 경도력과 전향력이 평형을 이룸

② 풍향 : 북반구의 경우 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향

③ 풍속 : 기압 경도력이 클수록 빠르고, 기압 경도력의 크기가 같을 경우 저위도로 갈수록 빠름



$$v = \frac{1}{2\rho\omega\sin\phi} \frac{\Delta P}{\Delta H}$$

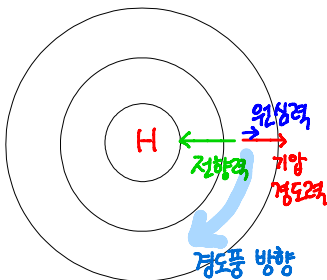
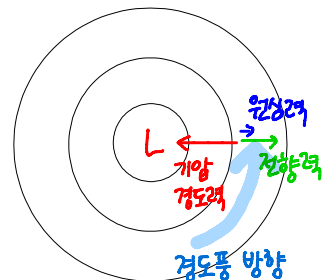
(2) 경도풍 : 높이 1km 이상의 상층 대기에서 등압선이 원형이나 곡선일 때 부는 바람

① 작용하는 힘 : 기압 경도력, 전향력, 구심력

② 풍향

| | 북반구 | 남반구 |
|-------------|--------|--------|
| 중심부가 고기압일 때 | 시계 방향 | 반시계 방향 |
| 중심부가 저기압일 때 | 반시계 방향 | 시계 방향 |

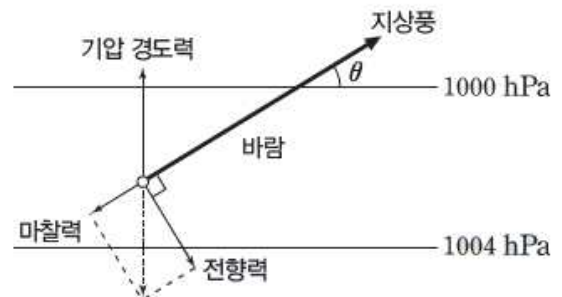
③ 풍속 (북반구 기준)

| 중심부가 고기압일 때 | 중심부가 저기압일 때 |
|--|---|
|  <p>전향력 = 기압경도력 + 구심력</p> |  <p>전향력 + 구심력 = 기압경도력</p> |

지상에서 부는 바람

(1) 지상풍 : 지표면의 마찰이 작용하는 높이 1km 이하의 대기 경계층에서 부는 바람

- ① 작용하는 힘 : 기압 경도력, 전향력, 마찰력
- ② 풍향 : 북반구에서는 기압 경도력에 대해 오른쪽으로 비스듬하게, 남반구에서는 기압 경도력에 대해 왼쪽으로 비스듬하게 불어감
 - 마찰력이 클수록 등압선과 바람이 이루는 각은 커짐
- ③ 풍속 : 등압선의 간격이 좁을수록, 마찰력이 작을수록 빠름



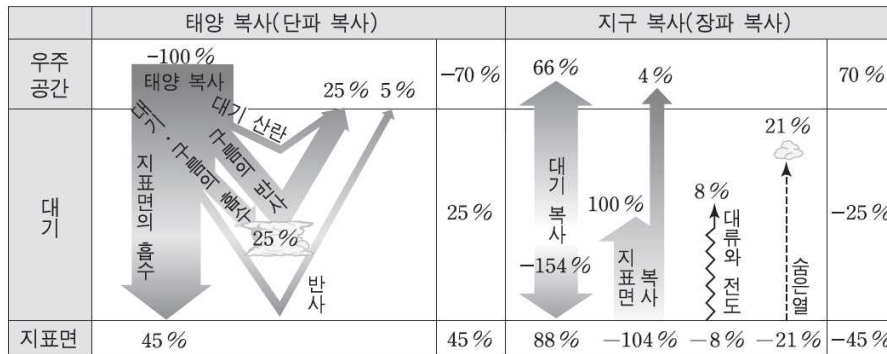
(2) 등압선이 원형일 때의 지상풍

마찰력이 작용하지 않는 상공에서는 바람이 등압선과 나란하게 불지만, 마찰력이 작용하는 지상에서는 바람이 등압선에 비스듬하게 불어감

주제 복사 평형과 대기 순환

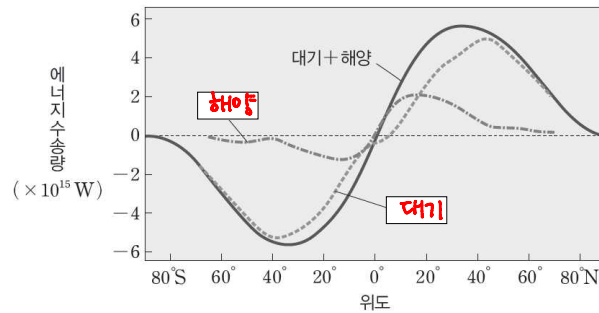
태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지

- (1) 태양 복사 에너지 : γ 선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파 등으로 구성된 전자기파
- (2) 태양 복사는 파장이 (긴 / **짧은**) 영역에 집중되어 있으므로 단파 복사, 지구 복사는 파장이 (**긴** / 짧은) 적외선 영역에 집중되어 있으므로 장파복사라고 함



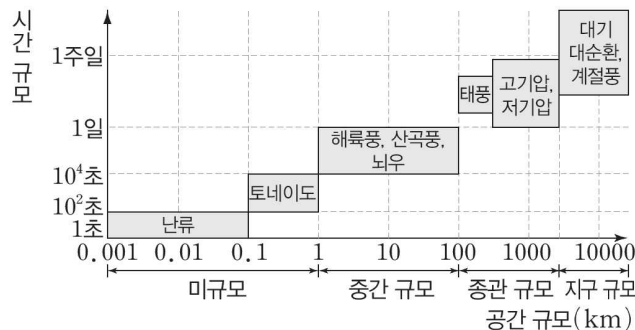
지구의 복사 평형

- (1) 지구의 복사 평형 : 지구가 흡수하는 **태양복사** 에너지의 양과 방출하는 **지구복사** 에너지의 양은 같음
- (2) 위도별 열수지 : 위도에 따라서는 에너지 불균형이 나타나므로 대기와 해수의 순환이 일어나 에너지를 수송함



대기 순환의 규모

공간 규모와 시간 규모에 따라 구분함



미규모

- 난류 : 높이 1km 이하의 대기 경계층(마찰층)에서 나타나는 복잡하고 불규칙한 대기의 흐름
- 토네이도 : 깔때기 모양을 하고 있는 거대한 회오리 바람

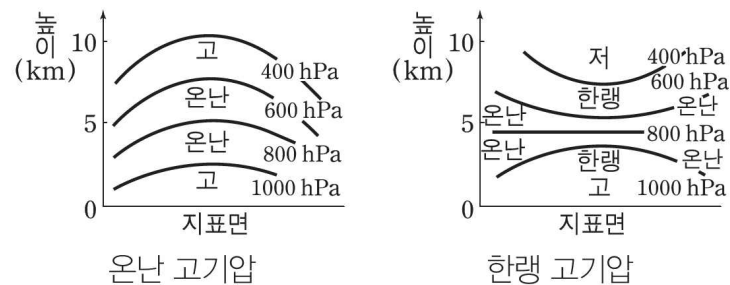
중간 규모

- ① 해륙풍 : 맑은 날 해안의 약 1km 이하의 고도에서 육지와 바다의 온도 차이에 발생하는 바람으로 하루를 주기로 낮에는 (**해풍** / 육풍), 밤에는 (해풍 / **육풍**)이 봄. 열적 순환에 해당됨
- ② 산곡풍 : 산등성이와 골짜기의 온도 차이에 발생하는 바람으로 하루를 주기로 낮에는 (**곡풍** / 산풍), 밤에는 (곡풍 / **산풍**)이 봄. 열적 순환에 해당됨

종관 규모

① 고기압

- 온난 고기압 : 대기 대순환에 의해 상층에서 공기가 수렴하여 발생하며 단열 압축이 일어나는 중심부의 온도가 주변보다 높다. [예] 북태평양 고기압
- 한랭 고기압 : 지표면의 냉각으로 공기가 침강하여 발생하며, 중심부의 온도가 주변보다 낮고 상공에는 저기압이 생긴다. [예] 시베리아 고기압



② 저기압

- 온대 저기압
- 열대 저기압

지구 규모

- ① 계절풍 : 여름에는 대륙이 해양보다 빨리 가열되므로 해양에서 대륙으로 바람이 불고, 겨울에는 대륙이 해양보다 빨리 냉각되므로 대륙에서 해양으로 바람이 분다.
- ② 대기 대순환 : 지구 자전에 의한 전향력의 영향으로 3 개의 순환 세포가 형성됨

