

# 1단원-2단원

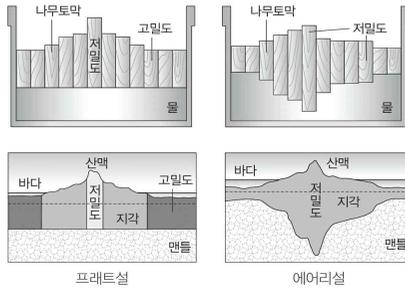
## 운석을 구성하는 주요 원소의 질량비

- 석질운석을 구성하는 주요 원소의 질량비는  $O > Fe > Si > Mg > Ni > Al$  순이다.
- 철질 운석을 구성하는 주요 원소의 질량비는  $Fe > Ni$  순이다.

주요 구성 원소	석질운석	철질 운석
O	33.2 %	-
Si	17.1 %	-
Al	1.2 %	-
Mg	14.3 %	-
Fe	27.2 %	90.8 %
Ni	1.6 %	8.6 %

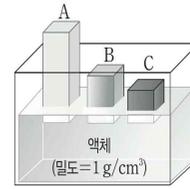
운석의 종류와 주요 구성 원소의 질량비

## 프래트와 에어리의 지각 평형설



- 프래트의 지각 평형설 : 지각의 밀도가 작은 곳일수록 지각의 높이가 높으나, 지각의 밀도와 관계없이 해수면을 기준으로 한 모호면의 깊이가 같다는 지각 평형설이다.
- 에어리의 지각 평형설 : 대륙 지각과 해양 지각의 밀도는 같으나, 높이 솟아오른 대륙 지각의 해수면을 기준으로 한 모호면의 깊이가 해양 지각의 해수면을 기준으로 한 모호면의 깊이보다 깊다는 지각 평형설이다.

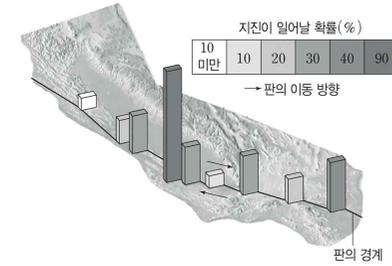
## 프래트의 지각 평형설 모형실험



- 나무토막 밀도 :  $A < B < C$
- 나무토막 하부에 작용하는 압력 :  $A = B = C$

나무 토막	부피 (cm³)	질량 (g)	수면 아래 잠긴 깊이(cm)
A	80	20	3
B	50	20	3
C	40	20	3

## 보존형 경계에서 화산 활동이 없는 이유

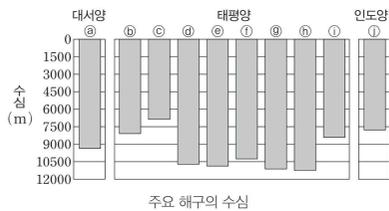


변환 단층에서는 맨틀 대류의 상승류에 의한 고온 물질의 공급이 없어 온도 변화가 거의 나타나지 않는다. 또한 장력이 나 횡압력의 작용도 거의 없어 압력의 변화도 거의 없다. 마그마가 형성되기 위해서는 온도 상승, 압력 감소 등의 변화가 나타나야 하지만 판의 보존형 경계에서는 온도와 압력 변화가 거의 나타나지 않아 마그마가 형성되지 않고, 그로 인해 화산 활동이 거의 일어나지 않는다.

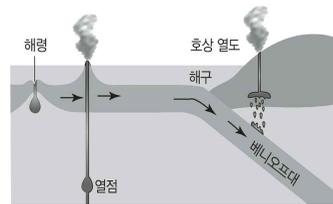
## 주요 해구의 위치와 수심



전 세계 주요 해구의 위치와 수심

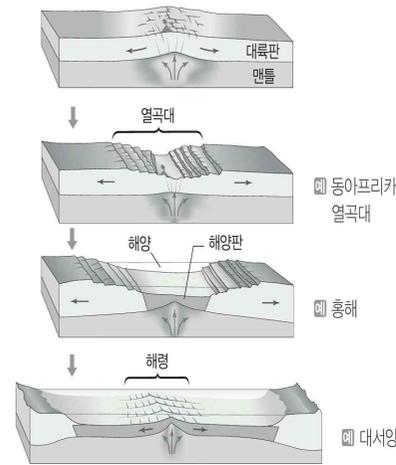


## 판 경계와 열점의 마그마 생성

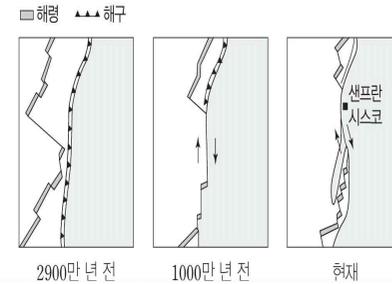


- 해령 : 해령 하부에서는 지하 내부의 압력 감소로 인하여 마그마가 생성된다.
- 열점 : 맨틀 물질의 상승에 의한 압력 감소로 인하여 맨틀이 부분적으로 용융되어 마그마가 생성된다.
- 호상 열도 하부 : 해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 지역에서는 온도와 압력이 증가하는데, 이때 섭입하는 해양판에서 빠져나온 물이 연약권으로 들어가 암석의 녹는점을 내려 부분 용융이 일어나 마그마가 생성된다.

## 발산형 경계의 형성 과정

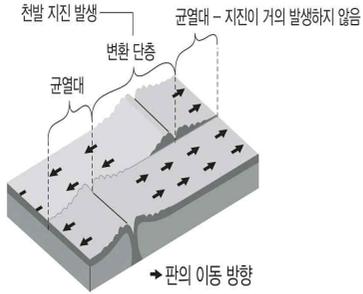


## 산안드레아스 단층의 형성



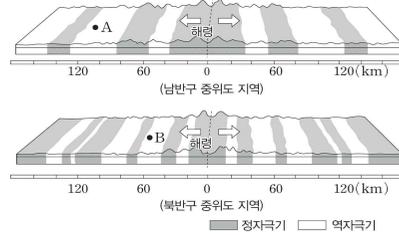
미국 서부 태평양 연안에 약 3000만 년 전부터 해구에 해령이 섭입하면서 판의 보존형 경계가 형성되었으며, 현재 미국 캘리포니아 주에 위치한 도시 로스앤젤레스와 샌프란시스코에는 도시 인근을 가로지르는 변환 단층이 형성되어 있다.

### 해령 주변의 변환 단층과 균열대

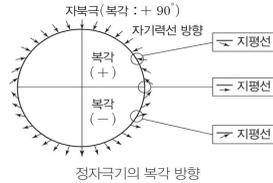


- 변환 단층: 판과 판이 스쳐 지나가는 경계로 천발 지진이 활발하게 발생한다.
- 균열대: 단층선은 남아 있으나, 지각 변동은 거의 나타나지 않는다.

### 고지자기와 판 구조론

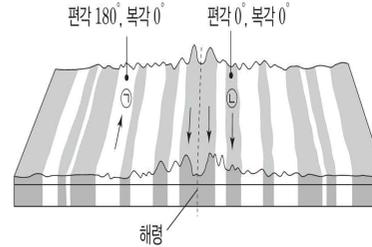


서로 다른 두 해령으로부터 생성된 지각은 해양 지각이 확장되는 속도에 따라 이동 거리가 달라진다. 예를 들어 남반구에 위치한 A 지점과 북반구에 위치한 B 지점은 해령으로부터 떨어진 거리는 다르지만, 고지자기 줄무늬를 기준으로 볼 때 거의 같은 시기에 형성된 지각으로 볼 수 있다.



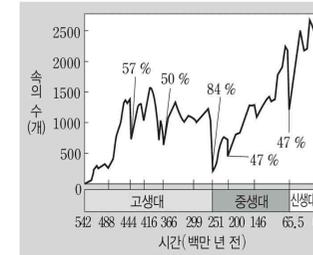
두 지점의 암석이 형성될 당시 지구 자기장은 역자극기였으므로 암석에 기록된 북각 부호는 A 지점은 (+), B 지점은 (-)이다. 그리고 남북극에 가까운 고위도에서 기록된 고지자기는 북각이 크며, 저위도에서 기록된 고지자기는 북각이 작다.

### 해령 부근의 고지자기 분포와 해양 지각의 이동 방향



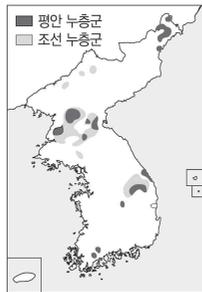
정자극기에 형성된 해양 지각의 암석 속 자성 광물이 자화된 방향을 평균하면 진북 방향과 같다. 즉, 그림의 아래쪽이 진북 방향이 되며 ㉠ 지점은 동쪽 방향, ㉡ 지점은 서쪽 방향으로 이동한다.

### 현생 이인 동안의 생물 속의 수 변화 및 대멸종 시기



지질 시대	대멸종 시기
중생대	백악기 말
	트라이아스기 말
고생대	페름기 말
	오르도비스기 말

### 우리나라 고생대층의 분포



### 점판암(슬레이트)

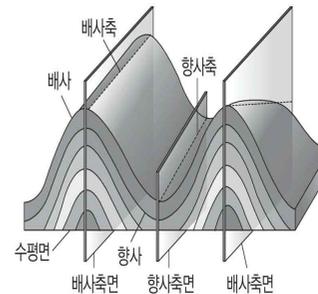
점판암은 슬레이트라고도 하는데 얇은 판 모양으로 잘 쪼개지기 때문에 건물의 지붕, 벽, 바닥 등을 덮거나 까는 건축 재료로 이용되기도 한다.



점판암(슬레이트)

### 습곡 구조

- 배사축: 배사를 거의 대칭으로 나누는 가상면을 배사축면이라 하며, 배사축면과 층리면과의 교선을 배사축이라 한다.
- 향사축: 향사를 거의 대칭으로 나누는 가상면을 향사축면이라 하며, 향사축면과 층리면과의 교선을 향사축이라 한다.



### 주향과 경사의 관계

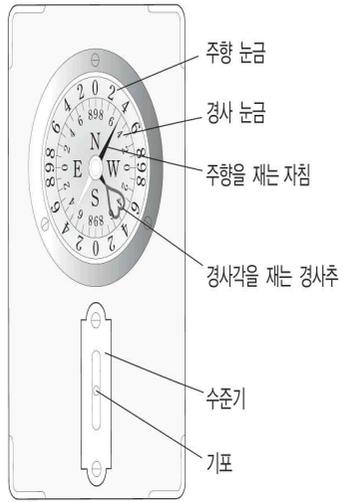
주향에 대해 직각 방향으로 지층면이 정사진 방향을 경사 방향이라 한다. 따라서 하나의 주향에 대해 두 개의 경사 방향이 가능하다.

주향	가능한 경사 방향
NS	E
	W
EW	N
	S
Nθ°W	NE
	SW
Nθ°E	NW
	SE

주향에 따라 가능한 경사 방향

구분	조선 누층군	평안 누층군
퇴적 시기	고생대 초기	고생대 후기~중생대 초기
지층	석회암, 사암, 셰일 등의 두꺼운 해성층	상부: 육성층 중부: 무연탄층 하부: 해성층
화석	삼엽충, 필석	식물 화석, 방주충

### 클리노미터



### 고생대 생물의 변천

연대 (백만 년)	지질 시대	주요 사건	주요 생물
251.0	페름기	생물의 대량 멸종	겉씨식물 출현
299.0		석탄기	파충류 출현
359.2	데본기	생물의 대량 멸종	곤충류, 양서류, 폐어류 출현
416.0	실루리아기	생물의 대량 멸종	육상 식물 출현
443.7	오르도비스기	생물의 대량 멸종	필석류 번성, 갑주어 등장
488.3	캠브리아기	생물 대폭발	삼엽충 출현
542.0			

### 부정합의 종류

두 지층 사이에 퇴적 시기의 시간적 간격이 클 때, 이 두 암석층의 관계를 부정합이라 하며 경사 부정합, 평행 부정합, 난정합 등으로 분류할 수 있다.

경사 부정합	평행 부정합	난정합
부정합면을 경계로 상하 지층의 층리가 서로 경사짐	부정합면을 경계로 상하 지층의 층리가 서로 나란함	부정합면 하부에 화성암이나 변성암이 분포함

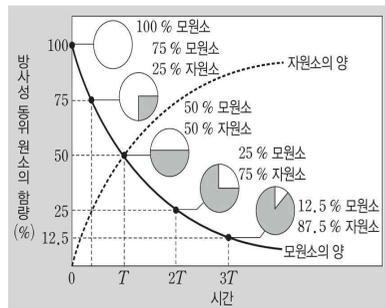
### 지질 시대와 생물의 변천

대	기	주요 화석	생물의 변천
신생대	제4기	매머드	
	신제3기	화폐석	포유류, 속씨식물 번성
	고제3기		
중생대	백악기	공룡, 암모나이트	속씨식물 출현
	쥐라기		파충류, 겉씨식물 번성
	트라이아스기		포유류 출현
고생대	페름기	방추충 (푸줄리나)	겉씨식물 출현
	석탄기		파충류 출현, 양서류 번성
	데본기	갑주어	어류의 번성
	실루리아기	필석	육상 식물 출현
	오르도비스기		필석류 번성
	캠브리아기		삼엽충 출현
원생 이연	에디아카라 동물군		
시생 이연	단세포 생물 출현		

### 방추충과 화폐석 비교

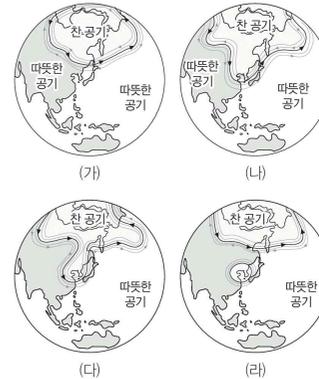
구분	방추충	화폐석
모습		
종류	대형 유공충	대형 유공충
번성 시기	고생대 후기	신생대 제3기
멸종 시기	페름기 말	신생대 제3기 말

### 방사성 원소의 붕괴 곡선과 반감기



시간(T : 반감기)	모원소의 양	자원소의 양
0	1	0
T	1/2	1/2
2T	1/4	3/4
3T	1/8	7/8

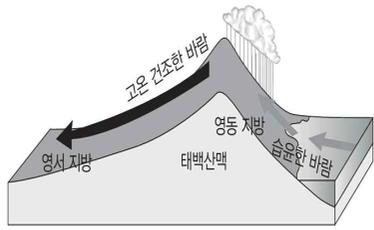
### 편서풍 파동의 변동



- 저위도와 고위도에서는 열적 순환에 의해 열이 수송되나 중위도에서는 편서풍 파동에 의해 열이 수송된다.
- 편서풍 파동은 고위도와 저위도의 온도 차이와 지구 자전에 의한 전향력에 의해 발생하며 남북 간 온도 차가 커지게 되면 남북 방향의 요동이 심해져 열수송이 일어나게 된다.
- 편서풍 파동이 발달하는 과정에서 상공의 차가운 저기압이 분리되어 남쪽으로 이동하기도 한다.

# 3단원 - 대기

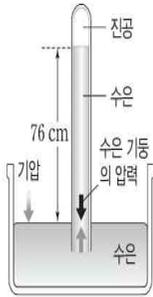
## 눈새바람



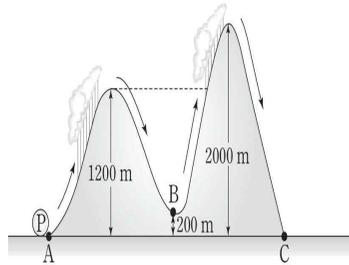
- 주로 초여름에 오호츠크 해 고기압에서 불어온 공기는 동해를 지나 태백산맥을 넘는 동안 수증기가 응결하여 비를 뿌리고, 산을 넘어 내려오는 동안 고온 건조한 바람이 되는데, 이를 눈새바람이라고 한다.
- 초여름에 영서 지방은 고온 건조한 바람에 의한 농작물 피해를 입을 수 있다.

## 토리첼리의 기압 측정

- 1기압 하에서 유리관에 수은을 채우고 수은이 담긴 수조에 거꾸로 세우면 유리관 속 수은은 수조로 모두 흘러나오지 않고 약 76 cm 높이의 수은 기둥을 유지하게 된다.
- 대기의 압력이 수조의 수은을 누르는 힘은 유리관 속 수은 기둥 약 76 cm의 무게와 같다.
- 유리관을 들어 올려 수조에서 분리해 내도 1기압 하에서 약 76 cm의 수은 기둥은 유지된다.

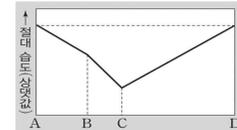
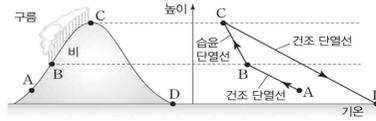


## 핀 현상과 상승 응결 고도



기온은 30°C, 이슬점은 22°C인 공기 덩어리 P가 그림과 같이 두 산을 연달아 넘을 때 두 번째 산의 상승 응결 고도는 첫 번째 산의 고도와 같게 된다. 왜냐하면 첫 번째 산을 넘어 내려갈 때 불포화 상태의 공기 덩어리가 다시 같은 고도에 올라올 때까지는 계속 불포화 상태가 되기 때문이다.

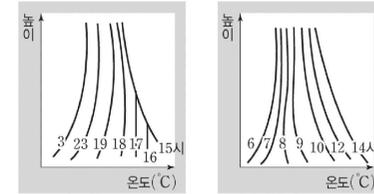
## 핀 현상과 절대 습도 변화



- 절대 습도는 단위 부피당 수증기량으로 공기가 상승하여 단열 팽창하면 감소하고 하강하여 단열 압축되면 증가한다.
- A-B 구간에서의 절대 습도 감소율보다 B-C 구간에서의 절대 습도 감소율이 더 크다. 이는 B-C 구간에서 응결이 일어나 수증기의 감소가 더 빠르게 일어나기 때문이다.
- A와 D에서 절대 습도가 같다. 이는 산을 넘어 형성된 구름에서 비가 내리지 않았다면 A와 같은 고도로 내려왔을 때 절대 습도가 같아야 하지만 비가 내렸으므로 공기 덩어리 속의 수증기가 더 적어졌기 때문에 공기 덩어리가 좀 더 하강해 단열 압축되어야 A와 같은 절대 습도가 될 수 있기 때문이다. 그러므로 A보다 D의 해발 고도가 더 낮다.

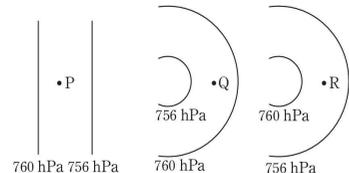
## 복사 역전층의 형성

- 역전층은 고도가 높아짐에 따라 온도가 증가하는 구간을 말한다.
- 지표 근처 대기의 연직 기온 분포는 하루 동안 그림과 같이 변화한다. 해가 진 후부터 지표 기온은 떨어지게 되고 해 뜨기 전에 가장 큰 폭으로 떨어져 역전층이 뚜렷하게 형성된다.



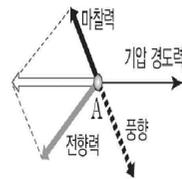
- 복사 역전층은 맑은 날이 흐린 날보다 잘 형성되는데, 그 이유는 구름이 지표에서 빠져나오는 지표 복사 에너지를 흡수해 지표로 재복사하여 흐린 날에는 지표 기온이 덜 낮아지기 때문이다.

## 지균풍과 경도풍



- P에서는 지균풍, Q에서는 저기압성 경도풍, R에서는 고기압성 경도풍이 분다.
- P : 기압 경도력 = 전향력
- Q : 구심력 = 기압 경도력 - 전향력
- R : 구심력 = 전향력 - 기압 경도력
- 전향력은 풍속에 비례해 발달하므로 등압선 간격이 동일할 때 풍속은  $R > P > Q$ 가 된다.
- P : 전향력 = 기압 경도력
- Q : 전향력 = 기압 경도력 - 구심력
- R : 전향력 = 기압 경도력 + 구심력

## 지상풍(복반구)



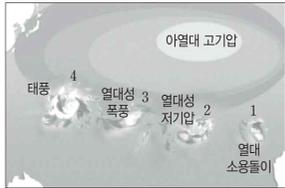
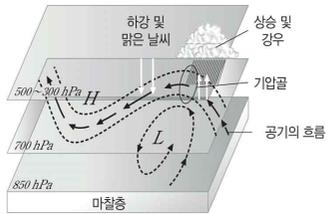
- 고도 1 km보다 낮은 곳에서 부는 바람인 지상풍에는 마찰력이 작용해 지균풍보다 풍속이 작고, 이로 인해 전향력도 상대적으로 작아 풍향이 등압선을 가로지르게 된다.
- 지상풍의 풍향은 마찰력이 작용하는 방향에 대해 반대 방향이 된다.

## 대기 안정도 실험



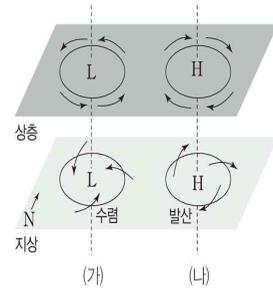
- (가) 그림과 같이 물을 담은 비커를 얼음이 담긴 수조에 넣고 시간이 조금 흐른 다음 잉크를 담은 스포이트를 비커의 바닥 근처까지 집어넣고 잉크를 방출한 후 잉크의 움직임 살펴본다.
- (나) 얼음에 의해 비커의 물은 아래쪽에서 위로 올라갈수록 온도가 높아진다. 즉, 대기에서의 역전층과 같은 온도 분포가 된다.
- (다) 잉크는 방출된 위치에서 이동하지 않고 그대로 머무는 모습을 보인다.

### 편서풍 파동



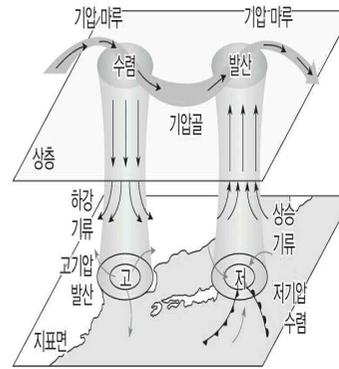
- 아열대 고기압의 가장자리에서 생성된다.
- 파동의 기압골 동쪽에서는 하층 수렴이, 기압골 서쪽에서 하층 발산이 일어난다.
- 기압골 동쪽에서는 수렴한 하층 공기가 상승하며 구름 발생 및 강우가 나타나고, 기압골 서쪽에서는 공기가 하강하며 발산하므로 맑은 날씨가 나타난다.

### 지상의 고기압, 저기압이 성장하기 어려운 연직 구조



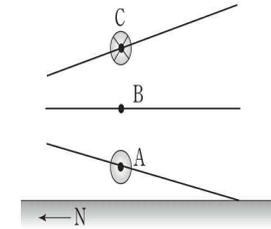
- 상층의 고기압, 저기압에서는 바람이 등압선에 나란하게 불어 지상과 같은 수렴, 발산이 일어나지 못한다.
- (가)와 같이 상층의 저기압 아래 지상에 고기압이 위치하면 지상 저기압 또는 고기압은 소멸하게 된다. 이는 지상의 저기압에서 수렴이 일어나지만 상층에서 발산이 일어나지 않고, 지상의 고기압에서 발산이 일어나지만 상층에서 수렴이 일어나지 않기 때문이다.

### 편서풍 파동과 고기압, 저기압의 형성



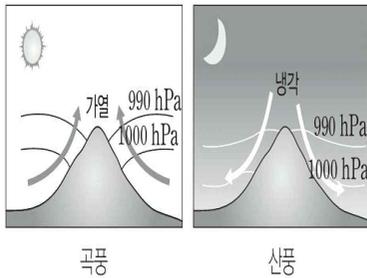
- 편서풍 파동의 기압골 서쪽: 공기 수렴, 하강 기류, 지상 고기압 발생
- 편서풍 파동의 기압골 동쪽: 공기 발산, 상승 기류, 지상 저기압 발생

### 등압면 경사와 바람(북반구)



- C의 등압면은 북쪽으로 기울어져 있어서 북쪽 방향으로 기압 경도력이 작용하여 바람은 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향인 동쪽 방향으로 분다.
- A의 등압면은 남쪽으로 기울어져 있어서 남쪽 방향으로 기압 경도력이 작용하여 바람은 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향인 서쪽 방향으로 분다.
- 지면 근처에서는 마찰력에 의해 풍속이 상공에서보다 작고, 고도가 높아짐에 따라 풍속이 증가한다.

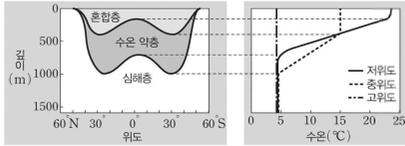
### 산곡풍



- 곡풍: 낮에 돌출된 산등성이가 골짜기보다 빨리 가열되어 상승 기류가 형성되고, 빈 자리를 메우기 위해 골짜기에서 산등성으로 바람이 불게 된다.
- 산풍: 밤에 산등성이가 빠르게 냉각되며 차가워진 공기가 산 사면을 타고 골짜기 쪽으로 이동하며 바람이 불게 된다.

# 3단원-해수

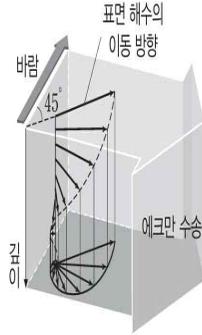
해양의 층상 구조



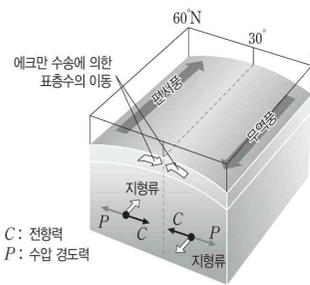
- 혼합층 : 태양 복사 에너지에 의한 가열과 바람의 혼합 작용으로 수온이 일정하게 높은 층이며, 바람이 강한 지역일 수록 두껍다.
- 수온 약층 : 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층으로 매우 안정하며 대류가 일어나지 않아 혼합층과 심해층의 물질 및 에너지 교환을 차단한다.
- 심해층 : 깊이에 따른 수온 변화가 거의 없는 층으로, 태양 복사 에너지가 도달하지 않으므로 계절이나 깊이에 따른 수온의 변화가 거의 없다.
- 저위도 : 표층 수온이 높고 혼합층의 두께가 얇으며 수온 약층이 잘 발달한다.
- 중위도 : 혼합층의 두께가 가장 두껍다.
- 고위도 : 표층 수온이 낮아 혼합층과 수온 약층이 나타나지 않는다.

## 에크만 수송

- 표면 해수의 이동 방향 : 북반구에서 풍향의 오른쪽 45° 방향
- 에크만 수송의 방향 : 북반구에서 풍향의 오른쪽 90° 방향

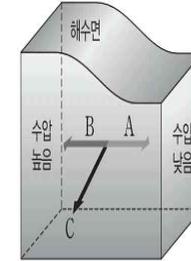


지형류 형성



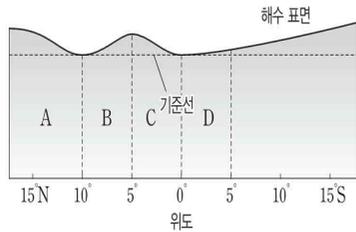
해역	0°~30°N	30°~60°N
바람	북동 무역풍	편서풍
에크만 수송 방향	북쪽	남쪽
수압 경도력(P) 방향	남쪽	북쪽
전향력(C) 방향	북쪽	남쪽
지형류	동 → 서	서 → 동

지형류에 작용하는 힘(북반구)



- A : 수압 경도력
- B : 전향력 → 수압 경도력의 반대 방향
- C : 지형류 → 수압 경도력의 오른쪽 90° 방향

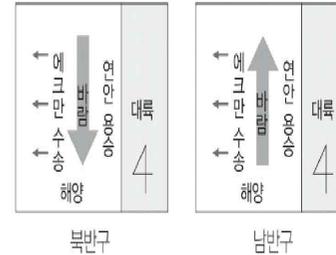
해수면 경사와 지형류



해역	수압 경도력	전향력	지형류
A	남쪽	북쪽	동 → 서(북적도 해류)
B	북쪽	남쪽	서 → 동(적도 반류)
C	남쪽	북쪽	동 → 서(남적도 해류)
D	북쪽	남쪽	동 → 서(남적도 해류)

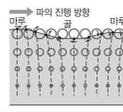
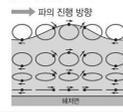
구분	서안 경계류	동안 경계류
유속	빠르다	느리다
폭	좁다	넓다
깊이	깊다	얕다
유량	많다	적다
수온·염분	고온·고염분	저온·저염분
종류	쿠로시오 해류, 멕시코 만류	캘리포니아 해류, 카나리아 해류

연안 용승



- 북반구 : 북반구 대륙의 서쪽 연안에서 북풍이 불면 에크만 수송이 서쪽으로 일어나 이곳의 물을 보충하기 위해 심층의 찬물이 표층으로 올라온다. ☞ 캘리포니아 연안
- 남반구 : 남반구 대륙의 서쪽 연안에서 남풍이 불면 에크만 수송이 서쪽으로 일어나 이곳의 물을 보충하기 위해 심층의 찬물이 표층으로 올라온다. ☞ 페루 연안

**심해파와 천해파**

해파	심해파(표면파)	천해파(장파)
수심( $h$ )과 파장( $L$ )의 관계	$h > \frac{L}{2}$	$h < \frac{L}{20}$
물 입자의 운동	원 운동 : 해저의 마찰을 받지 않으므로 물 입자는 원 운동을 하며 원의 크기는 수심이 깊어질수록 더욱 급격히 작아진다. 	타원 운동 : 해저의 마찰을 받으므로 물 입자는 타원 운동을 하며 수심이 깊어질수록 타원 모양이 더욱 납작해지고 해저면 가까이에서는 수평으로 왕복 운동을 한다. 
파의 전파 속도( $v$ )	$v = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$ 심해파의 전파 속도는 수심과는 무관하고 파장의 제곱근에 비례한다.	$v = \sqrt{gh}$ 천해파의 전파 속도는 수심의 제곱근에 비례한다.

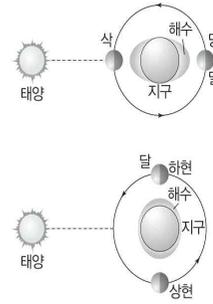
**지진 해일(쓰나미)**

① 지진 해일 : 해저에서 지진이나 화산 폭발, 단층 등의 갑작스런 해양 지각의 변동이 원인이 되어 급격히 해수면이 상승하고 큰 규모의 해파가 발생하는 현상을 지진 해일(쓰나미)이라 하고, 이때의 해파를 지진 해파라고 한다.

② 지진 해일의 특성

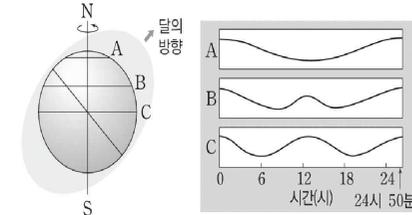
- 긴 파장 : 파장이 200 km 이상의 천해파이므로 해저면의 영향을 받는다.
- 전파 속도 :  $v = \sqrt{gh}$   
 ⇒ 태평양의 수심을 4000 m라고 할 때  
 $v = \sqrt{9.8 \times 4000} \approx 200 \text{ m/s}$ 가 된다.

**달의 위상과 조차**



달의 위상	조차	음력 날짜
삭	사리	1일경
상현	조금	7~8일경
망	사리	15~16일경
하현	조금	22~23일경

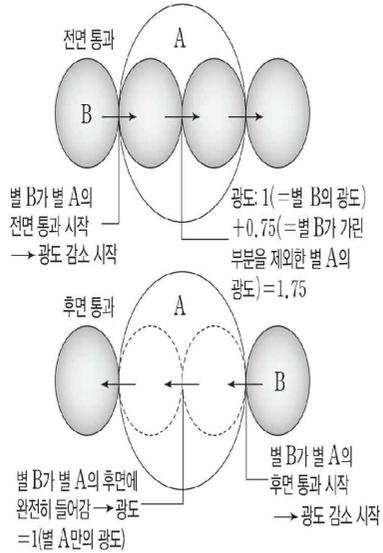
**위도별 조석 현상**



- 일주조(A) : 하루에 한 번의 만조와 간조가 나타나는 형태이다. 북반구 또는 남반구 고위도 지역은 하루에 한 번씩의 만조와 간조가 나타나게 되는데 이를 일주조라 한다.
- 혼합조(B) : 연속되는 두 만조나 간조 사이의 시간 간격과 해수면 높이가 다른 형태이다. 1일에 2회씩의 만조와 간조가 나타나며, 하루 동안에 일어나는 두 만조 또는 두 간조의 높이가 많이 차이 나는 형태의 조석을 혼합조라 한다.
- 반일주조(C) : 1일에 2회의 만조와 간조가 나타나며, 하루 동안에 일어나는 두 만조나 간조의 수위가 거의 같고 그 시간 간격도 같다.

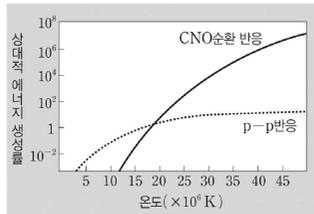
# 4단원

## 식변광성의 광도 변화



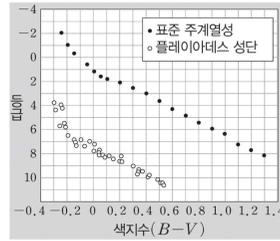
## 수소 핵융합 반응

- 주계열성 중심부의 온도가 약 1800만 K일 때 p-p반응과 CNO순환 반응에 의한 에너지 생성율이 같게 되는데, 질량이 약  $2M_{\odot}$ 인 별 내부의 온도가 바로 이 정도이다.



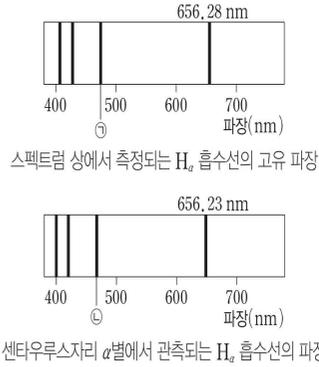
- 주계열성 중심부의 온도가 1800만 K보다 저온인 경우는 p-p반응이, 고온인 경우는 CNO순환 반응이 우세하다.
- 별이 핵융합 반응을 시작할 때 중심부의 온도는 이전에 일어난 수축에 의해 결정된다.
- 질량이  $2M_{\odot}$ 보다 큰 별 : 중력 수축에 의한 에너지 생성이 많으므로 중심부의 온도가 높아 CNO순환 반응이 우세하다.
- 질량이  $2M_{\odot}$ 보다 작은 별 : 중력 수축에 의한 에너지 생성이 적으므로 중심부의 온도가 낮아 p-p반응이 우세하다.

## 주계열 맞추기



- 거리가 알려져 있는 어느 성단에 대해 절대 등급을 세로축으로 하는 H-R도를 그리고, 거리를 알고자 하는 성단의 H-R도를 겹치기 등급을 세로축으로 하여 겹쳐 그리면 두 성단의 주계열 사이의 수직 거리로 겹치기 등급과 절대 등급의 차이인 거리 지수를 측정할 수 있다. 이와 같은 방법을 주계열 맞추기라 한다.
- 플레이아데스 성단에서 색지수가 0.2인 별의 겹치기 등급은 약 8인데, 색지수가 0.2인 표준 주계열성의 절대 등급은 약 2이다. 따라서 플레이아데스 성단에서 색지수가 0.2인 별의 겹치기 등급은 8등급, 절대 등급은 2이다. 이를 거리 지수  $m-M=5\log r-5$ 에 대입하여 거리를 구하면 성단까지의 거리는 약 158 pc이다.

## 스펙트럼의 도플러 이동을 이용한 시선 속도의 측정

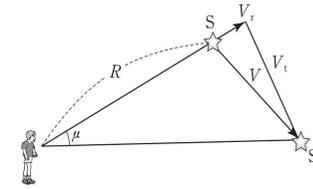


센타우루스자리  $\alpha$  별에서 관측되는 H $\alpha$  흡수선의 파장 변화를 이용하여 센타우루스자리 별의 시선 속도 ( $V_r$ )를 구하면

$$V_r = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{-0.05 \text{ nm}}{656.28 \text{ nm}} \approx -22.86 \text{ km/s}$$

이다.

## 별의 운동



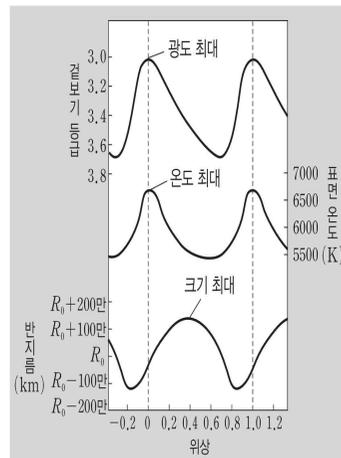
- 별의 고유 운동 ( $\mu$ ) : 별이 1년 동안 천구 상을 움직여 간 각거리로, 단위는 초(")/년이다.
- 접선 속도 ( $V_t$ ) : 별이 시선 방향과 직각 방향으로 움직이는 속도로,  $V_t = 4.74 \mu r$ 이다.
- 시선 속도 ( $V_r$ ) : 별이 지구로부터 멀어지거나 가까워지는 방향의 속도로, 별빛 스펙트럼의 파장 변화량을 측정하여 구한다.

$$V_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$$

( $\lambda_0$  : 원래의 파장,  $\Delta\lambda$  : 파장 변화량,  $c$  : 빛의 속도)

- 공간 속도 ( $V$ ) : 별이 실제로 우주 공간에서 운동하는 속도로,  $V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2}$ 이다.

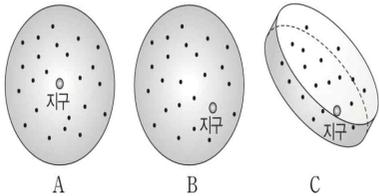
## 맥동 변광성의 팽창과 수축



이 맥동 변광성은 별이 가장 클 때가 아니라 표면 온도가 최  
대일 때 가장 밝다.

### 우리 은하의 모형과 관측자의 위치에 따라 관측되는 별의 개수 분포

- A : 지구가 구형의 은하 중심에 위치할 때  
 → 하늘의 모든 방향에서 별이 고르게 관측된다.
- B : 지구가 구형의 은하 가장자리에 위치할 때 → 은하 중심부 방향에서 별이 가장 많이 관측되며 이 곳을 중심으로 하늘의 다른 영역으로 갈수록 관측되는 별이 점진적으로 감소한다.
- C : 지구가 원반 형태의 은하 가장자리에 위치할 때 → 지구에서 원반의 평탄한 면을 관측하는 경우 별들이 집중되어 있는 때가 관측된다.



### 우주의 나이와 크기

- 우주의 나이 : 대폭발 이후 우주가 등속( $v$ )으로 팽창하여 시간  $t$ 가 지난 후 어떤 은하들 사이의 거리가  $r$ 이 되었다면,  $t$ 는 우주의 나이가 된다.

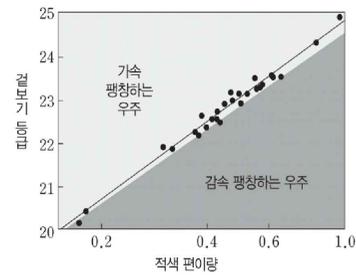
$$t = \frac{r}{v} = \frac{r}{H \cdot r} = \frac{1}{H}$$

- 우주의 나이( $t$ )는 허블 상수의 역수이다.
- 허블 상수의 역수로 구한 우주의 나이는 우주의 팽창 속도가 일정하다고 가정했을 때의 대략적인 나이이다.
- 우주의 크기 : 은하의 후퇴 속도는 광속을 넘을 수 없으므로 관측 가능한 우주의 크기  $r$ 는 빛의 속도로 멀어지는 은하까지의 거리에 해당된다. 허블 법칙에서 후퇴 속도  $v$  대신에 광속  $c$ 를 사용하면 우주의 크기  $r$ 는 다음과 같다.

$$r = \frac{v}{H} = \frac{c}{H}$$

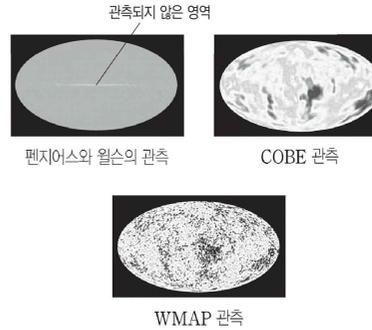
- 이때의 우주의 크기는 우주의 실제 크기라기보다는 빛을 통해 관측 가능한 우주의 크기이다.

### Ia형 초신성의 관측과 우주의 가속 팽창



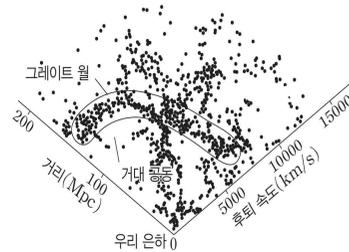
Ia형 초신성의 적색 편이량으로 후퇴 속도를 구하여 허블 법칙( $v=H \cdot r$ )에 적용하면 초신성까지의 거리가 구해진다. Ia형 초신성의 절대 등급이 일정하므로 초신성까지의 거리를 이용하여 겉보기 등급을 계산해 낼 수 있다. 이렇게 구한 겉보기 등급에 비해 실제 관측한 초신성의 밝기가 더 어두워서 겉보기 등급이 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 초신성의 실제 거리가 일정한 속도로 팽창하는 우주를 가정한 허블 법칙으로 계산된 거리보다 먼 것을 의미하여 초신성이 더 빠르게 멀어지고 있음을 알려준다. 따라서 우주는 가속 팽창하고 있음을 알 수 있다.

### 우주 배경 복사



- 펜지어스와 윌슨이 측정된 7.3 cm 파장의 우주 배경 복사는 모든 방향에 대해 같은 세기로 관측되었다.
- COBE 위성은 1989년 우주 배경 복사를 관측하기 위해 발사되었고 우주 배경 복사가 거의 균일하지만 미세한 차이가 있는 것을 확인하였다. 온도 편차는 약  $10^{-5}$  K까지 측정할 수 있었다.
- WMAP 위성은 2001년 발사되었고 COBE 위성보다 해상도가 높아져 더욱 선명한 영상을 보여주었다.

### 우주 거대 구조



- 기존의 학자들은 초은하단이 우주에서 가장 큰 구조이고 은하들이 우주에 고르게 분포되어 있을 것이라고 생각했다. 그러나 1989년 그레이트 월(Great Wall)이 발견되면서 초은하단보다 더 큰 구조가 존재한다는 사실을 알게 되었다.
- 최근의 연구에 따르면 우주는 은하들이 많이 몰려 있어 서로 연결된 거대 가닥(filament)과 은하들이 거의 위치하지 않는 거대 공동(void)으로 구성되어 있다고 한다. 이러한 우주의 거대 구조는 암흑 물질에 의해 형성된 것으로 생각된다.

### 기존 대폭발 우주론의 문제점과 급팽창 이론

- 우주의 지평선 문제 : 현재 우주가 균일하다는 것은 멀리 떨어진 두 지역이 과거에는 정보 교환이 있었다는 것을 의미한다. 그러나 기존 대폭발 우주론에서는 빛이 이동할 수 있는 시간보다 우주의 나이가 더 적기 때문에 이를 설명하지 못하였다. 급팽창 이론은 기존 대폭발 우주론이 주장한 것보다 훨씬 좁은 영역에서 급팽창하였기 때문에 초기 우주의 모든 지점이 정보를 나눌 수 있었다고 설명한다.
- 우주의 편평성 문제 : 관측 결과 우주는 완벽할 정도로 편평한데, 편평한 우주가 되려면 우주 초기의 밀도가 특정한 값을 가져야 한다. 그러나 기존 대폭발 이론에서는 충분한 근거없이 초기 우주의 밀도를 특정한 값으로 가정하였다. 급팽창 이론은 우주가 급팽창하여 곡률이 거의 0에 가깝게 되었다고 설명한다.