HIGH TOP

1권

지구 과학

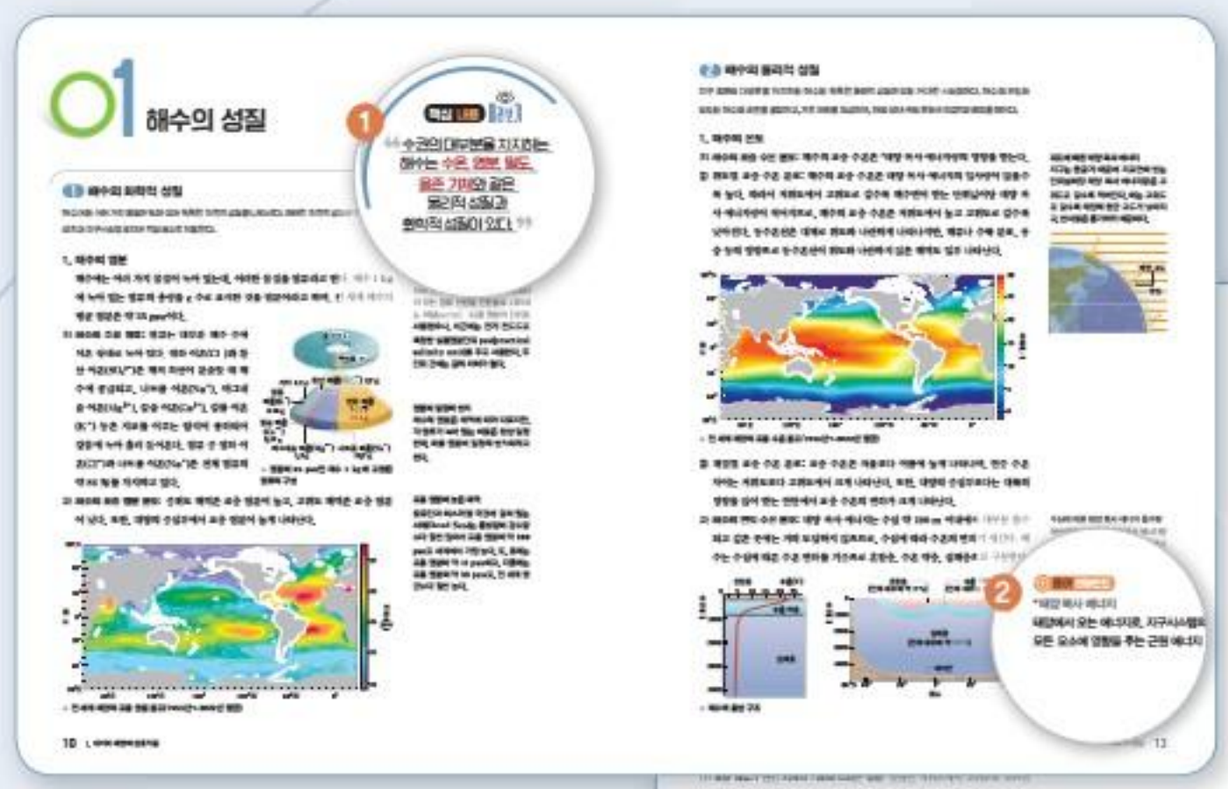
STRUCTURE

HIGH TOP의 구성과 특징

4종 교과서를 완벽 분석한 "과학의 바이블"

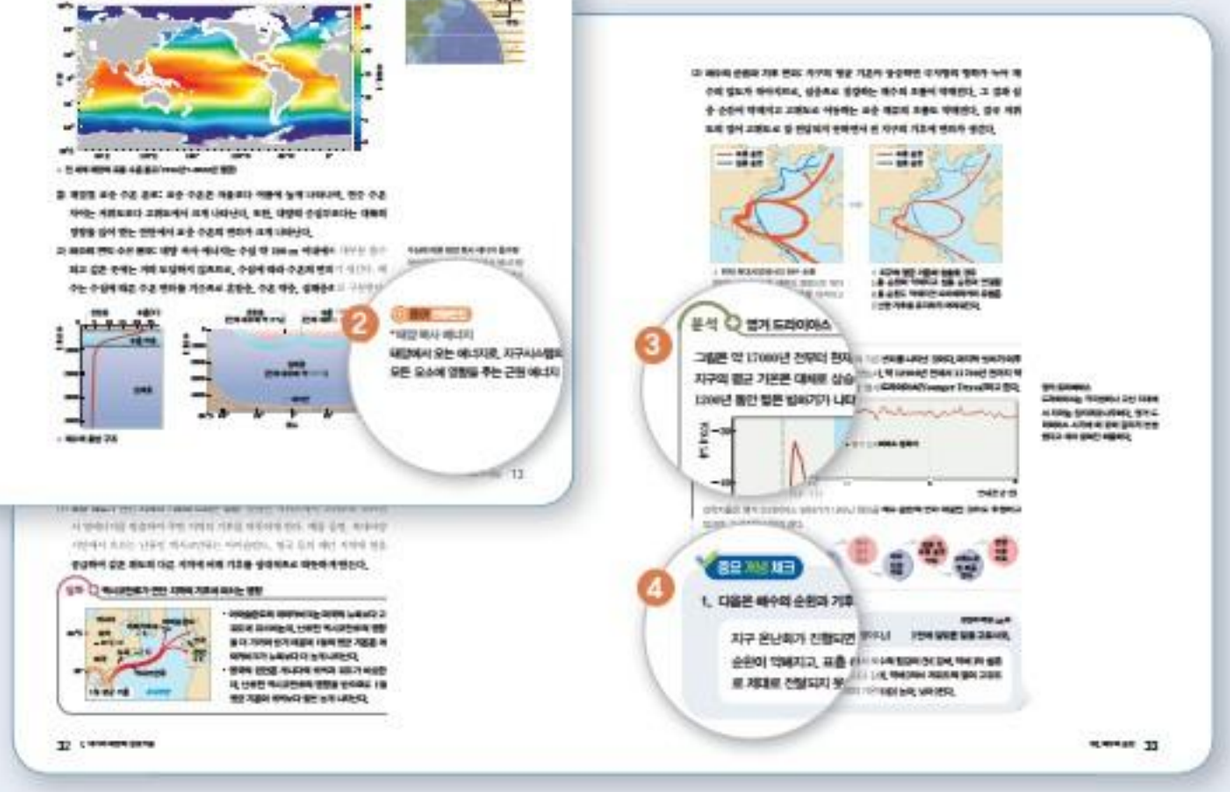
1 체계적인 개념 이해의 틀

교과서에서 다루는 내용을 체계적으로 정리하여 개념을 확실하게 이해할 수 있습니다.



❶ **핵심 내용 미리 보기** 본 학습에 들어가기에 앞서 이 소단원의 핵심 내용을 미리 확인할 수 있습니다.

❷ **용어 리마인드** 중학교 과학이나 통합과학에서 학습한 용어를 다시 한 번 확인할 수 있습니다.



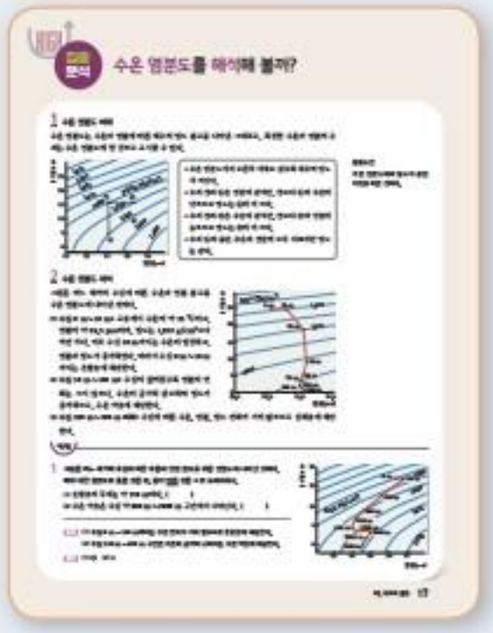
❸ **분석+ / 심화+** 핵심 자료 분석과 심화 자료를 통해 실력의 차이를 만들 수 있습니다.

❹ **중요 개념 체크** 주제별 핵심 내용을 잘 이해했는지 간단한 문제로 확인할 수 있습니다.

2 원리 이해를 위한 풍부한 자료



탐구 분석 교과서에 수록된 필수 탐구의 과정과 결과를 정리하고, 탐구 문제로 확인할 수 있습니다.



집중 분석 중요 주제를 집중 분석하고, 예제와 유제로 실전에 대비할 수 있습니다.

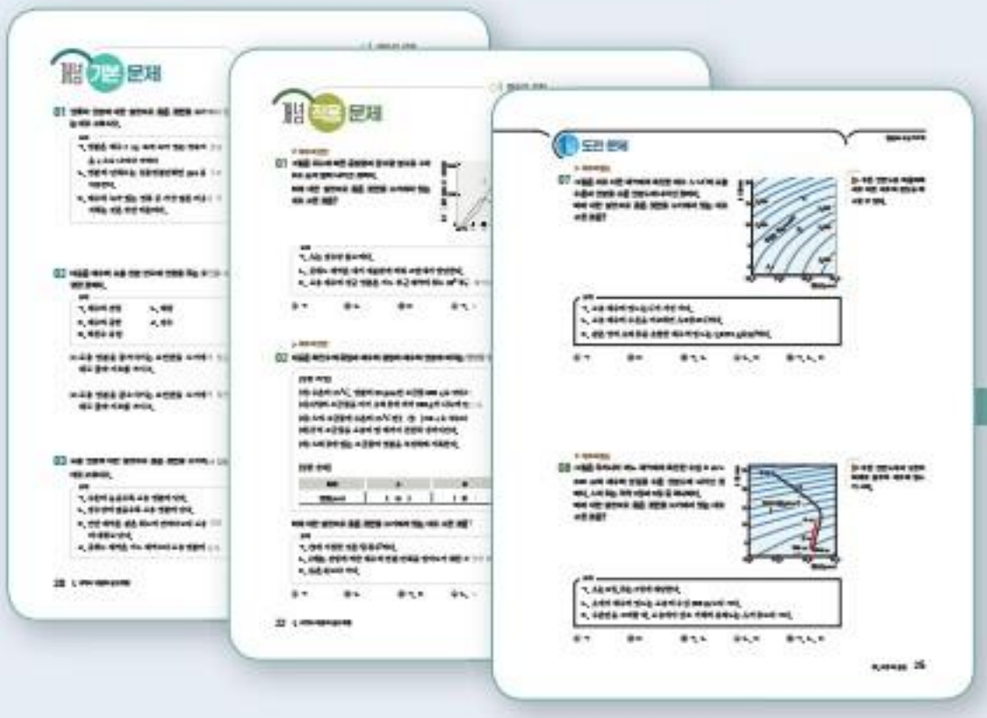


심화 강의 교과서 너머의 폭넓은 내용으로 핵심 주제를 깊이 있게 이해하고, 실력의 격차를 만들 수 있습니다.

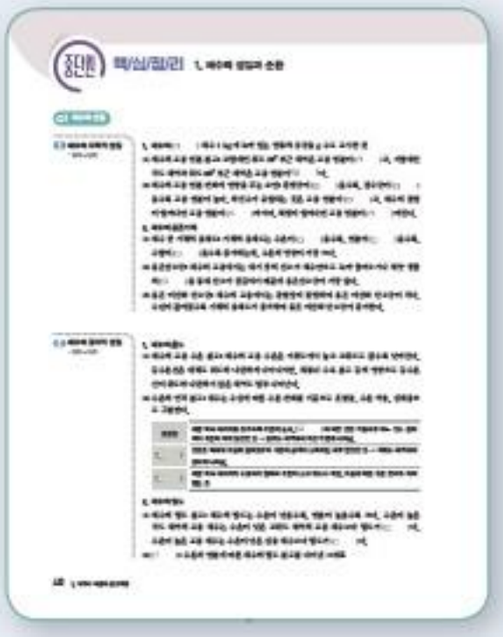


수능 분석 통합과학에서 학습한 내용을 연계하여 비교하고, 대표 예제와 실전 문제로 수능까지 대비할 수 있습니다.

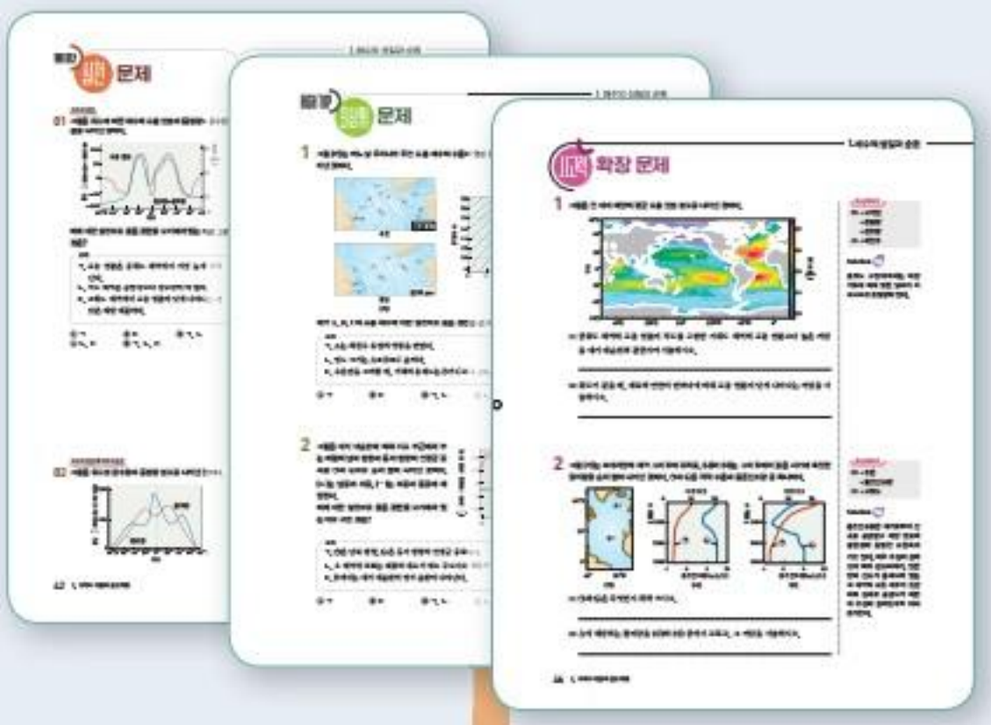
3 다양한 유형의 단계별 문제



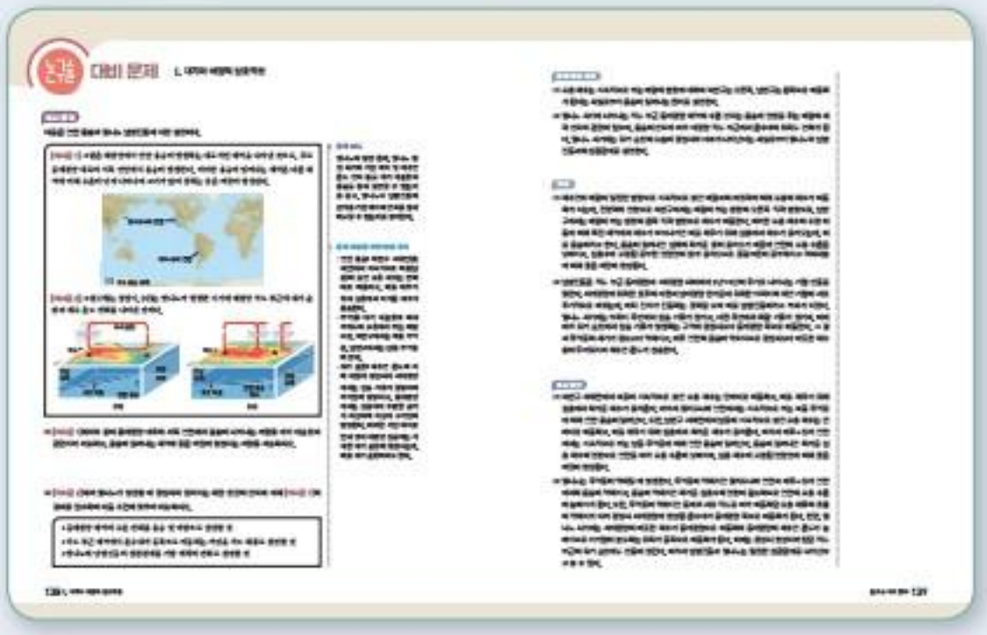
개념 기본 문제 / 개념 적용 문제 교과서 문제와 학교 시험 기출 문제를 변형한 다양한 문제들로 소단원의 핵심 내용을 정확히 이해했는지 점검할 수 있습니다.



중단원 핵심 정리 중단원의 핵심 내용을 요약하여 개념을 확실하게 다질 수 있습니다.

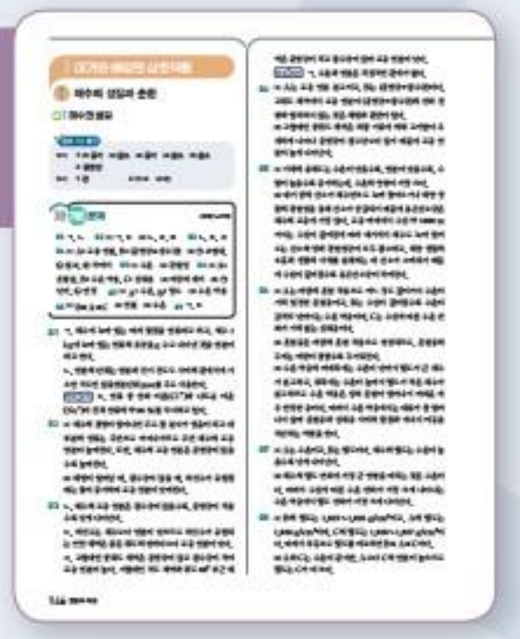


통합 실전 문제 / 최상위 문제 / 사고력 확장 문제 중단원별 개념을 통합한 문제로 실전에 대비하고, 문제 해결력 및 창의력 등 높은 수준의 사고력을 요구하는 문제들로 실력을 완성할 수 있습니다.



논구술 대비 문제 논구술 시험에 출제되었거나, 출제 가능성이 높은 예상 문제로 구성하여 실전에 대비할 수 있습니다.

4 이해하기 쉽고 자세한 정답과 해설



HIGH TOP 지구과학 차례

CONTENTS

1권

I 대기와 해양의 상호작용

1. 해수의 성질과 순환
01 해수의 성질 10
02 해수의 순환 26

2. 날씨의 변화와 악기상
01 날씨의 변화 52
02 태풍과 악기상 68

3. 대기와 해양의 상호작용
01 엘니뇨 남방진동 96
02 지구의 기후 변화 112

논구술 대비 문제 138
정답과 해설 146

2권

II 지구의 역사와 한반도의 암석

1. 지구의 역사
01 지층의 생성 순서와 나이 10
02 퇴적 구조와 퇴적 환경 24
03 지질시대의 환경과 생물 36

2. 한반도의 암석
01 변동대와 화성암 68
02 변성 작용과 변성암 88
03 우리나라의 지질공원 108

논구술 대비 문제 134
정답과 해설 142

3권

III

태양계 천체와 별과 우주의 진화

1. 태양계 천체

01 태양–달–지구 시스템에서의 식현상 10

02 태양계 행성의 겉보기 운동 24

2. 별의 특성과 진화

01 별의 특성과 분류 52

02 별의 진화 72

3. 은하와 우주

01 외부 은하 108

02 우주의 팽창과 진화 120

논구술 대비 문제 148

정답과 해설 156



I

대기와 해양의 상호작용



해수는 바람, 밀도 차 등 다양한 요인들에 의해 운동하고 순환한다.
지구의 기후 시스템은 태양 복사, 지구 복사, 지역의 지질학적 특징,
인간 활동 등의 영향을 받으며, 이러한 요인들이 상호작용하여
다양한 기상 현상과 기후 변화가 나타난다.

1. 해수의 성질과 순환

2. 날씨의 변화와 악기상

3. 대기와 해양의 상호작용



이전에 배웠어요

중학교 과학 날씨와 기후 변화
- 온실 효과와 지구 온난화를 배웠어요.
- 기압, 기단, 전선을 배웠어요.

중학교 과학 수권과 해수의 순환
- 해수의 수온과 염분 분포를 배웠어요.
- 대기 대순환과 표층 순환을 배웠어요.

통합과학2 환경과 에너지
- 지구 온난화와 엘니뇨를 배웠어요.

이 단원에서 배워요

지구과학 해수의 성질과 순환
- 해수의 물리적·화학적 성질, 해수의 순환과 기후 변화의 관련성을 배워요.

지구과학 날씨의 변화와 악기상
- 기압과 날씨, 태풍, 악기상을 배워요.

지구과학 대기와 해양의 상호작용
- 엘니뇨 남방진동, 기후 변화의 자연적 요인과 인위적 요인을 배워요.

이후에 배울 수 있어요

지구시스템과학 해수의 운동
- 해수를 움직이는 힘, 지형류의 발생 원리를 배울 수 있어요.

지구시스템과학 강수 과정과 대기의 운동
- 지구 열수지를 배울 수 있어요.
- 지균풍, 경도풍, 지상풍의 발생 원리와 관련된 힘의 작용을 배울 수 있어요.
- 편서풍 파동과 지상 고기압·저기압의 발달을 배울 수 있어요.

단원 Preview

이 단원에서 배우는 핵심 개념으로 단원 내용을 미리 살펴봅시다.



해수의 성질

해수의 화학적 성질

해수의 물리적 성질

1

해수의 성질과 순환

지구 표면의 70 % 이상을 덮고 있는 해수는 담수와 구별되는 성질이 있으며,
끊임없이 해양을 순환하며 지구의 기후에 영향을 준다.

01 해수의 성질

02 해수의 순환



01 해수의 성질

핵심 내용 미리보기

수권의 대부분을 차지하는 해수는 **수온, 염분, 밀도, 용존 기체**와 같은 물리적 성질과 화학적 성질이 있다.

1 해수의 화학적 성질

해수에는 여러 가지 물질이 녹아 있어 독특한 화학적 성질을 나타낸다. 이러한 화학적 성질은 해양 생물의 생존과 지구시스템 유지에 핵심 요소로 작용한다.

1. 해수의 염분

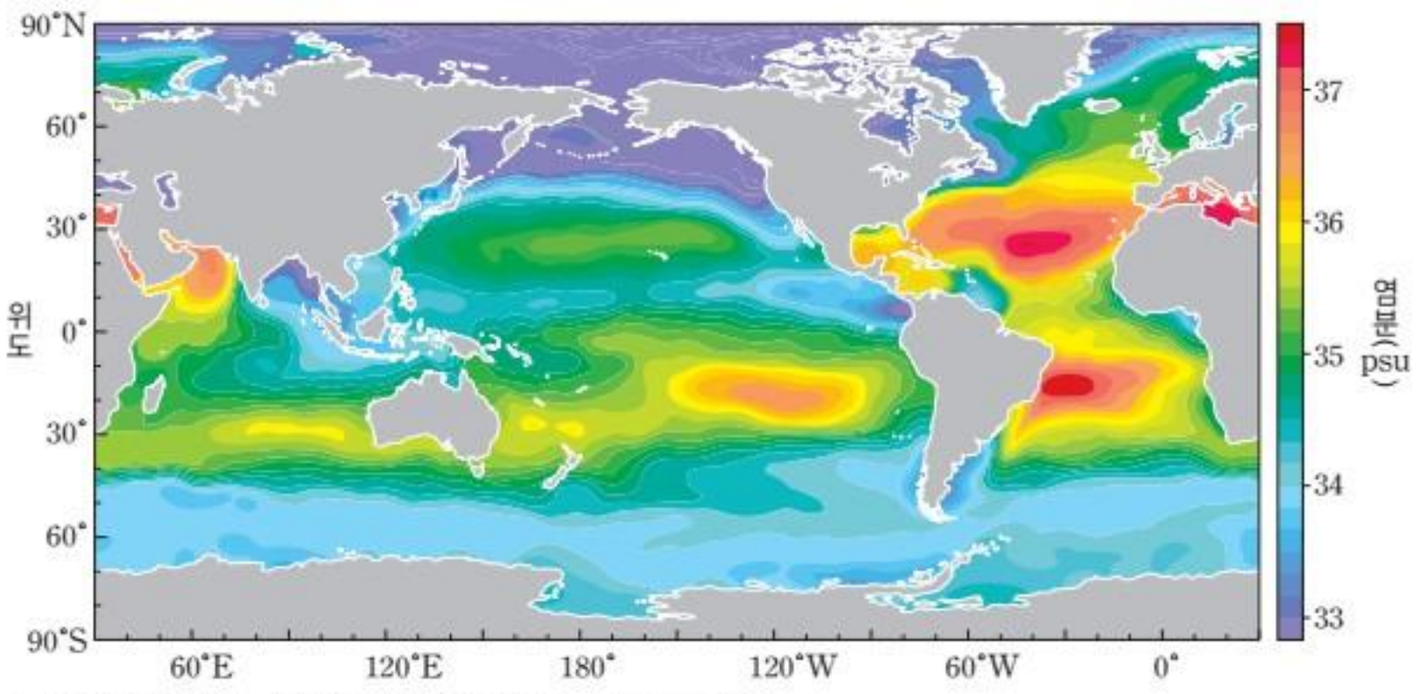
해수에는 여러 가지 물질이 녹아 있는데, 이러한 물질을 염류라고 한다. 해수 1 kg에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 표시한 것을 염분이라고 하며, 전 세계 해수의 평균 염분은 약 35 psu이다.

(1) **해수의 주요 염류:** 염류는 대부분 해수 중에 이온 상태로 녹아 있다. 염화 이온(Cl^-)과 황산 이온(SO_4^{2-})은 해저 화산이 분출할 때 해수에 공급되고, 나트륨 이온(Na^+), 마그네슘 이온(Mg^{2+}), 칼슘 이온(Ca^{2+}), 칼륨 이온(K^+) 등은 지표를 이루는 암석이 풍화되어 강물에 녹아 흘러 들어온다. 염류 중 염화 이온(Cl^-)과 나트륨 이온(Na^+)은 전체 염류의 약 86 %를 차지하고 있다.



▲ **염분이 35 psu인 해수 1 kg에 포함된 염류의 구성**

(2) **해수의 표층 염분 분포:** 중위도 해역은 표층 염분이 높고, 고위도 해역은 표층 염분이 낮다. 또한, 대양의 중심부에서 표층 염분이 높게 나타난다.



▲ **전 세계 해양의 표층 염분 분포(1955년~2022년 평균)**

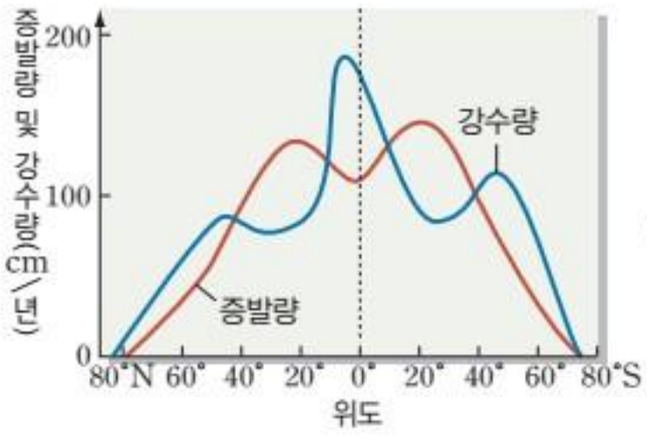
염분의 단위
1981년 이전에는 해수 1 kg에 용해되어 있는 염류 전량을 천분율로 나타내는 퍼밀(permil, ‰)을 염분의 단위로 사용했으나, 최근에는 전기 전도도로 측정한 실용염분단위 psu(practical salinity unit)를 주로 사용한다. 두 단위 간에는 값의 차이가 없다.

염분비 일정의 법칙
해수의 염분은 해역에 따라 다르지만, 각 염류가 녹아 있는 비율은 항상 일정한데, 이를 염분비 일정의 법칙이라고 한다.

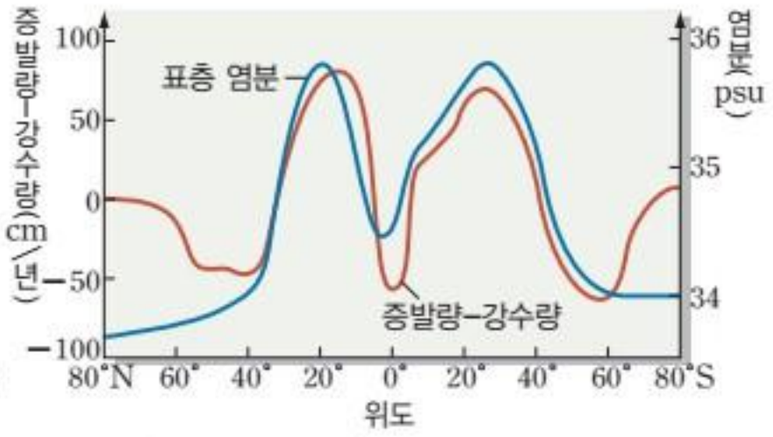
표층 염분이 높은 해역
요르단과 이스라엘 국경에 걸쳐 있는 사해(Dead Sea)는 증발량이 강수량보다 훨씬 많아서 표층 염분이 약 200 psu로 세계에서 가장 높다. 또, 홍해는 표층 염분이 약 41 psu이고, 지중해는 표층 염분이 약 39 psu로, 전 세계 평균보다 훨씬 높다.

(3) 해수의 표층 염분 변화에 영향을 주는 요인

① 증발량과 강수량: 해수의 표층 염분은 위도에 따른 증발량과 강수량의 영향을 크게 받는데, 증발량이 많을수록, 강수량이 적을수록 표층 염분이 높다. 저압대인 적도 해역과 위도 60° 부근 해역은 증발량이 적고 강수량이 많아서 표층 염분이 낮게 나타나고, 고압대인 위도 30° 부근 해역은 증발량이 많고 강수량이 적어서 표층 염분이 높게 나타난다.



▲ 위도별 증발량과 강수량 분포



▲ 위도별 (증발량 − 강수량)과 표층 염분 분포

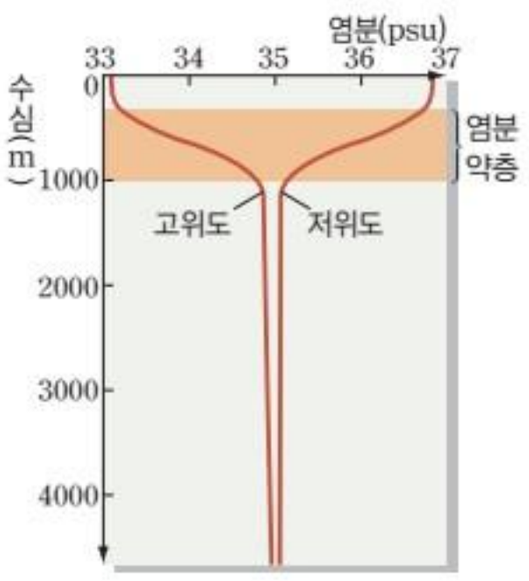
② 하천수의 유입: 하천수는 해수보다 염분이 낮으므로 하천수가 유입되는 연안 해역은 같은 위도의 먼바다보다 표층 염분이 낮다. 따라서 대양의 중심부보다 가장자리에서 표층 염분이 낮게 나타난다.

③ 해수의 결빙과 해빙: 해수의 결빙이 일어나면 주로 물 분자가 얼음이 되고 대부분의 염류는 주변으로 빠져나가므로 주변 해수의 표층 염분이 높아진다. 또, 해빙이 일어나면 물이 증가하여 표층 염분이 낮아진다.

분석 + 해수의 표층 염분 변화에 영향을 주는 요인

표층 염분이 증가하는 요인	표층 염분이 감소하는 요인
해수의 증발, 해수의 결빙	강수, 해빙, 하천수 유입

수심에 따른 염분 변화



고위도와 저위도의 먼바다에서 염분의 연직 분포를 보면 표층에서 크게 변하고 심층에서는 변화가 거의 없다. 그 까닭은 강수, 증발, 해수의 결빙과 해빙 등의 염분 변화 요인이 표층에서 집중적으로 작용하기 때문이다.

2. 해수의 용존기체

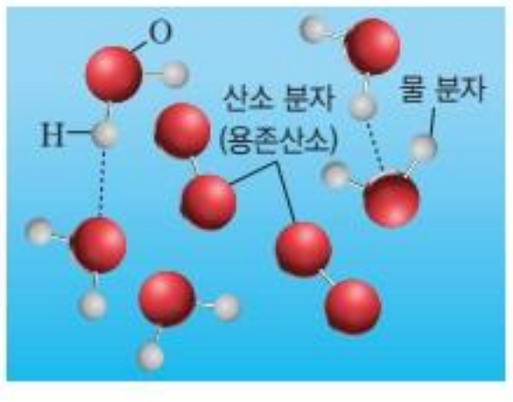
해수면은 대기와 맞닿아 있으므로 대기 중의 기체가 해수로 자유롭게 들어오거나 나갈 수 있다. 해수에는 질소, 산소, 이산화 탄소 등의 여러 기체가 녹아 있는데, 이를 용존기체라고 한다. 용존기체는 해양 생물이 살아가는 데 중요한 역할을 하며, 용존기체의 양은 해양 생물의 활동 등에 따라 달라진다.

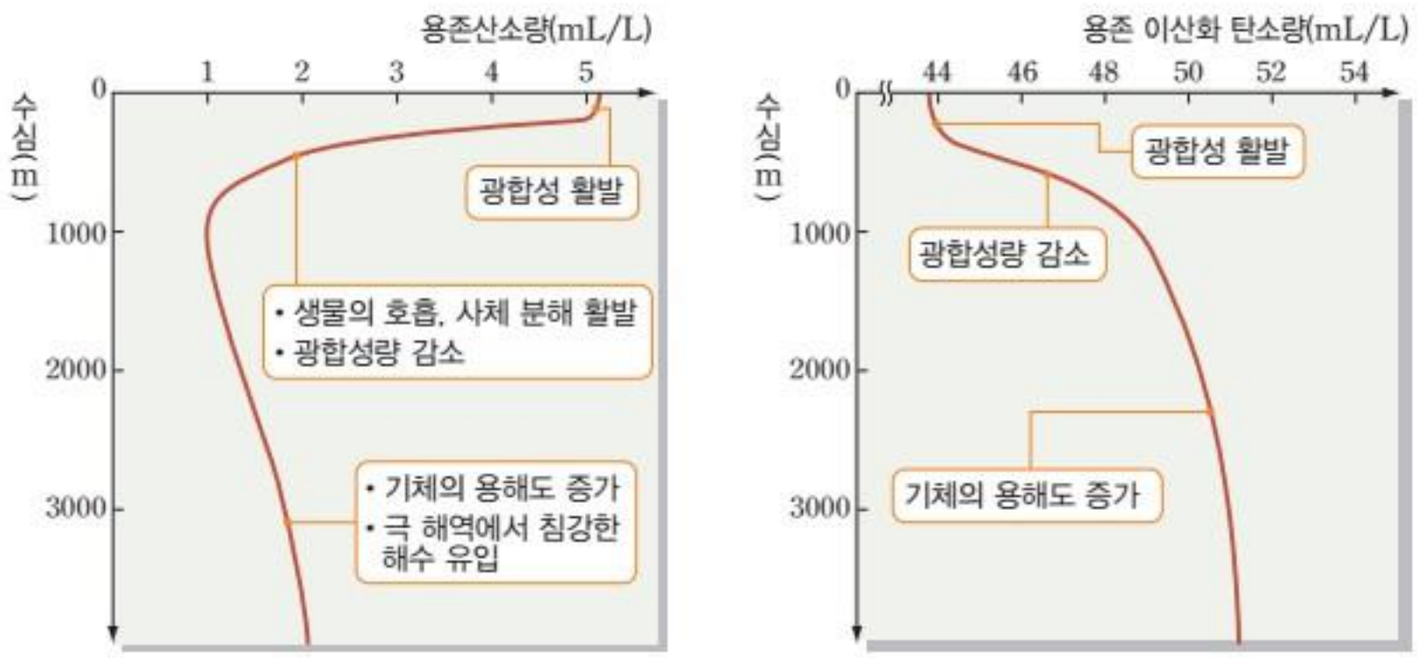
(1) **해수 중 기체의 용해도:** 기체의 용해도는 수온이 낮을수록, 염분이 낮을수록, 수압이 높을수록 증가하는데, 수온의 영향이 가장 크다. 수온이 높아지면 기체의 용해도가 작아져 해수에 녹아 있던 기체가 대기 중으로 방출되고, 수온이 낮아지면 기체의 용해도가 커져 대기 중의 기체가 해수에 녹아들게 된다. 수심이 깊어질수록 수온이 낮아지고 수압이 높아지므로 기체의 용해도는 커진다.

(2) **용존산소량:** 해수에 녹아 있는 산소의 양을 용존산소량이라고 한다. 용존산소량은 해수의 표층에서 가장 많다. 이는 대기 중의 산소가 해수면으로 녹아 들어오거나 해양 생물의 광합성을 통해 산소가 공급되기 때문이다. 표층 아래에서 수심 약 1000 m까지는 수심이 깊어질수록 용존산소량이 적어진다. 이는 수심이 깊어짐에 따라 대기에서 해수로 녹아 들어오는 산소의 양과 해양 생물의 광합성량이 모두 감소하고, 해양 생물의 호흡과 생물의 사체 분해 과정에서 산소가 소비되기 때문이다. 한편, 수심 약 1000 m보다 깊은 곳에서는 수심이 깊어질수록 용존산소량이 조금씩 많아진다. 이는 수심이 깊어질수록 기체의 용해도가 증가하고, 산소를 소비하는 해양 생물의 수가 감소하며, 많은 양의 산소가 용해되어 있는 극 해역의 표층 해수가 침강하여 유입되기 때문이다.

(3) **용존 이산화 탄소량:** 해수에 녹아 있는 이산화 탄소의 양을 용존 이산화 탄소량이라고 한다. 이산화 탄소는 해수 중에 탄산 수소 이온(HCO_3^-)이나 탄산 이온(CO_3^{2-})의 형태로 존재하며, 해수에 녹아 있는 양이 산소보다 많다. 용존 이산화 탄소는 1차 생산자인 식물성 플랑크톤의 광합성으로 유기물이 생성되는 과정에 쓰이므로, 용존 이산화 탄소량은 해수의 표층에서 가장 적다. 표층 아래에서는 수심이 깊어질수록 광합성량이 감소하고, 기체의 용해도가 증가하기 때문에 용존 이산화 탄소량이 점차 증가한다.

용존산소
물이나 용액 속에 녹아 있는 분자 상태의 산소를 용존산소라고 한다. 즉, 화합물이 아닌 상태의 산소이므로, 물 분자를 이루는 산소는 용존산소가 아니다.





▲ 수심에 따른 용존기체의 농도 변화

지구 온난화와 해수의 용존 이산화 탄소량
해수에 녹아 있는 이산화 탄소의 농도는 대기 중 이산화 탄소 농도의 약 60배 이상으로, 바다는 이산화 탄소의 저장고라고 할 수 있다. 지구 온난화의 영향으로 수온이 상승하면 기체의 용해도가 감소하므로, 해수에 녹아 있던 이산화 탄소가 대기 중으로 방출되어 지구 온난화가 더 심화된다.

중요 개념 체크

정답과 해설 146쪽

1. 해수의 표층 염분이 증가하는 요인에는 '증가', 감소하는 요인에는 '감소'라고 쓰시오.
   (1) 해수의 증발 ——— (　　)　　(2) 강수 ——— (　　)
   (3) 해수의 결빙 ——— (　　)　　(4) 해빙 ——— (　　)
   (5) 하천수 유입 ——— (　　)
2. 해수의 표층에서 용존 이산화 탄소량이 적은 까닭은 이산화 탄소가 해양 생물의 (　　)에 이용되기 때문이다.

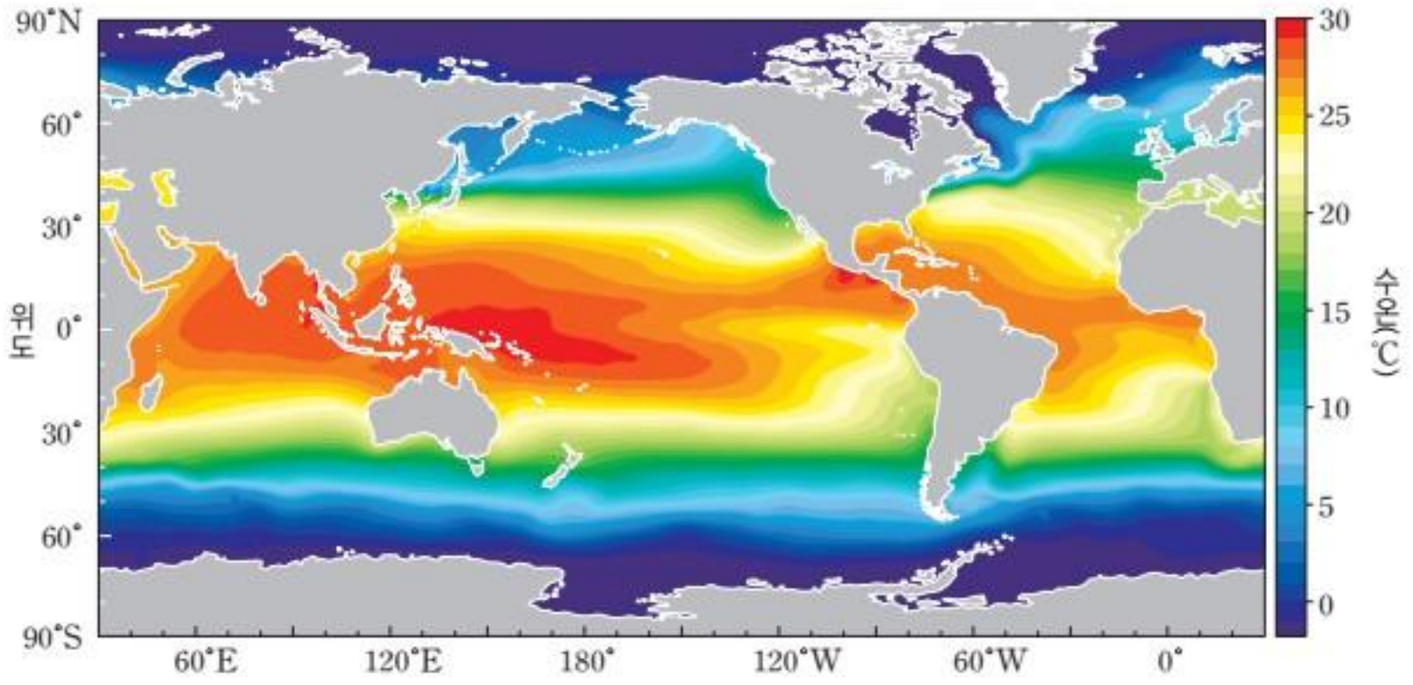
2 해수의 물리적 성질

지구 표면의 대부분을 차지하는 해수는 독특한 물리적 성질이 있는 거대한 시스템이다. 해수의 온도와 밀도는 해수의 순환을 결정하고, 기후 패턴을 형성하며, 해양 생태계의 분포에 직접적인 영향을 미친다.

1. 해수의 온도

(1) **해수의 표층 수온 분포:** 해수의 표층 수온은 *태양 복사 에너지량의 영향을 받는다.

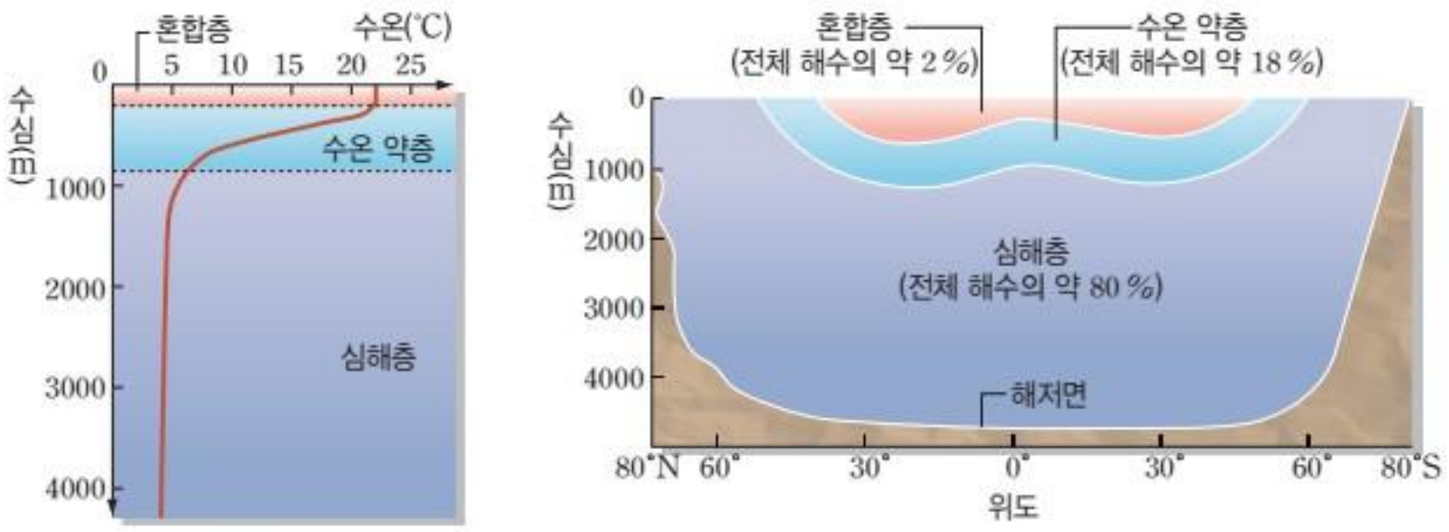
① 위도별 표층 수온 분포: 해수의 표층 수온은 태양 복사 에너지의 입사량이 많을수록 높다. 따라서 저위도에서 고위도로 갈수록 해수면이 받는 단위넓이당 태양 복사 에너지량이 적어지므로, 해수의 표층 수온은 저위도에서 높고 고위도로 갈수록 낮아진다. 등수온선은 대체로 위도와 나란하게 나타나지만, 해류나 수륙 분포, 용승 등의 영향으로 등수온선이 위도와 나란하지 않은 해역도 일부 나타난다.



▲ **전 세계 해양의 표층 수온 분포(1955년~2022년 평균)**

② 계절별 표층 수온 분포: 표층 수온은 겨울보다 여름에 높게 나타나며, 연중 수온 차이는 저위도보다 고위도에서 크게 나타난다. 또한, 대양의 중심부보다는 대륙의 영향을 많이 받는 연안에서 표층 수온의 변화가 크게 나타난다.

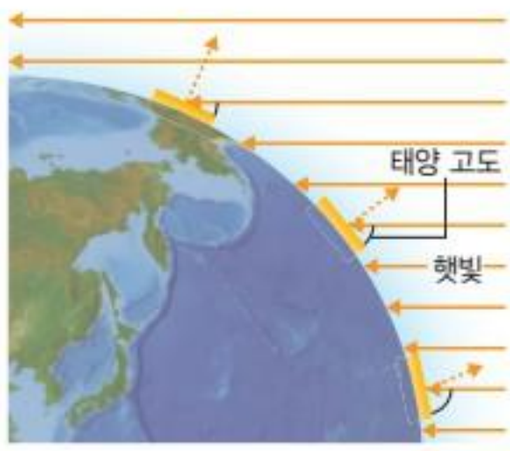
(2) **해수의 연직 수온 분포:** 태양 복사 에너지는 수심 약 100 m 이내에서 대부분 흡수되고 깊은 곳에는 거의 도달하지 않으므로, 수심에 따라 수온의 변화가 생긴다. 해수는 수심에 따른 수온 변화를 기준으로 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분한다.



▲ **해수의 층상 구조**

위도에 따른 태양 복사 에너지

지구는 둥글기 때문에 지표면이 받는 단위넓이당 태양 복사 에너지량은 고위도로 갈수록 적어진다. 이는 고위도로 갈수록 태양의 평균 고도가 낮아지고, 반사율은 증가하기 때문이다.



수심에 따른 태양 복사 에너지 흡수량

해수면에 입사하는 태양 복사 에너지량의 50 % 정도는 수심 1 m 이내에서, 85 % 정도는 수심 10 m 이내에서, 99 % 정도는 수심 100 m 이내에서 흡수된다.

용어 리마인드

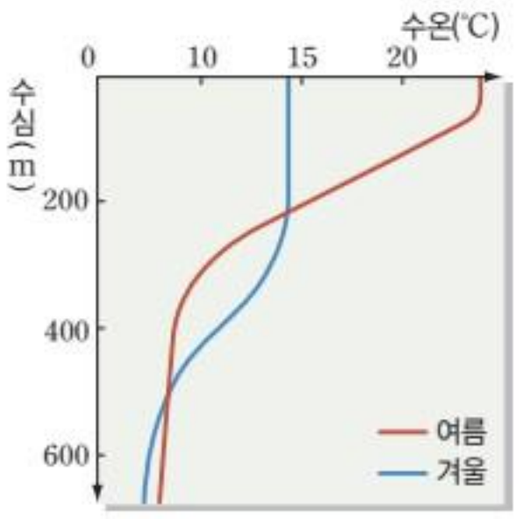
***태양 복사 에너지**

태양에서 오는 에너지로, 지구시스템의 모든 요소에 영향을 주는 근원 에너지

① 혼합층: 해수의 표층에는 태양 복사 에너지를 흡수하여 수온이 높고, 해수면 부근에서 부는 바람에 의해 해수가 고르게 섞여 어느 정도 깊이까지 수온이 거의 일정한 층이 나타나는데, 이 층을 혼합층이라고 한다. 혼합층의 두께는 바람이 강할수록 두껍게 나타나며, 바람의 세기는 위도별, 계절별로 달라지므로 혼합층의 두께도 위도와 계절에 따라 다르게 나타난다.

- 위도에 따른 혼합층의 발달: 입사하는 태양 복사 에너지량이 많은 적도 해역은 중위도 해역보다 표층 수온이 높지만 바람이 약하게 불기 때문에 혼합층의 두께가 얇다. 반면, 바람이 강하게 부는 중위도 해역은 해수의 상하 혼합이 잘 일어나므로 다른 해역에 비해 혼합층의 두께가 두껍다. 고위도 해역은 표층 해수가 태양 복사 에너지에 의해 거의 가열되지 않으므로 혼합층이 발달하지 않는다.
- 계절에 따른 혼합층의 발달: 여름에는 겨울에 비해 표층 수온이 높고 바람이 약하므로 혼합층의 수온이 높고 두께가 얇다.

② 수온 약층: 혼합층 아래에는 수심이 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이 형성되는데, 이 층을 수온 약층이라고 한다. 수온 약층의 아래쪽에는 수온이 낮아서 밀도가 큰 해수가 분포하고, 위쪽에는 수온이 높아서 밀도가 작은 해수가 분포하므로 수온 약층은 상하 혼합이 일어나기 어려운 매우 안정한 층이다. 따라서 수온 약층에서는 대류가 잘 일어나지 않아 혼합층과 심해층 사이의 물질과 에너지 이동을 차단하는 역할을 한다. 수온 약층은 표층 수온이 높은 여름철에 잘 발달하고, 수온 약층이 시작되는 깊이는 혼합층의 두께가 두꺼운 중위도 해역에서 깊게 나타난다.

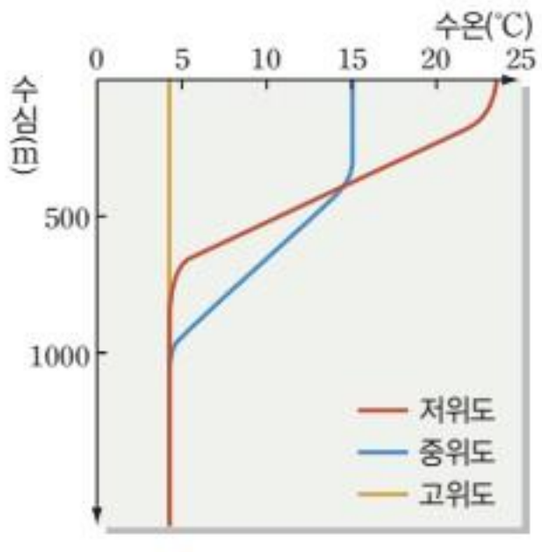


▲ 계절에 따른 혼합층과 수온 약층의 변화

계절에 따른 해수의 층상 구조
혼합층은 여름철보다 겨울철에 잘 발달하고, 수온 약층은 겨울철보다 여름철에 잘 발달한다. 심해층은 계절에 따른 수온 변화가 거의 없어서 변화가 잘 나타나지 않는다.

③ 심해층: 수온 약층 아래에는 태양 복사 에너지가 도달하지 못해서 수온이 낮고 위도나 계절, 수심에 따른 수온 변화가 거의 없는 층이 있는데, 이 층을 심해층이라고 한다. 심해층은 해수 전체 부피의 약 80 %를 차지한다.

분석 위도별 해수의 층상 구조

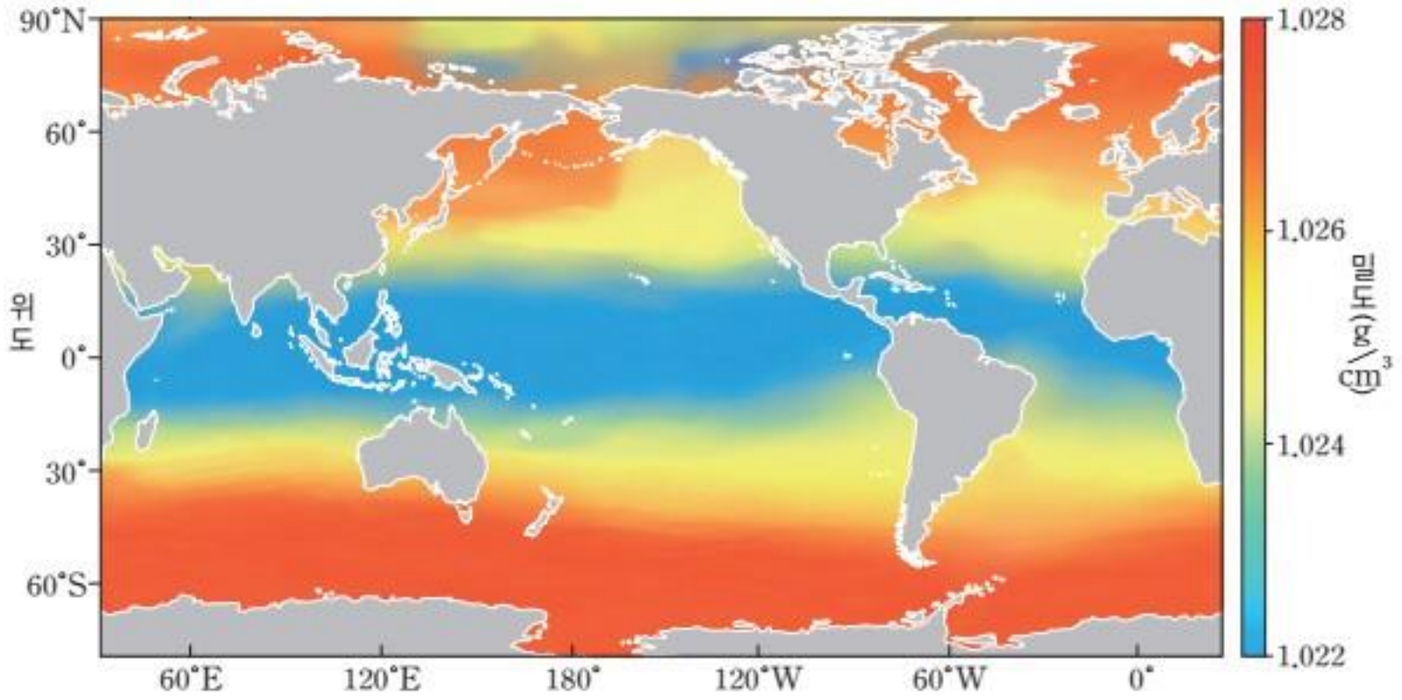


- 저위도 해역: 태양 복사 에너지 흡수량이 많고 바람이 약하게 부는 저위도 해역은 혼합층의 수온이 높고 두께가 얇다. 또한, 표층과 심층의 수온 차가 커서 수온 약층이 강하게 나타난다.
- 중위도 해역: 바람이 강하게 부는 중위도 해역은 혼합층의 두께가 두껍다. 또한, 해수의 층상 구조가 가장 뚜렷하게 나타난다.
- 고위도 해역: 표층과 심층의 수온 차이가 거의 없어서 해수의 층상 구조가 잘 나타나지 않는다.

2. 해수의 밀도

해수의 밀도는 일반적으로 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록, 수압이 높을수록 증가하는데, 주로 수온과 염분에 따라 결정된다.

(1) **표층 해수의 밀도:** 해수 속에는 여러 가지 염류가 용해되어 있어서 순수한 물보다 밀도가 약간 크다. 일반적으로 표층 해수의 밀도는 1.022 g/cm^3~1.028 g/cm^3 정도이다.

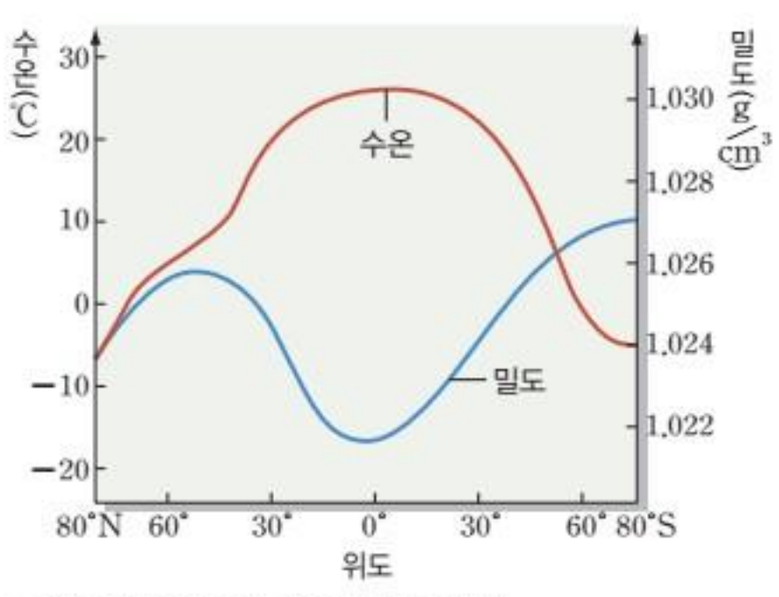


▲ 전 세계 해양의 해수면 밀도 분포(1955년~2022년 평균)

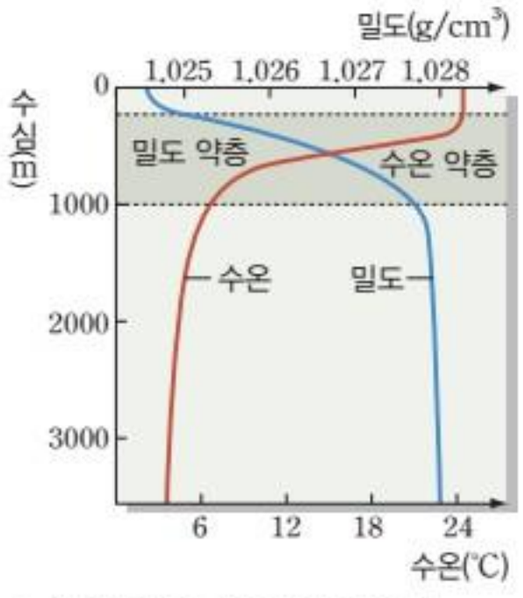
(2) **해수의 밀도 분포:** 대부분의 해양에서는 수온으로 일어나는 해수의 밀도 변화가 염분으로 일어나는 해수의 밀도 변화보다 크다. 따라서 해수의 밀도 분포는 대체로 수온 분포와 반대의 경향을 나타낸다.

① 위도에 따른 밀도 분포: 해수의 밀도는 북반구의 경우 수온이 비교적 낮고 염분이 높은 위도 50°~60° 해역에서 최댓값을 나타내고, 수온이 비교적 높고 염분이 낮은 적도 부근 해역에서 최솟값을 나타낸다. 북반구의 고위도 해역에서는 수온과 밀도가 반비례 경향을 나타내지 않는데, 이는 북반구 고위도 지역의 대륙에서 바다로 하천수가 대량 유입되어 표층 염분이 낮아지기 때문이다.

② 수심에 따른 밀도 분포: 수심이 깊어질수록 해수의 밀도가 증가한다. 수온이 급격하게 감소하는 수온 약층에서는 밀도가 급격하게 증가하는 밀도 약층이 나타난다.



▲ 위도에 따른 표층 수온과 밀도 분포



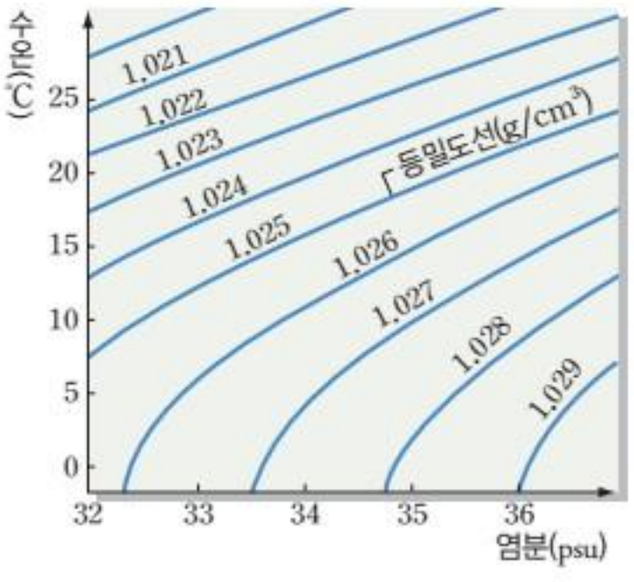
▲ 수심에 따른 수온과 밀도 분포

수온과 염분 변화에 따른 해수의 밀도 변화

해수의 밀도는 수온이 높아지면 감소하고 염분과 수압이 높아지면 증가한다. 수온과 염분의 분포는 지리적인 위치와 기후의 영향을 받아 변하며, 밀도 변화에 대한 이들의 영향은 수압에 의한 영향보다 훨씬 크다. 또한, 수온의 변화 폭이 염분의 변화 폭보다 크므로 외해에서는 염분보다 수온의 영향이 더 크다. 외해에서 해수의 염분 분포는 약 33 psu~36 psu이지만, 이에 해당하는 해수의 수온 분포는 약 −1 ℃~30 ℃이다.

(3) **수온 염분도(T-S도):** 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 따라 결정된다. 수온과 염분에 따른 밀도의 분포를 나타낸 그래프를 수온 염분도(T-S도, Temperature-Salinity diagram)라고 한다. 수온 염분도를 이용하면 수심에 따른 해수의 성질을 파악할 수 있고, 서로 다른 해역에 있는 해수의 성질을 비교할 수 있다.

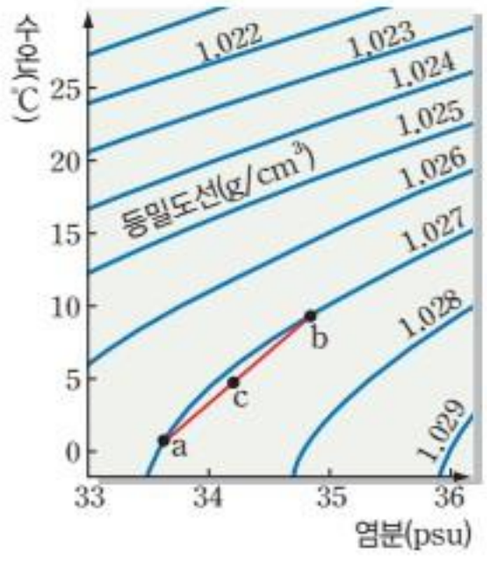
집중 분석 17쪽



▲ **수온 염분도**

해양에서 물리적·화학적 성질이 비슷한 해수의 덩어리를 수괴라고 한다. 수괴는 대체로 그 해수가 만들어진 해역의 수온과 염분을 보존하는데, 수온 염분도를 이용하면 수괴를 구분하고 추정할 수 있다. 예를 들면, 우리나라 동해의 약 300 m 깊이에는 수온이 약 1 ℃이고, 염분이 약 34.1 psu인 동해 수괴가 존재하는데, 수괴 분석 결과 러시아 블라디보스토크 외해의 표층 해수가 침강하여 동해까지 이른 것으로 추정할 수 있다.

등밀도 혼합

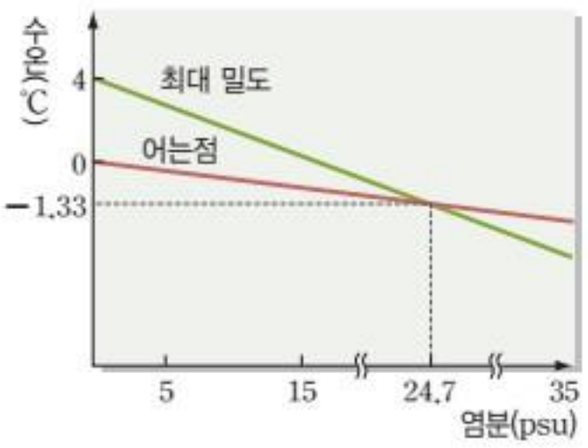


그림에서 a와 b 해수는 수온과 염분이 다르지만 밀도는 같다. 이 두 해수가 혼합되면 해수의 밀도는 c가 되어 원래의 해수보다 밀도가 큰 해수가 형성된다. 이러한 과정을 등밀도 혼합이라고 한다.

심화 염분에 따른 해수의 최대 밀도와 어는점 변화

수온과 염분에 따른 해수의 최대 밀도와 어는점 변화를 보면, 최대 밀도 변화 그래프의 기울기가 어는점 변화 그래프의 기울기보다 크고, 염분이 24.7 psu, 수온이 −1.33 ℃인 지점에서 두 직선이 교차한다.

① 염분이 24.7 psu보다 작은 해수: 최대 밀도가 어는점보다 크기 때문에 수온이 낮아질 경우 결빙되기 전에 최대 밀도에 도달하므로 가라앉게 된다. 이와 같은 원리에 의해 표층수가 침강하여 심층수와의 혼합이 일어난다.



▲ **수온과 염분에 따른 해수의 최대 밀도와 어는점 변화**

② 염분이 24.7 psu보다 큰 해수: 수온이 어는점에 도달해도 최대 밀도가 되지 않는다. 따라서 해수는 표층에서부터 얼기 시작하지만 최대 밀도가 아니기 때문에 가라앉지 못하며, 결빙이 일어날 때 염분이 주변 해역으로 빠져나가 주변 해수의 밀도가 더 커지기 때문에 얼음이 더 가라앉지 못하게 된다. 빙산이 바다 위에 떠 있는 원리가 이와 같다.

중요 개념 체크

정답과 해설 146쪽

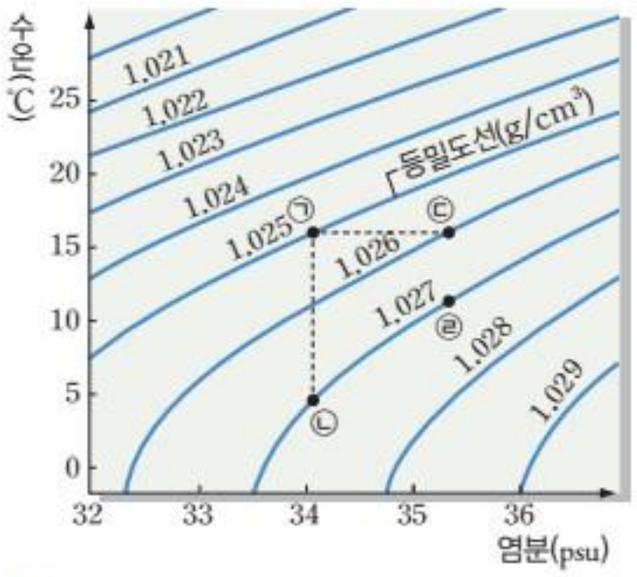
1. **혼합층의 두께는 대체로 바람이 (　　)하게 부는 지역에서 두껍게 나타난다.**
2. **해수의 밀도에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.**
   (1) 수온, 염분, 수압 중 해수의 밀도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수압이다. ——— (　　)
   (2) 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 해수의 밀도는 증가한다. ——— (　　)

HIGH 집중 분석

수온 염분도를 해석해 볼까?

1 수온 염분도 이해

수온 염분도는 수온과 염분에 따른 해수의 밀도 분포를 나타낸 그래프로, 특정한 수온과 염분의 수괴는 수온 염분도에 한 점으로 표시할 수 있다.



- 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 해수의 밀도가 커진다.
- 수괴 ㉠과 ㉡은 염분이 같지만, ㉠보다 ㉡의 수온이 낮으므로 밀도는 ㉡이 더 크다.
- 수괴 ㉠과 ㉢은 수온이 같지만, ㉠보다 ㉢의 염분이 높으므로 밀도는 ㉢이 더 크다.
- 수괴 ㉡과 ㉣은 수온과 염분이 모두 다르지만 밀도는 같다.

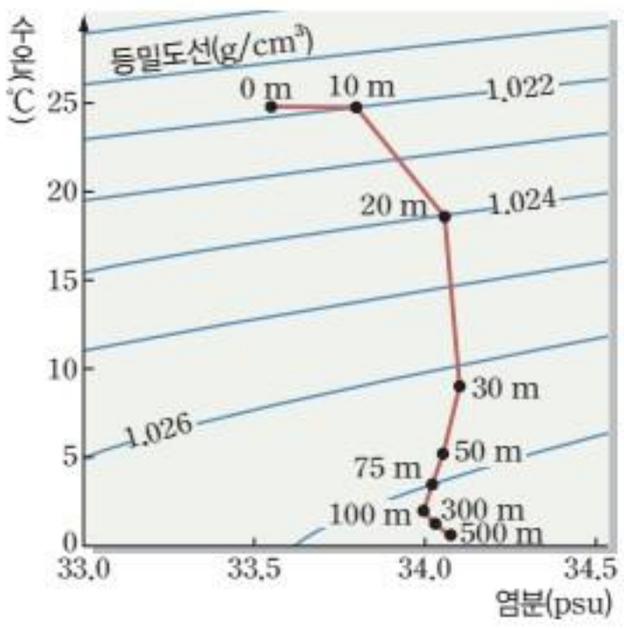
등밀도선
수온 염분도에서 밀도가 같은 지점을 이은 선이다.

2 수온 염분도 해석

그림은 어느 해역의 수심에 따른 수온과 염분 분포를 수온 염분도에 나타낸 것이다.

(1) **수심 0 m~10 m**: 표층에서 수온이 약 25 ℃이고, 염분이 약 33.5 psu이며, 밀도는 1.022 g/cm³보다 약간 작다. 이후 수심 10 m까지는 수온이 일정하고, 염분과 밀도가 증가하였다. 따라서 수심 0 m~10 m까지는 혼합층에 해당한다.

(2) **수심 10 m~100 m**: 수심이 깊어질수록 염분의 변화는 크지 않으나, 수온이 급격히 감소하여 밀도가 증가하므로, 수온 약층에 해당한다.



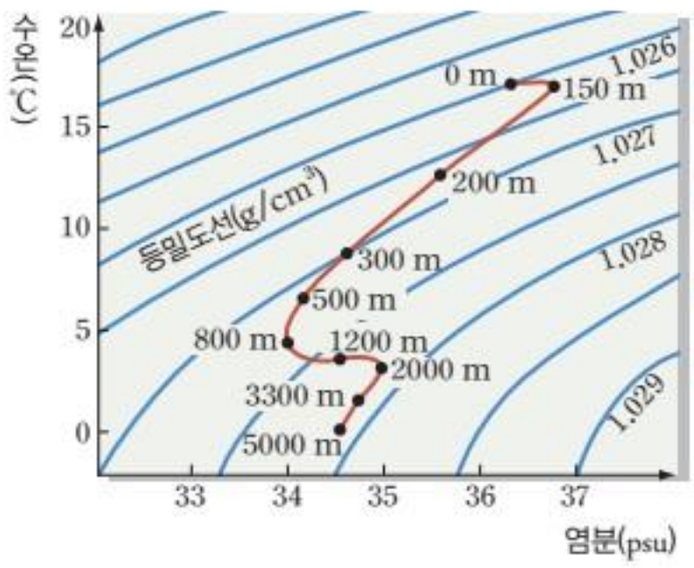
(3) **수심 100 m~500 m 이하**: 수심에 따른 수온, 염분, 밀도 변화가 거의 없으므로 심해층에 해당한다.

예제

1 그림은 어느 해역의 수심에 따른 수온과 염분 분포를 수온 염분도에 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.

(1) 혼합층의 두께는 약 150 m이다. (　　)

(2) 수온 약층은 수심 약 800 m~2000 m 구간에서 나타난다. (　　)



풀이 (1) 수심 0 m~150 m까지는 수온 변화가 거의 없으므로 혼합층에 해당한다.
(2) 수심 150 m~800 m 구간은 수온이 급격히 낮아지는 수온 약층에 해당한다.

정답 (1) ○　(2) ×

HIGH 집중 분석

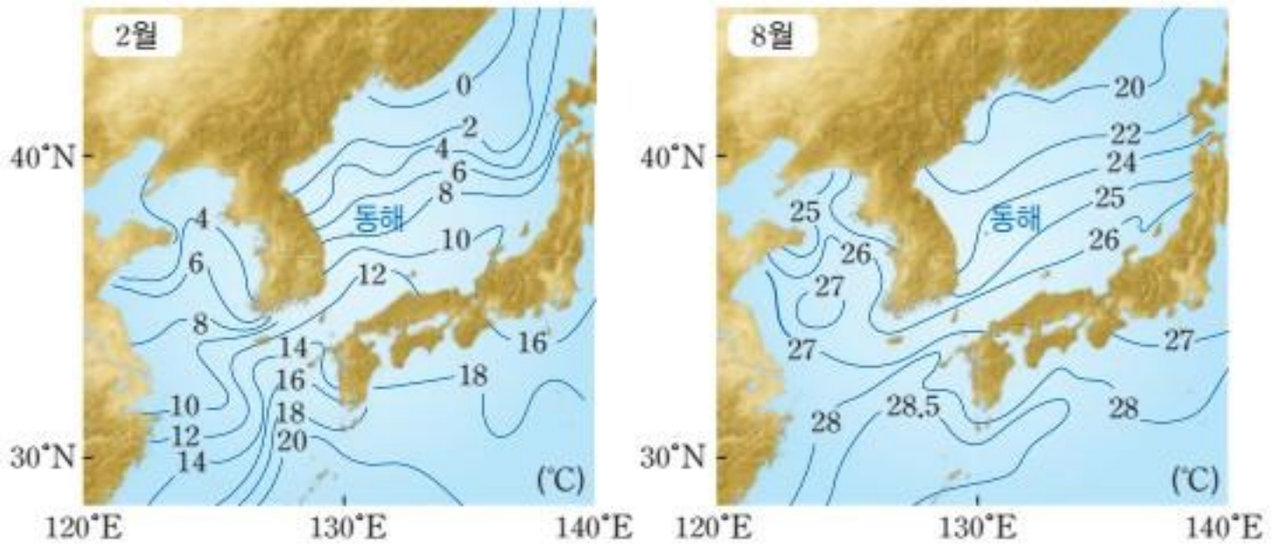
우리나라 주변 해수는 어떤 성질이 있을까?

1 우리나라 주변 해역의 표층 수온 분포

(1) **황해**: 황해는 수온의 연교차가 가장 크다. 이는 황해의 수심이 가장 얕으므로 남해나 동해보다 육지의 영향을 많이 받기 때문이다.

(2) **동해**: 한류와 난류가 만나는 동해는 위도에 따른 수온 차이가 크다. 여름철 동해 남부에서는 연안을 따라 심층의 찬 해수가 올라와 주변보다 수온이 낮은 해역이 나타나기도 한다.

(3) **남해**: 남해는 수온이 높은 쿠로시오 해류가 지속적으로 영향을 미치므로 연중 수온이 가장 높고, 수온의 연교차가 가장 작다.



▲ 우리나라 주변 해역의 표층 수온 분포

우리나라 주변 해역의 용존산소량

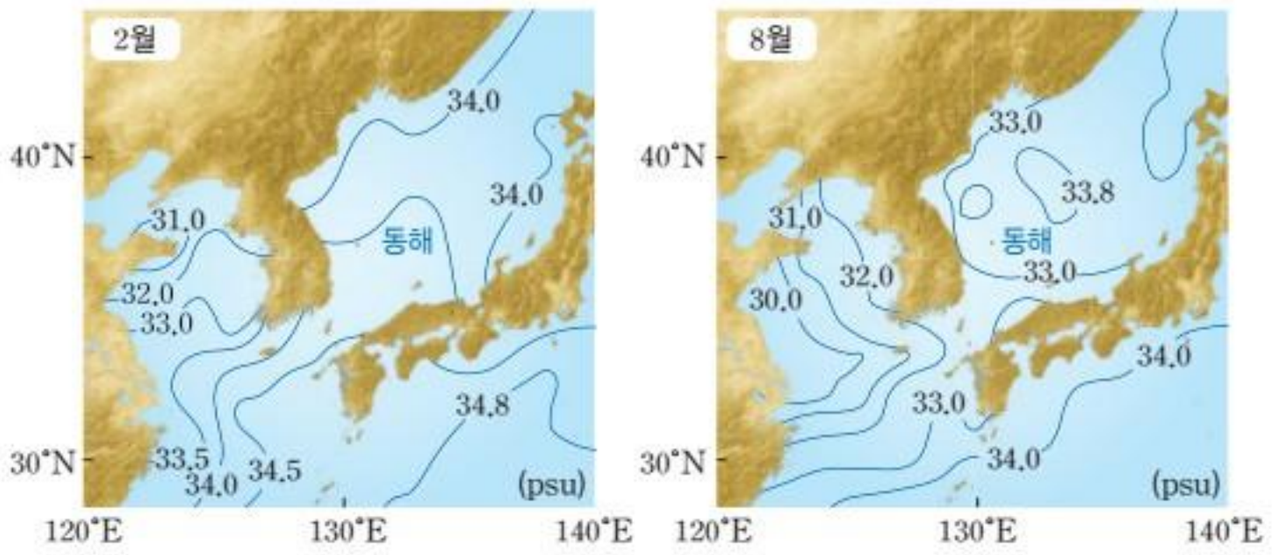
기체의 용해도는 수온에 반비례하므로, 난류보다 한류에서 용존산소량이 많다. 따라서 동해에서 한류의 영향이 미치는 곳은 수온이 낮으므로 용존산소량이 많은 편이다. 한편, 같은 해역이더라도 수온이 낮은 겨울철에는 용존산소량이 많고, 수온이 높은 여름철에는 용존산소량이 적다.

2 우리나라 주변 해역의 표층 염분 분포

(1) **황해**: 평균 표층 염분은 약 32.1 psu로, 가장 낮다. 이는 계절에 상관없이 동중국해와 황해 연안으로부터 하천수가 유입되기 때문이다.

(2) **동해**: 평균 표층 염분은 약 33.7 psu이다. 동해의 수심이 깊고, 하천수의 유입량이 적기 때문에 계절에 따른 염분 변화가 다른 해역에 비해 크지 않다.

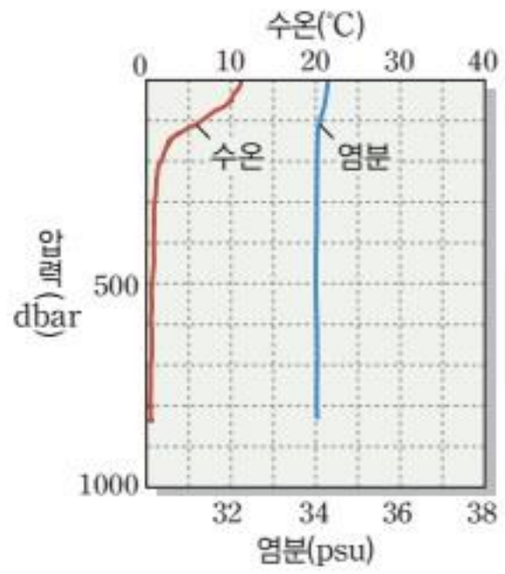
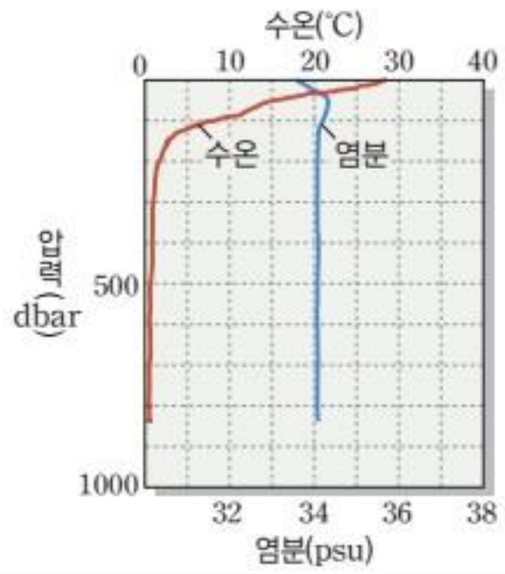
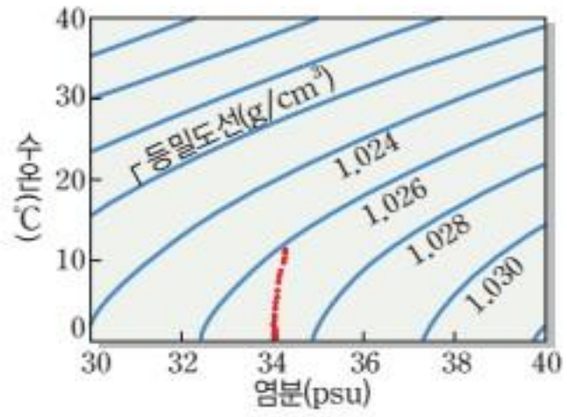
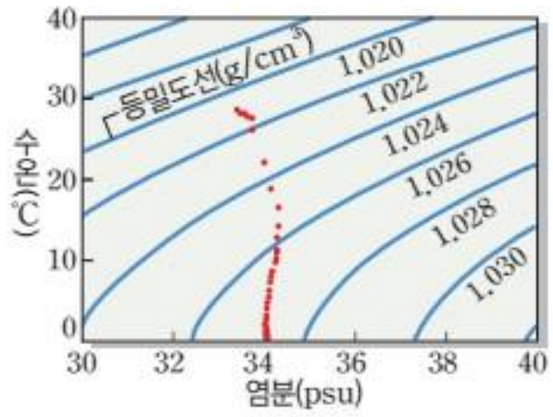
(3) **남해**: 평균 표층 염분은 약 33.0 psu로, 쿠로시오 해류의 영향을 받아 염분이 높은 편이다. 여름철에는 중국 양쯔강으로부터 유입된 하천수와 섞여서 표층 염분이 낮아진다. 따라서 남해는 표층 염분의 연교차가 가장 크다.



▲ 우리나라 주변 해역의 표층 염분 분포

3 우리나라 동해의 연직 수온 및 염분 분포

다음은 우리나라 동해의 수온과 염분의 연직 분포 및 수온 염분도를 나타낸 것이다.

관측일	2023년 2월	2023년 8월
수온+염분		
수온 염분도		

데시바(dbar)
데시바(dbar)는 압력의 단위로, 수압 1 dbar는 깊이 약 1 m에 해당한다.

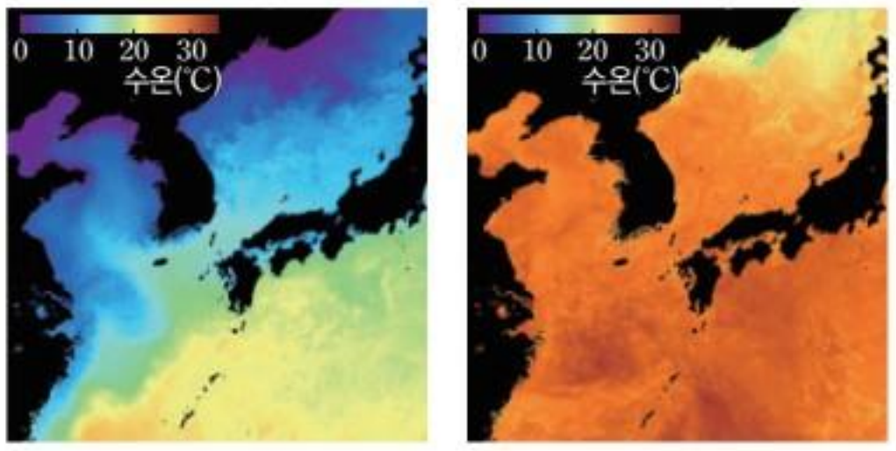
(1) **연직 수온 분포**: 겨울철에는 혼합층이 발달하고, 여름철에는 수온 약층이 강하게 발달한다.

(2) **표층 염분 분포**: 겨울철보다 여름철에 표층 해수의 염분이 낮다.

(3) **연직 밀도 분포**: 겨울철에는 표층과 심층 사이에 밀도 차이가 크지 않으나, 여름철에는 표층 해수의 밀도가 작아서 깊이에 따른 밀도 차이가 크게 나타난다.

예제

1 그림 (가)와 (나)는 2월과 8월에 측정한 우리나라 주변 바다의 표층 수온 분포를 나타낸 것이다.



(가) 2월 (나) 8월

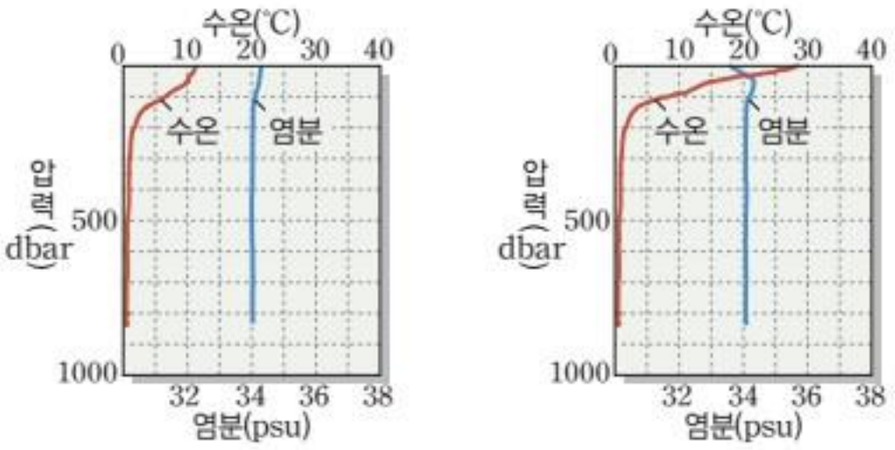
(1) 황해, 동해, 남해 중 연중 수온이 가장 높은 바다는?

(2) 황해, 동해, 남해 중 수온의 연교차가 가장 큰 바다는?

풀이 (1) 남해는 난류의 영향을 많이 받아 연중 수온이 가장 높다.
(2) 황해는 육지의 영향을 많이 받아 수온의 연교차가 크다.

정답 (1) 남해 (2) 황해

2 그림 (가)와 (나)는 우리나라 동해에서 2월과 8월에 측정한 수심에 따른 수온과 염분 분포를 나타낸 것이다.



(가) 2월 (나) 8월

(1) 2월과 8월 중 해수면 위에서 부는 바람의 평균 풍속이 더 빠른 때는?

(2) 2월과 8월 중 (증발량−강수량)값이 더 큰 때는?

풀이 2월에 혼합층의 두께가 더 두껍고 표층 염분이 더 높다.

정답 (1) 2월 (2) 2월

개념 기본 문제

01 염류와 염분에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 것이다.

ㄴ. 염분의 단위로는 실용염분단위인 psu를 주로 사용한다.

ㄷ. 해수에 녹아 있는 염류 중 가장 많은 비율을 차지하는 것은 황산 이온이다.

02 다음은 해수의 표층 염분 변화에 영향을 주는 요인을 나열한 것이다.

보기

ㄱ. 해수의 결빙　　ㄴ. 해빙

ㄷ. 해수의 증발　　ㄹ. 강수

ㅁ. 하천수 유입

(1) 표층 염분을 증가시키는 요인만을 보기에서 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

(2) 표층 염분을 감소시키는 요인만을 보기에서 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

03 표층 염분에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

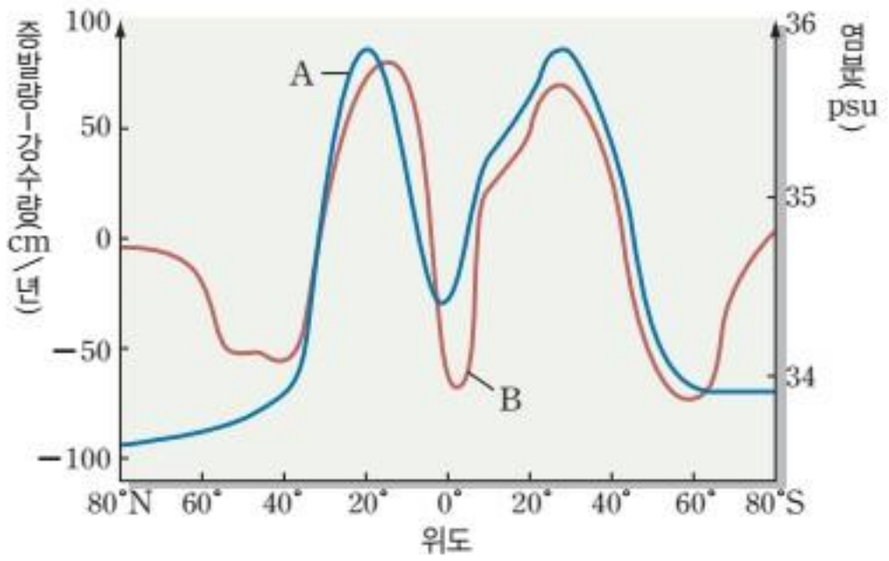
ㄱ. 수온이 높을수록 표층 염분이 낮다.

ㄴ. 강수량이 많을수록 표층 염분이 낮다.

ㄷ. 연안 해역은 같은 위도의 먼바다보다 표층 염분이 대체로 낮다.

ㄹ. 중위도 해역은 적도 해역보다 표층 염분이 높다.

04 그림은 위도에 따른 해수의 물리량 분포를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 (증발량−강수량)과 표층 염분 중 하나이다.

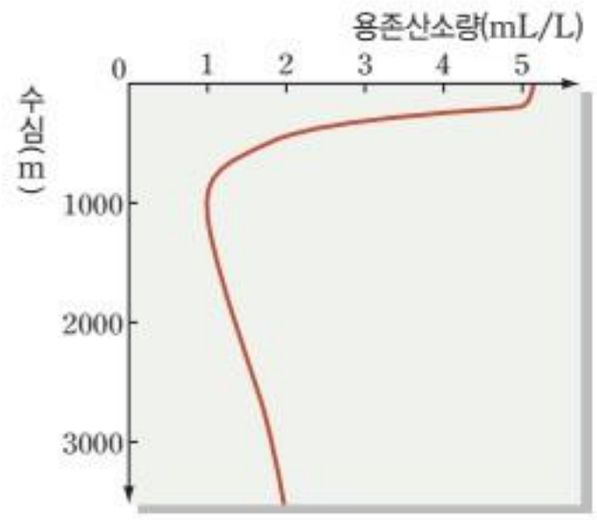


(1) A와 B에 해당하는 물리량을 각각 쓰시오.

(2) (　　) 안에 알맞은 말을 고르시오.

㉠(고압대, 저압대)인 중위도 해역은 증발량이 ㉡(많고, 적고), 강수량이 ㉢(많아서, 적어서) 표층 염분이 높다.

05 그림은 어느 해역에서 수심에 따른 용존산소량의 변화를 나타낸 것이다.

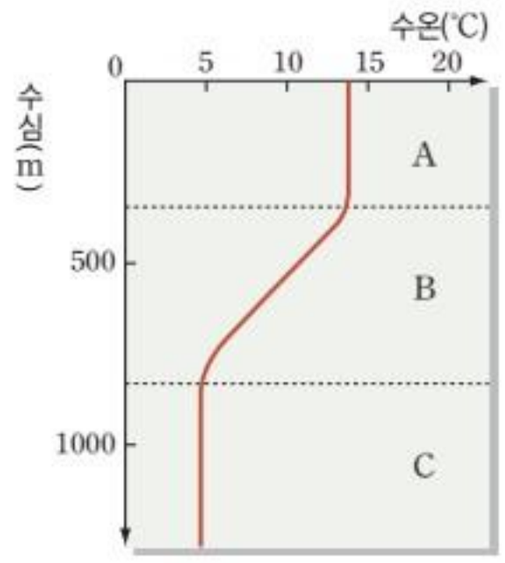


(1) 해수 중 기체의 용해도에 가장 큰 영향을 미치는 물리량을 쓰시오.

(2) (　　) 안에 알맞은 말을 쓰시오.

용존산소량은 해수의 표층에서 가장 많다. 이는 대기 중의 산소가 해수면으로 녹아 들어오거나 해양 생물의 (　　)을 통해 산소가 공급되기 때문이다.

06 그림은 해수의 연직 수온 분포를 나타낸 것이다.



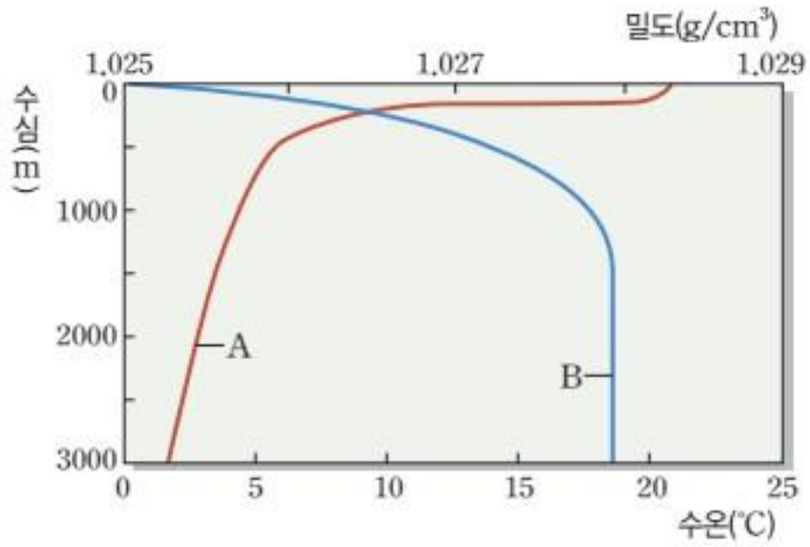
(1) A~C의 명칭을 각각 쓰시오.

(2) A층의 두께에 가장 큰 영향을 주는 요인은 무엇인지 쓰시오.

(3) ( ) 안에 알맞은 말을 고르시오.

> B층은 수심이 깊어질수록 수온이 ㉠(높아, 낮아) 지므로 상하 혼합이 일어나기 어려운 매우 ㉡(안정, 불안정)한 층이다.

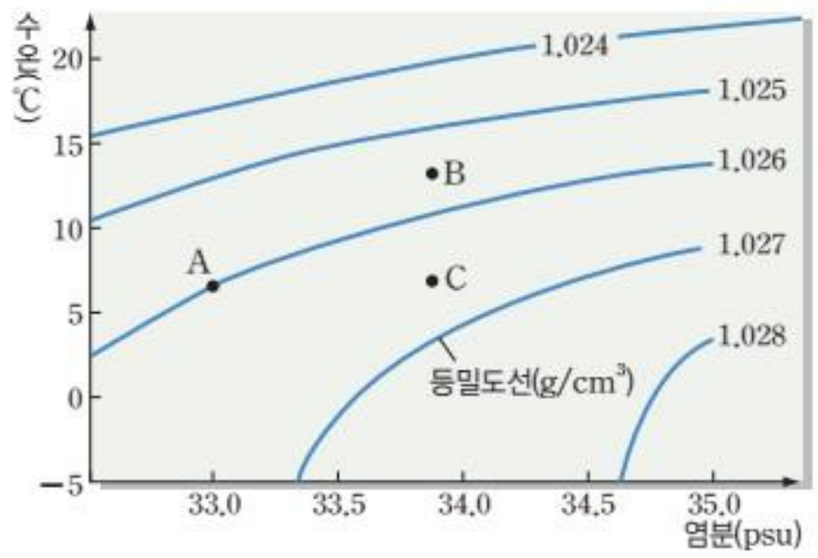
07 그림은 수심에 따른 해수의 수온과 밀도 분포를 순서 없이 나타낸 것이다.



(1) A와 B에 해당하는 물리량을 각각 쓰시오.

(2) 수온의 연직 분포에 따라 해양을 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분할 때, 밀도 변화가 가장 크게 나타나는 해수의 층은 어느 곳인지 쓰시오.

08 그림은 해수 A~C의 물리적 특성을 수온 염분도에 나타낸 것이다.

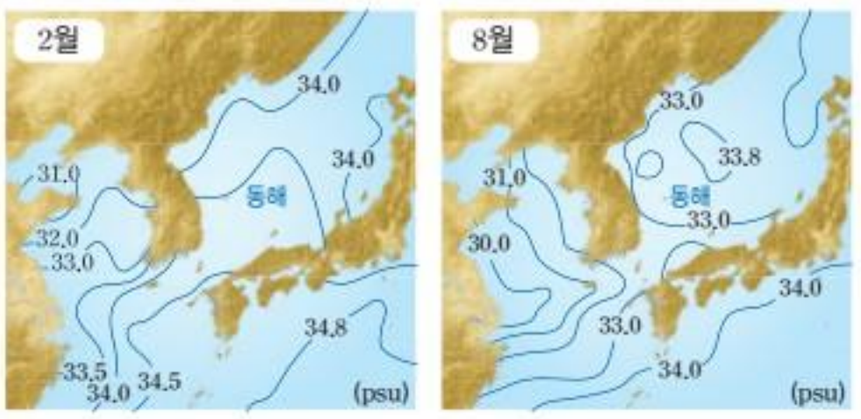


(1) A~C의 밀도를 부등호를 사용하여 비교하시오.

(2) A와 C의 밀도 차이에 영향을 준 요인은 무엇인지 쓰시오.

(3) B와 C의 밀도 차이에 영향을 준 요인은 무엇인지 쓰시오.

09 그림은 우리나라 주변 해역의 2월과 8월의 표층 염분 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 전 해역에서 표층 염분이 2월보다 8월에 낮은 까닭은 강수량이 여름철에 많기 때문이다.

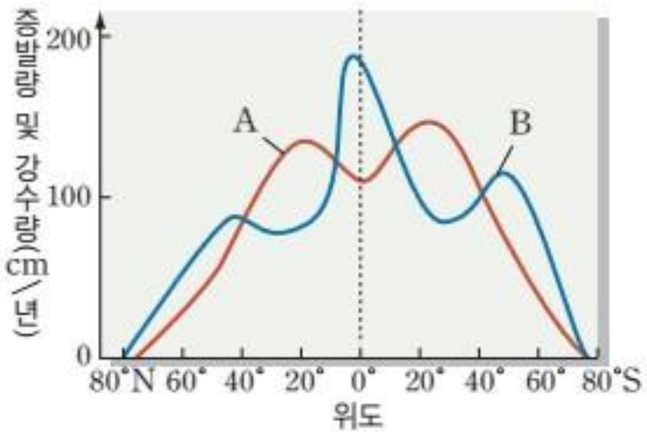
ㄴ. 황해가 동해보다 표층 염분이 낮은 까닭은 수심이 얕아 증발량이 많기 때문이다.

ㄷ. 남해는 표층 염분의 연교차가 다른 해역에 비해 크다.

개념 적용 문제

➤ 해수의 염분

01 그림은 위도에 따른 증발량과 강수량 분포를 A와 B로 순서 없이 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



> 증발량이 강수량보다 많은 곳은 표층 염분이 높게 나타나고, 강수량이 증발량보다 많은 곳은 표층 염분이 낮게 나타난다.

보기

ㄱ. A는 강수량 분포이다.
ㄴ. 중위도 해역은 대기 대순환에 의해 고압대가 발달한다.
ㄷ. 표층 해수의 평균 염분은 적도 부근 해역이 위도 30° 부근 해역보다 낮게 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 해수의 염분

02 다음은 하천수의 유입과 해수의 결빙이 해수의 염분에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다.

> 표층 염분이 증가하는 요인에는 해수의 결빙, 증발 등이 있고, 표층 염분이 감소하는 요인에는 해빙, 강수, 하천수 유입 등이 있다.

[실험 과정]
(가) 수온이 15 ℃, 염분이 35 psu인 소금물 600 g을 만든다.
(나) (가)의 소금물을 비커 A와 B에 각각 300 g씩 나누어 담는다.
(다) A의 소금물에 수온이 15 ℃인 (㉠) 50 g을 섞는다.
(라) B의 소금물을 표층이 얼 때까지 천천히 냉각시킨다.
(마) A와 B에 있는 소금물의 염분을 측정하여 기록한다.



[실험 결과]

비커	A	B
염분(psu)	(㉡)	(㉢)



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

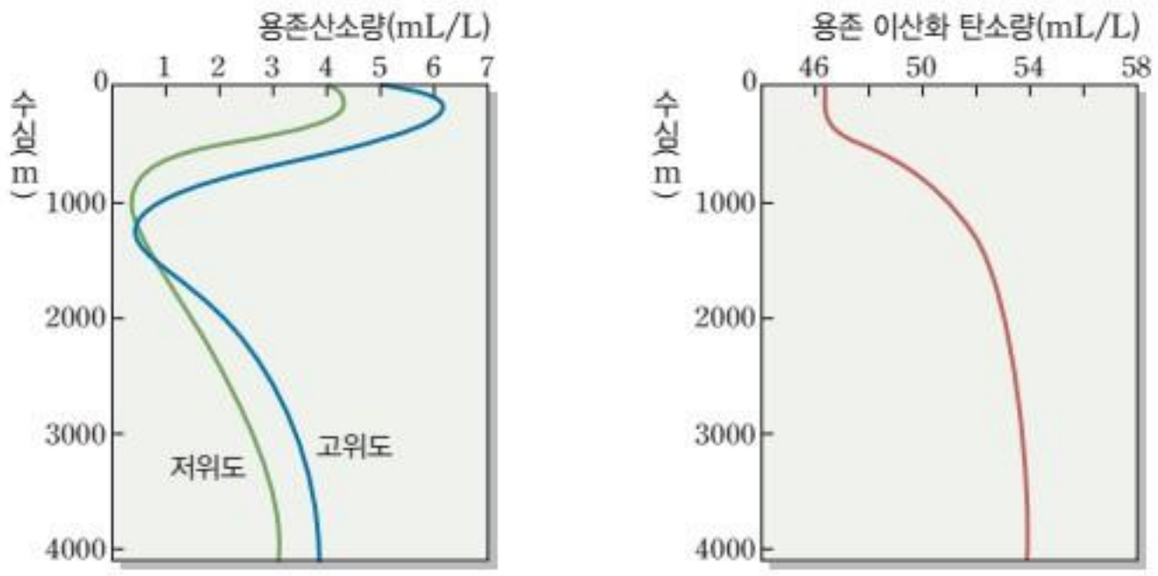
보기

ㄱ. ㉠에 적절한 것은 '증류수'이다.
ㄴ. (라)는 결빙에 의한 해수의 염분 변화를 알아보기 위한 과정에 해당한다.
ㄷ. ㉡은 ㉢보다 작다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 해수의 용존기체

03 그림 (가)와 (나)는 해수 중에 녹아 있는 산소의 양과 이산화 탄소의 양을 수심에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

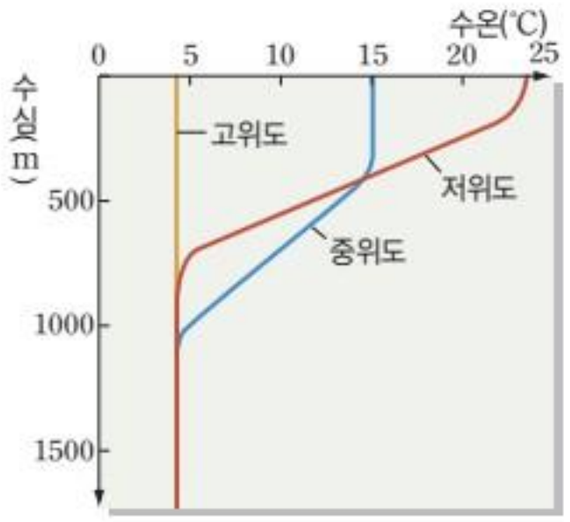
ㄱ. 고위도 해수는 저위도 해수보다 대체로 용존산소량이 많다.
ㄴ. 광합성은 표층의 용존산소량을 증가시키는 원인이다.
ㄷ. 수심 1000 m보다 깊은 곳에서 용존 이산화 탄소량이 증가하는 것은 해양 생물의 호흡 작용 때문이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 표층 해수의 용존산소량과 용존 이산화 탄소량은 광합성 생물의 분포와 관련이 있다.

➤ 해수의 온도

04 그림은 고위도, 중위도, 저위도 해역의 연직 수온 분포를 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

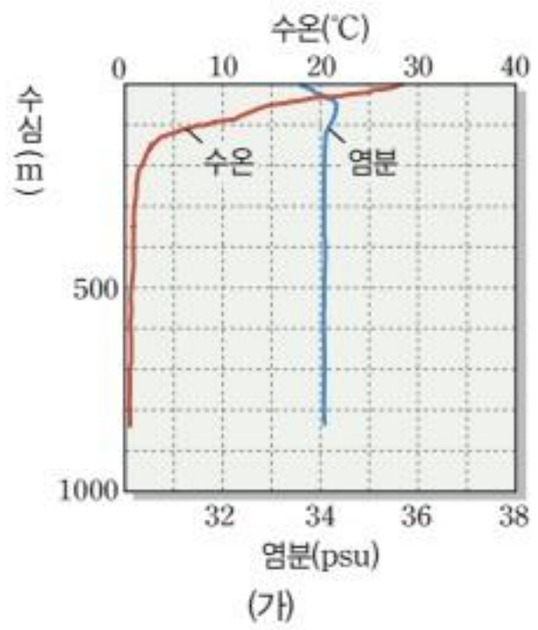
ㄱ. 해수의 연직 혼합은 저위도 해역보다 고위도 해역에서 잘 일어난다.
ㄴ. 심해층의 수온은 저위도 해역에서 가장 높게 나타난다.
ㄷ. 바람은 저위도 해역보다 중위도 해역에서 강하게 분다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

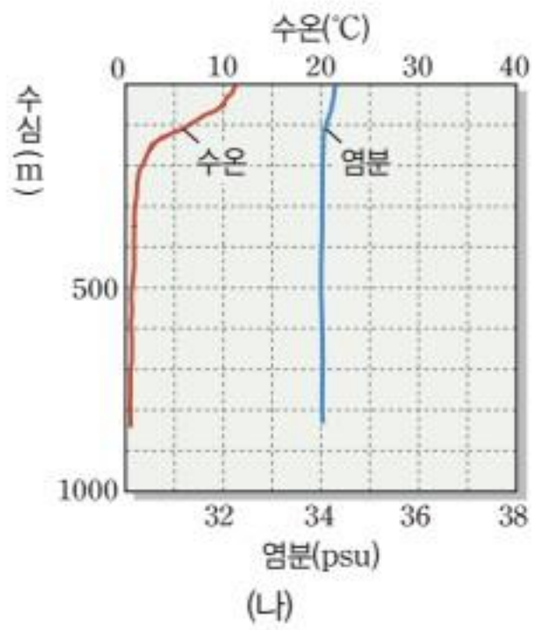
➤ 저위도 해역은 입사하는 태양 복사 에너지량이 많아 중위도 해역보다 표층 수온이 높지만, 바람의 세기가 약해 혼합층의 두께가 얇다.

➤ 해수의 수온, 밀도

05 그림 (가)와 (나)는 우리나라 어느 해역에서 측정한 여름과 겨울의 연직 수온 및 염분 분포를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

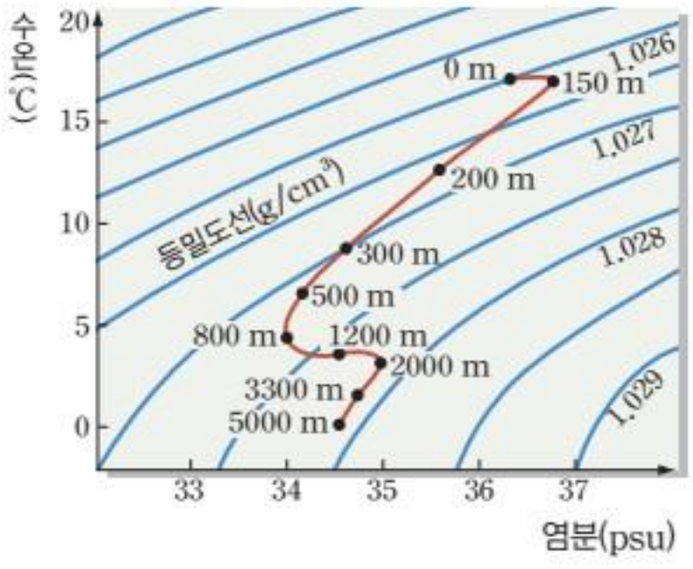
ㄱ. (가)는 겨울에 측정한 것이다.
ㄴ. 수온 약층은 (가)보다 (나)에서 잘 발달하였다.
ㄷ. 해수의 밀도는 표층보다 심층에서 더 클 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 표층에서는 계절에 따라 입사하는 태양 복사 에너지량이 달라지므로 수온 차이가 나타나며, 수심이 깊어질수록 그 차이가 줄어든다.

➤ 해수의 밀도

06 그림은 어느 해역에서 수심에 따른 수온과 염분 분포를 수온 염분도에 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

ㄱ. 수온 약층이 나타난다.
ㄴ. 수심 0 m~150 m까지 해수의 밀도 변화는 수온보다 염분의 영향을 크게 받는다.
ㄷ. 수심 800 m~2000 m 구간에서 해수의 밀도는 일정하다.

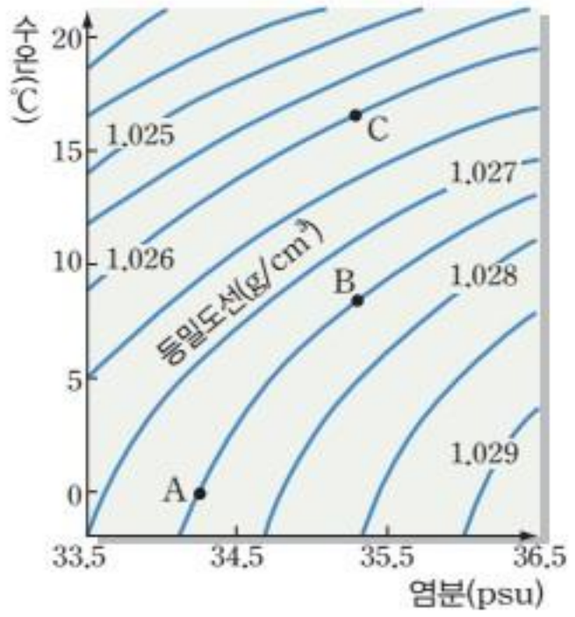
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

➢ 수온 염분도를 이용하여 수심에 따른 수온과 염분의 연직 분포를 파악할 수 있다. 혼합층은 수온 염분도에서 수온 변화가 거의 없고 염분 변화만 나타난다.

1등급 도전 문제

➤ 해수의 밀도

07 그림은 서로 다른 해역에서 측정한 해수 A~C의 표층 수온과 염분을 수온 염분도에 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▻ 수온 염분도를 이용하여 서로 다른 해수의 성질을 비교할 수 있다.

보기

ㄱ. 표층 해수의 밀도는 C가 가장 작다.

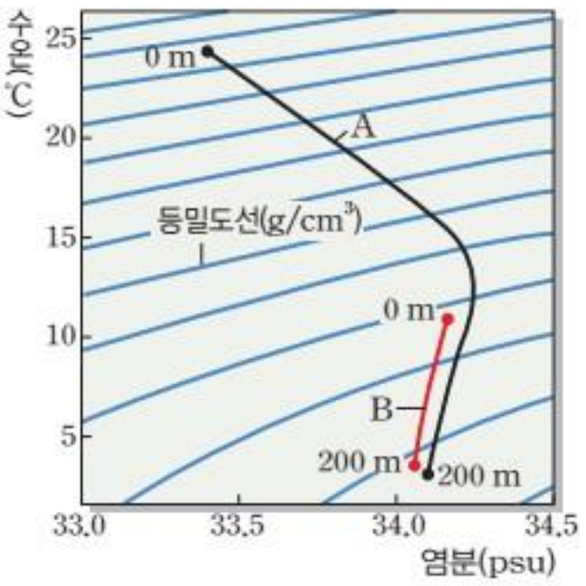
ㄴ. 표층 해수의 수온을 비교하면 A<B<C이다.

ㄷ. 같은 양의 A와 B를 혼합한 해수의 밀도는 1.0275 g/cm³이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 해수의 밀도

08 그림은 우리나라 어느 해역에서 측정한 수심 0 m~200 m의 해수의 성질을 수온 염분도에 나타낸 것이다. A와 B는 각각 2월과 8월 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▻ 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 해수의 밀도가 크다.

보기

ㄱ. A는 8월, B는 2월에 해당한다.

ㄴ. A에서 해수의 밀도는 표층이 수심 200 m보다 크다.

ㄷ. 수온만을 고려할 때, 표층에서 산소 기체의 용해도는 A가 B보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 해수의 순환

핵심 내용 미리보기

"표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 있으며, **해수의 순환에 변화**가 생기면 **전 지구의 기후에 변화**가 생긴다."

1 대기 대순환과 해수의 표층 순환

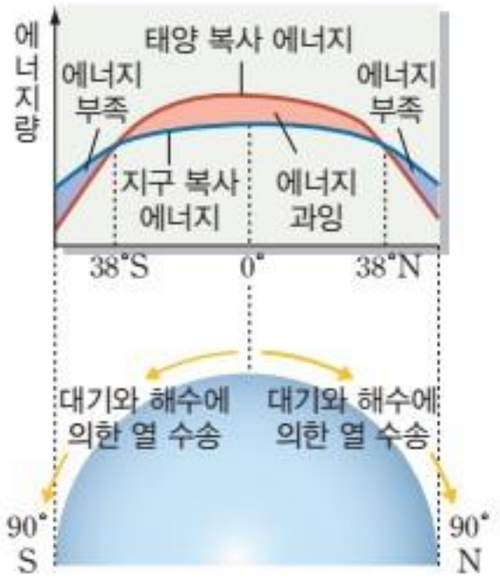
지구의 위도별 에너지 불균형은 대기와 해양의 순환을 일으키고, 대기 대순환에 의해 지상에서 부는 바람은 해수의 표층 순환에 영향을 준다.

1. 대기 대순환

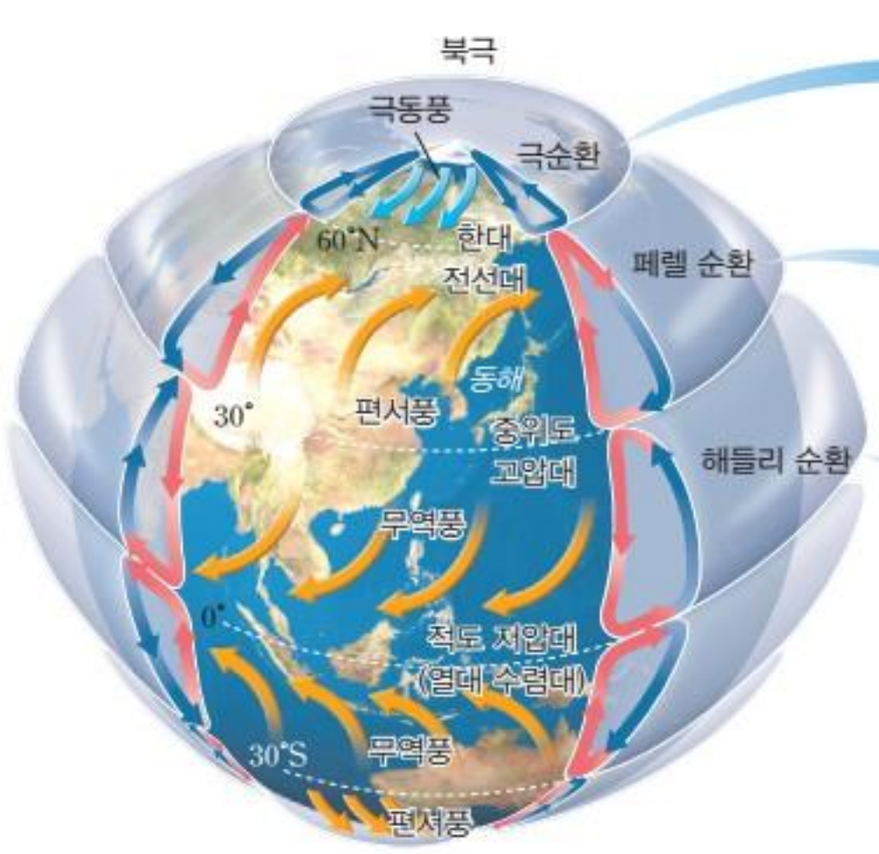
지구 전체 규모로 일어나는 대기의 평균적인 순환을 대기 대순환이라고 한다. 대기 대순환은 위도에 따른 에너지 불균형으로 발생하며, 지구 자전에 의한 전향력으로 북반구와 남반구에서 각각 해들리 순환, 페렐 순환, 극순환의 3개 순환 세포가 나타난다.

(1) **해들리 순환(적도~위도 30°):** 적도 부근의 공기가 태양 복사 에너지에 의해 가열되면 밀도가 작아져 상승하게 되고, 지표면에는 저기압이 형성되어 주위로부터 공기가 모여드는 적도 저압대(열대 수렴대)가 형성된다. 적도 부근에서 상승한 공기는 상공에서 고위도로 이동하면서 점차 냉각되어 밀도가 커지고, 위도 30° 부근에서 하강하여 중위도 고압대(아열대 고압대)가 형성된다. 중위도 고압대에서 불어 나오는 공기의 일부가 적도 지방으로 이동하면서 전향력의 영향으로 편향되어 무역풍이 형성된다. 이와 같이 적도 저압대와 중위도 고압대 사이에서 순환하는 공기의 흐름을 해들리 순환이라고 한다.

위도에 따른 에너지 불균형



지구는 구형이므로 저위도 지역은 입사하는 태양 복사 에너지량이 방출되는 지구 복사 에너지량보다 많아서 에너지 과잉 상태이고, 고위도 지역은 입사하는 태양 복사 에너지량이 방출되는 지구 복사 에너지량보다 적어서 에너지 부족 상태이다.



▲ 대기 대순환 모형

극순환
극지방의 상공에서 냉각된 공기가 하강하여 저위도 쪽으로 이동하다가 위도 60° 부근에서 상승하여 극으로 이동하는 순환으로, 지상에서는 극동풍이 형성된다.

페렐 순환
위도 30°에서 하강한 공기가 고위도 쪽으로 이동하다가 위도 60° 부근에서 상승하는 순환으로, 지상에서는 편서풍이 형성된다.

해들리 순환
적도에서 가열된 공기가 상승하여 고위도 쪽으로 이동하다가 위도 30° 부근에서 하강하여 적도로 이동하는 순환으로, 지상에서는 무역풍이 형성된다.

(2) **페렐 순환(위도 30°~60°):** 중위도 고압대에서 불어 나오는 공기의 일부가 고위도 지방으로 이동하면서 전향력의 영향으로 편향되어 편서풍이 형성된다. 편서풍은 극지방으로부터 내려오는 한랭한 대기와 위도 60° 부근에서 만나는데, 두 공기는 온도 차이가 크므로 쉽게 섞이지 않고 한대 전선대를 형성하며 상승한다. 이와 같이 중위도 고압대와 한대 전선대 사이에서 순환하는 공기의 흐름을 페렐 순환이라고 한다.

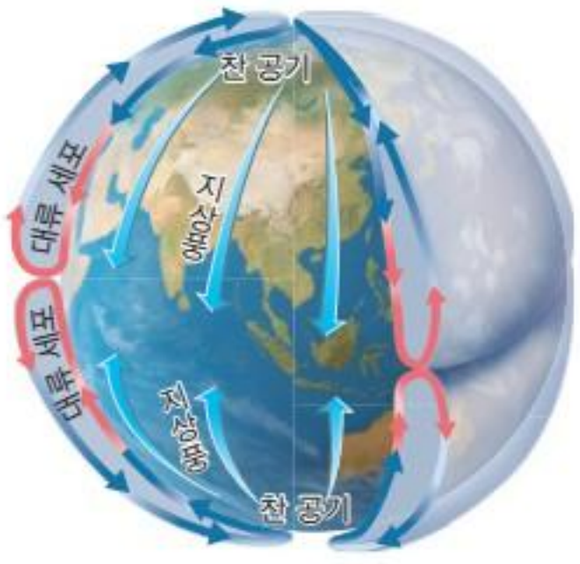
(3) **극순환(위도 60°~극):** 극지방에서는 냉각된 공기가 하강하므로 지표면에는 극고압대가 형성되고, 이 고압대에서 저위도 쪽으로 이동하는 공기는 전향력의 영향으로 편향되어 극동풍이 형성된다. 이 공기는 한대 전선대에서 상승하여 다시 극으로 이동한다. 이와 같이 극고압대와 한대 전선대 사이에서 순환하는 공기의 흐름을 극순환이라고 한다.

전향력
자전하는 지구에서 운동하는 물체에 작용하는 가상의 힘으로, 물체의 운동 방향에 대해 북반구에서는 오른쪽으로, 남반구에서는 왼쪽으로 작용한다.

직접 순환과 간접 순환
대기 대순환을 이루는 3개의 순환 세포 중 해들리 순환과 극순환은 고온에서 상승하여 저온에서 하강하는 열대류의 원리로 발생하는 순환이므로 직접 순환이라고 한다. 페렐 순환은 두 직접 순환 사이에서 열대류와 관계없이 만들어지므로 간접 순환이라고 한다.

심화 지구가 자전하지 않을 때의 대기 대순환 모형

지구가 자전하지 않는다고 가정하면, 지구는 구형이므로 위도별 태양 복사 에너지의 입사량 차이로 인해 저위도에서 가열된 따뜻한 공기는 상승하여 양극으로 이동하고 극 부근에서 냉각된 공기가 하강하는 하나의 큰 열대류 순환이 일어날 것이다. 지구 자전에 의한 전향력의 영향이 없으므로 북반구의 지상에서는 지속적으로 북풍이 불고, 남반구의 지상에서는 지속적으로 남풍이 불 것이다. 그러나 이러한 순환 모형은 실제로 존재하지 않는데, 열적 순환으로 형성된 순환 세포가 지구 자전의 영향을 받아 복잡한 형태를 나타내기 때문이다.



▲ 지구가 자전하지 않는다고 가정할 때의 대기 대순환 모형(단일 세포 순환 모형)

2. 해수의 표층 순환

일정한 방향과 속력으로 흐르는 규모가 큰 해수의 흐름을 해류라고 한다. 해류 중에서 바람에 의해 형성되는 해류를 표층 해류라고 하며, 표층 해류에 따른 순환을 표층 순환이라고 한다.

(1) **표층 해류:** 바람에 의해 형성되는 표층 해류의 방향은 대기 대순환에 의해 지상에 부는 바람의 방향과 대체로 일치한다. 저위도의 무역풍대에서는 무역풍에 의해 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 북적도 해류, 남적도 해류가 형성되고, 적도 무풍대에서는 적도 반류가 서쪽에서 동쪽으로 흐른다. 중위도의 편서풍대에서는 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 북태평양 해류, 북대서양 해류, 남극 순환 해류 등이 형성된다. 한편, 무역풍이나 편서풍에 의해 동서 방향으로 흐르던 해류가 대륙에 막히면 남북 방향으로 해류가 갈라져 흐른다. 대양의 서안에서는 저위도에서 고위도로 쿠로시오 해류, 멕시코만류 등의 난류가 흐르고, 대양의 동안에서는 고위도에서 저위도로 캘리포니아 해류, 카나리아 해류 등의 한류가 흐른다.

적도 반류
해수면의 경사로 형성된 해류로, 적도 무풍대를 따라 해수면이 높은 대양의 서쪽에서 해수면이 낮은 대양의 동쪽으로 흐른다.

난류와 한류의 특징
난류는 수온과 염분이 높고, 영양염과 용존산소량이 적어서 식물성 플랑크톤이 적다. 반면, 한류는 수온과 염분이 낮고, 영양염과 용존산소량이 많아서 식물성 플랑크톤이 많다.

(2) **표층 순환:** 전 세계 해양의 표층 해류는 대부분 큰 순환을 이루면서 흐른다. 북반구에는 위도에 따라 열대 순환, 아열대 순환, 아한대 순환의 3개의 커다란 순환이 나타나고, 남반구에는 열대 순환과 아열대 순환의 2개의 커다란 순환과 남극 순환 해류가 나타난다. 해수의 표층 순환은 북반구와 남반구가 대체로 대칭적인 분포를 보이는데, 아열대 순환의 경우 북반구에서는 시계 방향으로 순환하고, 남반구에서는 시계 반대 방향으로 순환한다.

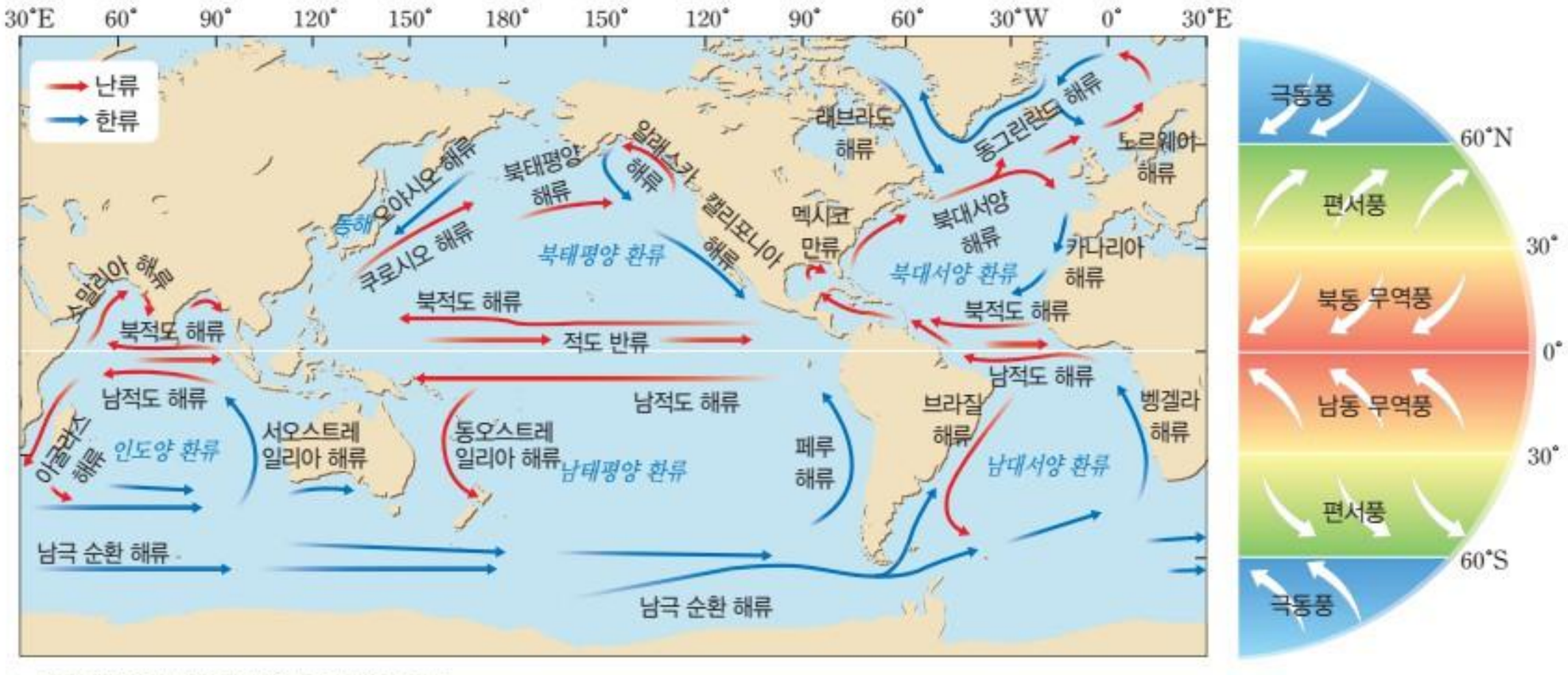
① 열대 순환: 적도 부근에서 무역풍에 의한 북적도 해류와 남적도 해류가 각각 적도 반류로 이어지며 열대 순환을 이룬다.

② 아열대 순환: 무역풍대의 해류와 편서풍대의 해류로 이루어진 순환으로, 북태평양, 남태평양, 북대서양, 남대서양, 인도양에서 5개의 순환 구조가 형성된다.

분석 + 아열대 해역의 표층 순환

- 북태평양의 표층 순환: 북태평양에서는 북적도 해류 → 쿠로시오 해류 → 북태평양 해류 → 캘리포니아 해류로 이어지는 시계 방향의 북태평양 환류가 나타난다.
- 남태평양의 표층 순환: 남태평양에서는 남적도 해류 → 동오스트레일리아 해류 → 남극 순환 해류 → 페루 해류로 이어지는 시계 반대 방향의 남태평양 환류가 나타난다.
- 북대서양의 표층 순환: 북대서양에서는 북적도 해류 → 멕시코만류 → 북대서양 해류 → 카나리아 해류로 이어지는 시계 방향의 북대서양 환류가 나타난다.
- 남대서양의 표층 순환: 남대서양에서는 남적도 해류 → 브라질 해류 → 남극 순환 해류 → 벵겔라 해류로 이어지는 시계 반대 방향의 남대서양 환류가 나타난다.
- 인도양의 표층 순환: 인도양에서는 남적도 해류 → 아굴라스 해류 → 남극 순환 해류 → 서오스트레일리아 해류로 이어지는 시계 반대 방향의 인도양 환류가 나타난다.

③ 아한대 순환: 편서풍과 극동풍에 의한 해류로 이루어진 순환으로, 북반구에서만 나타나며, 바다가 좁고 대륙이 순환을 방해하기 때문에 아열대 순환보다 규모가 작고 불명확하다.



▲ **대기 대순환과 전 세계의 표층 해류 분포**

풍성 순환
표층 순환은 대기 대순환으로 부는 바람의 영향을 받아 발생하기 때문에 풍성 순환이라고도 부른다.

환류
여러 해류로 구성되어 순환하는 거대한 시스템을 환류라고 한다. 전 세계 해양에는 환류가 5개 있는데, 북반구에 북태평양 환류, 북대서양 환류가 있고, 남반구에 남태평양 환류, 남대서양 환류, 인도양 환류가 있다.

3. 우리나라 주변의 해류

우리나라 주변을 흐르는 난류의 근원은 쿠로시오 해류이고, 한류의 근원은 연해주 한류이다. 쿠로시오 해류는 필리핀과 대만 해역을 거쳐 북상하다가 동중국해에서 갈라져 일부는 대한 해협을 통과하는 대마 난류와 동한 난류를 형성하고, 일부는 우리나라 황해 쪽으로 흘러들어와 황해 난류와 제주 난류를 형성한다.



▲ 우리나라 주변의 해류

(1) **동한 난류:** 쿠로시오 해류에서 갈라져 동해안을 따라 북쪽으로 흐르는 난류로, 강원도 동해시 부근에서 울릉도 쪽으로 방향을 전환하여 흐른다. 수온이 높고 용존 산소와 영양염이 적으며, 겨울철 동해안의 기후를 온난하게 한다.

(2) **북한 한류:** 북한 동쪽 연안을 따라 남쪽으로 흐르는 한류이다. 북한 한류의 영향으로 여름철에는 동해안의 표층에 냉수대가 발달하기도 한다.

(3) **황해 난류:** 쿠로시오 해류에서 갈라진 후 제주도 남쪽 부근에서 황해로 흘러들어와 황해 중앙부를 따라 북쪽으로 흐르는 난류로, 겨울철에 뚜렷하게 나타난다.

(4) **서한 연안류:** 우리나라 서쪽 연안을 따라 흐르는 해류로, 여름철에는 북쪽으로 흐르는 난류로 발달하고, 겨울철에는 남쪽으로 흐르는 한류로 발달한다.

쿠로시오 해류의 특징
쿠로시오 해류는 북태평양 아열대 순환에서 태평양의 서안을 따라 흐르는 해류로, 북적도 해류의 일부가 필리핀 동쪽과 동중국해를 지나 일본 남쪽으로 북상하여 36°N 부근에서 동쪽으로 흐른다. 쿠로시오 해류는 난류로, 영양염과 플랑크톤 및 혼탁물이 적어서 바닷물이 매우 맑기 때문에 검게 보인다. 해류의 폭은 약 100 km이고, 유속은 약 2.0 m/s~2.5 m/s로 매우 빠르다.

조경 수역
한류와 난류가 만나는 곳으로, 플랑크톤, 용존산소량, 영양염이 풍부하여 좋은 어장이 형성된다. 우리나라 동해에서는 동한 난류와 북한 한류가 만나 조경 수역을 형성한다. 겨울철에는 한류의 세기가 강하여 조경 수역이 상대적으로 남쪽에 형성되며, 여름철에는 난류의 세기가 강하여 조경 수역이 상대적으로 북쪽에 형성된다.

중요 개념 체크

정답과 해설 148쪽

1. 대기 대순환은 위도에 따른 에너지 불균형으로 발생하며, 지구 자전의 영향으로 ( ) 순환, ( ) 순환, ( )순환의 3개 순환 세포가 형성된다.
2. ( ) 순환은 무역풍대의 해류와 편서풍대의 해류로 이루어진 표층 순환이다.
3. 우리나라 주변을 흐르는 난류의 근원은 ( ) 해류이다.

2 해수의 심층 순환

해양에서는 태양 복사 에너지와 바람의 영향을 직접적으로 받지 않는 심해에서도 지속적으로 해수의 움직임이 일어나 해수가 순환하는데, 이를 심층 순환이라고 한다.

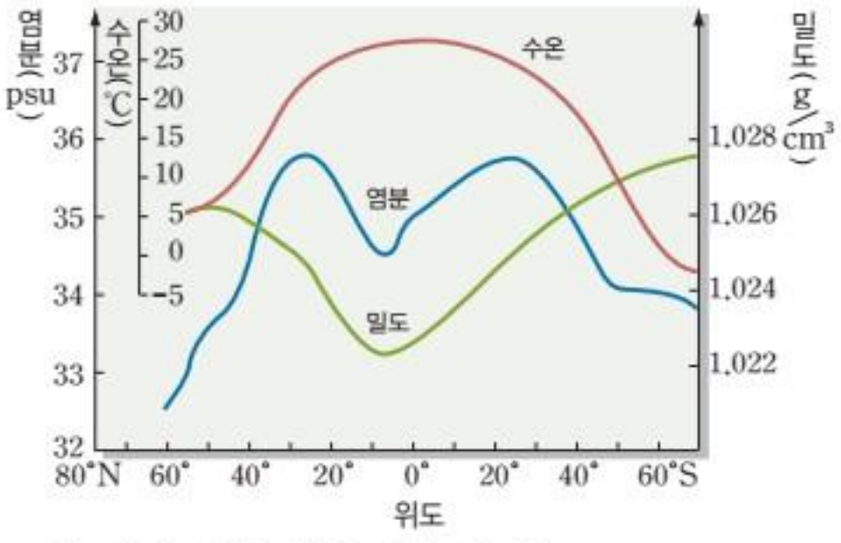
1. 심층 순환의 발생

탐구 분석 34쪽

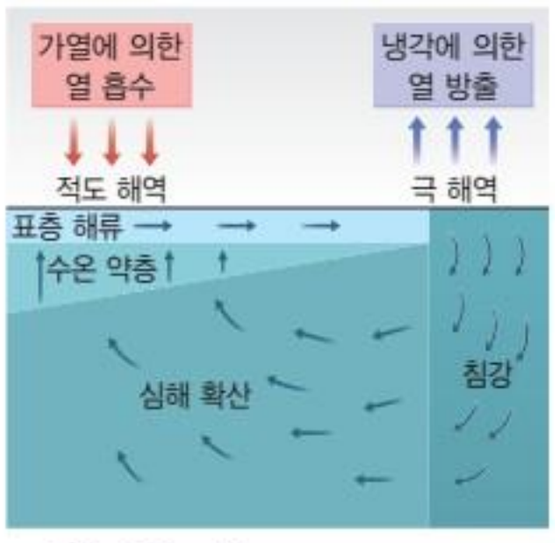
(1) **해수의 밀도 변화:** 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 해수의 수온은 주로 위도에 따른 태양 복사 에너지량의 차이로 달라지는데, 저위도 해역의 해수는 수온이 높아서 밀도가 작고, 고위도 해역의 해수는 수온이 낮아서 밀도가 크다. 한편, 해수의 염분은 강수량과 증발량, 하천수의 유입, 해수의 결빙과 해빙 등에 따라 달라지는데, 중위도 해역은 증발량이 강수량보다 많아서 염분이 높게 나타나고, 극지방의 수온이 낮은 해역에서 해수가 얼면 염류가 빠져 나와 주변 해수의 염분이 높아져 밀도가 커진다.

(2) **밀도류:** 해수는 해역에 따라 수온과 염분 등이 다르기 때문에 밀도의 차이가 발생한다. 해수의 밀도가 균일하게 분포하지 않을 경우, 밀도가 큰 해수는 아래쪽으로, 밀도가 작은 해수는 위쪽으로 움직이는데, 이러한 과정으로 발생하는 해류를 밀도류라고 한다. 심층에서 해수의 이동은 주로 밀도류에 의해 발생한다.

(3) **심층 순환의 발생 과정:** 극 해역의 해수는 표층 수온이 매우 낮고, 결빙이 일어나면 주변 해수의 염분이 높아져 밀도가 커진다. 이렇게 밀도가 커진 해수는 침강하여 같은 밀도의 해수가 분포하는 수심에 도달한 후 수평 방향으로 이동하다가 온대나 열대 해역에서 서서히 상승한다. 이러한 심층 해수의 움직임을 심층 순환이라고 한다. 심층 순환은 수온과 염분 변화에 따른 밀도 차로 발생하므로 열염 순환이라고도 한다.



▲ 위도에 따른 해수의 수온, 염분, 밀도 분포



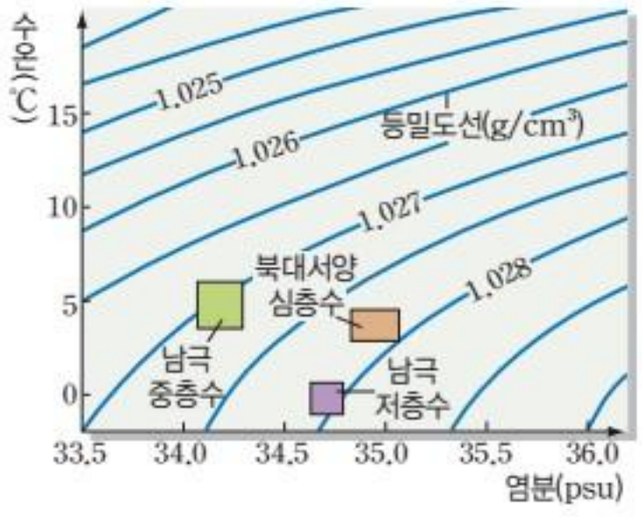
▲ 심층 순환 모형

2. 심층 순환의 분포

(1) **심층 순환의 관측:** 해수의 심층 순환은 매우 느리게 일어나기 때문에 직접 관측하기 어려우므로 수괴의 성질을 측정하여 파악한다. 수괴의 수온과 염분을 측정하여 수온 염분도(T−S도)에 나타내면 수괴의 밀도를 알 수 있고, 수괴의 기원과 이동 경로를 파악할 수 있다.

수괴
수온과 염분이 거의 일정하여 주변의 물과 구별되는 해수 덩어리로, 성질이 다른 수괴는 서로 잘 섞이지 않는다.

분석 **수온 염분도에 나타낸 대서양의 수괴**



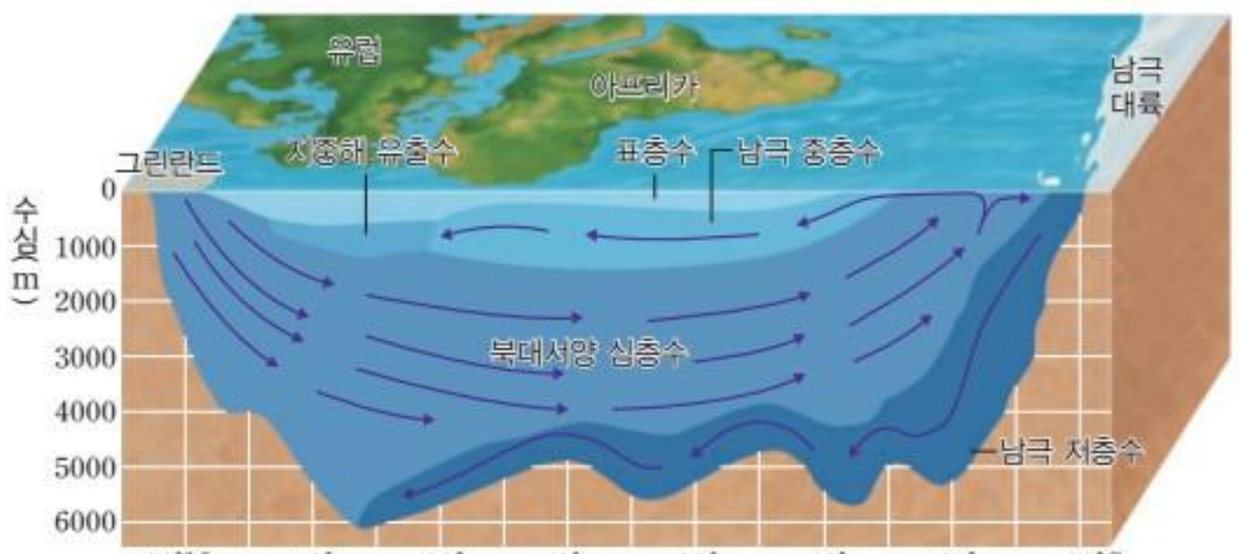
- 남극 저층수: 염분은 약 34.65 psu, 수온은 약 −0.5 ℃, 밀도는 약 1.0279 g/cm³로, 전 세계 해수 중 밀도가 가장 크다.
- 북대서양 심층수: 염분은 약 34.9 psu, 수온은 약 3 ℃, 밀도는 약 1.0278 g/cm³이며, 남극 저층수보다 밀도가 작다.
- 남극 중층수: 염분은 약 34.2 psu, 수온은 약 4 ℃, 밀도는 약 1.0272 g/cm³로, 세 수괴 중 밀도가 가장 작다.

(2) 대서양에서의 심층 순환

① 남극 저층수: 남극 대륙 주변의 웨들해에서 해수의 결빙으로 염분이 높아진 고밀도의 해수가 침강하여 형성된다. 밀도가 매우 크기 때문에 대서양에서 해저를 따라 북쪽으로 이동하여 약 30°N까지 흘러간다.

② 북대서양 심층수: 북반구 그린란드 주변 래브라도해와 노르웨이해에서 표층 해수가 냉각되면서 침강하여 형성된다. 남극 저층수보다 밀도가 작아서 남극 저층수 위로 이동하여 남대서양까지 흘러간다.

③ 남극 중층수: 남극 대륙 주변 해역에서 냉각된 해수가 침강하여 형성된다. 북대서양 심층수보다 밀도가 작아서 대서양 수심 약 1000 m 부근의 중층을 흐른다.



▲ 대서양의 심층 순환

심층 순환이 시작되는 침강 해역



그린란드 남쪽의 래브라도해와 그린란드 동쪽의 노르웨이해, 남극 대륙 주변의 웨들해와 로스해에서 침강이 일어난다.

지중해의 밀도류

지중해 지역은 강수량에 비해 증발량이 매우 많기 때문에 표층수의 염분이 높아 밀도가 크다. 따라서 지중해의 표층수는 가라앉아 흐르며 지브롤터 해협을 지나 대서양으로 빠져나가 수심 약 1100 m 부근에서 흐른다.

중요 개념 체크

정답과 해설 148쪽

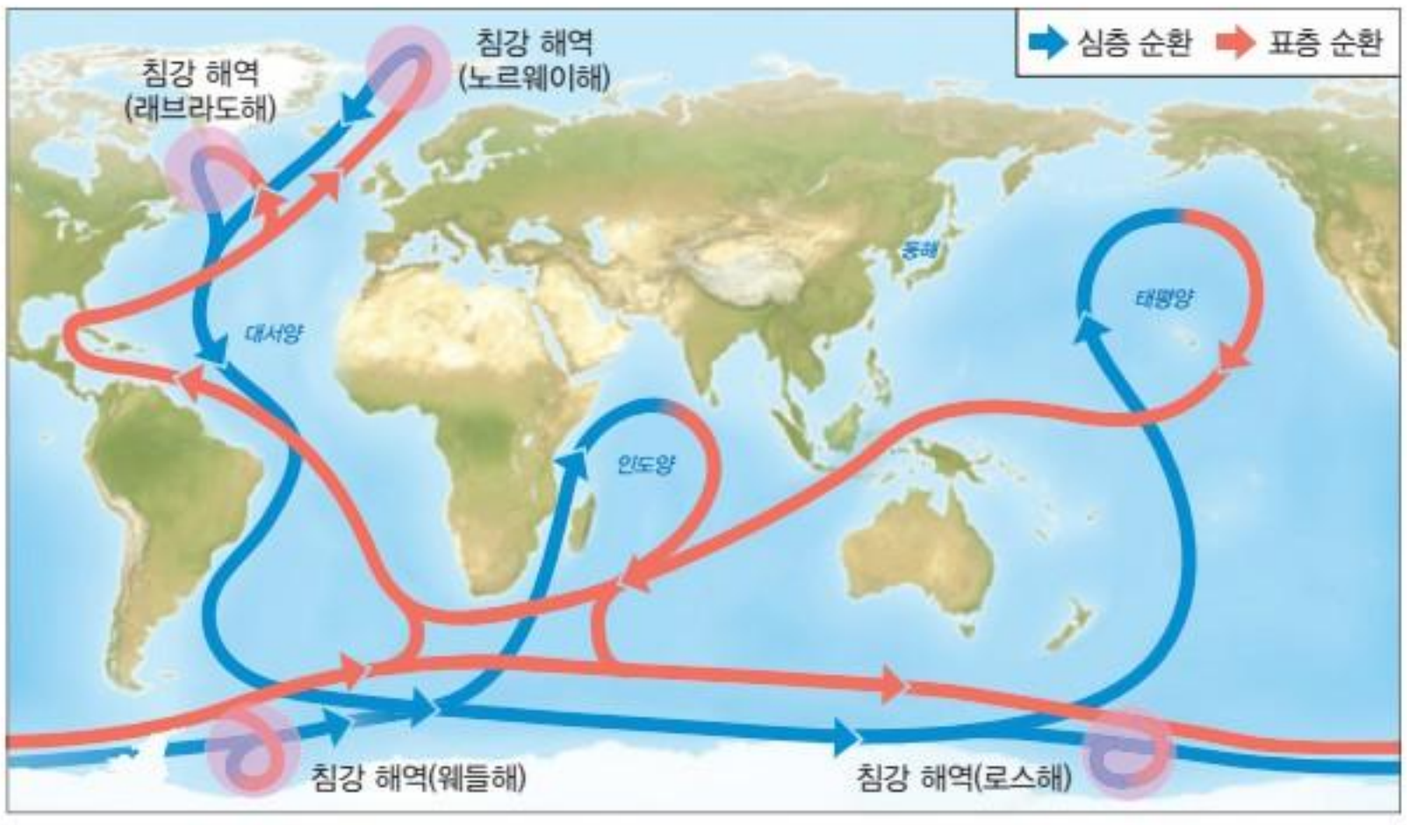
1. 심층 순환은 수온과 염분 변화에 따른 (　　) 차로 발생한다.
2. 대서양의 심층 순환에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.
   (1) 대서양에서 심층 순환을 형성하는 수괴 중 밀도가 가장 큰 것은 북대서양 심층수이다. (　　)
   (2) 북대서양 심층수는 그린란드 주변에서 가라앉아 남극 중층수와 남극 저층수 사이를 흐른다. (　　)

3 해수의 순환과 기후 변화

해수의 표층 순환과 심층 순환은 컨베이어 벨트처럼 수평과 수직 방향으로 서로 연결되어 있어 전 지구적인 순환을 이루고 있다. 이러한 해수의 순환은 지구의 기후 변화에 큰 영향을 준다.

1. 전 세계 해수의 순환

그린란드 주변 해역에서 침강한 북대서양 심층수는 주로 대서양의 서쪽 해안을 따라 남쪽으로 흐른다. 이후 남극 대륙 근처의 웨들해에서 생성되는 남극 저층수와 합류하여 더 냉각되고, 인도양과 태평양으로 갈라져 이동한다. 이 심층수는 수온이 높아지면서 점차 상승하여 인도양 북부와 북태평양에서 표층 순환과 연결되고, 다시 대서양으로 흘러 들어간다. 이러한 해수의 순환은 한 번 순환하는 데 약 1000년의 시간이 걸린다.



▲ 전 세계 해수의 순환

2. 해수의 순환과 기후 변화

(1) **표층 해류가 연안 지역의 기후에 미치는 영향:** 난류는 저위도에서 고위도로 흐르면서 열에너지를 방출하여 주변 지역의 기후를 따뜻하게 한다. 예를 들면, 북대서양 서안에서 흐르는 난류인 멕시코만류는 아이슬란드, 영국 등의 해안 지역에 열을 공급하여 같은 위도의 다른 지역에 비해 기후를 상대적으로 따뜻하게 만든다.

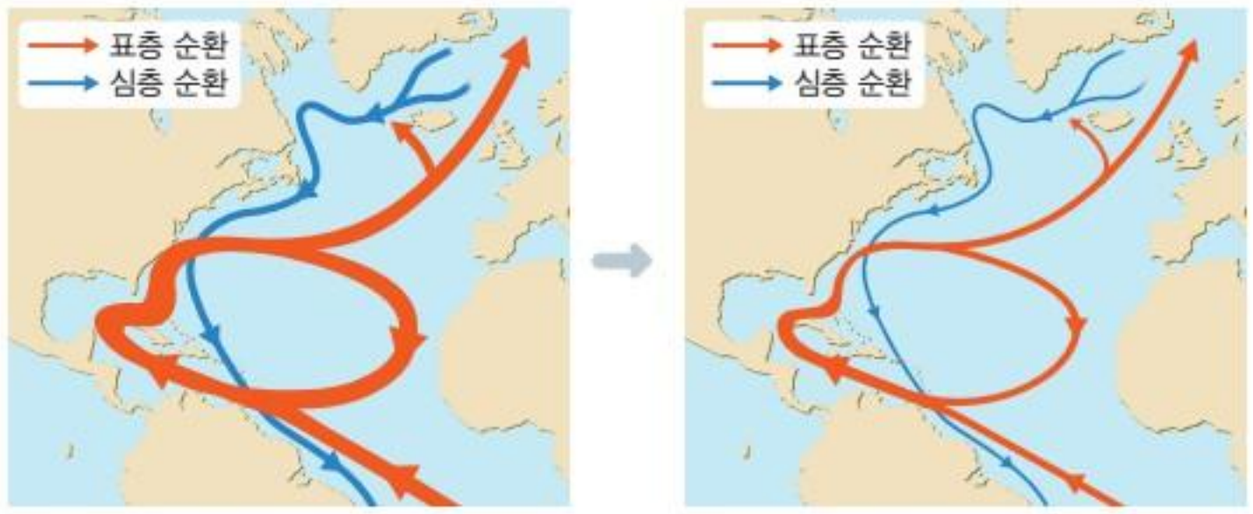
멕시코만류
대서양의 북아메리카 연안을 따라 북쪽으로 흐르는 세계 최대의 난류로, 멕시코만에서 대서양을 횡단하여 유럽 서북 해안을 따라 흘러 북극해에 이른다.

심화 + 멕시코만류가 연안 지역의 기후에 미치는 영향



- 아이슬란드의 레이캬비크는 미국의 뉴욕보다 고위도에 위치하는데, 난류인 멕시코만류의 영향을 더 가까이 받기 때문에 1월의 평균 기온은 레이캬비크가 뉴욕보다 더 높게 나타난다.
- 영국의 런던은 캐나다의 퀘벡과 위도가 비슷한데, 난류인 멕시코만류의 영향을 받으므로 1월 평균 기온이 퀘벡보다 훨씬 높게 나타난다.

(2) **해수의 순환과 기후 변화:** 지구의 평균 기온이 상승하면 극지방의 빙하가 녹아 해수의 밀도가 작아지므로, 심층으로 침강하는 해수의 흐름이 약해진다. 그 결과 심층 순환이 약해지고 고위도로 이동하는 표층 해류의 흐름도 약해진다. 결국 저위도의 열이 고위도로 잘 전달되지 못하면서 전 지구의 기후에 변화가 생긴다.

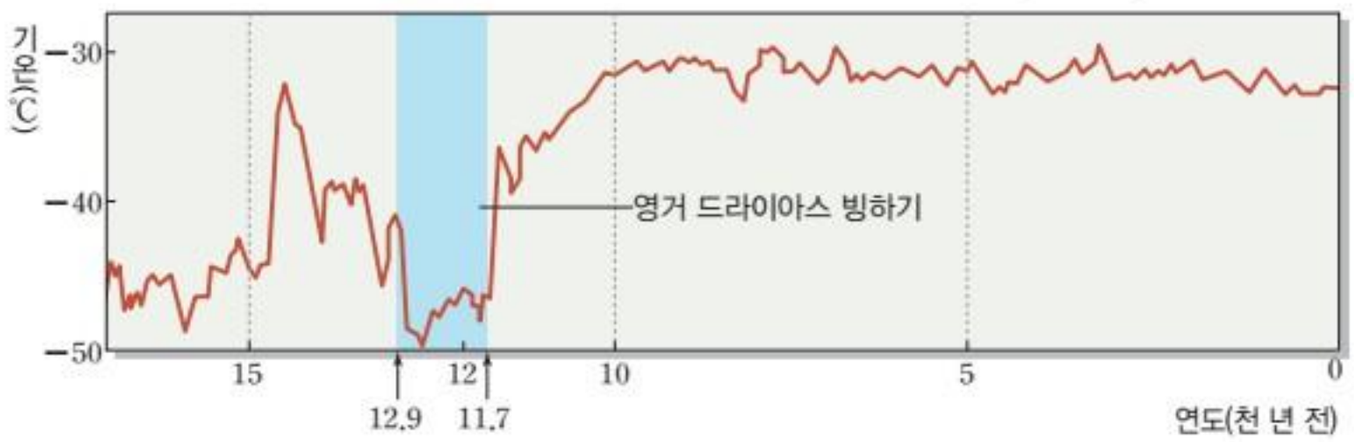


▲ **현재 북대서양에서의 해수 순환**
현재는 따뜻한 표층 해류의 영향으로 북아메리카와 유럽은 온난한 기후를 유지하고 있다.

▲ **지구의 평균 기온이 상승할 경우**
심층 순환이 약해지고 심층 순환과 연결된 표층 순환도 약해지면 북아메리카와 유럽은 온난한 기후를 유지하기 어려워진다.

분석 영거 드라이아스

그림은 약 17000년 전부터 현재까지 그린란드의 기온 변화를 나타낸 것이다. 마지막 빙하기 이후 지구의 평균 기온은 대체로 상승하는 경향을 보였는데, 약 12900년 전에서 11700년 전까지 약 1200년 동안 짧은 빙하기가 나타났다. 이 시기를 '영거 드라이아스(Younger Dryas)'라고 한다.



과학자들은 영거 드라이아스 빙하기가 나타난 원인을 해수 순환의 변화 때문인 것으로 추정하고 있으며, 그 과정은 다음과 같다.



영거 드라이아스
드라이아스는 극지방이나 고산 지대에서 자라는 담자리꽃나무이다. 영거 드라이아스 시기에 이 꽃이 갑자기 번성했다고 해서 붙여진 이름이다.

중요 개념 체크

정답과 해설 148쪽

1. 다음은 해수의 순환과 기후 변화에 대한 설명이다. ( ) 안에 알맞은 말을 고르시오.

지구 온난화가 진행되면 고위도 해역에서 해수의 침강이 ㉠(강해, 약해)져 심층 순환이 약해지고, 표층 해류의 흐름이 ㉡(강해, 약해)져서 저위도의 열이 고위도로 제대로 전달되지 못해 고위도 지역의 기온이 ㉢(높아, 낮아)진다.

HIGH 탐구 분석

심층 순환의 발생 원리 알아보기

심층 순환이 발생하는 원리를 설명할 수 있다.

과정

❶ 비커에 물, 파란색 색소를 넣어 섞고, 얼음을 넣어 차갑게 만든다.
❷ 심층 순환 실험 장치에 상온의 물을 절반 정도 채우고, 한쪽에 ❶의 파란색 얼음물을 담는다.
❸ 칸막이를 천천히 들어올린 다음, 파란색 얼음물의 움직임을 관찰한다.
❹ ❶의 얼음물에 소금을 넣어 섞은 뒤, ❷~❸의 과정을 반복한다.



이렇게도 할 수 있어요!

수온이 낮고 염분이 높은 파란색 물과, 수온이 더 낮고 염분이 더 높은 빨간색 물을 만든 다음, 수조 양쪽에서 각각 붓고 두 물이 어떻게 이동하는지 관찰하는 실험을 할 수도 있다.

결과 • 해석

1. **과정 ❸에서 파란색 얼음물의 움직임은 어떻게 나타나는가?**
   → 파란색 얼음물은 상온의 물보다 밀도가 크므로, 수조 아래로 하강하여 수조 밑바닥을 따라 옆으로 서서히 이동한다.
2. **과정 ❹에서 차가운 소금물의 움직임은 과정 ❸에서의 움직임과 어떻게 다른가?**
   → 물이 이동하는 속도가 더 빠르게 나타난다.

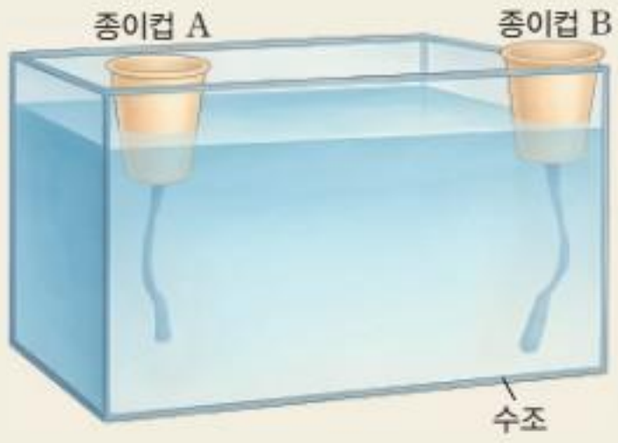
정리

- **수온**이 **낮아**지면 물의 **밀도**가 **커**진다.
- **염분**이 **높아**지면 물의 **밀도**가 **커**진다.
- 차가운 소금물이 가라앉는 곳은 실제 해양에서 **침강**이 일어나는 해역에 해당한다.
- 차가운 소금물이 바닥을 따라 움직이는 것은 **심층 순환**에 해당한다.

탐구 확인 문제

정답과 해설 148쪽

[1~2] 그림은 심층 순환의 발생 원리를 알아보기 위한 실험 장치이다. 바닥에 구멍을 뚫은 종이컵 A와 B에 각각 온도는 같고 염분이 다른 소금물을 동시에 부었더니, B에서 나온 물이 A에서 나온 물보다 수조 바닥에 먼저 도착하였다.



1 이 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

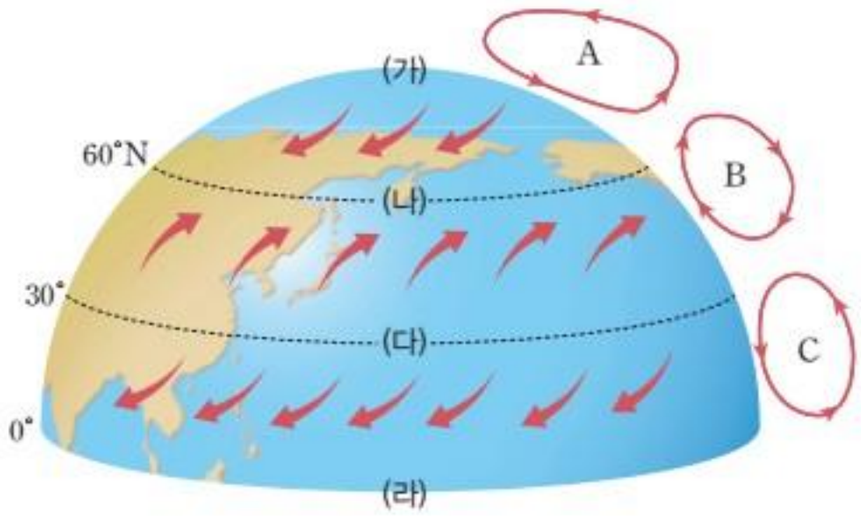
보기
ㄱ. A의 소금물은 B의 소금물보다 염분이 낮다.
ㄴ. A의 소금물은 B의 소금물보다 밀도가 크다.
ㄷ. B의 소금물에 소금을 더 넣으면 두 소금물이 바닥에 도달하는 시간의 차이는 증가할 것이다.

2 A와 B 소금물의 염분을 변화시키지 않은 상태에서 A의 소금물이 B의 소금물 아래로 흐르도록 하는 방법을 서술하시오.

정답과 해설 148쪽

개념 기본 문제

01 그림은 북반구의 대기 대순환 모형을 나타낸 것이다.

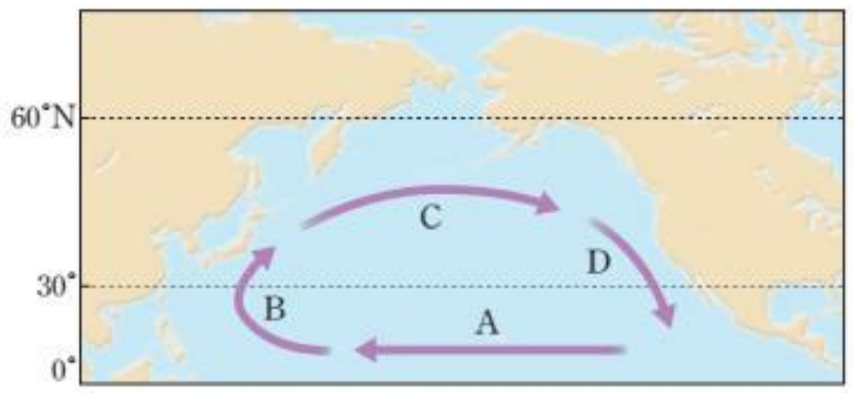


(1) A, B, C 순환의 이름을 각각 쓰시오.

(2) A, B, C 순환에 따라 형성되는 지상에서 부는 바람의 이름을 각각 쓰시오.

(3) (가)~(라)에서 발달하는 기압대의 이름을 각각 쓰시오.

02 그림은 북태평양의 표층 순환을 나타낸 것이다.



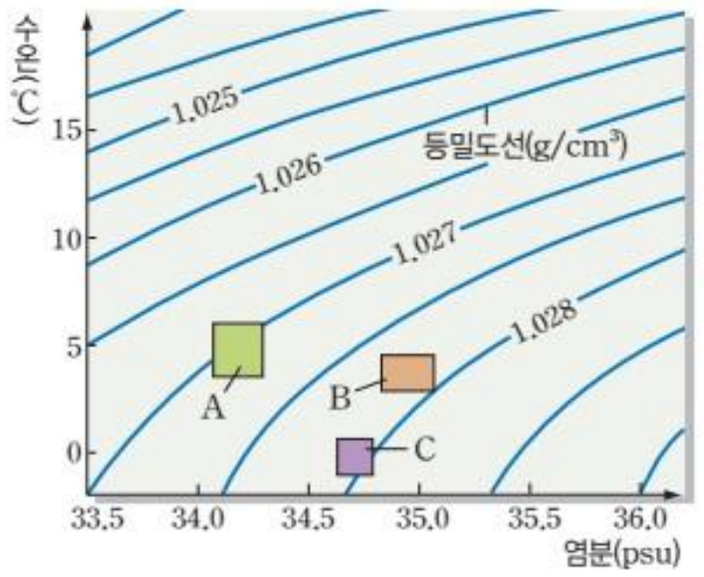
(1) 해류 A~D의 이름을 각각 쓰시오.

(2) 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. A는 편서풍에 의해, C는 무역풍에 의해 흐른다.
ㄴ. B는 우리나라 주변을 흐르는 난류의 근원이다.
ㄷ. D는 수온과 염분이 높은 해류이다.
ㄹ. 북태평양 아열대 순환은 시계 방향으로 나타난다.

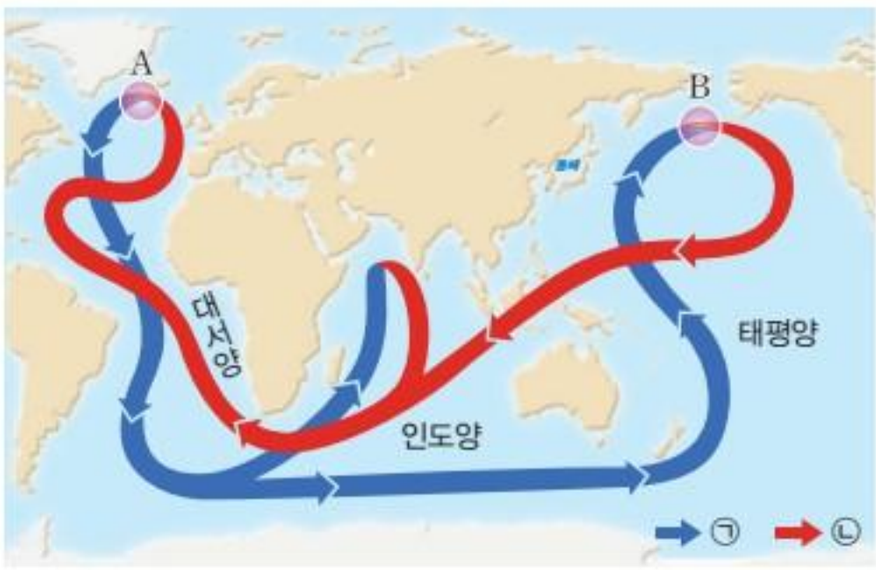
03 그림은 대서양에서 심층 순환을 이루는 수괴 A, B, C의 수온과 염분을 수온 염분도에 나타낸 것이다.



(1) 수괴 A, B, C의 이름을 각각 쓰시오.

(2) 수괴 B와 C가 만날 때 더 아래쪽으로 흐르는 수괴의 기호를 쓰시오.

04 그림은 전 세계 해수의 순환을 나타낸 것이다. A와 B는 용승과 침강이 나타나는 해역을, ㉠과 ㉡은 표층 순환과 심층 순환을 순서 없이 나타낸 것이다.



(1) A와 B 중 침강이 나타나는 해역을 골라 쓰시오.

(2) ㉠과 ㉡의 이름을 각각 쓰시오.

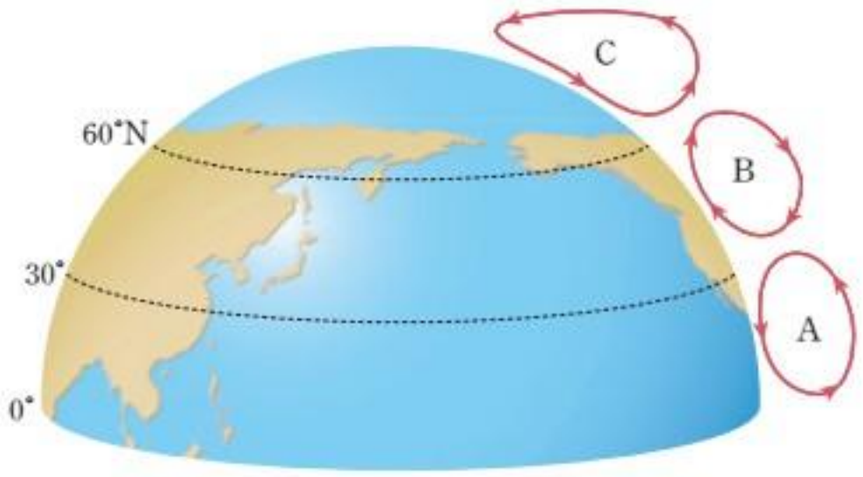
(3) (　　) 안에 알맞은 말을 고르시오.

지구의 기온이 상승하면 극지방의 빙하가 녹아 해수의 밀도가 ㉠(증가, 감소)하므로, 표층에서 심층으로 침강하는 해수의 흐름이 ㉡(강해, 약해)진다.

개념 적용 문제

➤ 대기 대순환

01 그림은 북반구의 대기 대순환을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

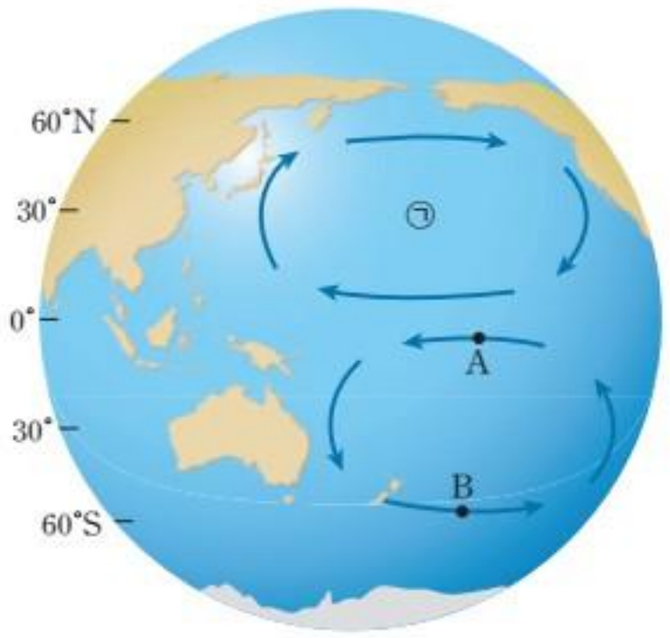
ㄱ. A의 지상에서는 무역풍이 분다.
ㄴ. B는 열대류의 원리로 발생하는 직접 순환이다.
ㄷ. A, B, C 순환은 모두 지구가 자전하지 않더라도 형성된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

대기 대순환은 위도에 따른 에너지 불균형으로 발생하며, 지구 자전에 의한 전향력으로 북반구와 남반구에서 각각 3개의 순환 세포가 나타난다.

➤ 해수의 표층 순환

02 그림은 태평양에서 해수의 표층 순환을 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

ㄱ. ㉠은 아열대 순환이다.
ㄴ. A는 무역풍의 영향을 받아 형성된다.
ㄷ. B는 남극 순환 해류이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

표층 해류는 대양 안에서 거대한 순환을 이루고 있으며, 적도 부근을 경계로 북반구와 남반구가 대체로 대칭적인 분포를 보인다.

➤ 우리나라 주변의 해류

03 그림 (가)와 (나)는 각각 겨울철과 여름철에 우리나라 주변의 표층 해류 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

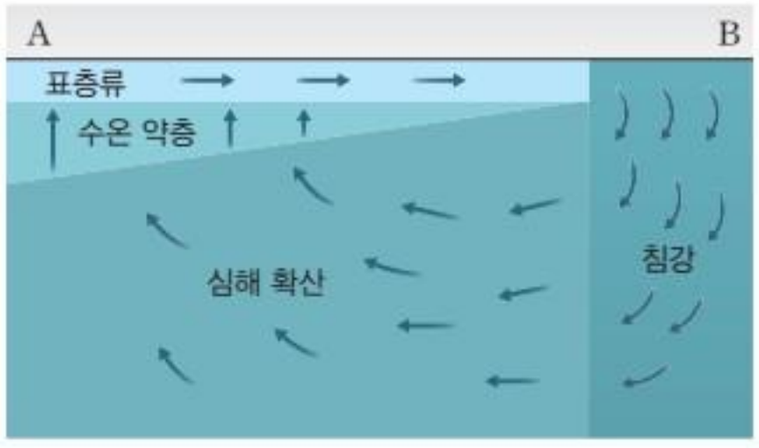
ㄱ. 대마 난류와 동한 난류의 수온과 염분은 A의 영향을 받는다.
ㄴ. 동해의 조경 수역은 여름철보다 겨울철에 높은 위도에서 형성된다.
ㄷ. 겨울철에 동한 난류의 영향을 받는 동해안은 같은 위도의 서해안보다 대체로 따뜻하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 겨울철에는 한류의 세력이 강해지고, 여름철에는 난류의 세력이 강해진다.

➤ 심층 순환의 발생

04 그림은 심층 순환의 모형을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

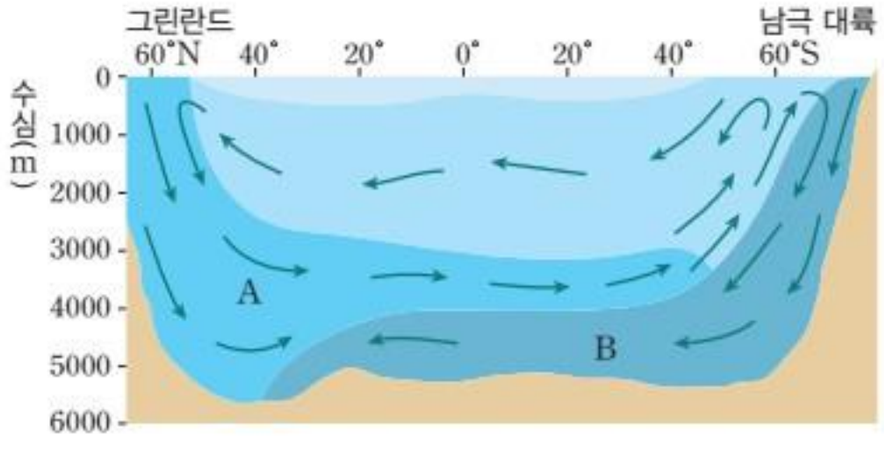
ㄱ. A는 B보다 고위도에 위치한 해역이다.
ㄴ. 표층 해수는 A에서 가열되고 B에서 냉각된다.
ㄷ. B에서는 표층 염분이 낮아져 해수의 침강이 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 극 해역에서 형성된 밀도가 큰 해수가 침강하면 같은 밀도의 해수가 분포하는 수심에 도달한 뒤 수평 방향으로 이동하면서 심해로 확산한다.

➤ 심층 순환의 분포

05 그림은 대서양에서 발생하는 심층 순환의 단면을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 북대서양 심층수이다.

ㄴ. B는 A보다 해수의 밀도가 크다.

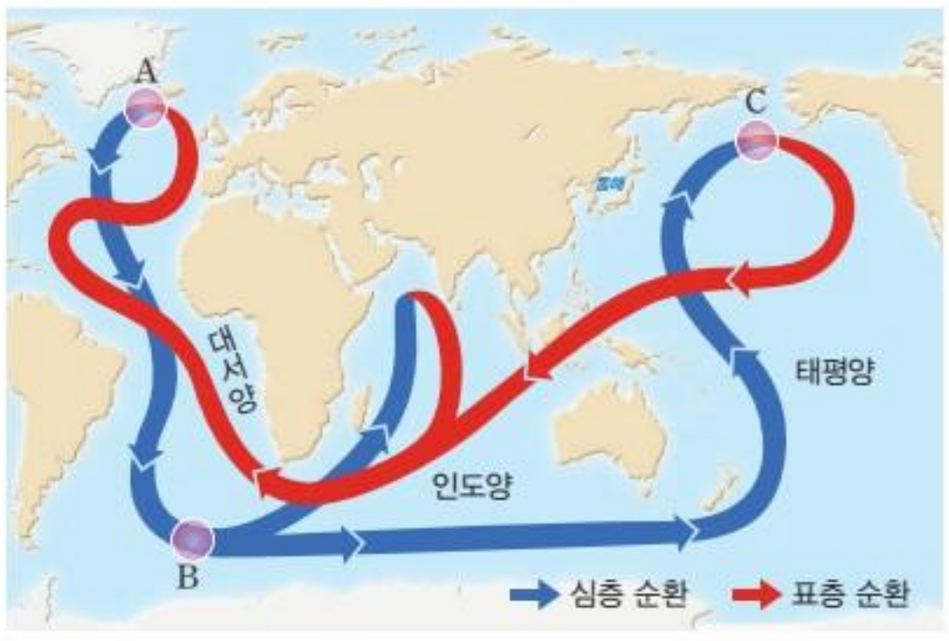
ㄷ. 지구 온난화가 진행되면 60°N 부근에서 침강하는 해수의 흐름이 강해질 것이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▷ 북대서양 심층수는 그린란드 주변의 표층 해수가 냉각되면서 침강하여 형성된다.

➤ 전 세계 해수의 순환

06 그림은 전 세계 해수의 순환을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A에서 해수의 침강 속도가 느려지면 표층 순환의 흐름은 강해진다.

ㄴ. B에서는 심층 해수가 더 냉각되어 인도양과 태평양 해저로 흘러간다.

ㄷ. C에서는 해저를 따라 북상하던 심층수가 점차 상승하여 표층 순환과 연결된다.

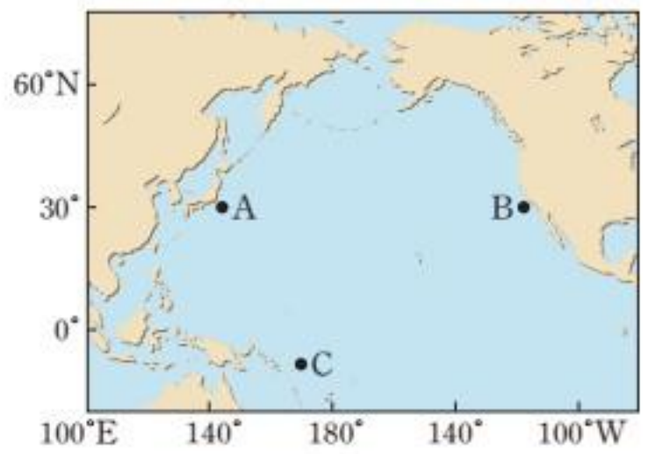
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▷ 심층 순환은 표층 순환과 서로 연결되어 있어 전 지구적인 순환을 이루고 있다.

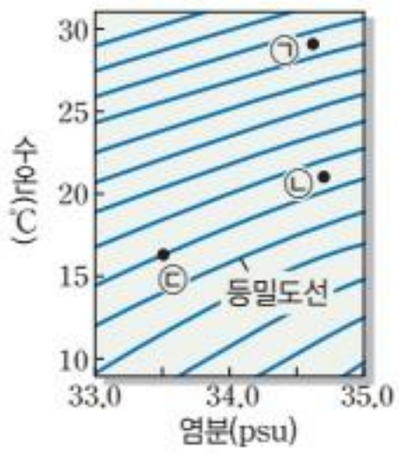
1등급 도전 문제

➤ 해수의 표층 순환

07 그림 (가)는 태평양의 해역 A~C를, (나)는 이 해역에서 관측한 수온과 염분을 수온 염분도에 ㉠, ㉡, ㉢으로 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 해수의 밀도가 가장 작은 해역은 A이다.

ㄴ. B의 관측값은 ㉢이다.

ㄷ. C에 흐르는 해류는 편서풍에 의해 형성된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

저위도에서 고위도로 흐르는 난류는 수온과 염분이 높고, 영양염과 용존산소량이 적다. 고위도에서 저위도로 흐르는 한류는 수온과 염분이 낮고, 영양염과 용존산소량이 많다.

➤ 심층 순환의 발생

08 다음은 심층 순환의 발생 원리를 알아보기 위한 실험 과정을 나타낸 것이다.

(가) 수조에 ㉠ 20 ℃의 물을 $\frac{2}{3}$ 정도 채우고, 수조 한쪽에 구멍 뚫린 종이컵의 아랫부분이 물에 잠길 정도로 놓고 접착테이프로 고정시킨다.

(나) 수조의 종이컵에 파란색 색소를 섞은 얼음물을 붓고 ㉡ 얼음물의 이동을 관찰한다.

(다) (나)의 얼음물에 소금을 섞어 녹인 후 수조의 종이컵에 붓고, ㉢ 소금을 녹인 얼음물의 이동을 관찰한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 밀도의 크기를 비교하면 ㉠<㉡<㉢이다.

ㄴ. ㉠을 10 ℃의 물로 바꾸면 ㉢의 이동은 더 빠르게 일어날 것이다.

ㄷ. (다)의 과정은 지구 온난화로 빙하가 녹아 심층 순환이 약화되는 현상에 해당한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 표층에서 수온이 낮아지거나 염분이 높아지면 밀도가 커진 해수가 심해로 가라앉아 해수의 심층 순환이 일어난다.

중단원 핵/심/정/리 1. 해수의 성질과 순환

01 해수의 성질

1 해수의 화학적 성질

▸ 10쪽~12쪽

1. 해수의 (1) 해수 1 kg에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 표시한 것

(1) 해수의 표층 염분 분포: 고압대인 위도 30° 부근 해역은 표층 염분이 (2)고, 저압대인 적도 해역과 위도 60° 부근 해역은 표층 염분이 (3)다.

(2) 해수의 표층 염분 변화에 영향을 주는 요인: 증발량이 (4)을수록, 강수량이 (5)을수록 표층 염분이 높다. 하천수가 유입되는 곳은 표층 염분이 (6)고, 해수의 결빙이 일어나면 표층 염분이 (7)아지며, 해빙이 일어나면 표층 염분이 (8)아진다.

2. 해수의 용존기체

(1) 해수 중 기체의 용해도: 기체의 용해도는 수온이 (9)을수록, 염분이 (10)을수록, 수압이 (11)을수록 증가하는데, 수온의 영향이 가장 크다.

(2) 용존산소량: 해수의 표층에서는 대기 중의 산소가 해수면으로 녹아 들어오거나 해양 생물의 (12)을 통해 산소가 공급되기 때문에 용존산소량이 가장 많다.

(3) 용존 이산화 탄소량: 해수의 표층에서는 광합성이 활발하여 용존 이산화 탄소량이 적다. 수심이 깊어질수록 기체의 용해도가 증가하여 용존 이산화 탄소량이 증가한다.

2 해수의 물리적 성질

▸ 13쪽~16쪽

1. 해수의 온도

(1) 해수의 표층 수온 분포: 해수의 표층 수온은 저위도에서 높고 고위도로 갈수록 낮아진다. 등수온선은 대체로 위도와 나란하게 나타나지만, 해류나 수륙 분포 등의 영향으로 등수온선이 위도와 나란하지 않은 해역도 일부 나타난다.

(2) 수온의 연직 분포: 해수는 수심에 따른 수온 변화를 기준으로 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분한다.

혼합층	태양 복사 에너지를 흡수하여 수온이 높고, (13)에 의한 혼합 작용으로 어느 정도 깊이까지 수온이 거의 일정한 층 ➜ 중위도 해역에서 가장 두껍게 나타남.
(14)	혼합층 아래에 수심이 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 매우 안정한 층 ➜ 저위도 해역에서 강하게 나타남.
(15)	태양 복사 에너지가 도달하지 않아서 수온이 낮고 위도나 계절, 수심에 따른 수온 변화가 거의 없는 층

2. 해수의 밀도

(1) 해수의 밀도 분포: 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 수온이 높은 적도 해역의 표층 해수는 수온이 낮은 고위도 해역의 표층 해수보다 밀도가 (16)다. 수온이 높은 표층 해수는 수온이 낮은 심층 해수보다 밀도가 (17)다.

(2) (18): 수온과 염분에 따른 해수의 밀도 분포를 나타낸 그래프

정답과 해설 150쪽

02 해수의 순환

1 대기 대순환과 해수의 표층 순환

▸26쪽~29쪽

1. 대기 대순환 지구 전체 규모로 일어나는 대기의 평균적인 순환

해들리 순환	적도에서 가열된 공기가 상승하여 고위도 쪽으로 이동하다가 위도 30° 부근에서 하강하여 적도로 이동하는 순환으로, 지상에서는 (19) 형성
페렐 순환	위도 30°에서 하강한 공기가 고위도 쪽으로 이동하다가 위도 60° 부근에서 상승하는 순환으로, 지상에서는 (20) 형성
극순환	극지방의 상공에서 냉각된 공기가 하강하여 저위도 쪽으로 이동하다가 위도 60° 부근에서 상승하여 극으로 이동하는 순환으로, 지상에서는 극동풍 형성

2. 해수의 표층 순환

(1) 표층 해류: 저위도에서는 무역풍에 의해 동에서 서로 흐르는 북적도 해류, 남적도 해류가 형성되고, 중위도에서는 편서풍에 의해 서에서 동으로 흐르는 북태평양 해류, 북대서양 해류, 남극 순환 해류가 형성된다.

(2) 표층 순환: 해수의 표층 순환은 북반구와 남반구가 대칭적인 분포를 보이며, 아열대 순환의 경우 북반구에서는 (21) 방향으로, 남반구에서는 (22) 방향으로 순환한다.

3. 우리나라 주변의 해류 우리나라 주변 바다에는 동한 난류, 황해 난류, 북한 한류 등이 흐르는데, 우리나라에 영향을 주는 난류의 근원은 (23) 해류이고, 한류의 근원은 연해주 한류이다.

2 해수의 심층 순환

▸30쪽~31쪽

1. 심층 순환의 발생 심층 순환은 수온과 염분 변화에 따른 (24) 차로 발생

2. 심층 순환의 분포 대서양에서 심층 순환을 일으키는 대표적인 수괴는 남극 저층수, 북대서양 심층수, 남극 중층수이며, 세 수괴 중 밀도가 가장 큰 것은 남극 저층수이다.

남극 저층수	남극 대륙 주변의 웨들해에서 해수의 결빙으로 염분이 높아진 고밀도의 해수가 침강하여 형성
북대서양 심층수	북반구 그린란드 주변 래브라도해와 노르웨이해에서 표층 해수가 냉각되면서 침강하여 형성
남극 중층수	남극 대륙 주변 해역에서 냉각된 해수가 침강하여 형성

3 해수의 순환과 기후 변화

▸32쪽~33쪽

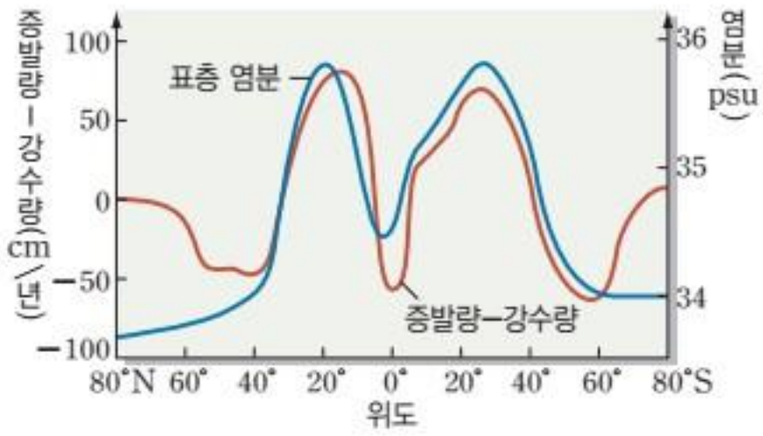
1. 전 세계 해수의 순환 해수의 표층 순환과 심층 순환은 컨베이어 벨트처럼 수평과 수직 방향으로 서로 연결되어 있어 전 지구적인 순환을 이루고 있다. 심층 순환이 약해지면 표층 순환도 약해져 지구의 전체적인 기후에 변화가 생긴다.

2. 해수의 순환과 기후 변화 지구의 기온 상승 → 극지방의 빙하가 녹음 → 주변 해역의 표층 염분 (25) → 해수의 밀도 (26) → 해수의 침강 (27) → 심층 순환 약화 → 표층 순환 약화 → 고위도로 열 이동 감소 → 전 지구의 기후 변화

통합 실전 문제

해수의 염분

01 그림은 위도에 따른 해수의 표층 염분과 (증발량−강수량) 값을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

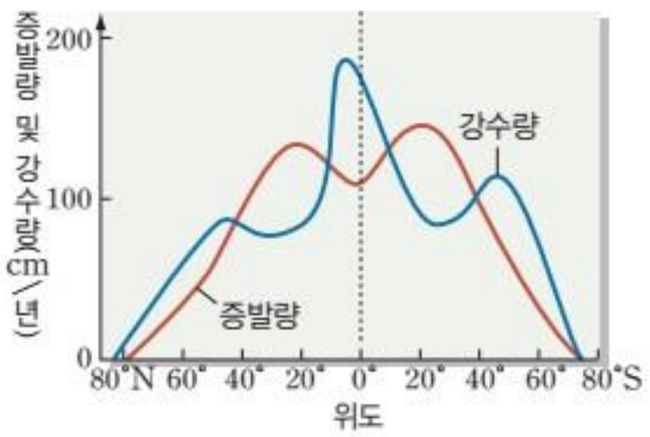
보기

ㄱ. 표층 염분은 중위도 해역에서 가장 높게 나타난다.
ㄴ. 적도 해역은 증발량보다 강수량이 더 많다.
ㄷ. 고위도 해역에서 표층 염분이 낮게 나타나는 까닭은 해빙 때문이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 염분 + 대기 대순환

02 그림은 위도별 강수량과 증발량 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

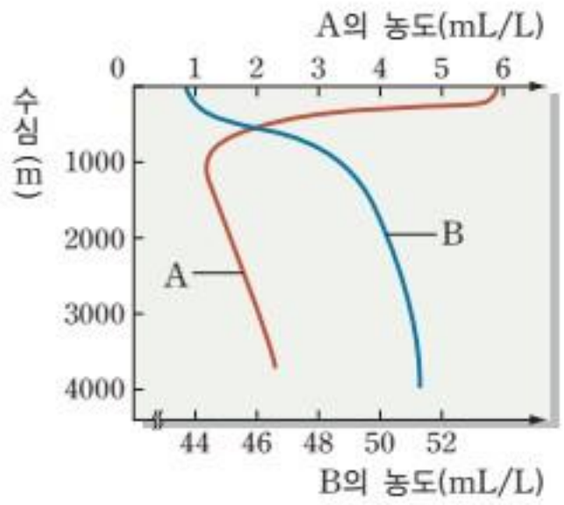
보기

ㄱ. A는 산소, B는 이산화 탄소이다.
ㄴ. 표층에는 산소가 이산화 탄소보다 더 많이 녹아 있다.
ㄷ. 표층에서 산소와 이산화 탄소의 농도는 광합성 작용과 관련이 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 용존기체

03 그림은 해수에 녹아 있는 산소와 이산화 탄소의 수심에 따른 농도 변화를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

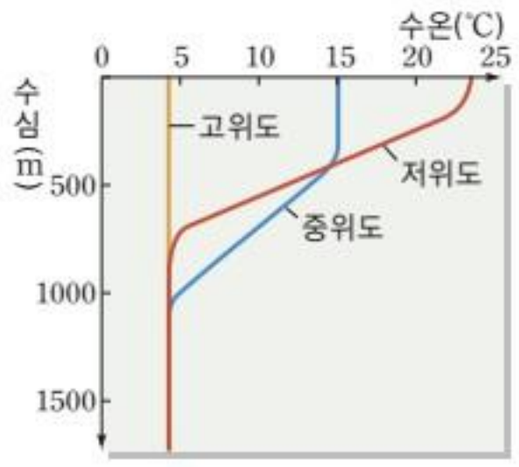
보기

ㄱ. A는 산소, B는 이산화 탄소이다.
ㄴ. 표층에는 산소가 이산화 탄소보다 더 많이 녹아 있다.
ㄷ. 표층에서 산소와 이산화 탄소의 농도는 광합성 작용과 관련이 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 온도

04 그림은 위도별 수온의 연직 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

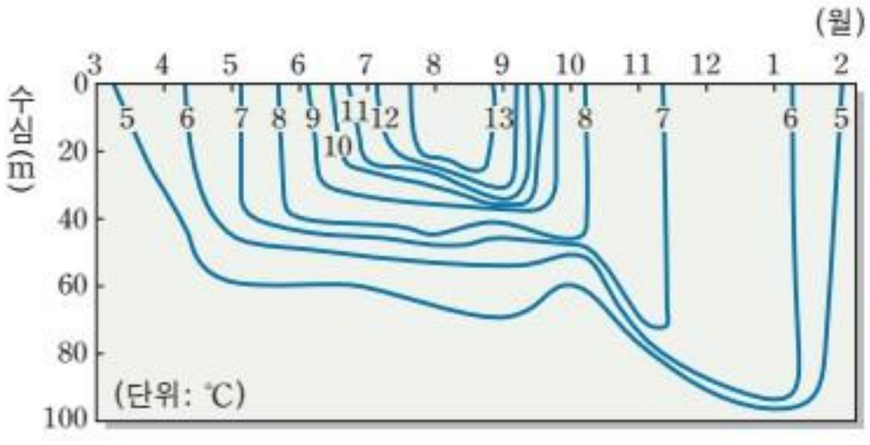
보기

ㄱ. 해수면 위의 바람은 저위도보다 중위도에서 강하게 분다.
ㄴ. 수온 약층에서 수온 변화의 폭은 중위도보다 저위도에서 크다.
ㄷ. 고위도에서는 해수의 층상 구조가 잘 나타나지 않는다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 온도 + 해수의 밀도

05 그림은 북반구 어느 해역에서 1년 동안 관측한 수심에 따른 수온 변화를 등수온선으로 연결하여 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

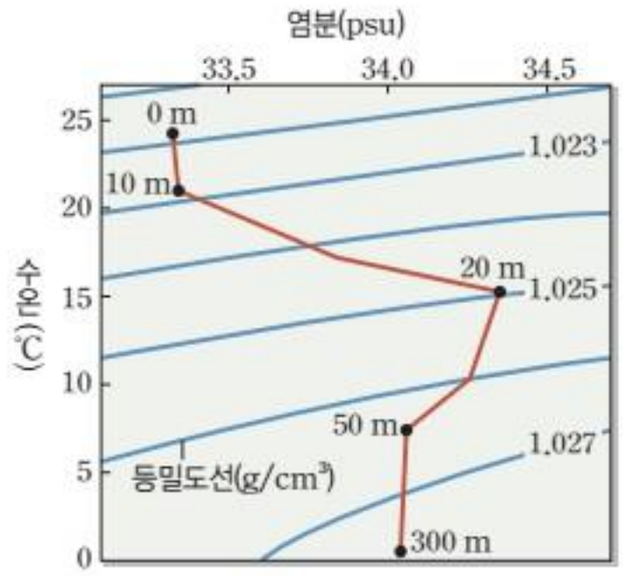
보기

ㄱ. 혼합층의 두께는 8월보다 12월에 두껍다.
ㄴ. 수온 약층이 가장 잘 발달하는 계절은 겨울이다.
ㄷ. 수온만을 고려했을 때, 수심 0 m～100 m 구간의 밀도 변화는 8월보다 12월에 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 밀도

06 그림은 어느 해역에서 수심에 따른 해수의 수온과 염분을 측정하여 수온 염분도에 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

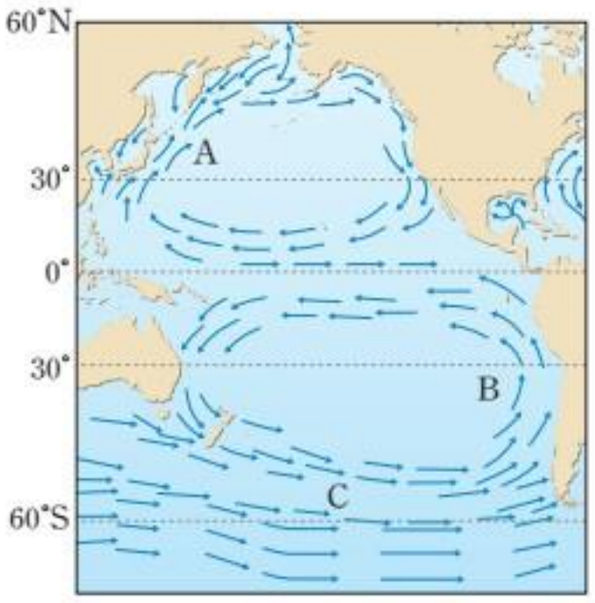
보기

ㄱ. 수심 0 m～10 m 구간은 바람에 의해 형성되었다.
ㄴ. 수심 10 m～20 m 구간에서는 수온 감소와 염분 증가에 의해 밀도가 증가한다.
ㄷ. 수심 20 m～50 m 구간의 밀도 증가는 수온보다 염분의 영향을 받았다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해수의 표층 순환

07 그림은 태평양 해수의 표층 순환과 주요 표층 해류 A~C를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 난류이다.
ㄴ. C는 극동풍에 의해 형성된 해류이다.
ㄷ. A~C는 아열대 순환에 포함된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우리나라 주변의 해류

08 그림은 우리나라 주변의 해류를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

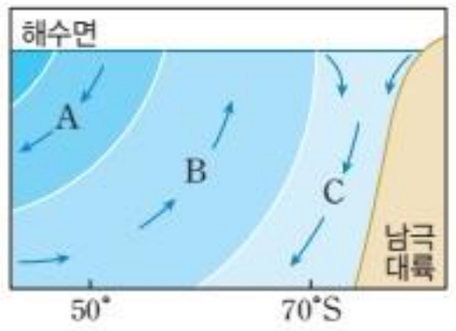
보기

ㄱ. A는 난류이다.
ㄴ. B와 C는 A의 영향을 받는다.
ㄷ. D는 여름철보다 겨울철에 더 남하한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

심층 순환의 분포

09 그림은 대서양 심층 순환의 일부를 모식적으로 나타낸 것이다. 수괴 A~C는 각각 북대서양 심층수, 남극 저층수, 남극 중층수 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

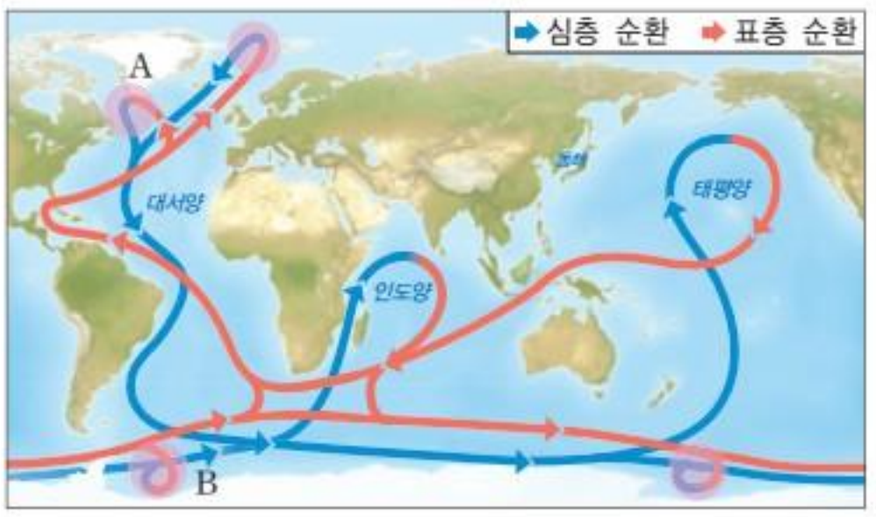
보기

ㄱ. 밀도는 A가 B보다 크다.
ㄴ. B는 북반구에서 이동해 왔다.
ㄷ. C는 표층에서 (증발량−강수량)의 감소에 따른 밀도 변화로 형성된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전 세계 해수의 순환 + 해수의 순환과 기후 변화

10 그림은 전 세계 해수의 순환을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

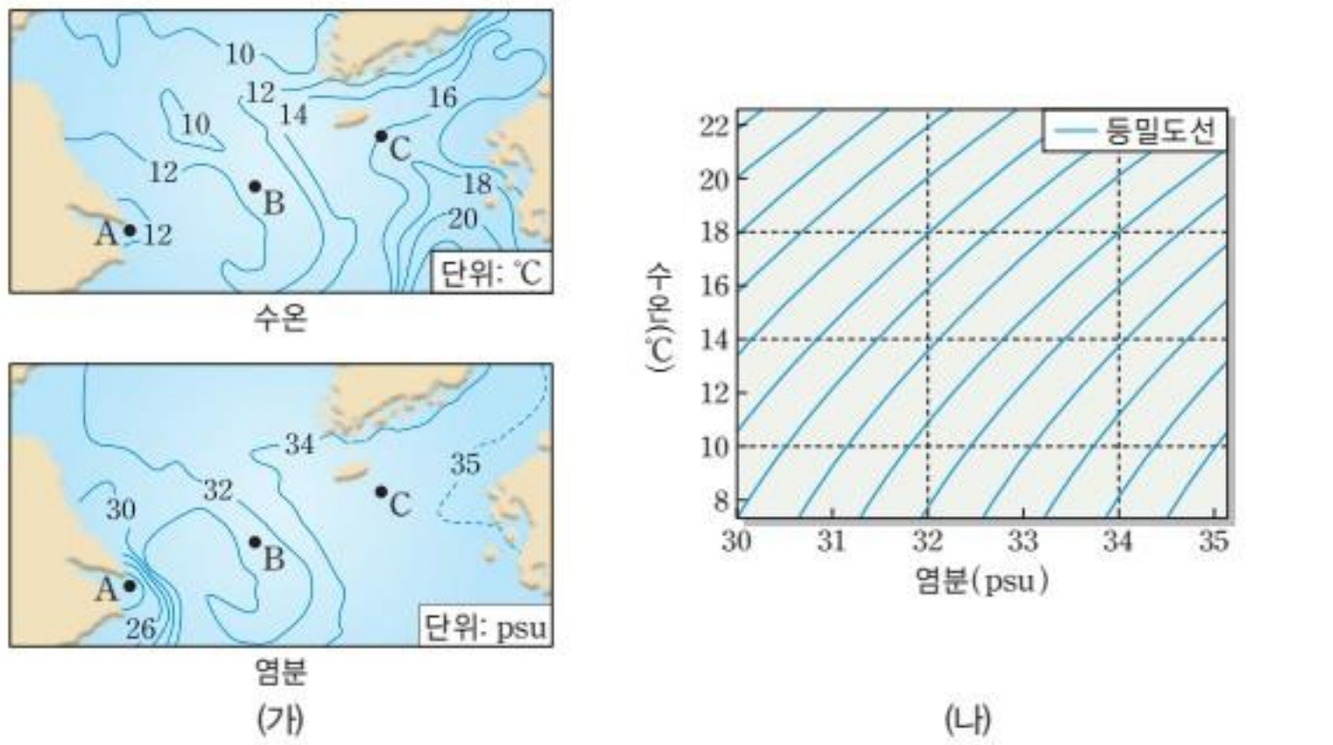
보기

ㄱ. A에 담수가 유입되면 해수의 침강은 강해진다.
ㄴ. B는 남극 대륙 주변에서 차가워진 해수가 침강하는 곳이다.
ㄷ. A와 B에서 해수의 침강 속도가 느려지면 표층 순환도 느려진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답과 해설 152쪽

1 그림 (가)는 어느 날 우리나라 주변 표층 해수의 수온과 염분 분포를, (나)는 수온 염분도를 나타낸 것이다.



해역 A, B, C의 표층 해수에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 하천수 유입의 영향을 받았다.

ㄴ. 밀도 크기는 A<B<C 순이다.

ㄷ. 수온만을 고려할 때, 기체의 용해도는 B가 C보다 크다.

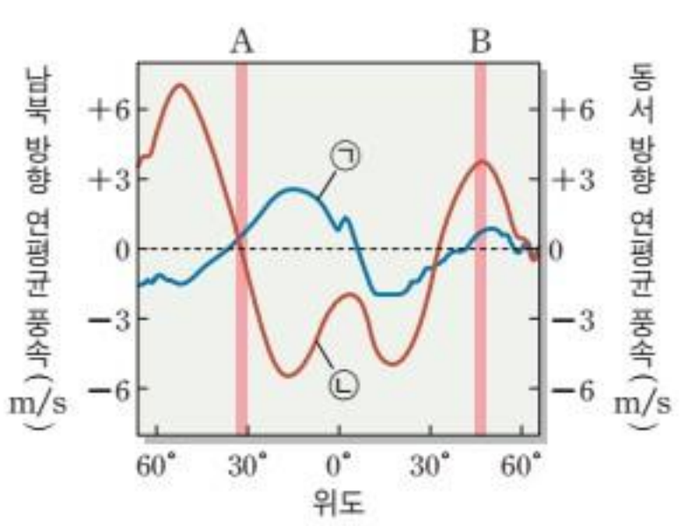
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크게 나타나므로, 수온 염분도에서는 오른쪽 아래로 갈수록 밀도가 크다.

2 그림은 대기 대순환에 의해 지표 부근에서 부는 바람의 남북 방향과 동서 방향의 연평균 풍속을 ㉠과 ㉡으로 순서 없이 나타낸 것이다. (+)는 남풍과 서풍, (−)는 북풍과 동풍에 해당한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

ㄱ. ㉠은 남북 방향, ㉡은 동서 방향의 연평균 풍속이다.

ㄴ. A 해역에 흐르는 해류의 대표적 예로 쿠로시오 해류가 있다.

ㄷ. B에서는 대기 대순환의 열적 순환이 나타난다.

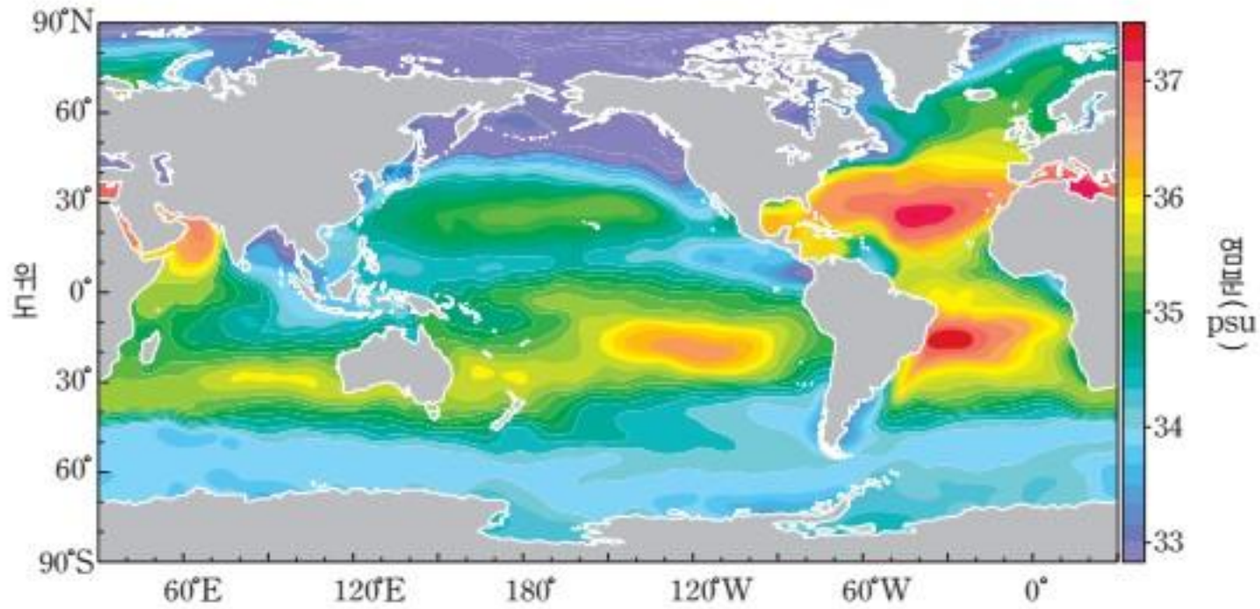
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

적도~위도 30°의 지상에서는 북동 무역풍과 남동 무역풍이 분다.

사고력 확장 문제

1 그림은 전 세계 해양의 평균 표층 염분 분포를 나타낸 것이다.



(1) 중위도 해역의 표층 염분이 적도를 포함한 저위도 해역의 표층 염분보다 높은 까닭을 대기 대순환과 관련지어 서술하시오.

(2) 위도가 같을 때, 대륙의 연안이 먼바다에 비해 표층 염분이 낮게 나타나는 까닭을 서술하시오.

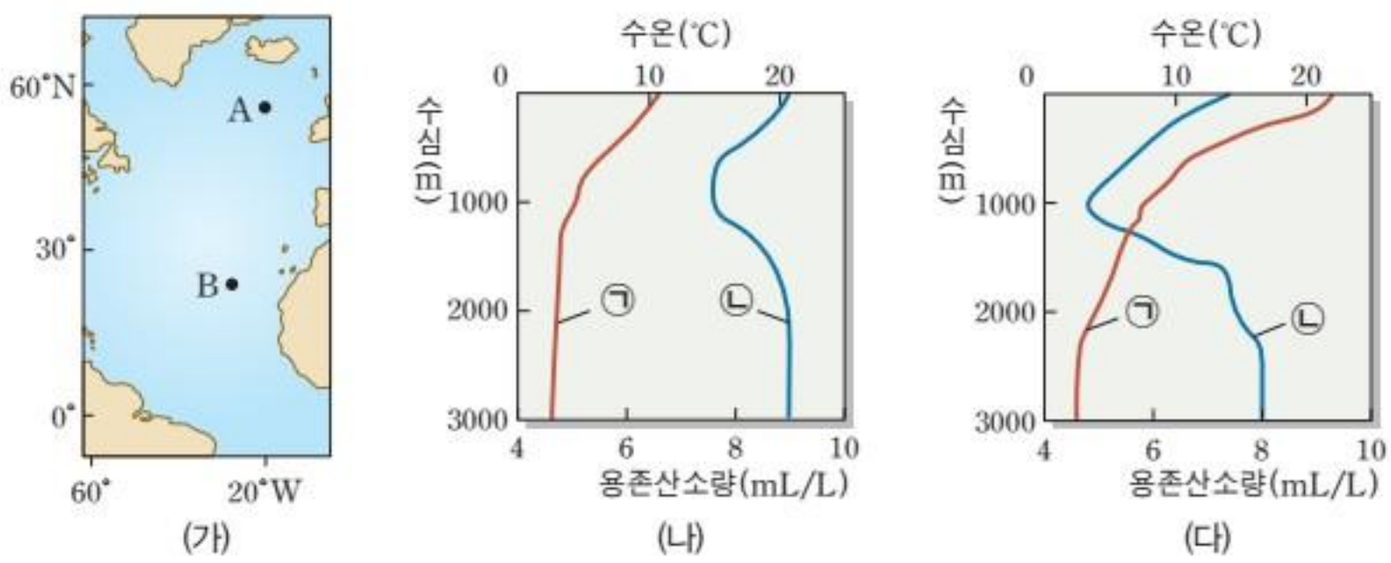
KeyWord

(1) • 고기압
• 증발량
• 강수량
(2) • 하천수

Solution Tip

중위도 고압대에서는 하강 기류에 의해 맑은 날씨가 지속되므로 증발량이 많다.

2 그림 (가)는 북대서양의 해역 A와 B의 위치를, (나)와 (다)는 A와 B에서 같은 시기에 측정한 물리량을 순서 없이 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 수온과 용존산소량 중 하나이다.



(1) ㉠과 ㉡은 무엇인지 각각 쓰시오.

(2) A에 해당하는 물리량을 (나)와 (다) 중에서 고르고, 그 까닭을 서술하시오.

KeyWord

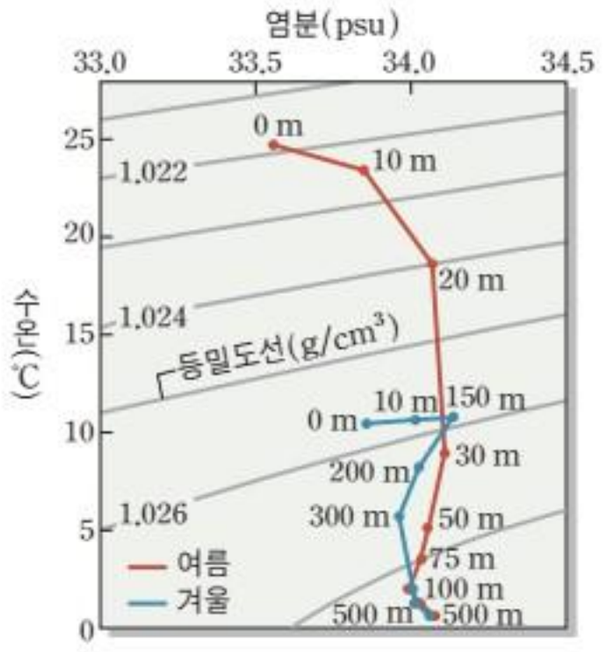
(1) • 수온
• 용존산소량
(2) • 고위도

Solution Tip

용존산소량은 대기로부터 산소를 공급받고 해양 생물의 광합성이 활발한 표층에서 가장 많다. 이후 수심이 깊어짐에 따라 감소하다가, 많은 양의 산소가 용해되어 있는 극 해역의 표층 해수가 침강하여 심해로 공급되기 때문에 수심이 깊어질수록 다시 증가한다.

정답과 해설 152쪽

3 **그림은 동해의 어느 해역에서 여름과 겨울에 측정한 수심에 따른 해수의 수온과 염분 분포를 나타낸 것이다.**



(1) 여름과 겨울의 혼합층 두께를 구하여 비교하고, 혼합층의 두께가 계절에 따라 다른 까닭을 서술하시오.

(2) 여름과 겨울 중 해수가 연직 방향으로 더 안정한 계절을 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

KeyWord
(1) • 혼합층
• 바람
(2) • 수온 약층

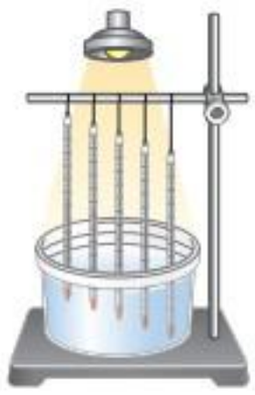
Solution Tip

혼합층은 바람이 강하게 부는 계절에 더 발달하고, 수온 약층은 해수의 상층과 하층 사이의 수온 차가 많이 나는 계절에 더 발달한다.

4 **다음은 해수의 연직 수온 분포에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위한 실험을 나타낸 것이다.**

[실험 과정]

(가) 소금물을 채운 수조에 온도계 5개를 깊이를 다르게 하여 설치하고 수온을 측정한다.



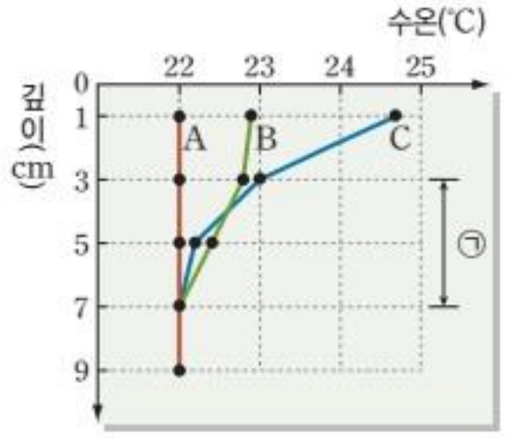
(나) 전등을 켠 후, 온도계의 눈금이 더 이상 변하지 않을 때 수온을 측정한다.

(다) 전등을 켠 상태에서 수면을 향해 휴대용 선풍기로 바람을 일으킨 후, 온도계의 눈금이 더 이상 변하지 않을 때 수온을 측정한다.

(라) 과정 (가)~(다)에서 측정한 깊이에 따른 수온을 각각 그래프로 나타낸다.

[실험 결과]

깊이에 따른 수온 분포는 그림과 같으며, A~C는 각각 실험 과정 (가)~(다)의 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



KeyWord
(2) • 수온 약층
• 표층 수온

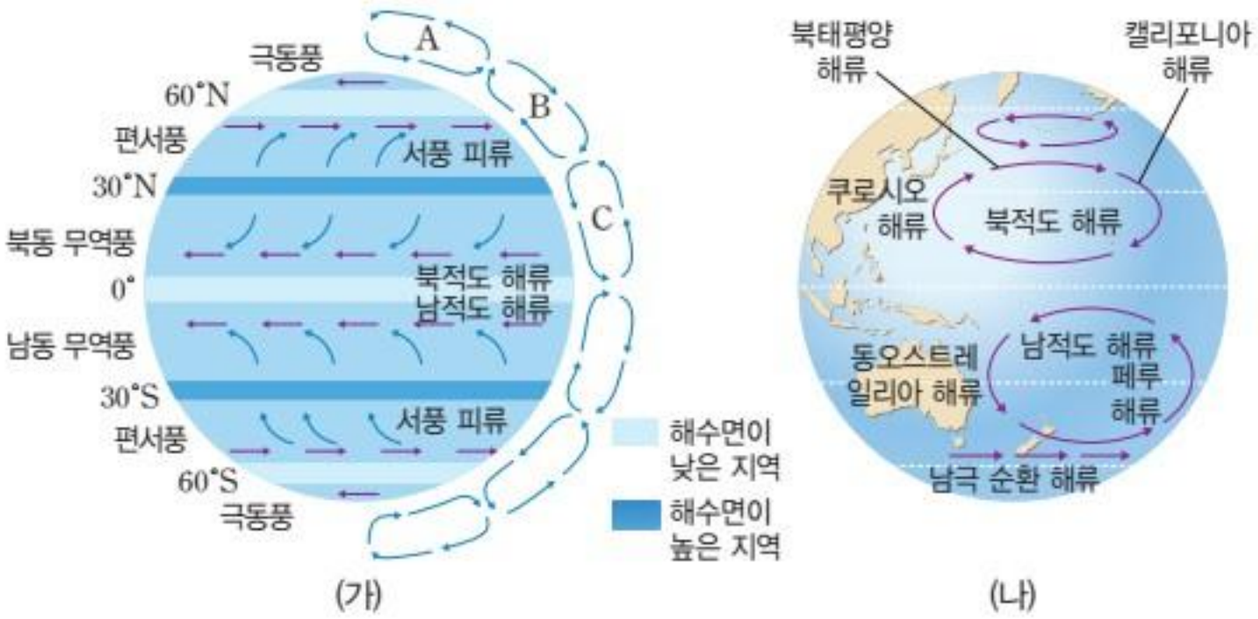
Solution Tip

혼합층은 바람의 혼합 작용으로 깊이에 관계없이 수온이 거의 일정한 층이고, 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다.

(1) 실험 과정 (가), (나), (다)와 실험 결과 A, B, C를 옳게 연결하시오.

(2) 구간 ㉠과 같은 층은 우리나라에서 여름과 겨울 중 언제 더 뚜렷하게 나타나는지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

5 그림 (가)는 지구에 대륙이 없을 때의 대기 순환과 해수의 표층 순환을, (나)는 실제 해수의 표층 순환을 나타낸 것이다.



(1) 대기 순환 A~C의 명칭을 각각 쓰시오.

(2) 대륙이 없을 때와 실제 해양에서의 표층 순환의 차이점을 아열대 순환의 구성을 중심으로 서술하시오.

KeyWord
(1) • 해들리 순환
• 페렐 순환
• 극순환
(2) • 시계 방향
• 시계 반대 방향

Solution Tip

북태평양에서 아열대 순환은 북적도 해류 → 쿠로시오 해류 → 북태평양 해류 → 캘리포니아 해류로 이어지는 시계 방향의 순환을 이룬다.

6 그림 (가)와 (나)는 각각 우리나라 주변 해역에서 겨울철과 여름철의 표층 해류 분포를 나타낸 것이다.



(1) 우리나라 주변 해류의 경로를 참고하여 쿠로시오 해류의 수온과 염분 특징을 서술하시오.

(2) 계절에 따라 동해에서 조경 수역의 위치가 변하는 까닭을 서술하시오.

KeyWord
(1) • 난류
(2) • 세력

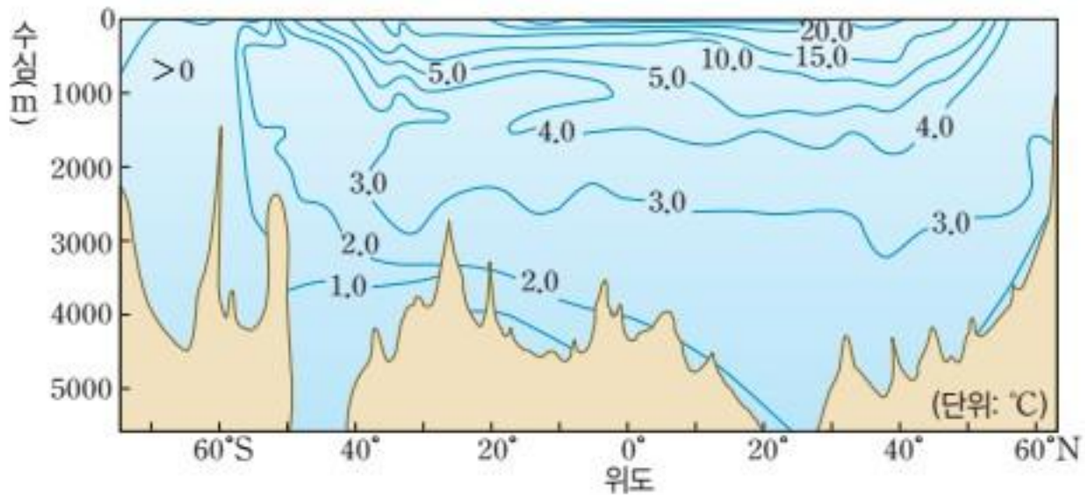
Solution Tip

우리나라 동해에서는 북한 한류와 동한 난류가 만나 조경 수역이 형성된다.

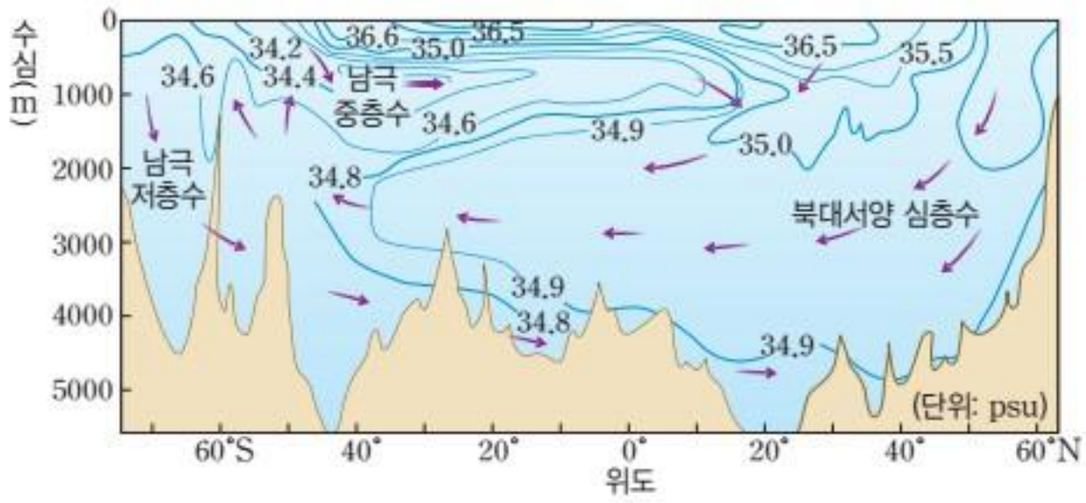
정답과 해설 152쪽

7 그림 (가)와 (나)는 대서양에서 수온과 염분의 연직 분포를 나타낸 것이다.

(가)



(나)



(1) 표층 해수의 염분이 가장 높게 나타나는 위도대를 쓰고, 염분이 높게 나타나는 까닭을 서술하시오.

(2) 표층 해수가 침강하는 위도대를 쓰고, 북대서양 심층수보다 남극 저층수가 더 아래쪽에서 흐르는 까닭을 서술하시오.

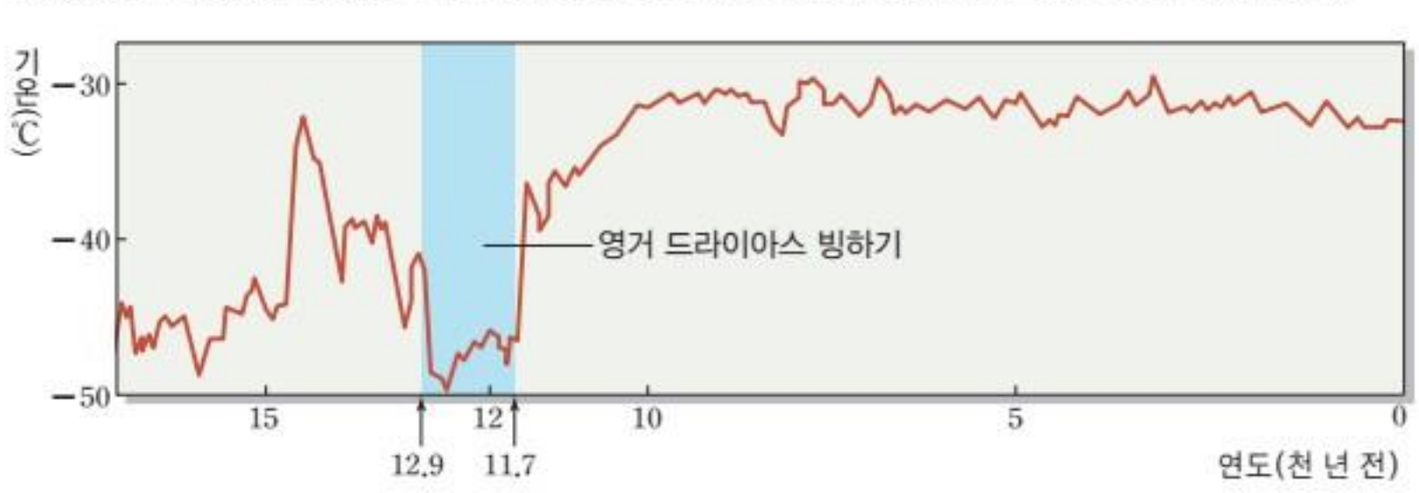
KeyWord

(1) • 중위도 고압대
• 강수량
• 증발량
(2) • 밀도

Solution Tip

남극 저층수는 대서양에서 심층 순환을 형성하는 수괴 중 밀도가 가장 크다.

8 그림은 약 17000년 전부터 현재까지 그린란드의 기온 변화를 나타낸 것이다. 이 기간 중 약 12900년 전에서 11700년 전 사이에 나타난 짧은 빙하기를 영거 드라이아스라고 한다.



주어진 단어를 모두 사용하여 영거 드라이아스가 나타나게 된 원인을 서술하시오.

따뜻해진 기후	해수의 밀도	침강	표층 순환

KeyWord

• 담수 유입
• 열 전달

Solution Tip

심층 순환이 약해지면 고위도까지 이동하는 표층 해류의 흐름 또한 약해지게 되며, 이는 전 지구의 기후에 영향을 미친다.

단원 Preview

이 단원에서 배우는 핵심 개념으로 단원 내용을 미리 살펴봅시다.





2 날씨의 변화와 악기상



대기는 끊임없이 순환하면서 열과 수증기를 운반하여
날씨 변화를 일으킨다.

01 날씨의 변화

02 태풍과 악기상









01 날씨의 변화

핵심 내용 미리보기

"고기압 주변은 날씨가 대체로 맑고, 저기압 주변은 날씨가 흐리거나 비가 내린다."

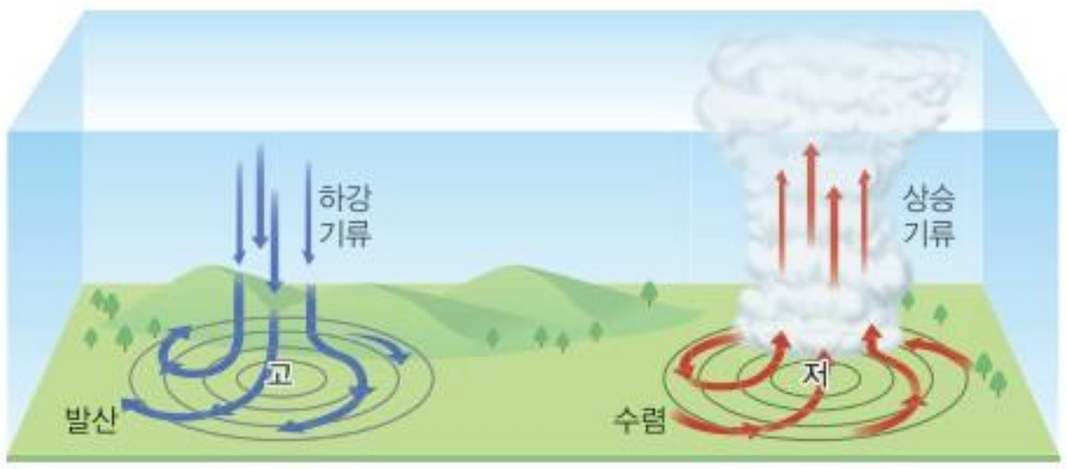
1 공기의 이동과 날씨

공기는 위치에 따라 온도와 습도 등이 달라지며, 이러한 공기의 이동과 함께 물의 상태 변화가 일어나면서 다양한 날씨의 변화가 생기게 된다.

1. 고기압과 저기압

(1) **고기압:** 주위보다 기압이 높은 곳으로, 중심부에서 하강 기류가 생겨 북반구의 지상에서는 바람이 시계 방향으로 불어 나간다. 중심부에 하강 기류가 발달하기 때문에 단열 압축에 의해 날씨가 대체로 맑다.

(2) **저기압:** 주위보다 기압이 낮은 곳으로, 중심부에서 상승 기류가 생겨 북반구의 지상에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 중심부에 상승 기류가 발달하기 때문에 단열 팽창에 의해 구름이 만들어지므로 날씨가 흐리거나 비 또는 눈이 내린다.



▲ 고기압과 저기압(북반구)

2. 기단

넓은 대륙이나 바다와 같은 곳에 공기 덩어리가 오랫동안 머물러 있으면 인접한 지면 또는 수면과 열과 수증기를 주고받아 기온과 습도 등의 성질이 비슷한 공기 덩어리가 된다. 이렇게 넓은 지역에 걸쳐 성질이 비슷하게 형성된 큰 공기 덩어리를 기단이라고 한다.

(1) **기단의 종류와 성질:** 기단은 형성된 장소의 온도에 따라 한대 기단, 열대 기단, 적도 기단 등으로 구분할 수 있고, 습도에 따라 해양성 기단과 대륙성 기단으로 구분할 수 있다. 저위도에서 형성된 기단은 온도가 높고, 고위도에서 형성된 기단은 온도가 낮으며, 수증기량이 많은 바다에서 형성된 기단은 습하고, 수증기량이 적은 대륙에서 형성된 기단은 건조하다.

단열 압축과 단열 팽창

공기가 외부로부터 열을 얻거나 외부로 열을 빼앗기지 않고 공기의 부피가 변하여 온도가 변하는 현상을 단열 변화라고 한다.

- 단열 압축: 공기가 외부와 열을 주고받지 않고 부피가 수축하는 현상이다. 공기 덩어리가 하강하면 주위 공기의 밀도가 증가하므로 단열 압축되어 공기 덩어리의 내부 온도가 높아진다. 공기 덩어리의 내부 온도가 높아지면 포화 수증기량이 높아져서 습도가 낮아진다.
- 단열 팽창: 공기가 외부와 열을 주고받지 않고 부피가 팽창하는 현상이다. 공기 덩어리가 상승하면 주위 공기의 밀도가 감소하므로 단열 팽창하여 공기 덩어리의 내부 온도가 낮아진다. 공기 덩어리의 내부 온도가 낮아져서 이슬점에 도달하면 포화 상태가 되어 수증기가 응결하기 시작한다.

(2) **우리나라에 영향을 주는 기단:** 우리나라는 북반구의 중위도에 위치해 있고 대륙과 해양의 경계에 놓여 있어 각 계절마다 특징이 다른 기단의 영향을 받는다. 따라서 우리나라는 계절에 따라 날씨 변화가 뚜렷하고, 각 계절별로 특징적인 일기도가 나타난다.

① 시베리아 기단: 시베리아 대륙에서 발생하여 차고 건조한 성질을 띤다. 우리나라에서는 겨울철에 시베리아 기단의 영향을 받아 매우 춥고 건조한 날씨가 나타난다.

② 북태평양 기단: 북태평양에서 발생하여 고온 다습한 성질을 띤다. 우리나라에서는 여름철에 북태평양 기단의 영향을 받아 덥고 습한 날씨가 나타난다.

③ 양쯔강 기단: 양쯔강 유역의 대륙에서 발생하여 따뜻하고 건조한 성질을 띤다. 봄철과 가을철에 이동성 고기압의 형태로 우리나라를 통과하면 따뜻하고 건조한 날씨가 나타난다.

④ 오호츠크해 기단: 오호츠크해에서 발생하여 차고 습한 성질을 띤다. 초여름에는 오호츠크해 기단의 영향으로 동해안에서 저온 현상이 나타나기도 한다.



기단	성질	영향을 주는 계절
시베리아 기단	한랭 건조	겨울
오호츠크해 기단	한랭 다습	초여름, 가을
양쯔강 기단	온난 건조	봄, 가을
북태평양 기단	고온 다습	여름

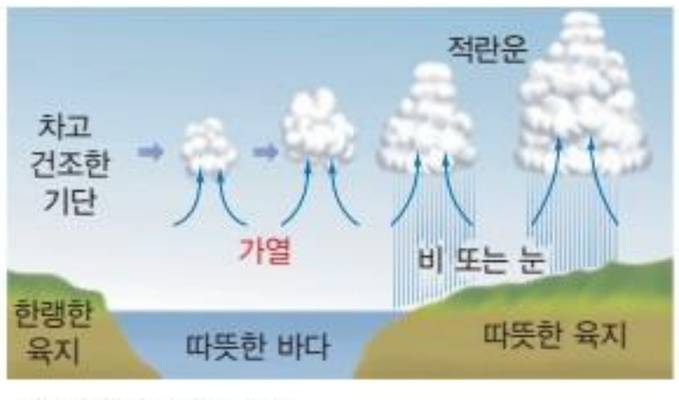
◀ 우리나라에 영향을 주는 기단

적도 기단
우리나라에 태풍이 북상할 때 영향을 주는 기단으로, 적도 부근 바다에서 발달하여 기온이 높고 습하다.

심화 기단의 이동과 변질

기단이 발생한 지역을 떠나 다른 곳으로 이동하면 지표면과 열이나 수증기를 교환하여 기단의 성질이 변한다.

- 한랭한 기단의 변질: 차고 건조한 기단이 따뜻한 바다 위를 지나면 기단 하층은 해수로부터 열과 수증기를 공급받아 기온과 습도가 높아진다. 이와 같은 기단의 변질이 일어나면 적운형 구름이 생기고, 소나기나 폭설이 내리기도 한다.
- 온난한 기단의 변질: 따뜻한 기단이 차가운 지표면이나 해수면 위를 지나면 기단 하층부터 서서히 냉각되어 안정해지므로 층운이나 안개가 잘 생긴다.



▲ 한랭한 기단의 변질



▲ 온난한 기단의 변질

3. 전선

성질이 서로 다른 두 기단이 만나서 이루는 경계면을 전선면이라고 하고, 전선면이 지표면과 만나는 경계선을 전선이라고 한다.



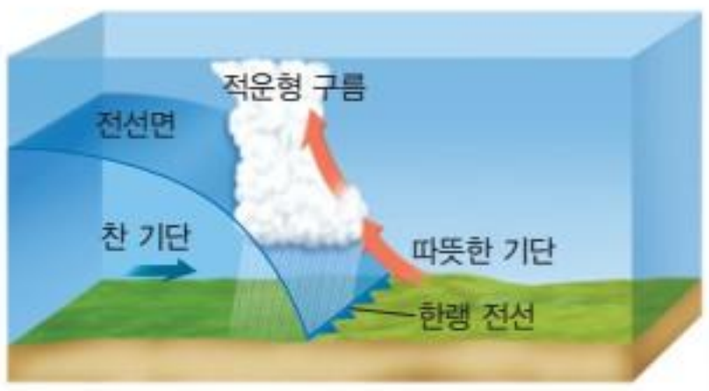
▲ 전선과 전선면

(1) **전선 부근의 날씨:** 전선은 성질이 다른 두 기단의 경계에 생기므로 전선을 경계로 기온, 습도, 바람 등이 크게 달라진다. 따라서 전선이 통과하는 지역은 날씨가 크게 변한다.

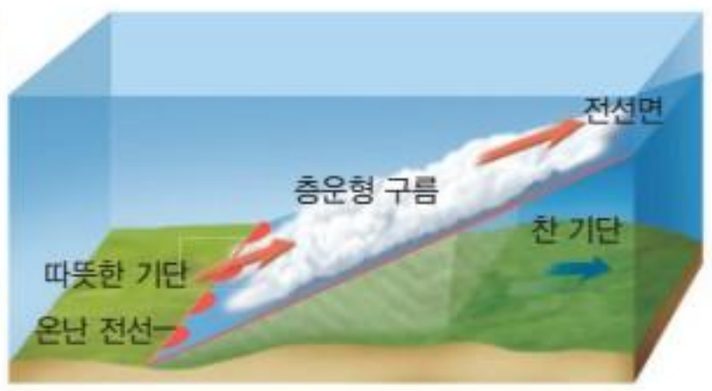
(2) **전선의 종류**

① 한랭 전선: 찬 기단이 따뜻한 기단 쪽으로 이동하여 따뜻한 기단 아래로 파고들며 만들어진다. 일반적으로 전선면의 기울기가 급하고 이동 속도가 빠르다. 따뜻한 공기를 파고드는 찬 공기에 의해 강한 상승 기류가 발생하여 적운이나 적란운 등의 적운형 구름이 생기고, 전선 뒤쪽의 좁은 지역에 소나기성 비가 내린다.

② 온난 전선: 따뜻한 기단이 찬 기단 쪽으로 이동하여 찬 기단을 타고 올라가며 만들어진다. 전선면의 기울기는 대체로 완만하고 이동 속도는 한랭 전선보다 느리다. 전선면을 따라 넓게 분포하는 난층운, 권층운 등의 층운형 구름이 생기고, 전선 앞쪽의 넓은 지역에 약하지만 지속적인 비가 내린다.



▲ 한랭 전선

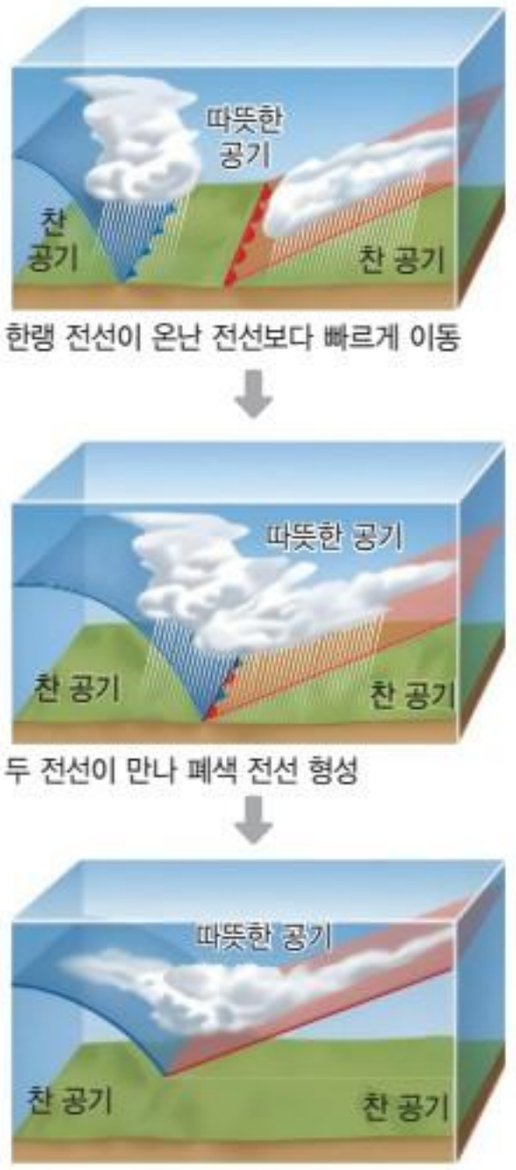


▲ 온난 전선

③ 폐색 전선: 한랭 전선은 온난 전선보다 이동 속도가 빠르다. 따라서 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡으면 두 전선이 겹쳐지는데, 이때 생기는 전선을 폐색 전선이라고 한다. 폐색 전선 주변에서는 넓은 지역에 걸쳐 구름이 형성되어 비가 내린다.

④ 정체 전선: 전선을 경계로 대치하는 두 기단의 세력이 비슷하면 전선이 이동하지 못하고 한곳에 오랫동안 머무르게 되는데, 이러한 전선을 정체 전선이라고 한다. 우리나라 초여름에 한랭 다습한 오호츠크해 기단과 고온 다습한 북태평양 기단이 만나 형성하는 장마 전선이 정체 전선의 한 예이다.

폐색 전선의 형성과 소멸 과정



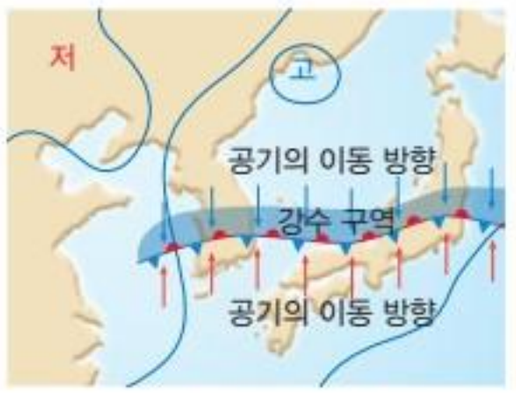
한랭 전선이 온난 전선보다 빠르게 이동

두 전선이 만나 폐색 전선 형성

따뜻한 공기가 모두 위로 올라가고 아래에 찬 공기가 자리하면서 폐색 전선 소멸

장마 전선과 강수 구역

한랭 전선에서는 전선면의 후면에, 온난 전선에서는 전선면의 전면에 강수 구역이 형성되므로, 정체 전선에서는 강수대가 찬 공기 쪽에 형성된다. 따라서 우리나라에 오호츠크해 기단과 북태평양 기단이 만나 장마 전선이 발달하면 전선의 북쪽으로 큰 강수 구역이 형성된다. 장마 전선은 두 기단의 세력 확장과 축소에 따라 남북 방향으로 오르내리면서 많은 양의 비를 내린다.



중요 개념 체크

정답과 해설 155쪽

1. 고기압은 주위보다 기압이 높은 곳으로, 북반구 지상에서는 바람이 ( ) 방향으로 불어 나간다.
2. 찬 기단이 따뜻한 기단 아래로 파고들며 밀어올릴 때 ( ) 전선이 형성되고, 따뜻한 기단이 찬 기단을 타고 올라갈 때 ( ) 전선이 형성된다.

2 일기 예보

현대 사회에서 일기 예보는 인명 및 재산을 보호하는 역할뿐만 아니라 삶의 질을 높이는 데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 많은 자료 수집과 해석을 통한 정확한 예보가 필수적이다.

1. 일기 예보의 과정

(1) **기상 실황 파악:** 지상 기상 관측, 고층 기상 관측, 기상 위성 관측, 기상 레이더 관측, 해양 기상 관측 등을 통해 기상 실황을 파악한다.

(2) **자료 수집 및 분석:** 관측된 국내 기상 자료와 외국으로부터 수신된 각종 기상 자료를 슈퍼컴퓨터로 빠르고 정확하게 분석하여 수치 예측 자료를 산출하고, 예상 일기도를 생산한다.

(3) **예보 협의:** 예보관들은 예상 일기도, 수치 예측 자료, 위성 및 레이더 영상 자료 등을 바탕으로 토의하여 일기 예보 내용을 결정한다.

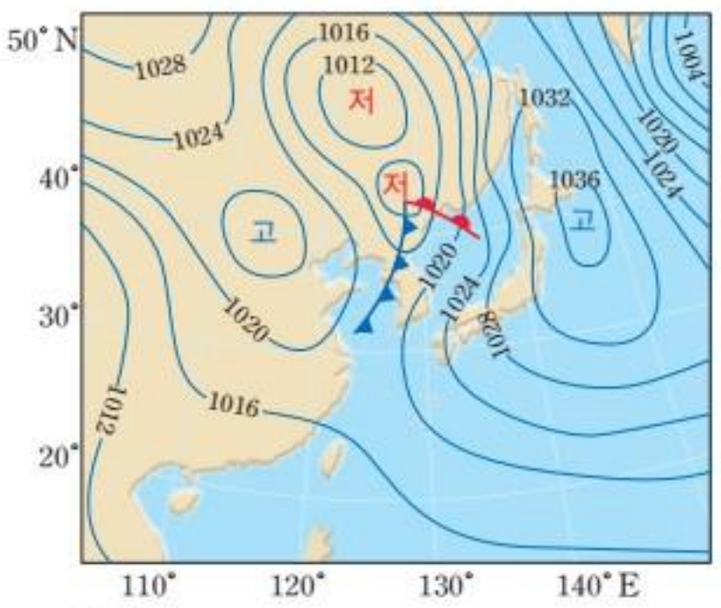
(4) **기상 정보 제공:** 전국을 세분화하여 방송, 인터넷 등 다양한 매체에 기상 정보를 제공한다. 호우, 한파, 태풍, 황사 등에 따른 기상 재해가 예상될 때는 기상 특보(주의보, 경보)를 발령한다.

2. 일기도와 위성 영상

(1) **일기도:** 어떤 지역의 일정한 시각이나 시간대의 일기 상태를 나타낸 그림으로, 기온과 기압, 풍향, 풍속 등을 측정하여 등압선, 등온선 등으로 표시한다. 일기도 분석을 통해 크고 작은 규모의 기상 현상이 발생하고 발달하는 과정을 추적할 수 있다.

① 일기도 작성: 다양한 관측 장비를 통해 일정한 시각에 기온, 기압, 바람, 구름과 같은 기상 요소를 측정하고, 측정한 자료는 일기 기호를 이용하여 일기도에 나타낸다.

② 일기도 분석: 등압선으로부터 저기압과 고기압의 배치를 파악하여 바람의 방향을 알아내고, 등압선의 간격으로부터 바람의 세기를 분석한다. 바람은 고기압에서 저기압 방향으로 불어가고, 등압선의 간격이 좁을수록 바람이 강하게 분다. 한편, 전선 부근에서는 풍향, 풍속, 기온, 기압 등의 일기 요소가 급변하고, 저기압이나 전선 부근에서는 날씨가 흐리며, 고기압에서는 날씨가 맑다. 우리나라는 편서풍대에 속하여 일기 상태가 서쪽에서 동쪽 방향으로 변해간다. 따라서 연속된 일기도를 통해 우리나라 서쪽의 날씨를 파악하면 앞으로의 날씨를 예상할 수 있다. 일반적으로 지상 일기도를 분석할 때는 상층 일기도와 위성 영상 등을 함께 비교한다.



▲ 지상 일기도

수치 예보

수치 예보란 대기를 유체의 흐름이라고 생각했을 때 유체의 운동을 지배하는 각종 방정식을 컴퓨터 프로그래밍하여 기상 현상을 분석하고 예측하는 과정이다. 수치 예보 모델로 예측된 각 기상 요소들은 예보관의 지식과 경험을 통해 일기 현상으로 해석되어 예보로 발표되며, 자체 가공을 거쳐 최고 기온과 최저 기온, 강수 확률 등 다양한 기상 정보를 생산하게 된다. 수치 예보 모델의 운용을 위해 슈퍼컴퓨터가 사용된다.

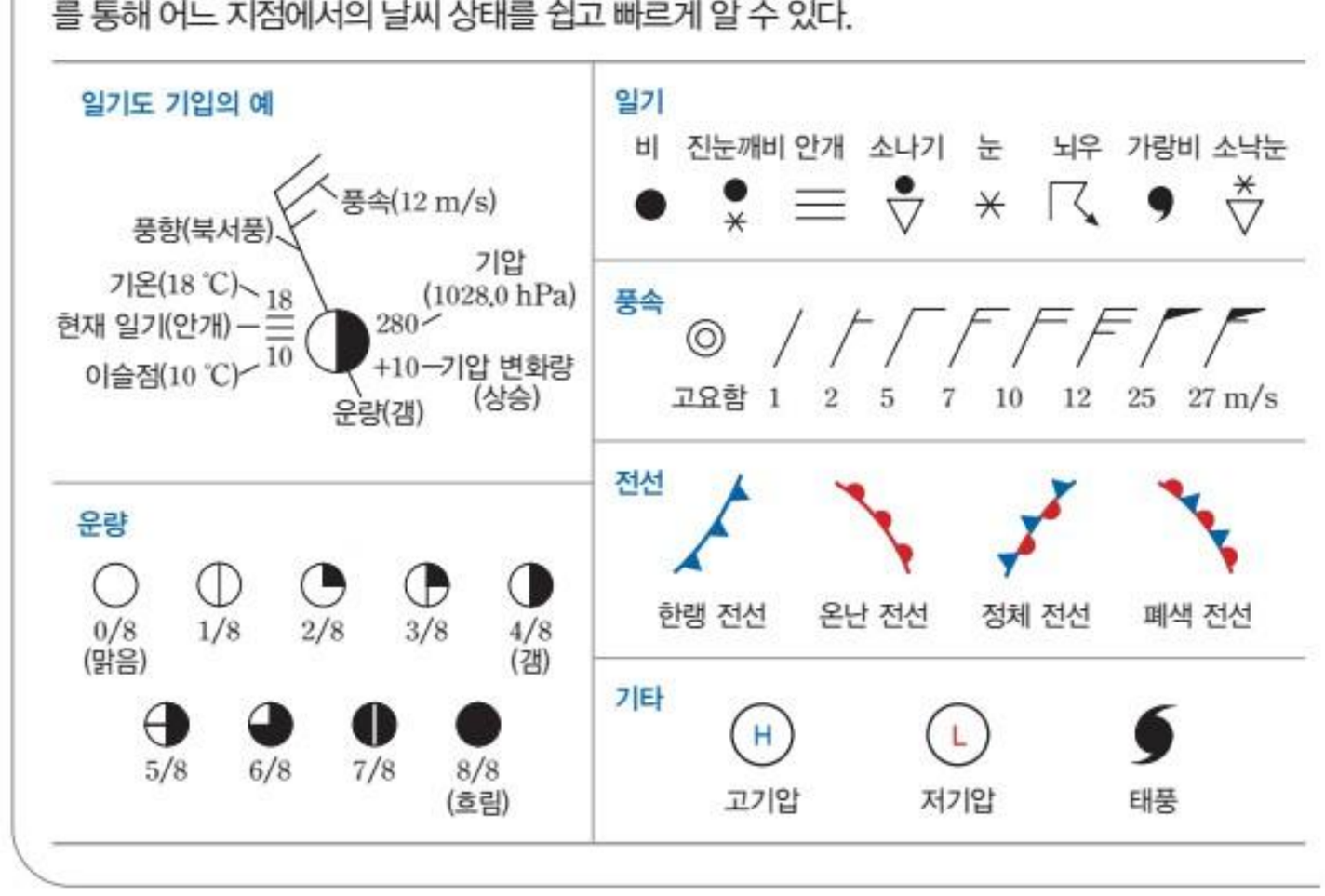

▲ 국가기상슈퍼컴퓨터 5호기

일기도의 종류

- 지상 일기도: 지상에서의 기상 요소를 나타낸 일기도로, 각 관측 지점의 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량 등이 기록되어 있다.
- 상층 일기도: 정확한 일기 예보를 위해서는 지상 부근의 대기 상태뿐 아니라 상층 대기의 상태도 파악해야 한다. 상공으로 올라갈수록 기압이 낮아지는데, 각 관측소에서 일정 기압면의 고도 분포를 측정하여 상층 일기도를 작성하며, 500 hPa 등압면, 300 hPa 등압면 상층 일기도 등이 있다. 항공기, 라디오존데, 기상 위성 등으로부터 자료를 얻는다.

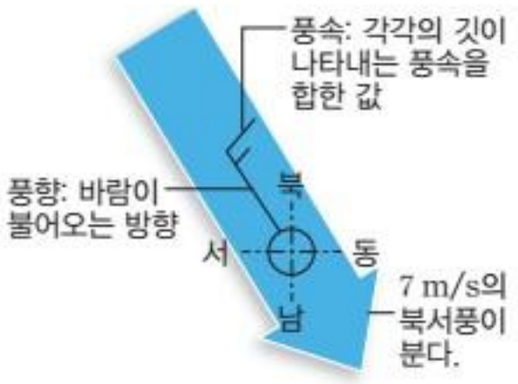
심화 일기 기호

구름, 비, 눈, 바람 등의 기상 현상을 단순화하여 일기도를 작성할 때 사용하는 기호로, 일기 기호를 통해 어느 지점에서의 날씨 상태를 쉽고 빠르게 알 수 있다.



일기 기호에서 풍향과 풍속 읽는 방법

운량을 나타내는 곳이 관측 지점이고, 바람은 관측 지점을 향해서 불어온다.

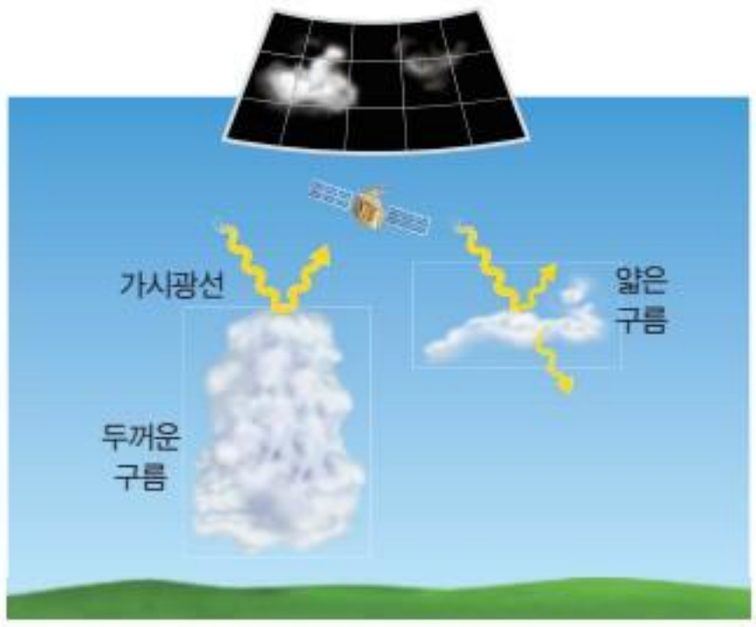


일기 기호에서 기압 읽는 방법

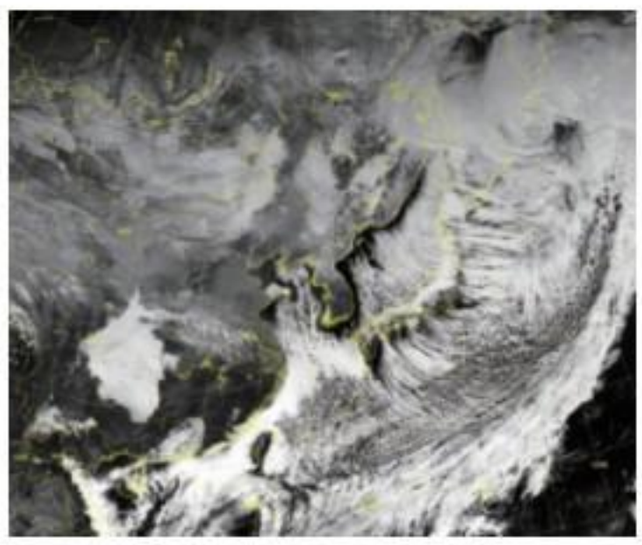
맨 앞의 숫자가 0 ~ 5이면 앞에 10을 붙이고 6 ~ 9이면 앞에 9를 붙인 후 마지막 숫자를 소수점 처리한다. 예를 들어, 기압이 082로 되어 있다면 1008.2 hPa이고, 899이면 989.9 hPa이다.

(2) **위성 영상:** 지구의 기상을 관측하는 인공위성을 기상 위성이라고 한다. 기상 위성은 가시광선, 적외선 등 특정 파장을 관측하여 가시 영상, 적외 영상 등을 만들어 낸다. 일기도와 함께 기상 위성이 제공하는 위성 영상을 활용하면 기상 변화를 더욱 정확하게 예측할 수 있다.

① 가시 영상: 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 햇빛의 강약을 나타내는데, 반사되는 빛이 강할수록 영상에서 밝게 보인다. 일반적으로 바다는 어둡게 보이고, 육지는 바다보다 약간 밝게 보이며, 구름은 매우 밝게 보인다. 구름의 경우에는 두께에 따라 다르게 나타난다. 두꺼운 구름에서는 햇빛의 대부분이 반사되고, 얇은 구름에서는 햇빛의 일부만 반사되므로, 두꺼운 구름일수록 밝게 보이고 얇은 구름일수록 어둡게 보인다. 밤에는 지구가 햇빛을 받지 못하므로 가시 영상을 얻을 수 없다. 가시 영상을 이용하여 적설, 해빙, 산불과 연기 등을 관측할 수도 있다.

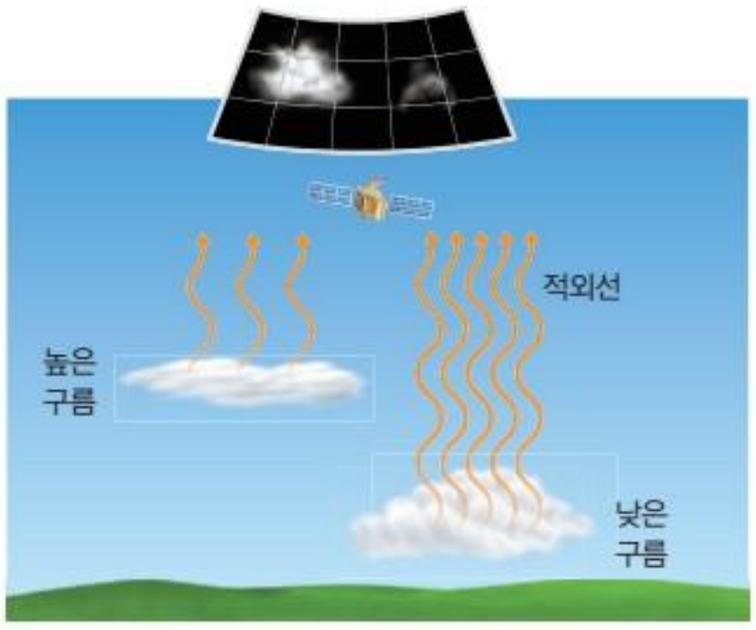


▲ 가시 영상의 원리

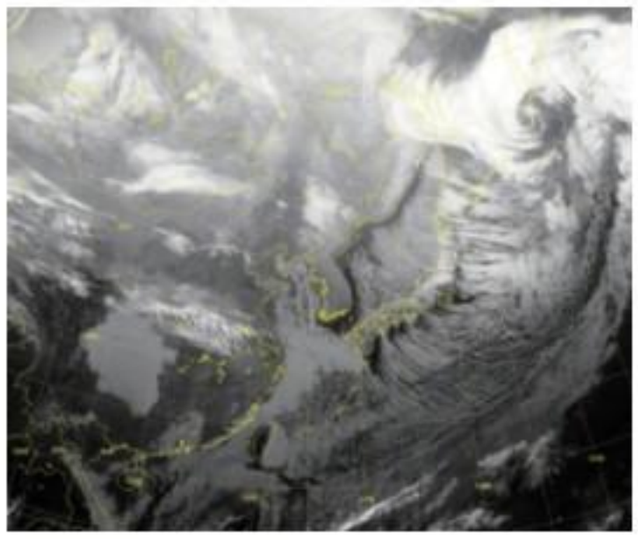


▲ 가시 영상

② 적외 영상: 적외 영상은 물체가 방출하는 적외선 에너지량의 많고 적음을 나타내는데, 물체의 온도가 낮을수록 적외선 에너지량이 적어 영상에서 밝게 보인다. 따라서 최상부의 고도가 높은 구름은 온도가 낮아 밝게 보이고, 최상부의 고도가 낮은 구름은 온도가 높아 어둡게 보인다. 적외 영상은 물체의 온도를 탐지하여 나타내므로 햇빛이 없는 밤에도 관측이 가능하다. 따라서 연속으로 기상 감시를 할 수 있으므로, 집중 호우 및 태풍 등의 악기상을 감시할 때 특히 유용하다.

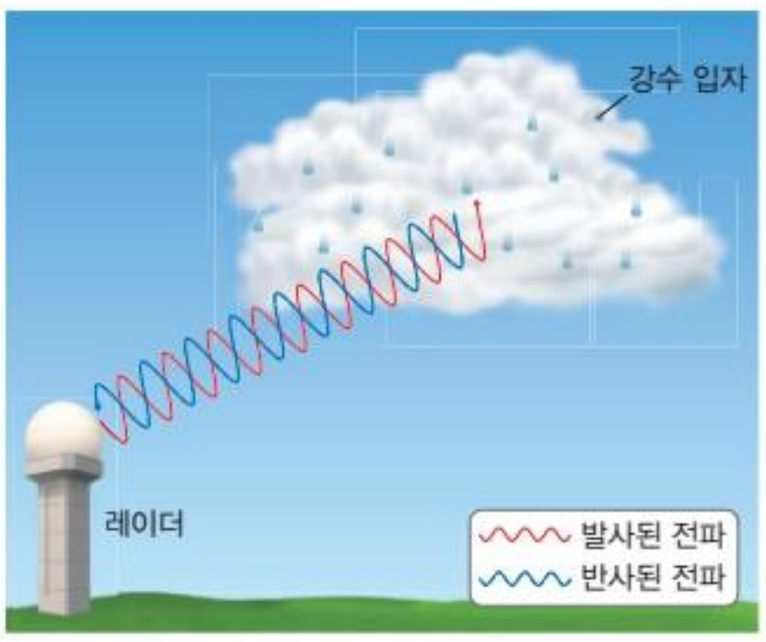


▲ 적외 영상의 원리

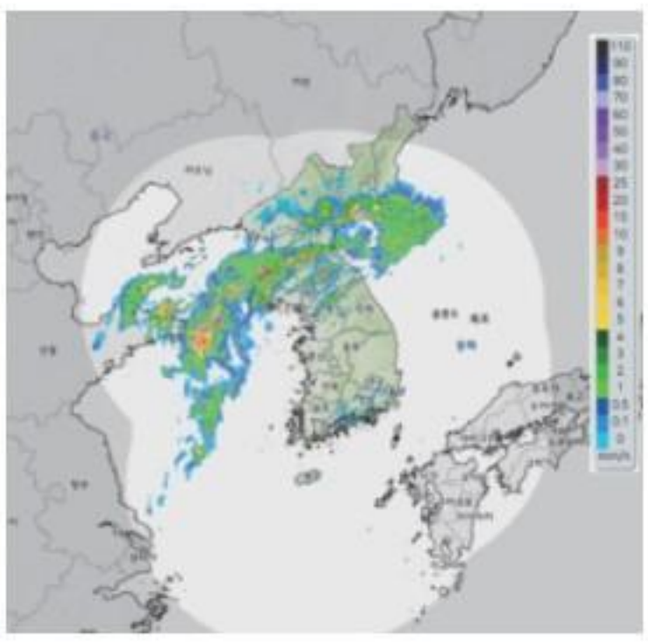


▲ 적외 영상

(3) **레이더 영상:** 레이더 영상은 전파를 대기 중으로 발사한 뒤 구름 속에 있는 강수 입자에 부딪혀 되돌아오는 반사파를 수신하여 영상으로 나타낸 것이다. 레이더 영상으로 구름 속 강수 입자의 분포나 강수량, 비 또는 눈이 내리는 강수대의 위치와 이동 경향 등을 파악할 수 있다.



▲ 레이더 영상의 원리



▲ 레이더 영상

기상 위성의 종류

- 정지 궤도 기상 위성: 적도 상공의 고도 약 36000 km에서 지구의 자전 속도와 같은 속도로 지구 주위를 공전하기 때문에 지구에서 볼 때 항상 정지한 상태로 보이는 위성이다. 정지 궤도 위성은 항상 지구상의 같은 장소를 관측할 수 있으므로 구름의 이동, 기상 상태 등을 연속적으로 관측하여 기상의 변화를 감시하고 예측하는 데 이용할 수 있다.
- 극궤도 기상 위성: 남극과 북극을 오가며 지구 주위를 공전하는 위성으로, 정지 궤도 위성보다 궤도 높이가 훨씬 낮기 때문에 보다 자세하게 관측할 수 있다. 따라서 고도에 따른 기온 분포나 신호가 아주 약한 전파 복사 등도 측정할 수 있다. 또한, 지구의 자전에 따라 지구 전체를 관측할 수 있다. 그러나 지구를 1회 공전하는 데 대략 100분이 소요되어 같은 장소를 하루에 두 번밖에 관측할 수 없으므로, 변화가 심한 기상 현상의 추적은 불가능하다.

중요 개념 체크

정답과 해설 155쪽

1. 어떤 지역의 일정한 시각이나 시간대의 일기 상태를 나타낸 그림을 (　　)라고 한다.
2. 위성 영상에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.
   (1) 가시 영상에서는 얇은 구름보다 두꺼운 구름이 더 밝게 보인다. ——— (　　)
   (2) 적외 영상에서는 온도가 높을수록 밝게 나타난다. ——— (　　)

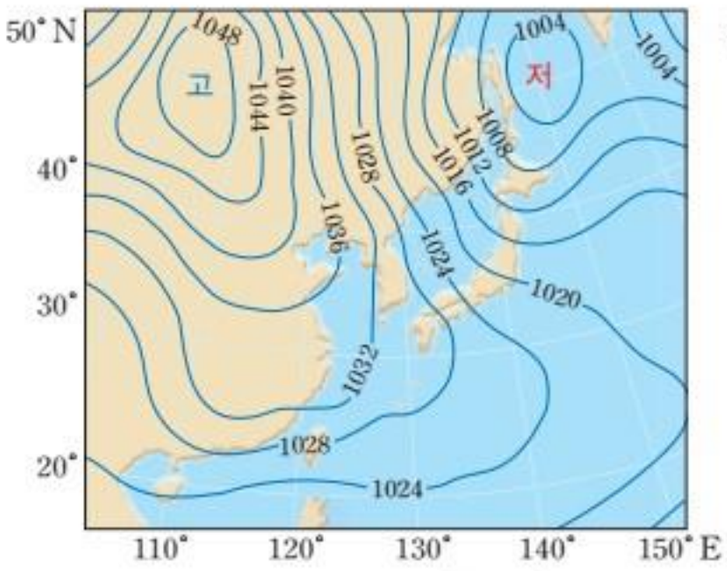
3 고기압과 날씨

고기압은 주변보다 기압이 높은 곳으로, 하강 기류에 의해 대체로 맑은 날씨가 나타난다. 규모가 작은 고기압이 빠르게 이동하는 경우에는 바람이 많이 부는 날씨가 나타나기도 한다.

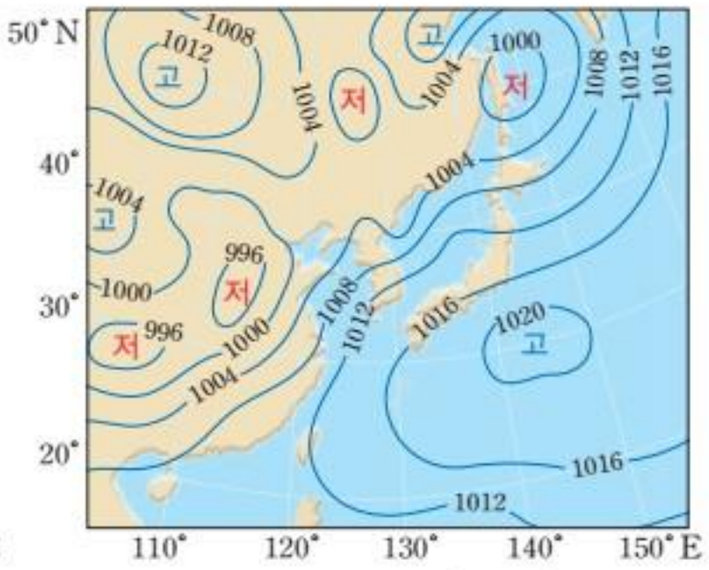
1. 고기압의 종류

고기압은 중심부의 위치 이동에 따라 정체성 고기압과 이동성 고기압으로 구분한다.

(1) **정체성 고기압:** 중심부의 위치가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르며 수축과 확장을 하면서 주변 지역의 날씨에 영향을 주는 규모가 큰 고기압을 정체성 고기압이라고 한다. 우리나라에 영향을 주는 정체성 고기압에는 시베리아 고기압과 북태평양 고기압 등이 있으며, 이들이 발달하는 지역에서는 각각 시베리아 기단과 북태평양 기단이 발생하여 우리나라의 겨울철과 여름철 날씨에 영향을 준다.



▲ 시베리아 고기압이 발달했을 때(겨울철)의 일기도

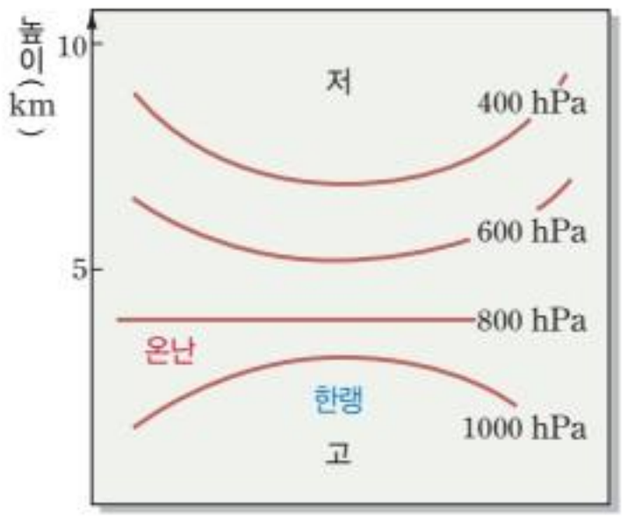


▲ 북태평양 고기압이 발달했을 때(여름철)의 일기도

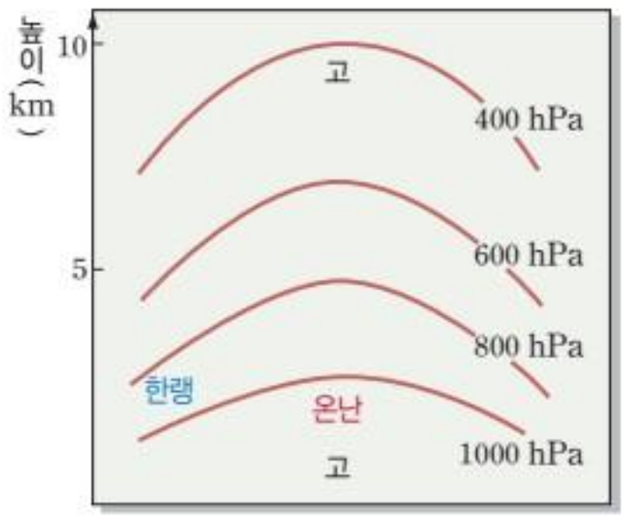
심화 한랭 고기압과 온난 고기압

① 한랭 고기압: 시베리아 고기압은 겨울철에 대륙의 찬 지표면에 의해 복사 냉각된 공기가 쌓여 형성된 한랭 고기압이다. 한랭 고기압은 중심부의 기온이 주위보다 낮고, 상공에 저기압이 발달하여 고기압의 높이가 높지 않다. 따라서 한랭 고기압을 키 작은 고기압이라고도 한다.

② 온난 고기압: 북태평양 고기압은 대기 대순환에 의해 아열대 상공에서 수렴된 공기가 하강하면서 단열 압축되어 형성된 온난 고기압이다. 온난 고기압은 공기가 하강하면서 단열 압축되므로 중심부의 기온이 주위보다 높고, 상층에도 고기압이 유지된다. 따라서 온난 고기압은 키 큰 고기압이라고도 한다.



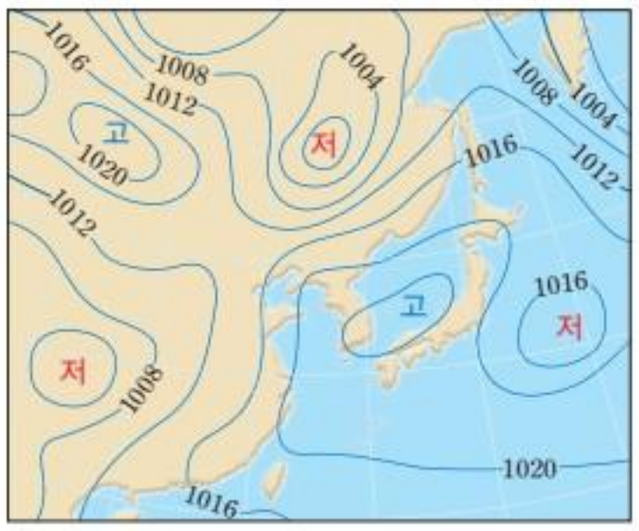
▲ 한랭 고기압의 높이



▲ 온난 고기압의 높이

(2) **이동성 고기압:** 중심부의 위치가 일정한 곳에 머무르지 않고 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 규모가 작은 고기압이다. 주로 정체성 고기압에서 떨어져 나오거나 중위도 저기압의 전면 또는 후면에서 발달한다.

① 이동성 고기압의 발달 시기: 이동성 고기압은 봄철과 가을철에 주로 나타난다. 봄철에는 대부분 대륙성 고기압의 쇠퇴에 따라 발달하고, 가을철에는 해양성 고기압의 쇠퇴에 따라 발달한다. 봄철과 가을철의 일기도에서는 규모가 작은 고기압이 연이어 통과하고, 고기압이 동서 방향으로 길게 나타나기도 한다.



▲ 우리나라가 이동성 고기압의 영향을 받을 때(봄철)의 일기도

② 이동성 고기압과 날씨: 이동성 고기압의 중심 부근에서는 대체로 날씨가 맑지만, 그 중심이 통과한 후에는 기압골의 영향으로 서쪽부터 날씨가 흐려진다. 대표적인 이동성 고기압인 양쯔강 고기압은 대륙에서 발달한 시베리아 기단의 일부가 양쯔강 부근으로 남하한 뒤 가열되어 변질되면서 발생한 것으로, 편서풍을 타고 동쪽으로 이동해 주기적으로 우리나라를 통과하면서 봄과 가을의 날씨 변화에 영향을 준다.

2. 고기압과 우리나라의 계절별 날씨

우리나라는 계절마다 성질이 다른 고기압의 영향을 받아 날씨가 다르게 나타난다.

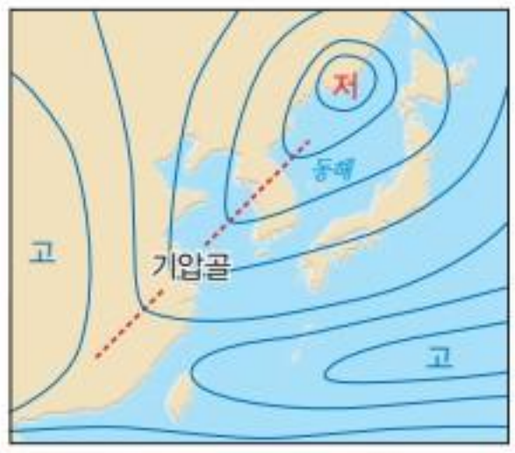
(1) **봄철:** 양쯔강 고기압의 영향으로 온난 건조한 날씨가 나타난다. 이동성 고기압과 뒤이어 다가오는 저기압의 영향을 받아 날씨가 자주 변하는데, 3일~4일 정도 맑은 날씨가 나타나다가 흐려지고 비가 내리기도 한다.

(2) **여름철:** 북태평양 고기압의 세력이 확장하여 무덥고 습한 날씨가 지속적으로 나타난다. 해양에는 고기압이 발달하고, 대륙에는 저기압이 발달하므로 남동 계절풍이 분다.

(3) **가을철:** 건조한 기단의 영향으로 날씨는 맑지만, 봄철과 마찬가지로 이동성 고기압인 양쯔강 고기압의 영향을 받아 날씨가 자주 변한다.

(4) **겨울철:** 시베리아 고기압의 영향으로 춥고 건조한 날씨가 나타난다. 대륙에는 고기압이 발달하고, 해양에는 저기압이 발달하므로 북서 계절풍이 강하게 분다.

기압골
대기 중의 같은 고도면에서 기압이 주위보다 상대적으로 낮은 곳으로, 일기도의 등압선에서 저기압 중심을 향하여 V자형이나 U자형으로 길게 뻗은 부분이다. 기압골의 전면에는 지상에 저기압이 나타나므로 흐리거나 비가 내리는 경우가 많고, 기압골의 후면에는 지상에 고기압이 나타나므로 날씨가 맑다.



중요 개념 체크

정답과 해설 155쪽

1. 정체성 고기압에서 떨어져 나와 동쪽으로 이동하는 규모가 작은 고기압을 (　　) 고기압이라고 한다.
2. 우리나라는 여름철에 주로 (　　) 고기압의 영향을 받고, 겨울철에 주로 (　　) 고기압의 영향을 받는다.

4 저기압과 날씨

저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳으로, 상승 기류에 의해 구름이 많은 흐린 날씨가 나타난다. 우리나라 날씨에 영향을 주는 저기압은 규모에 따라 중규모 저기압과 종관 규모인 중위도 저기압으로 구분할 수 있다.

1. 중규모 저기압

전선을 동반하지 않고 수평 규모가 수십 km~100 km 정도인 저기압을 중규모 저기압이라고 한다.

(1) **중규모 저기압의 형성:** 기압골의 존재, 태양 복사에 의한 공기 가열, 육지와 바다의 온도 차, 지형 등의 영향으로 강한 상승 기류가 발생하여 형성된다.

(2) **중규모 저기압과 날씨:** 소나기나 폭설, 강풍, 뇌우 등의 악기상을 발생시킨다. 이들은 단시간에 좁은 지역에 집중되어 발생하기 때문에 큰 피해를 일으키기도 한다.

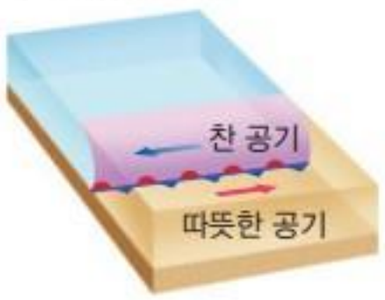
2. 중위도 저기압

중위도 지역에서는 전선을 동반한 종관 규모의 저기압이 자주 나타나는데, 이를 중위도 저기압이라고 한다. 중위도 저기압은 수평 규모가 최대 1000 km 정도이다.

(1) **중위도 저기압의 일생:** 중위도 저기압은 고위도 지역의 찬 공기와 저위도 지역의 따뜻한 공기가 만나 발생하며, 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하다가 소멸한다. 중위도 저기압의 발생에서 소멸까지는 5일~7일 정도 걸린다.

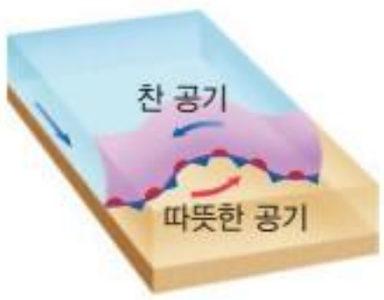
▼ **중위도 저기압의 일생**

① 정체 전선 형성



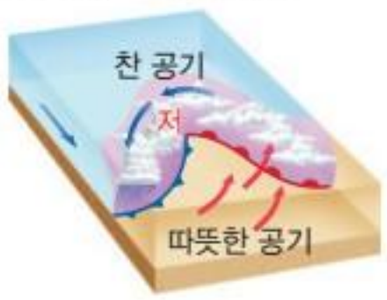
중위도 지역에서 고위도의 찬 공기와 저위도의 따뜻한 공기가 만나서 정체 전선이 형성된다.

② 파동 형성



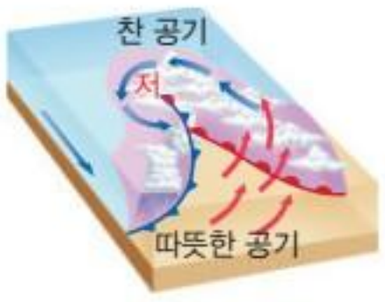
정체 전선 북쪽과 남쪽에서 바람이 반대 방향으로 불면서 기온 차로 파동이 발생하고, 저기압성 회전으로 발달한다.

③ 중위도 저기압 발달



저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선이 형성되고, 남동쪽에 온난 전선이 형성되면서 중위도 저기압이 발달한다.

④ 폐색 시작



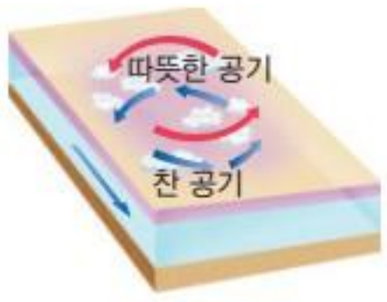
상대적으로 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡으면서 폐색 전선이 형성되기 시작한다. 넓은 지역에 구름과 강수가 나타난다.

⑤ 폐색 전선 발달



폐색 전선이 충분히 발달하면서 전선 양쪽에 찬 공기가 자리 잡게 되면 기층이 점차 안정되면서 중위도 저기압의 세력이 약해지기 시작한다.

⑥ 중위도 저기압 소멸



따뜻한 공기가 위쪽에, 찬 공기가 아래쪽에 있는 안정한 상태가 되면서 중위도 저기압이 소멸한다.

종관 규모

종관 규모는 수평 규모가 수백~수천 km 정도이며, 한눈으로 파악할 수 있는 규모를 넘어 여러 지역에서 관찰해야 그 규모를 파악할 수 있다. 매일매일의 일기를 좌우하는 고기압, 저기압, 태풍이 종관 규모에 속하며, 일기 예보에 가장 크게 영향을 미친다.

중위도 저기압의 에너지원

중위도 저기압의 주된 에너지원은 찬 공기와 따뜻한 공기가 섞이는 과정에서 발생하는 위치 에너지이다. 찬 공기가 따뜻한 공기 밑으로 파고들면 전체 공기의 무게 중심이 아래쪽으로 이동하여 위치 에너지가 감소한다. 감소한 위치 에너지는 운동 에너지로 바뀌며, 이것이 중위도 저기압의 에너지로 사용된다.

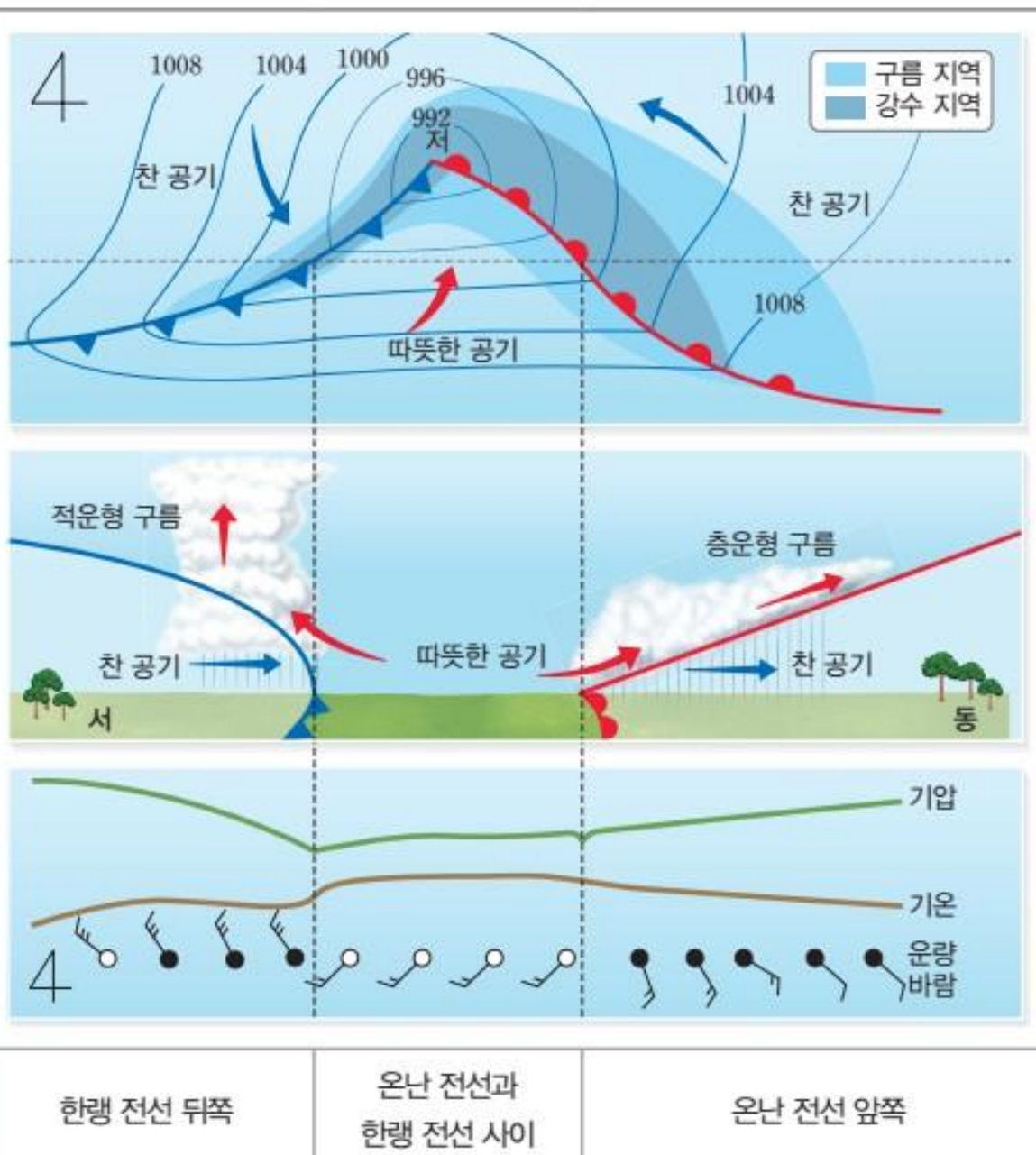
탐구 분석 62쪽

(2) **중위도 저기압과 날씨:** 중위도 저기압이 우리나라를 통과할 때, 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 지나가게 되면서 날씨 변화가 나타난다.

① 온난 전선 앞쪽: 온난 전선 앞쪽에서는 층운형 구름이 발달하여 넓은 지역에 걸쳐 흐리거나 지속적으로 약한 비가 내린다. 기온이 대체로 낮고 남동풍이 분다.

② 온난 전선과 한랭 전선 사이: 온난 전선이 통과하면 구름이 걷히면서 대체로 맑은 날씨가 된다. 기온은 높아지고, 기압은 낮아지며, 바람은 남서풍으로 바뀐다.

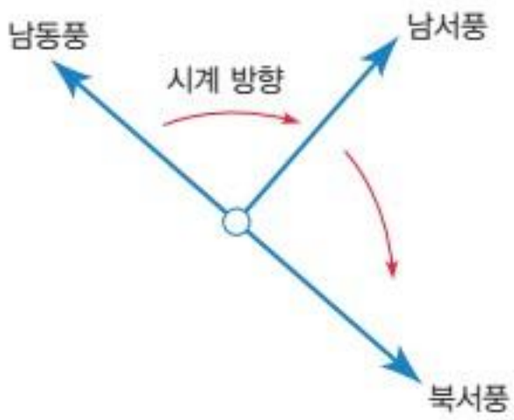
③ 한랭 전선 뒤쪽: 한랭 전선 뒤쪽에서는 적운형 구름이 발달하여 좁은 지역에 걸쳐 소나기가 내리며 우박이나 천둥·번개를 동반하기도 한다. 한랭 전선이 통과하면 기온이 낮아지고, 기압이 높아지며, 바람은 북서풍으로 바뀐다.

모식도			
위치	한랭 전선 뒤쪽	온난 전선과 한랭 전선 사이	온난 전선 앞쪽
구름 형태	적운형	거의 없음.	층운형
날씨	소나기	대체로 맑음	약하고 지속적인 비
기온	낮음.	높음.	낮음.
바람	북서풍	남서풍	남동풍

▲ 중위도 저기압 주변의 날씨

중위도 저기압이 통과할 때의 풍향 변화

온난 전선과 한랭 전선이 차례로 통과하면 바람은 남동풍 → 남서풍 → 북서풍의 순서로 나타나므로, 풍향은 시계 방향으로 변한다.



중요 개념 체크

정답과 해설 155쪽

1. 온난 전선 앞쪽에는 (　　) 구름이 발달하고, 온난 전선이 통과하면 기압은 (　　)아지며, 한랭 전선이 통과하면 기온은 (　　)아진다.

HIGH

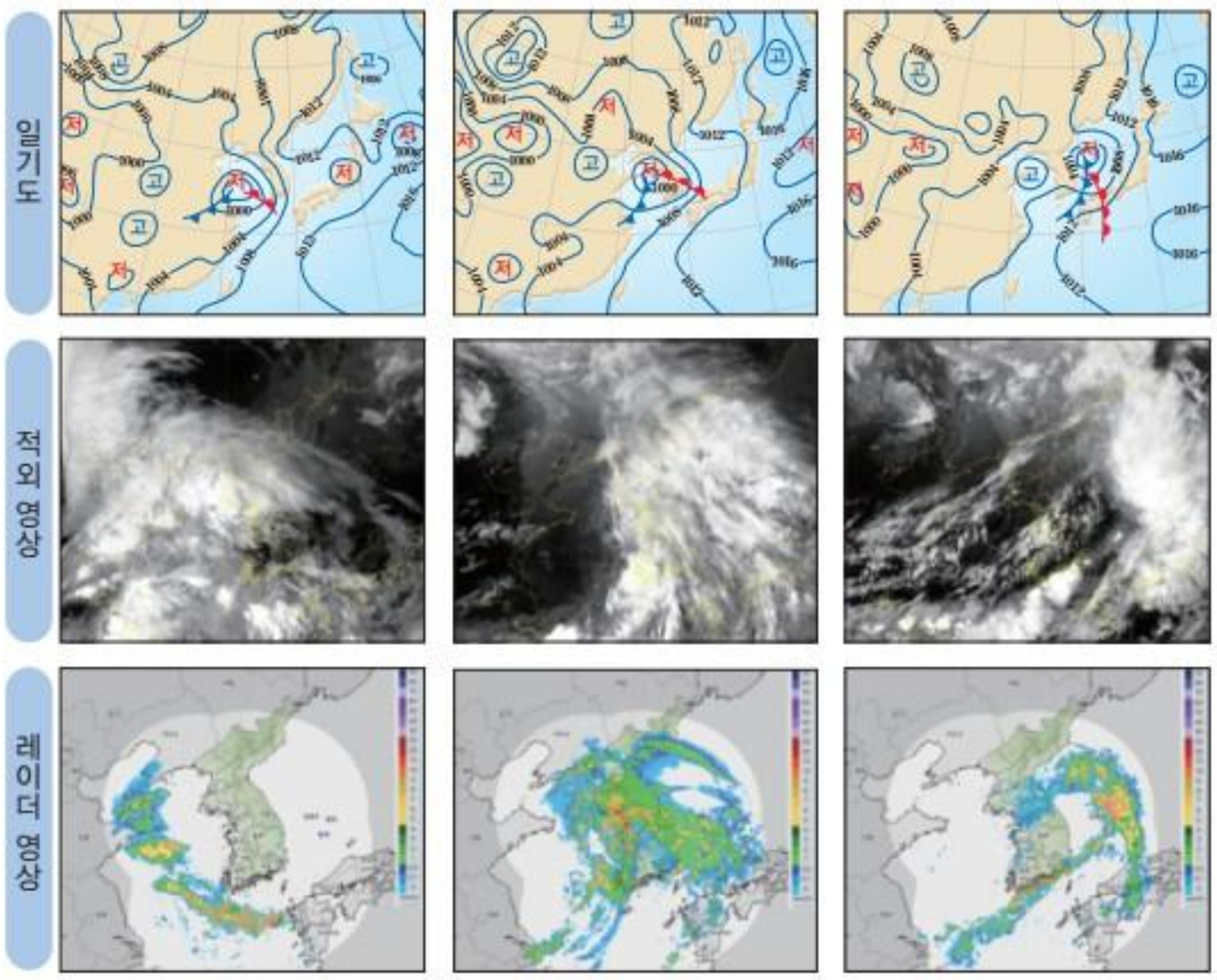
탐구 분석

기상 자료를 이용하여 날씨 분석하기

일기도, 위성 영상, 레이더 영상을 해석하여 날씨 변화를 설명할 수 있다.

과정

그림은 12시간 간격으로 나타낸 우리나라 주변의 일기도, 적외 영상, 레이더 영상이다.



❶ 기상 자료를 해석하여 우리나라 주변의 기압, 구름, 강수 구역 변화 등을 정리한다.

❷ 정리한 내용을 바탕으로 이 기간 동안 우리나라의 날씨 변화를 설명한다.

탐구 Q&A

중위도 저기압과 고기압의 이동 방향을 고려하여 7월 4일 18시에 우리나라의 날씨를 예측해 보자.

이동성 고기압이 우리나라를 지나가므로 날씨가 대체로 맑을 것이다.

결과 • 해석

1. 일기도, 적외 영상, 레이더 영상을 분석한 결과는 다음과 같다.

구분	(가) 7월 3일 6시	(나) 7월 3일 18시	(다) 7월 4일 6시
일기도 분석	중위도 저기압의 중심이 황해상에 있으며, 우리나라는 온난 전선의 앞쪽에 위치한다.	중위도 저기압의 중심이 다가옴에 따라 우리나라 남부 지방은 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치한다.	중위도 저기압의 중심이 동해상으로 빠져나감에 따라 우리나라는 한랭 전선의 뒤쪽에 위치한다.
적외 영상 분석	중부 지방에 최상부 고도가 높은 구름이 분포한다.	남부 지방 일부를 제외하고 우리나라 전역에 최상부 고도가 높은 구름이 분포한다.	일부 지역에 최상부 고도가 높은 구름이 분포한다.
레이더 영상 분석	강수 구역은 황해상에 발달해 있다.	남부 지방 일부를 제외하고 우리나라 전역이 강수 구역에 해당한다.	우리나라 중부 지방과 남부 지방의 일부가 강수 구역에 해당한다.

2. 이 기간 동안 우리나라의 날씨는 어떻게 달라졌는가?

➔ 대부분의 지역에서 중위도 저기압이 서쪽에서 다가옴에 따라 비가 내리기 시작했다가, 중위도 저기압이 동해로 빠져나가면서 고기압의 영향으로 날씨가 맑아졌다.

개념 기본 문제

정답과 해설 155쪽

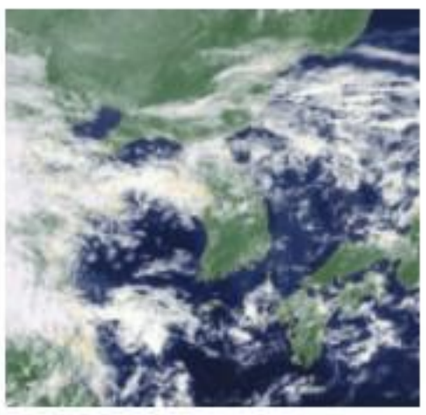
01 그림은 우리나라에 영향을 주는 기단을, 표는 각 기단의 성질을 나타낸 것이다.

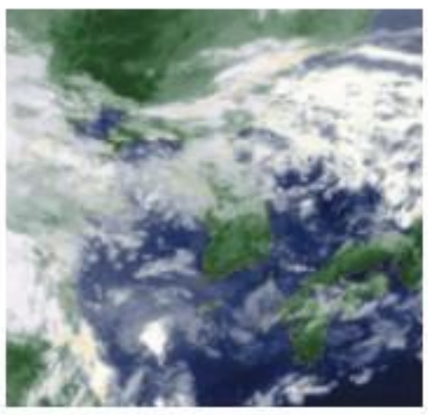


기단의 종류	성질	영향을 주는 계절
(㉠) 기단	한랭 건조	겨울
(㉡) 기단	한랭 다습	초여름, 가을
북태평양 기단	고온 다습	(㉢)
(㉣) 기단	온난 건조	봄, 가을

( ) 안에 알맞은 말을 쓰시오.

02 그림 (가)와 (나)는 가시 영상과 적외 영상을 나타낸 것이다.


(가) 가시 영상


(나) 적외 영상

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. (가)에서는 두꺼운 구름일수록 밝게 나타난다.
ㄴ. (가)는 강수 입자에 부딪혀 되돌아오는 전파를 분석하여 나타낸다.
ㄷ. (나)는 적외선 영역의 에너지를 관측하여 나타낸다.
ㄹ. (가), (나) 모두 야간에도 구름을 관측할 수 있다.

03 다음은 우리나라 날씨에 영향을 주는 고기압을 나타낸 것이다.

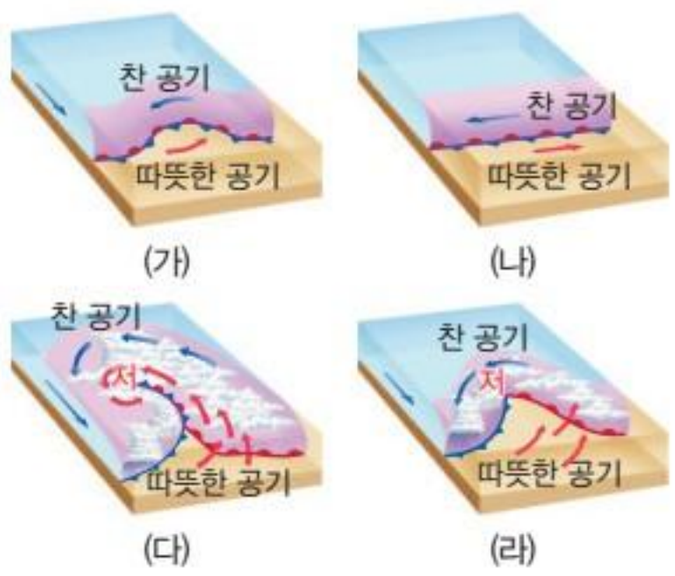
보기

ㄱ. 시베리아 고기압
ㄴ. 북태평양 고기압
ㄷ. 양쯔강 고기압

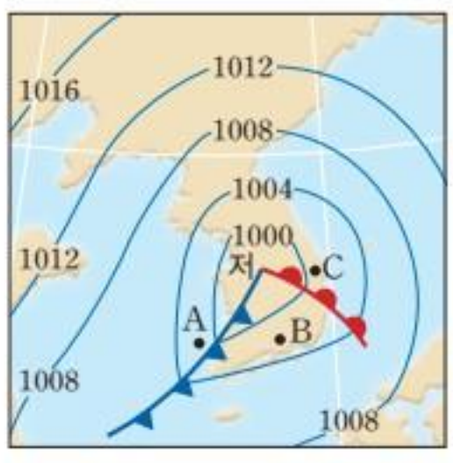
(1) 중심부의 위치가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르며 주변 지역의 날씨에 영향을 주는 고기압을 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

(2) 중심부의 위치가 일정한 곳에 머무르지 않고 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 규모가 작은 고기압을 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

04 그림 (가)~(라)는 중위도 저기압의 발달 과정을 순서 없이 나타낸 것이다. 발달 과정을 순서대로 나열하여 기호를 쓰시오.



05 그림은 중위도 저기압을 나타낸 것이다. A~C 지점의 날씨에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.



보기

ㄱ. A는 B보다 기온이 대체로 낮다.
ㄴ. C에서는 북서풍이 분다.
ㄷ. C 부근에는 소나기성 비가 내린다.

개념 적용 문제

➤ 고기압과 저기압

01 그림은 고기압과 저기압에서의 공기의 이동을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

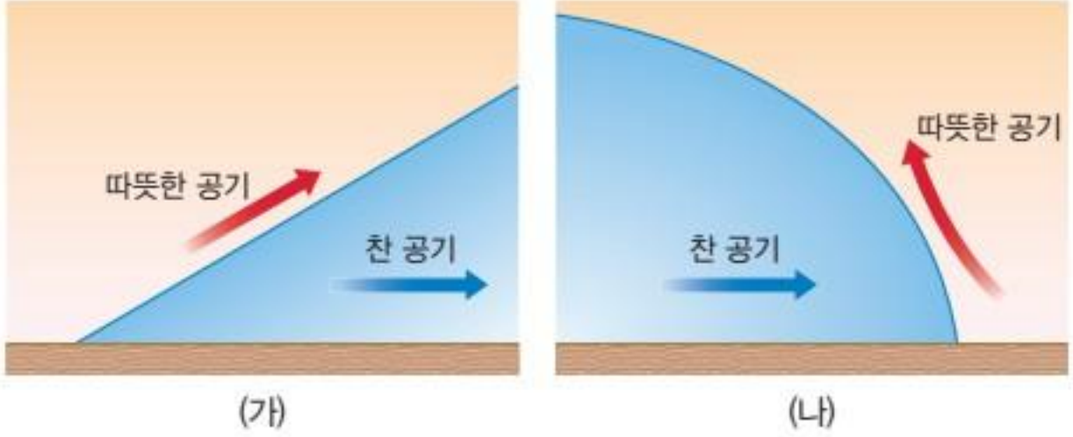
ㄱ. 지표 부근의 기압은 A보다 B에서 높다.
ㄴ. 북반구에서의 모습을 나타낸 것이다.
ㄷ. 지상에서는 B에서 A 방향으로 바람이 분다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

고기압은 중심부의 기압이 주변보다 높은 곳이고, 저기압은 중심부의 기압이 주변보다 낮은 곳이다. 바람은 고기압에서 저기압으로 분다.

➤ 전선

02 그림 (가)와 (나)는 성질이 다른 두 전선의 단면을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

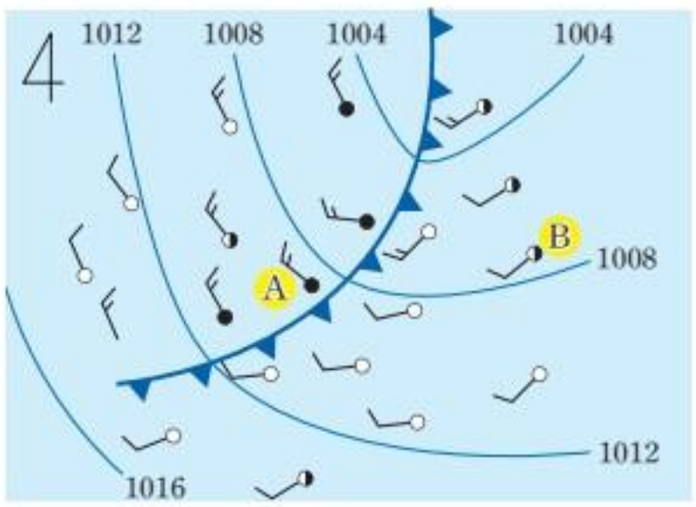
ㄱ. (나)는 한랭 전선이다.
ㄴ. 이동 속도는 (가)가 (나)보다 빠르다.
ㄷ. 공기의 연직 운동은 (가)보다 (나)에서 더 활발하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

한랭 전선은 온난 전선보다 전선면의 기울기가 급하고, 이동 속도가 빠르다.

➤ 전선

03 그림은 북반구 중위도 지역의 일기도 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

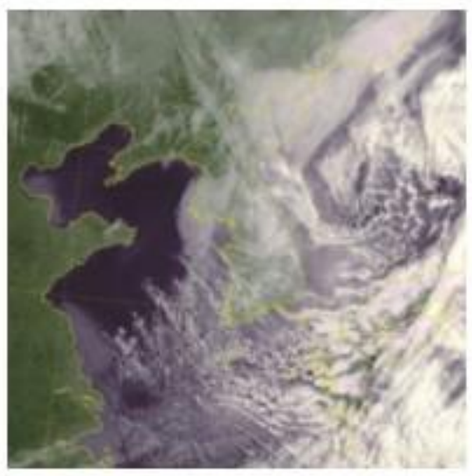
ㄱ. 한랭 전선이 나타난다.
ㄴ. A 지역에서는 적운형 구름보다 층운형 구름이 주로 관찰된다.
ㄷ. B 지역은 전선이 통과한 직후 날씨가 맑아질 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

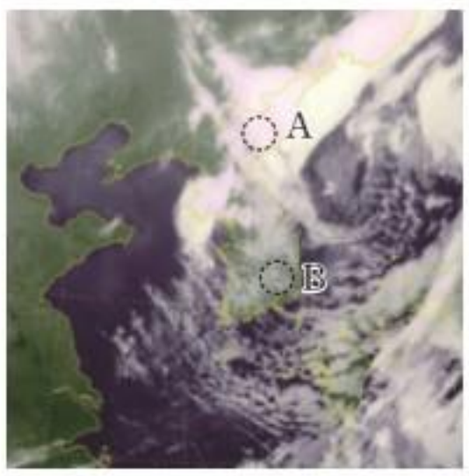
▻ 북반구 중위도 지역에 나타나는 전선은 편서풍의 영향으로 서에서 동으로 이동한다.

➤ 일기도와 위성 영상

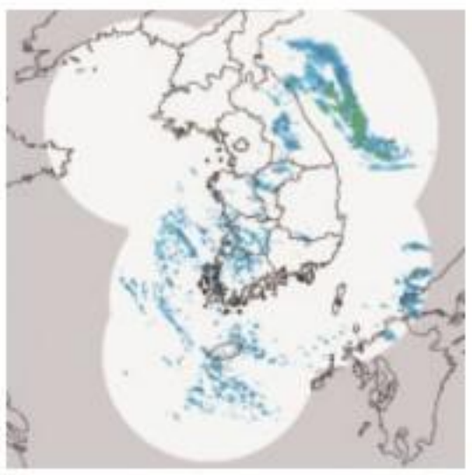
04 그림 (가)~(다)는 어느 날 같은 시각의 가시 영상, 적외 영상, 레이더 영상을 나타낸 것이다.



(가) 가시 영상



(나) 적외 영상



(다) 레이더 영상

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

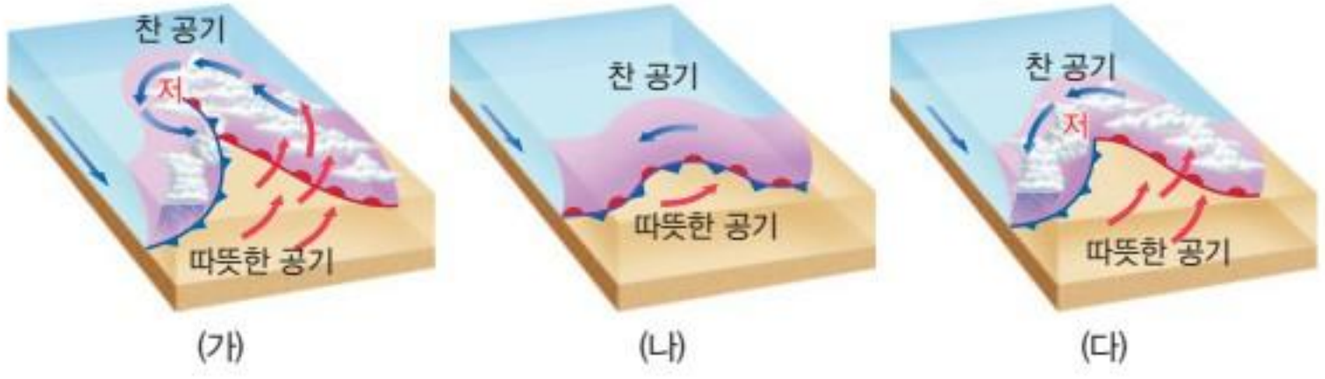
ㄱ. (가)에서는 한반도를 덮고 있는 구름의 두꺼운 정도를 알 수 있다.
ㄴ. (나)에서 구름 최상부의 고도는 A 지역이 B 지역보다 높다.
ㄷ. (다)로부터 강수 구역과 강수량을 판단할 수 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▻ 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 햇빛의 강약을 나타낸 것이고, 적외 영상은 물체가 방출하는 적외선 에너지량의 많고 적음을 나타낸 것이다.

➤ 중위도 저기압

05 그림 (가)~(다)는 중위도 저기압이 발달하는 과정 중 일부를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가) (나) (다)

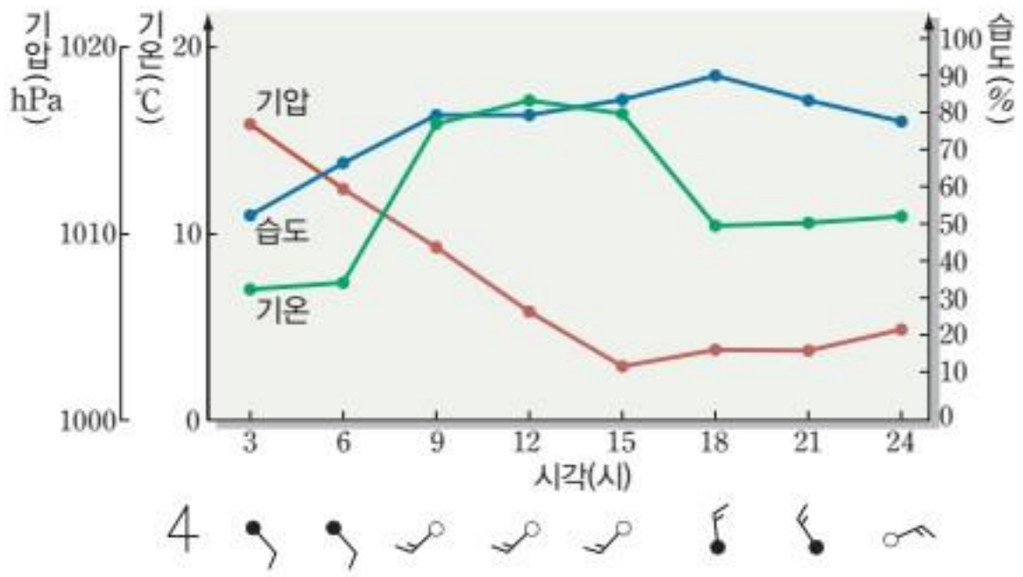
이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 발달 순서는 (가) → (나) → (다)이다.
② (가) 단계에서 정체 전선이 관찰된다.
③ (나) 단계에서 기온 차로 파동이 발생한다.
④ (다) 단계에서 파동의 중심부에는 하강 기류가 발달한다.
⑤ 중위도 저기압은 발생에서 소멸까지 약 한 달이 걸린다.

중위도 저기압은 중위도 지역에서 북쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나 형성되는 저기압이다.

➤ 중위도 저기압

06 그림은 중위도 저기압이 우리나라를 통과하는 동안 어느 기상 관측소에서 측정한 시간에 따른 기온, 기압, 습도 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 오전에는 좁은 지역에 소나기가 내렸다.
ㄴ. 낮 동안 대기 상태는 맑고 건조하였다.
ㄷ. 15시~18시에 전선이 통과하였다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

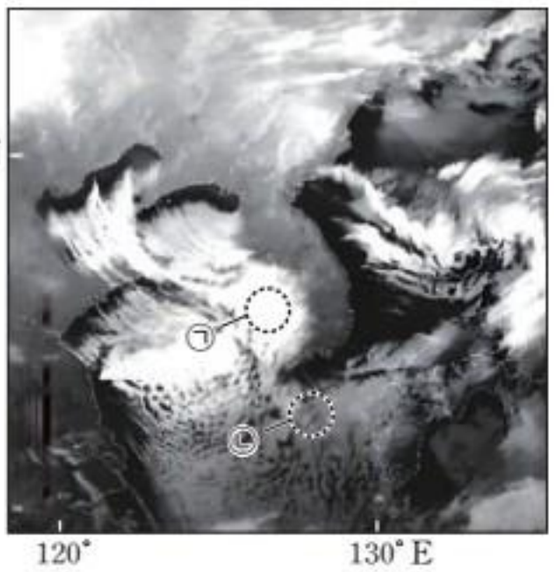
온난 전선이 통과하면 기압은 하강하고, 기온은 상승한다. 한랭 전선이 통과하면 기압은 상승하고, 기온은 하강한다.

1등급 도전 문제

➤ 일기도와 위성 영상

07 그림은 어느 날 21시에 촬영한 우리나라 주변의 위성 영상을 나타낸 것이다. 이날 서해안 지역에서는 폭설이 내렸다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



> 적외 영상에서는 온도가 낮을수록 밝게 보인다. 따라서 구름의 최상부 높이가 높을수록 밝게 나타난다.

보기

ㄱ. 적외 영상이다.

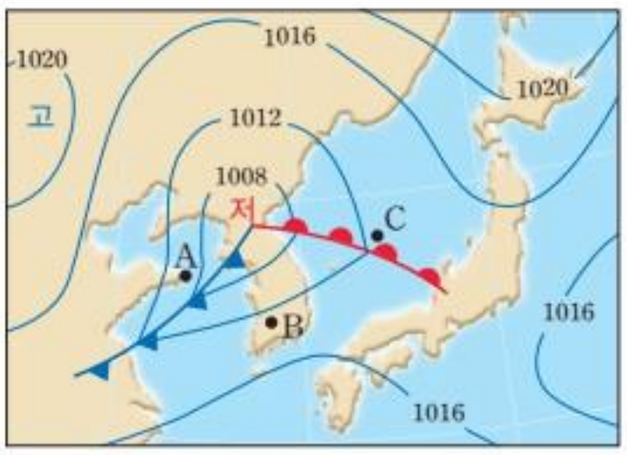
ㄴ. 시베리아 기단이 확장하는 동안 황해상을 지나는 기층이 불안정해진다.

ㄷ. 구름 최상부에서 방출하는 적외선 복사 에너지량은 ㉠이 ㉡보다 많다.

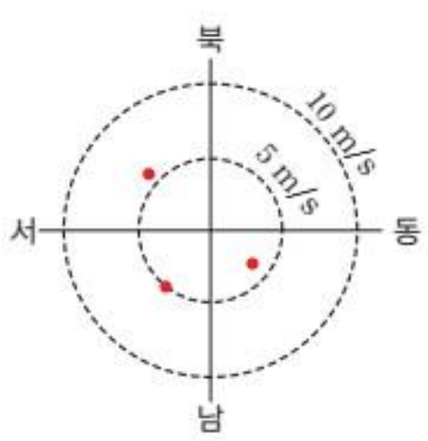
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 중위도 저기압

08 그림 (가)는 어느 날 우리나라 주변의 지상 일기도이고, (나)는 A~C 지점에서 관측한 풍속과 풍향을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

> 중위도 저기압 주변에서 온난 전선의 전면에서는 남동풍, 온난 전선과 한랭 전선 사이에서는 남서풍, 한랭 전선의 후면에서는 북서풍이 우세하게 나타난다.

A~C 지점에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A 지점의 기압이 가장 높다.

ㄴ. B 지점의 풍속이 가장 빠르다.

ㄷ. C 지점에서 풍향은 앞으로 시계 방향으로 변할 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 태풍과 악기상

핵심 내용 미리보기

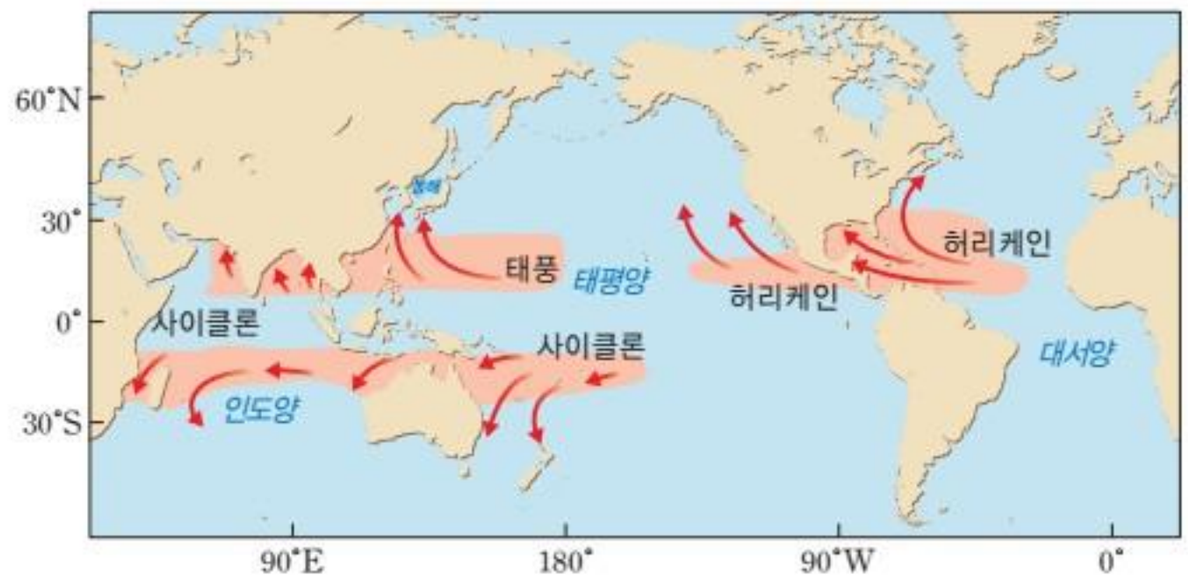
"태풍처럼 우리 생활에 피해를 주는 기상 현상에는 **뇌우, 우박, 집중 호우, 강풍, 폭설, 황사** 등이 있다."

1 태풍

태풍(typhoon)의 어원에는 여러 가지 설이 있는데, 그리스 신화에 등장하는 무서운 괴물 '티폰(Typhon)'과 폭풍우를 뜻하는 아라비아어 'tufan'에서 유래하였다는 설이 가장 유력하다.

1. 열대 저기압과 태풍

(1) **열대 저기압:** 저기압은 발생 지역에 따라 중위도 저기압과 열대 저기압으로 구분할 수 있다. 열대 저기압은 해수면 온도가 약 27 ℃ 이상인 위도 5°~25°의 열대 해상에서 발생하는 저기압이다.



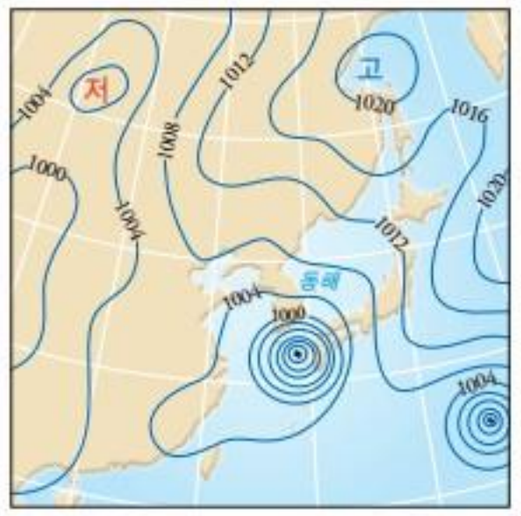
▲ 열대 저기압의 발생 지역과 이동 경로

적도 지역에서 태풍이 발생하지 않는 까닭

수온이 충분히 높아도 위도 5° 이내의 해역에서는 태풍이 만들어지지 않는데, 이는 전향력이 너무 약하여 회전 운동을 일으키지 못하기 때문이다.

(2) **태풍:** 열대 저기압 중에서 중심 부근의 최대 풍속이 17 m/s 이상으로 성장한 것을 태풍이라고 한다. 태풍은 중위도 저기압과는 다르게 전선을 동반하지 않으며, 일기도 상에서는 등압선이 조밀한 동심원으로 표현된다.

일기도에 표현된 태풍



2. 태풍의 발생

(1) **태풍의 발생 과정:** 수온이 높은 열대 해상에서는 열과 수증기를 공급받은 공기가 상승하면서 열대 저기압이 형성된다. 이때 주변의 공기는 지구의 자전으로 생기는 전향력의 영향을 받아 회전하기 시작하면서 중심부로 모여들어 상승 기류를 형성한다. 상승하는 공기에서는 수증기가 응결하면서 많은 양의 숨은열(응결열)이 방출되는데, 이 숨은열로 상승 기류가 더욱 강화되어 두꺼운 적운형 구름이 발달하면서 태풍이 발생한다. 태풍의 강한 바람은 표층 해수를 혼합시키고 수온이 낮은 해수를 해수면으로 솟아오르게 하여 표층 해수를 냉각시킨다. 그 결과 더 이상의 에너지가 공급되지 못하면 태풍의 성장이 멈추게 된다.

숨은열

온도가 올라가거나 내려가는 일 없이 물질의 상태가 변할 때 방출되거나 흡수되는 열이다.



바람이 약하고 수온이 높은 위도 5°~25°의 열대 해상에서 온난한 표층 해수에 의해 대기가 불안정해지면 해수면 부근에서 수증기를 포함한 공기 덩어리가 상승하기 시작한다.

수증기의 응결 과정에서 방출되는 막대한 양의 숨은열은 공기를 강하게 상승시키고 해수면 부근에 저기압을 형성한다. 해수면 부근의 공기는 저기압 중심으로 회전하며 들어간다.

저기압 중심으로 공기가 더욱 빠르게 수렴하고 상승하여 적란운이 발달하며 숨은열이 더 많이 방출된다. 이러한 과정이 연쇄적으로 일어나 풍속이 매우 빠른 태풍이 된다.

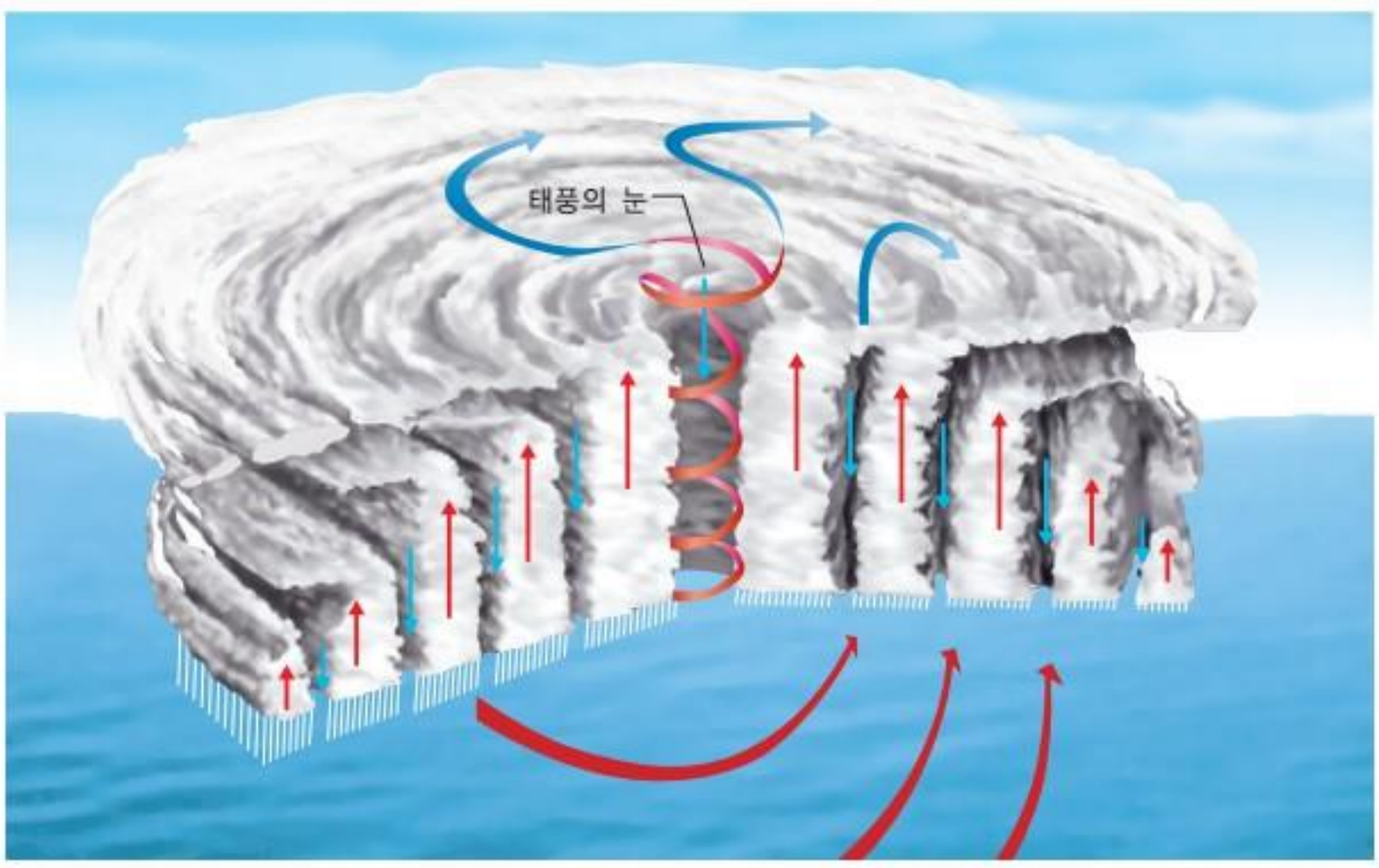
▲ **태풍의 발생 과정**

(2) **태풍의 에너지원:** 태풍의 주된 에너지원은 수증기의 응결로 발생한 숨은열(응결열)이다. 해수면에서 증발한 수증기를 많이 포함하고 있는 공기가 상승 및 응결하면서 숨은열을 방출하여 공기를 계속 가열하면 태풍은 대류권 계면 부근까지 발달하게 된다.

3. 태풍의 구조와 특징

(1) **태풍의 규모:** 태풍의 지름은 수백 km~1500 km로 다양하고, 평균 높이는 약 15 km에 이른다.

(2) **태풍의 구조:** 태풍의 중심으로부터 반지름 약 50 km에 이르는 지역에서는 약한 하강 기류가 나타나 대체로 날씨가 맑고 바람이 약하게 부는데, 이곳을 태풍의 눈이라고 한다. 태풍의 눈 주변은 상승 기류가 강해서 적란운이 발달하여 두꺼운 구름 벽을 이루고 있으며, 나선 모양의 구름 띠가 감겨서 안으로 들어가는 모양을 하고 있다.



▲ **태풍의 구조**

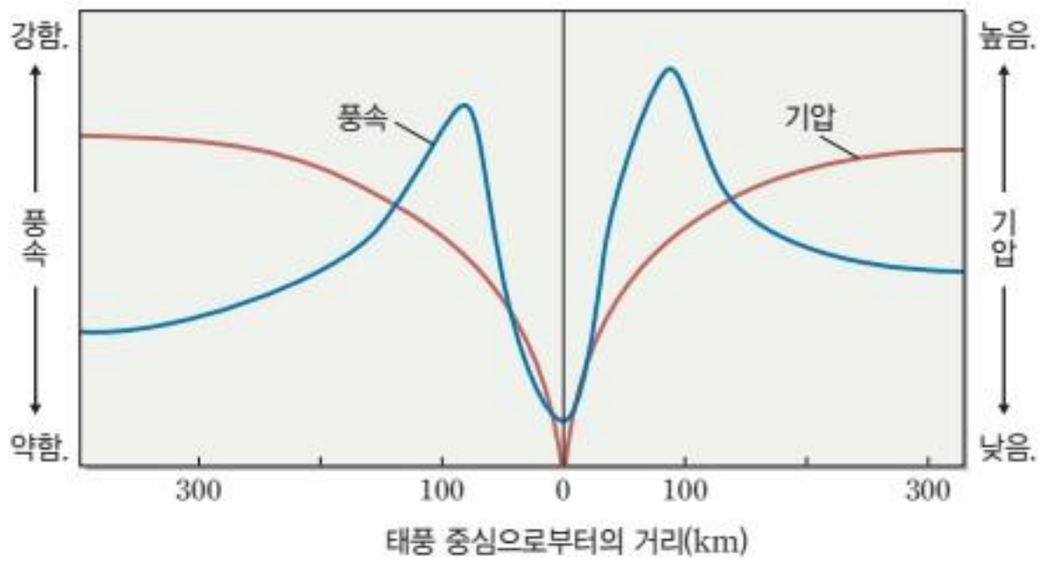
태풍의 이름

태풍은 일주일 이상 지속되기도 하므로 같은 지역에 하나 이상의 태풍이 존재할 수 있다. 따라서 이때 발표되는 태풍 예보를 혼동하지 않기 위해 이름을 붙이게 되었다. 태풍의 이름은 1999년까지 미국 태풍합동경보센터에서 정한 것을 사용했으나 2000년부터는 아시아 태풍위원회 회원국이 각 10개씩 제출한 그 나라 고유의 이름을 순차적으로 사용하고 있다. 우리나라에서는 '개미', '나리', '장미', '미리내', '노루', '제비', '너구리', '고니', '메기', '독수리' 등의 이름을 제출하였고, 북한에서도 '기러기' 등의 이름을 제출하여 우리말 이름의 태풍이 많아졌다.

(3) 태풍의 풍속과 기압 분포

① 태풍의 풍속 분포: 태풍의 하층에서는 바람이 중심을 향하여 시계 반대 방향으로 불어 들어가 상승하고, 태풍의 꼭대기 부근에서는 바람이 시계 방향으로 빠져나간다. 태풍의 풍속은 중심부로 갈수록 증가하여 태풍의 눈 주위에서 최대 풍속이 나타나고, 중심인 태풍의 눈에서는 풍속이 급감한다. 태풍마다 중심 기압이나 크기, 발달 단계 등의 상태가 다르므로, 태풍 중심으로부터의 거리에 따른 풍속 분포도 태풍에 따라 다르다.

② 태풍의 기압 분포: 태풍의 눈에서 기압이 가장 낮으며, 가장자리로 갈수록 기압이 높아진다.



▲ 태풍의 풍속과 기압 분포

태풍의 강도

태풍은 중심 부근의 최대 풍속에 따라 다음과 같이 강도를 분류한다.

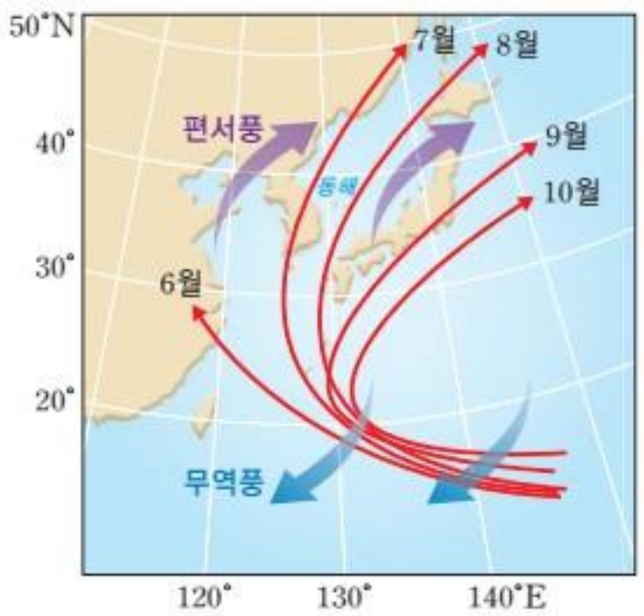
강도	최대 풍속
약	17 m/s 이상~ 25 m/s 미만
중	25 m/s 이상~ 33 m/s 미만
강	33 m/s 이상~ 44 m/s 미만
매우 강	44 m/s 이상~ 54 m/s 미만
초강력	54 m/s 이상

4. 태풍의 이동과 소멸

(1) **이동 경로:** 태풍은 발생 초기에는 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 이동하다가 북위 약 25°~30°에 이르면 편서풍의 영향으로 방향을 바꾸어 북동쪽으로 이동하며 포물선 궤도를 그린다.

① 계절에 따른 이동 경로: 초여름과 겨울에 해당하는 6월, 11월 및 12월에는 주로 북서쪽으로 진행하지만, 여름~가을에 해당하는 7월에서 10월 사이에는 북동쪽으로 전향하는 경우가 많다.

② 북태평양 고기압의 세력에 따른 이동 경로: 북태평양 고기압의 세력이 강할 때는 중국 내륙으로 상륙하는 경우가 많으며, 세력이 약할 때는 일본 동쪽 해상으로 이동하는 경우가 많다.



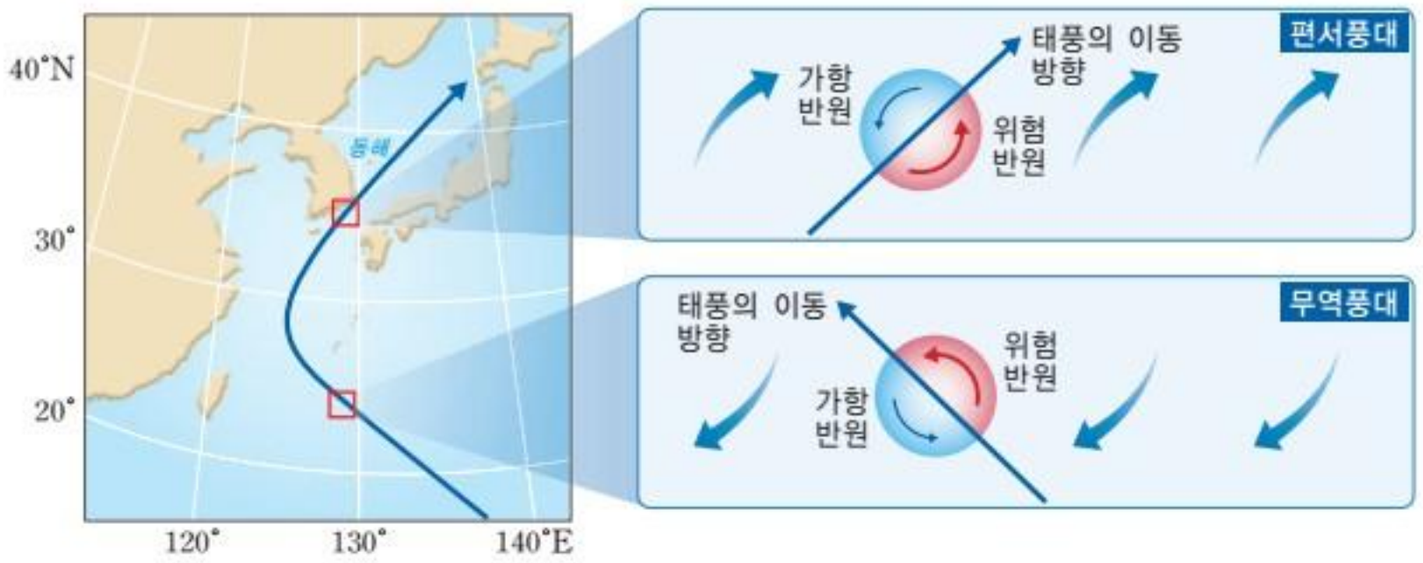
▲ 태풍의 이동 경로

전향점

태풍이 무역풍의 영향을 받다가 편서풍의 영향을 받아 이동 방향이 바뀌게 되는 지점을 전향점이라고 한다.

(2) **이동 속도:** 태풍이 무역풍대에 있는 동안에는 약 20 km/h의 평균 속도로 이동한다. 태풍이 북동쪽으로 전향할 때는 속도가 느려지다가, 전향 후에는 태풍의 진행 방향과 편서풍의 방향이 같아 이동 속도가 급격히 증가한다. 이때 평균 속도는 약 40 km/h에 이르며, 간혹 80 km/h 이상이 되기도 한다.

(3) **위험 반원과 가항 반원:** 태풍이 이동할 때 태풍 이동 방향의 오른쪽을 위험 반원, 왼쪽을 가항 반원이라고 한다.



▲ **위험 반원과 가항 반원**

① 위험 반원: 위험 반원에서는 태풍의 이동 방향이 시계 반대 방향으로 회전하는 태풍 내 바람의 방향과 같아서 풍속이 강하다. 따라서 태풍에 의한 피해가 상대적으로 더 크다.

② 가항 반원: 가항 반원에서는 태풍의 이동 방향이 시계 반대 방향으로 회전하는 태풍 내 바람의 방향과 반대이므로 풍속이 상대적으로 약하다.

(4) **태풍의 소멸:** 태풍이 이동하는 동안 따뜻한 바다에서 수증기를 계속 공급받으면 태풍의 세력이 크게 발달한다. 반면 태풍이 차가운 바다를 지나가면 수증기의 공급이 줄어들어 태풍의 세력이 약해진다. 또한, 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 거의 없고 지표와의 마찰이 증가하여 태풍의 세력이 급격하게 약해지다가 점차 소멸하게 된다. 이처럼 태풍은 대기와 해양, 대기와 육지의 상호작용으로 세력이 달라진다.

5. 태풍의 피해와 영향

(1) **태풍의 피해:** 태풍은 일반적으로 강한 바람과 많은 비를 동반하므로 태풍이 통과하는 지역에서는 시설물 파괴, 농경지 침수, 산사태 등으로 많은 인명 피해와 재산 피해가 발생한다. 해수면이 높아지는 시기에 태풍이 해안에 접근하면 파도의 높이가 더욱 높아져 해일로 인한 피해가 발생하기도 한다.

(2) **태풍의 영향:** 태풍은 저위도 지역의 에너지를 고위도 지역으로 분배하여 열에너지의 균형을 유지하는 중요한 역할을 한다. 또한, 많은 비를 내려 대기오염 물질을 씻어 내거나 가뭄을 해소하고, 강한 바람으로 해수를 뒤섞어 깊은 바닷속에도 산소를 공급하는 등 바다 생태계를 활성화하는 역할을 하기도 한다.

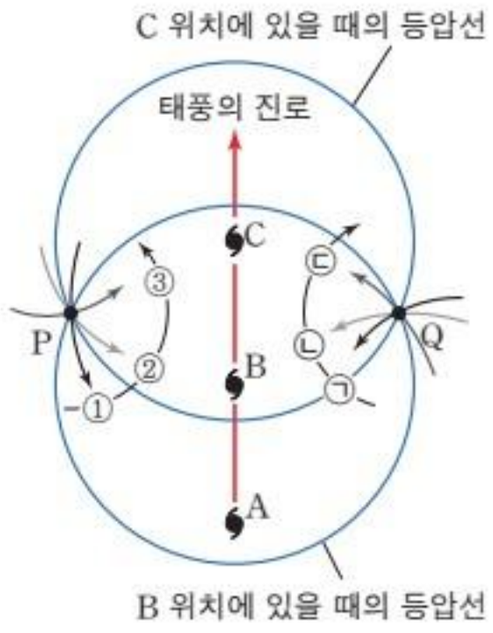
중요 개념 체크

정답과 해설 157쪽

1. 태풍의 중심에서 약한 하강 기류가 나타나 대체로 날씨가 맑고 바람이 약하게 부는 곳을 (　　)이라고 한다.
2. 태풍 이동 방향의 오른쪽 반원은 (　　) 반원, 왼쪽 반원은 (　　) 반원이다.

태풍의 진행 경로에 따른 풍향 변화

태풍 주변에서는 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 바람이 불어 들어간다. 따라서 태풍이 A → B → C로 이동할 때, 가항 반원에 위치한 곳(P 지점)에서는 풍향이 시계 반대 방향(① → ② → ③)으로 변하고, 위험 반원에 위치한 곳(Q 지점)에서는 풍향이 시계 방향(㉠ → ㉡ → ㉢)으로 변한다.



2 악기상

일상생활에 큰 어려움을 주고 위험을 동반하는 기상 현상을 악기상이라고 한다. 우리나라에 나타나는 주요 악기상에는 뇌우, 우박, 집중 호우, 강풍, 폭설, 황사 등이 있다. 악기상은 일기도 상에 나타나지 않을 정도로 규모가 작고 수명이 짧아 정확한 예보가 어렵다.

1. 뇌우

강한 상승 기류로 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상을 뇌우라고 한다.

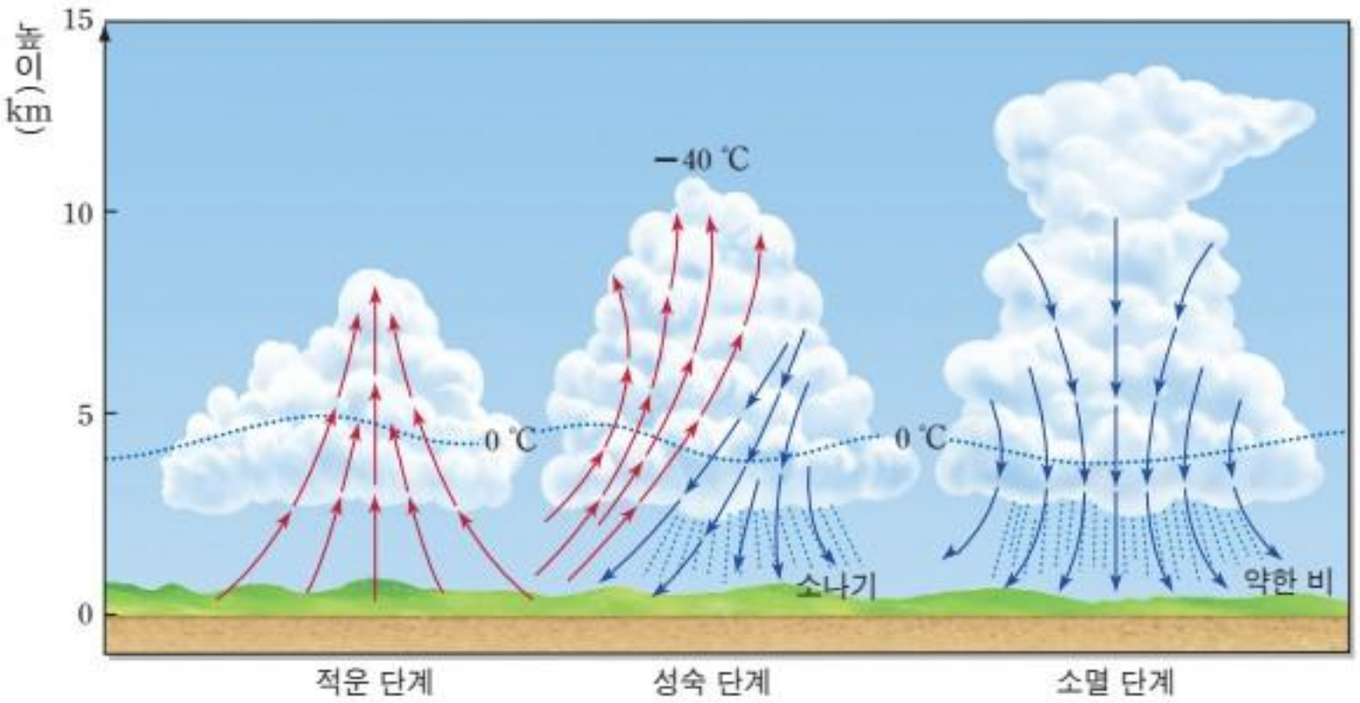
(1) **뇌우의 발생 조건:** 여름철에 강한 햇빛에 의해 지표면이 국지적으로 가열되어 강한 상승 기류가 형성될 때, 한랭 전선에서 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들어 따뜻한 공기가 빠르게 상승할 때, 중위도 저기압이나 태풍에 의해 강한 상승 기류가 발달할 때와 같이 대기가 불안정할 때 잘 발생한다.

(2) **뇌우의 발달 단계:** 뇌우는 적운 단계 → 성숙 단계 → 소멸 단계를 거쳐 발달한다.

① 적운 단계: 뇌우 발달의 초기 단계로, 지표면의 가열에 의해 고온 다습한 공기가 상승하여 적운을 형성한다. 수증기를 포함한 공기가 상승할 때는 응결이 일어나면서 숨은열을 방출하므로 적운 내부의 온도는 주위 공기보다 높아져 점차 더 강한 상승 기류가 발생하기 때문에 빗방울이 지상에 떨어지지 못하여 강수 현상은 발생하지 않는다.

② 성숙 단계: 상승 기류가 계속 발달하여 대류권 계면의 높이까지 구름이 성장하면 성숙 단계로 접어든다. 이때 상승 기류와 함께 성장한 빗방울이 중력에 의해 하강하며 마찰력에 의해 주변 공기를 끌어내리므로 하강 기류가 공존한다. 성숙 단계에서는 소나기, 천둥, 번개, 우박 등을 동반하기도 한다.

③ 소멸 단계: 적란운의 발달이 최고조에 이르면서 강수와 하강 기류에 의해 지표면이 냉각되면 상승 기류가 약해지고 고온 다습한 공기의 유입이 줄어들면서 뇌우가 소멸 단계에 접어든다. 결국 구름 내부에는 전체적으로 하강 기류만 남게 되어 약한 비가 내리고 구름이 사라지게 된다.



▲ 뇌우의 발달 단계

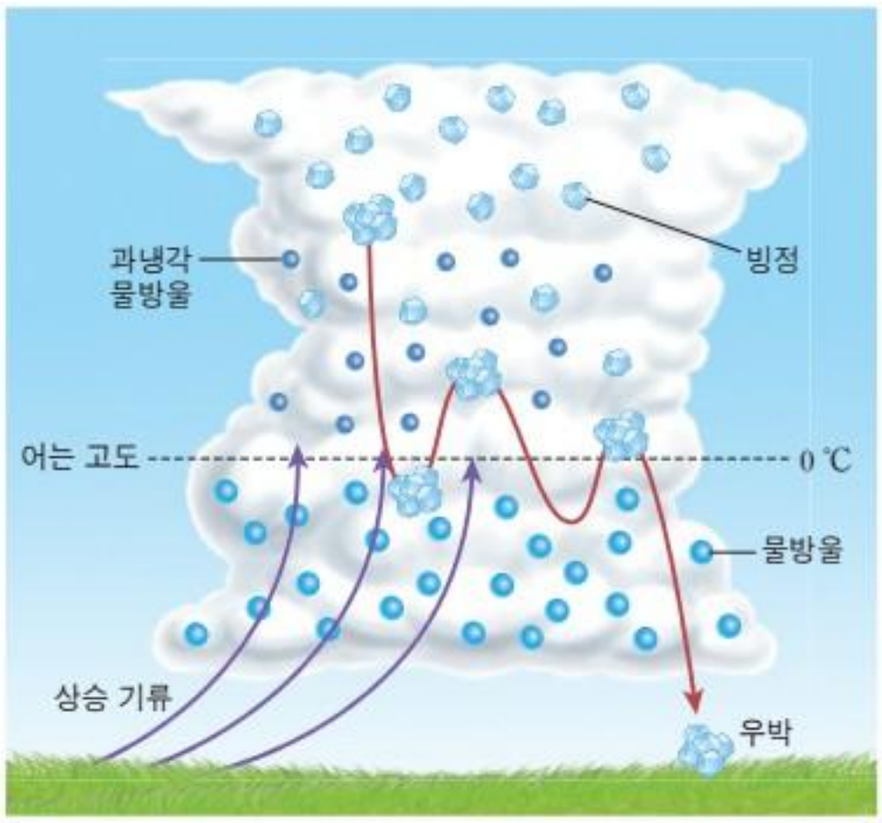
번개와 천둥
적란운의 윗부분은 빙정으로 되어 있고, 아랫부분은 물방울로 되어 있는데, 구름 내에서 빙정끼리의 마찰과 물방울의 분열에 의해 적란운 상부에는 양(+)전하가, 하부에는 음(−)전하가 유도된다. 분리된 양전하와 음전하가 구름 속에 쌓이다가 구름 속 또는 구름과 구름, 구름과 지표면 사이에 방전이 일어나면 번개가 발생한다. 번개에 의한 불꽃 방전으로 순식간에 온도가 상승하여 공기가 폭발적으로 팽창하면 주변 공기에 충격을 가해 천둥이 발생한다.

뇌우에 의한 피해
뇌우는 짧은 시간 동안 많은 양의 비와 돌풍, 번개, 우박 등을 동반하기 때문에 뇌우가 발생하면 농작물 파손, 가옥 파괴, 침수, 정전, 화재 등의 피해가 발생하기도 한다.

2. 우박

대기가 불안정한 날에 수직으로 발달한 적란운에서 만들어져 땅 위로 떨어지는 얼음 덩어리를 우박이라고 한다. 지름이 5 mm 미만이면 싸락 우박, 지름이 5 mm 이상이면 우박이라고 부른다.

(1) **우박의 성장 과정:** 적란운의 강한 상승 기류는 우박의 씨앗이 되는 *빙정을 구름의 어는 고도 위로 떠받쳐 올린다. 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 이 빙정에 달라붙거나, 빙정과 충돌한 과냉각 물방울이 얼어붙으면 더 큰 빙정이 된다. 성장하여 무거워진 빙정이 떨어지다가 어는 고도 밑으로 내려오면 표면이 녹게 되며, 이때 다시 상승 기류를 만나 어는 고도 위로 올라가 성장한다. 이처럼 빙정은 적란운 속에서 상승과 하강을 반복하면서 상승 기류가 얼음 덩어리의 무게를 더 이상 지탱하지 못할 때까지 성장한다.



▲ 우박의 성장 과정



▲ 우박의 단면

(2) **우박의 구조:** 우박을 반으로 잘라 보면 나무의 나이테와 같이 투명한 얼음층과 불투명한 얼음층이 교대로 나타나는 층상 구조를 볼 수 있다. 빙정이 적란운 내에서 상승과 하강을 반복하며 성장할 때, 빙정에 달라붙은 과냉각 물방울의 어는 속도 차이에 따라 얼음 속에 기포가 포함되기도 하는데, 불투명한 얼음층은 이러한 기포가 포함되어 있는 층이다.

(3) **우박의 발생**

① 발생 시기: 우리나라에서 우박은 초여름과 가을에 기온이 약 5 ℃~25 ℃인 날에 주로 발생한다. 겨울과 한여름에는 우박이 거의 발생하지 않는데, 겨울에는 기온이 낮고 대기가 건조하여 적란운이 잘 생기지 않고, 한여름에는 기온이 너무 높아서 우박이 생겨도 금방 녹아 비가 되어 버리기 때문이다.

② 발생 구역: 우박은 보통 몇 분 정도의 짧은 시간 동안 비구름이 움직이는 방향을 따라 수 km 정도의 폭이 좁은 지역에서만 집중적으로 내린다.

과냉각 물방울
온도가 어는점(0 ℃) 이하로 내려가도 얼지 않고 액체 상태로 존재하는 물방울이다. 구름 속의 온도가 −40 ℃~0 ℃인 구간에는 과냉각 물방울이 존재한다.

우박에 의한 피해
우박이 떨어지면 농작물이나 과실에 큰 피해를 준다. 또한, 자동차를 찌그러뜨리거나, 건물이나 항공기의 창문을 깨뜨리고, 비닐하우스를 망가뜨리기도 한다.

용어 리마인드

***빙정**
기온이 0 ℃ 이하로 내려갈 때 대기 중의 수증기가 승화하여 만들어진 얼음 결정

3. 집중 호우

비가 내리는 시간이나 공간 규모에 관계없이 많은 양의 비가 연속해서 내리는 현상을 호우라고 하며, 1시간에 30 mm 이상의 비가 내리거나 하루에 80 mm 이상의 비가 내리는 것, 또는 하루에 연강수량의 10 % 이상의 비가 내리는 것을 집중 호우 또는 국지성 호우라고 한다.

(1) 집중 호우의 발생

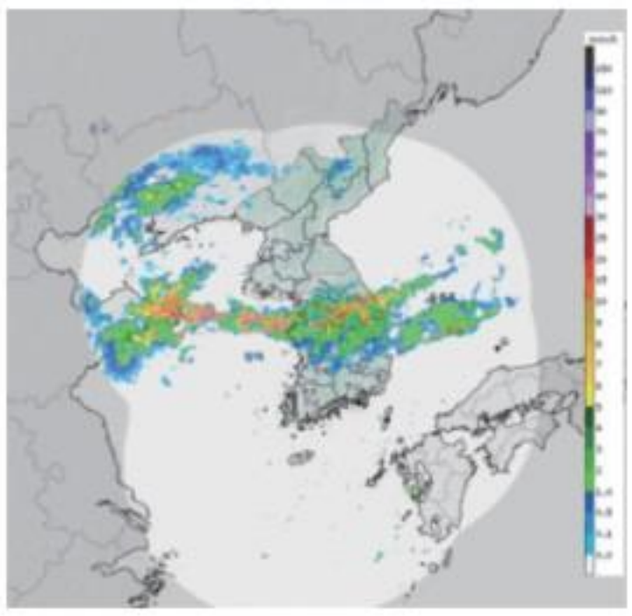
① 발생 원인: 주로 강한 상승 기류로 생성된 적란운이 한곳에 머물 때 발생한다. 따뜻하고 습한 공기가 차갑고 건조한 공기를 만나 상승할 때, 중규모 저기압에서 소나기가 내릴 때, 태풍과 같이 강한 저기압이 발달할 때 발생하기도 한다.

② 지속 시간: 보통 적란운의 수명이 1시간~2시간 정도밖에 되지 않아 집중 호우의 지속 시간은 수십 분~수 시간 정도이지만, 주변의 기상 조건에 따라 생성하고 소멸하는 과정이 수없이 반복되면서 며칠 동안 큰 집중 호우가 계속되기도 한다.



▲ 집중 호우의 발생 원인

(2) 집중 호우로 인한 피해: 적란운의 생성과 소멸이 반복되어 며칠 동안 집중 호우가 지속되면 홍수, 산사태 등이 일어나 인명이나 재산 피해가 발생할 수 있다.


◀ **집중 호우가 발생했을 때 레이더 영상(2022년 8월 9일)**
파란색과 노란색을 거쳐 빨간색을 나타낼수록 시간당 강수량이 많음을 뜻한다. 전날부터 이날 오전까지 서울에 연평균 강수량의 30 %가 넘는 양의 비가 쏟아져 관측 역사상 가장 많은 비가 내린 날로 기록되었다.

4. 강풍

10분간 평균 풍속이 14 m/s 이상인 바람을 강풍이라고 한다.

(1) 강풍의 발생 원인: 강풍은 계절과 상관없이 발생하는데, 우리나라에서는 강한 중위도 저기압의 영향을 받을 때, 겨울철에 크게 확장한 시베리아 고기압의 영향을 받을 때, 태풍이 통과할 때와 같이 기압이 급격하게 바뀔 때 주로 발생한다.

(2) 강풍에 의한 피해: 강풍이 불면 간판이 떨어지거나 담벼락이 무너지는 등 시설물이 파손되고, 가로수가 쓰러진다. 해안 지역에서는 높은 파도를 일으켜 선박을 좌초시키고 해안 양식장을 파괴한다. 또, 화재가 발생했을 때 강풍이 불면 불길이 빠르게 번져 화재 진화에 어려움을 겪을 수 있다.

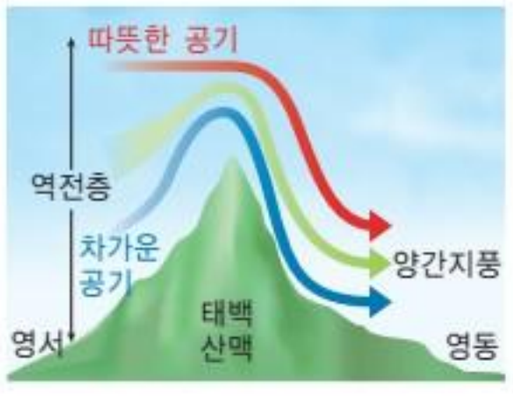
호우 특보 기준

호우 특보는 예상 강수량과 지속 시간을 기준으로 주의보와 경보로 구분된다.

- 호우 주의보: 3시간 동안 60 mm 이상, 또는 12시간 동안 110 mm 이상의 비가 예상될 때 발령된다.
- 호우 경보: 3시간 동안 90 mm 이상, 또는 12시간 동안 180 mm 이상의 비가 예상될 때 발령된다.

양간지풍

양간지풍은 양양과 간성 사이에 부는 강풍이라는 뜻이다. 봄철에 서쪽에서 부는 바람이 태백산맥을 넘을 때, 따뜻한 공기가 차가운 공기보다 위에 있는 역전층과 만나는 경우 발생한다. 산을 타고 올라가던 바람이 역전층을 뚫고 올라가지 못하고 역전층과 백두대간 사이로 지나가면 바람이 강해지고, 이 바람이 가파른 경사를 내려오면서 더욱 강해지고 건조해진다. 양간지풍은 건조하고 강한 바람이라서 작은 불씨로도 대형 산불로 이어질 수 있다.



5. 폭설

1시간에 1 cm~3 cm 이상, 또는 24시간 이내에 20 cm 이상의 눈이 강약 주기를 반복하여 내리는 것을 폭설 또는 대설이라고 한다.

(1) 폭설의 발생 원인

① 대륙 고기압의 세력 변화: 대륙 고기압의 세력이 확장되고 동해와 일본 부근에 저기압이 형성되는 1월에는 서고동저형의 기압 배치에 따라 찬 공기가 북서풍을 타고 이동해 와서 주로 서해안에 눈구름이 발달한다. 반면, 대륙 고기압의 세력이 약화되고 우리나라 남쪽에 저기압이 형성되는 2월~3월에는 북고남저의 기압 배치에 따라 찬 공기가 북동풍을 타고 이동해 와서 동해안에 눈구름이 발달한다.

분석 + 우리나라 서해안과 동해안에 폭설이 내리는 과정

서해안에 폭설이 내리는 과정





시베리아 고기압의 세력이 확장되어 떨어져 나온 차고 건조한 공기 덩어리가 상대적으로 따뜻한 황해를 지나면 열과 수증기를 공급받아 눈구름이 크게 만들어진다. 이로 인해 서해안 지역에 많은 눈이 내린다.

동해안에 폭설이 내리는 과정





차고 건조한 공기 덩어리가 북동풍을 타고 이동하여 상대적으로 따뜻한 동해를 지나면 열과 수증기를 공급받아 눈구름이 발달한다. 이때 눈구름이 태백산맥에 부딪혀 상승하게 되는 지형적인 원인이 더해지면서 폭설이 내린다.

② 중위도 저기압의 접근: 수증기가 많이 포함된 중위도 저기압이 우리나라를 통과하며 눈구름이 발달할 때 전국적으로 폭설이 내리기도 한다.

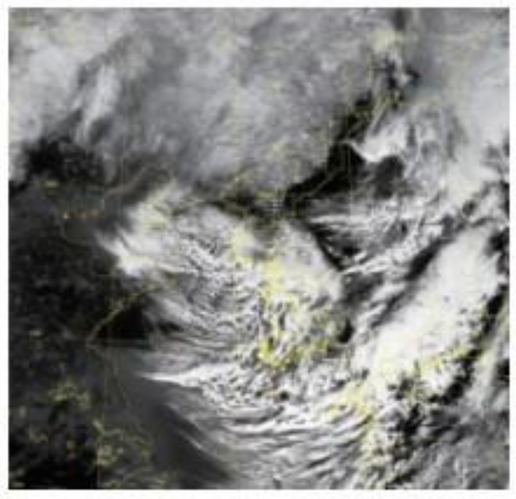
(2) 폭설에 의한 피해: 폭설이 내리면 교통 체증이 일어나고, 교통사고, 시설물 붕괴 등 인명과 재산 피해가 발생하기도 한다.

대설 특보 기준

- 대설 주의보: 24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 5 cm 이상 예상될 때 발령된다.
- 대설 경보: 24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 20 cm 이상 예상될 때, 산지의 경우 24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 30 cm 이상 예상될 때 발령된다.

서해안에 폭설이 내린 날의 위성 영상 (2024년 11월 27일)

이날은 서울 지역에 117년 만에 가장 많은 양의 눈이 내린 날로, 평년보다 2 ℃ 정도 높은 황해의 해수면 온도로 인해 구름대에 더 많은 수증기가 공급되었기 때문인 것으로 밝혀졌다.



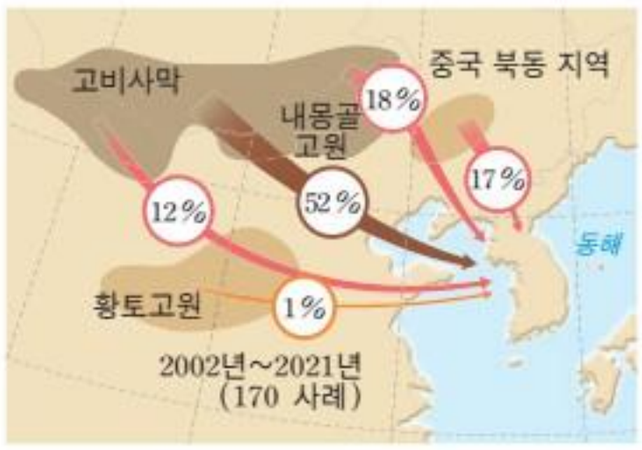
6. 황사

심화 강의 77쪽

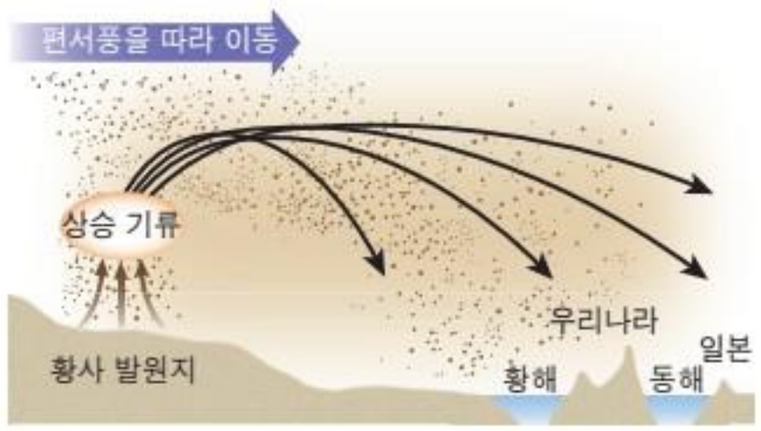
건조한 사막 지대나 황토 지대에서 상공으로 올라간 다량의 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 이동하다가 서서히 하강하는 현상을 황사라고 한다.

(1) **황사의 발원지:** 우리나라에 영향을 주는 황사의 발원지는 중국과 몽골의 사막 및 황토 지대이다. 이 지역들은 대부분 해발 고도 1000 m 이상에 위치하고 있어 강한 바람이 많이 불고, 바다와 멀리 떨어져 있어서 매우 건조하며, 햇빛이 강하여 증발이 잘 일어나는 곳이다.

(2) **황사의 발생 과정:** 봄이 되면 황사의 발원지에서 얼어 있던 토양이 녹으면서 부서져 모래 먼지가 발생하는데, 이때 중위도 저기압이 통과하거나, 강한 햇빛에 지표 부근이 가열되어 저기압이 형성되면 상승 기류를 타고 모래 먼지가 상층 대기까지 올라가게 된다. 이러한 모래 먼지가 편서풍을 타고 이동하다가 한반도 부근에서 서서히 하강하면 우리나라에 황사가 발생하게 된다. 대기에 퍼진 황사 입자는 태평양, 북아메리카 대륙까지 이동하기도 한다.



▲ 황사의 발원지와 이동 경로



▲ 황사의 발생 과정

(3) **황사 발생 시기:** 황사는 발원지의 흙과 먼지가 겨울 동안 얼어붙어 있다가 강한 햇빛을 받으며 녹게 되는 봄철에 주로 발생한다. 이때는 지표면에 식물 군락이 형성되어 있지 않아서 먼지가 더욱 쉽게 발생한다. 최근에는 지구 온난화의 영향으로 황사의 발생 시기가 2월 무렵으로 앞당겨지기도 한다.

(4) **황사에 의한 피해:** 황사가 발생하면 가시거리가 감소하므로 항공기의 이착륙을 방해하고, 항공기 엔진에 손상을 일으킬 수 있다. 또, 반도체나 전자 장비와 같은 정밀 기계의 생산에도 지장을 주며, 황사 먼지가 농작물의 잎에 쌓이면 기공을 막아 식물의 성장을 방해한다. 눈병을 일으키고 호흡기 질환자들에게 위협을 주기도 한다.

황사 특보 기준

- 황사 주의보: 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 400 $\mu g/m^3$ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발령된다.
- 황사 경보: 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 800 $\mu g/m^3$ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발령된다.

황사 방지 대책

황사는 지권과 기권의 상호작용에 따라 발생하는 자연적 측면이 강하고, 그 영향도 여러 나라에 미치므로 대책 수립이 어렵지만, 황사의 발원지인 중국과 몽골에 나무를 심고 숲을 가꾸며 방목을 억제하는 등 사막화가 확대되지 않게 하는 점이 가장 중요하다. 또한, 지구 온난화도 황사 피해를 심화시키므로, 지구 온난화를 막기 위한 노력도 기울여야 한다.

중요 개념 체크

정답과 해설 157쪽

1. 뇌우는 (　　) 단계 → (　　) 단계 → (　　) 단계의 발달 과정을 거친다.
2. 악기상에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.
   (1) 시베리아 고기압에서 떨어져 나온 차고 건조한 공기 덩어리가 따뜻한 황해를 지나면 열과 수증기를 공급받아 눈구름이 크게 만들어진다. ——— (　　)
   (2) 우리나라의 경우 강수량이 많은 여름철에 황사가 주로 발생한다. ——— (　　)

TOP 심화 강의

미세먼지는 황사와 어떤 점이 다를까?

황사는 삼국사기에도 기록된 흙먼지 현상으로, 주로 봄에 관측되는 자연 현상이다. 미세먼지는 하늘을 뿌옇게 만든다는 점이 황사와 비슷하지만, 황사와 달리 일 년 내내 영향을 미치며 발생 과정과 특성 역시 많은 차이가 있다.

1 미세먼지의 성분과 발생 원인

먼지는 입자 크기에 따라 미세먼지, 초미세먼지로 나뉜다. 세계보건기구는 지름 10 μm 이하의 먼지는 미세먼지로, 지름 2.5 μm 이하는 초미세먼지로 규정하고 있다. 황사는 주로 칼슘, 철분, 알루미늄, 마그네슘 등 토양 성분으로 이루어져 있지만, 미세먼지는 황산염, 질산염, 암모니아 등의 이온 성분과 금속 화합물, 탄소 화합물 등 연소 결과물인 유해 물질로 이루어져 있고 황사의 구성 물질보다 크기가 훨씬 작다. 미세먼지는 산불, 황사 등을 통해 자연적으로 발생하기도 하지만 대부분은 자동차 운행, 공장에서의 화석 연료 사용, 산불 및 화전 경작, 가정의 난방과 취사 등의 과정에서 인위적으로 발생한다.

오염 물질	주요 배출원
황 산화물(SO_x)	석탄, 나무 등 황이 포함된 연료의 연소
질소 산화물(NO_x)	자동차 배기가스, 발전소와 보일러의 연소 등
암모니아(NH_3)	가축 사육, 비료, 분뇨 등
휘발성 유기 화합물 (Volatile Organic Compounds, VOCs)	도장 작업, 세정제, 인쇄소, 화장품, 방향제 등

▲ 미세먼지 생성에 관여하는 오염 물질의 주요 배출원

미세먼지의 크기 비교

미세먼지는 입자의 지름이 10 μm보다 작은 미세먼지(PM10)와 입자의 지름이 2.5 μm보다 작은 초미세먼지(PM2.5)로 구분할 수 있다. 10 μm는 머리카락 지름의 $\frac{1}{5}\sim\frac{1}{9}$에 해당하고, 2.5 μm는 머리카락 지름의 $\frac{1}{20}\sim\frac{1}{30}$에 해당할 정도로 매우 작다.



많은 사람들은 중국에서 발생한 황사가 우리나라 미세먼지의 주요 원인이라고 생각한다. 그러나 2016년 환경부의 조사 결과에 따르면 미세먼지는 국외 요인과 국내 요인이 거의 비슷한 것으로 나타났다. 미세먼지는 그 크기가 작을 뿐만 아니라 기상 현상이나 배출원에 따라 농도가 크게 달라진다.

2 미세먼지의 위험성

미세먼지 입자에 포함되어 있는 금속 화합물, 탄소 화합물 등 각종 유해 물질은 크기가 매우 작아서 코와 기도를 거쳐 폐포에 도달할 수 있다. 보통의 먼지는 코나 기도에서 걸러지지만, 미세먼지는 폐포 끝까지 도달하여 산소와 이산화 탄소가 교환될 때 모세혈관으로 이동한 후 혈액을 통해 온몸을 순환한다. 높은 농도의 미세먼지에 갑자기 노출되면 기도가 자극을 받아 기침과 호흡 곤란이 발생하며, 천식이 악화된다.

정답과 해설 157쪽

개념 기본 문제

01 태풍의 특성에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 열대 저기압의 일종이다.
ㄴ. 주로 적도 해역에서 발생한다.
ㄷ. 중심 부근 최대 풍속이 17 m/s 이상이다.
ㄹ. 온난 전선과 한랭 전선을 동반한다.
ㅁ. 태풍의 에너지원은 수증기의 숨은열이다.

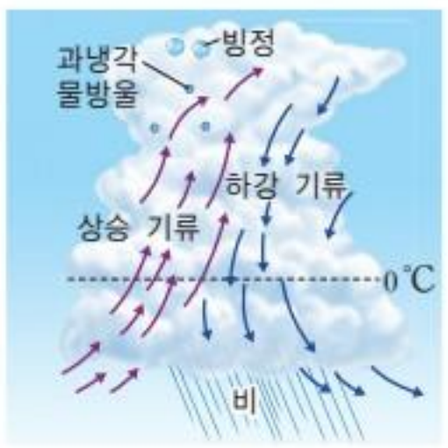
02 그림은 어느 해 우리나라를 통과한 태풍의 이동 경로를 나타낸 것이다.



(1) 서울과 부산 중 태풍의 위험 반원에 속하는 곳과 가항 반원에 속하는 곳을 골라 순서대로 쓰시오.

(2) 서울과 부산 중 태풍이 지나는 동안 풍향이 시계 방향으로 변한 곳과 시계 반대 방향으로 변한 곳을 골라 순서대로 쓰시오.

03 그림은 뇌우의 내부에서 공기의 흐름을 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.



보기

ㄱ. 성숙 단계의 뇌우이다.
ㄴ. 구름 내에서 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타난다.
ㄷ. 천둥, 번개와 함께 소나기가 내릴 수 있다.

04 우박에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 주로 층운형 구름에서 만들어진다.
ㄴ. 상승과 하강을 반복하며 성장한다.
ㄷ. 한여름과 한겨울에 더욱 잘 발달한다.

05 다음은 어느 악기상에 대한 설명이다. ( ) 안에 알맞은 말을 쓰시오.

- (㉠)는 일반적으로 1시간에 30 mm 이상의 비가 내리는 것을 말한다.
- (㉡)은 10분간 평균 풍속이 14 m/s 이상인 바람을 말한다.

06 황사에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

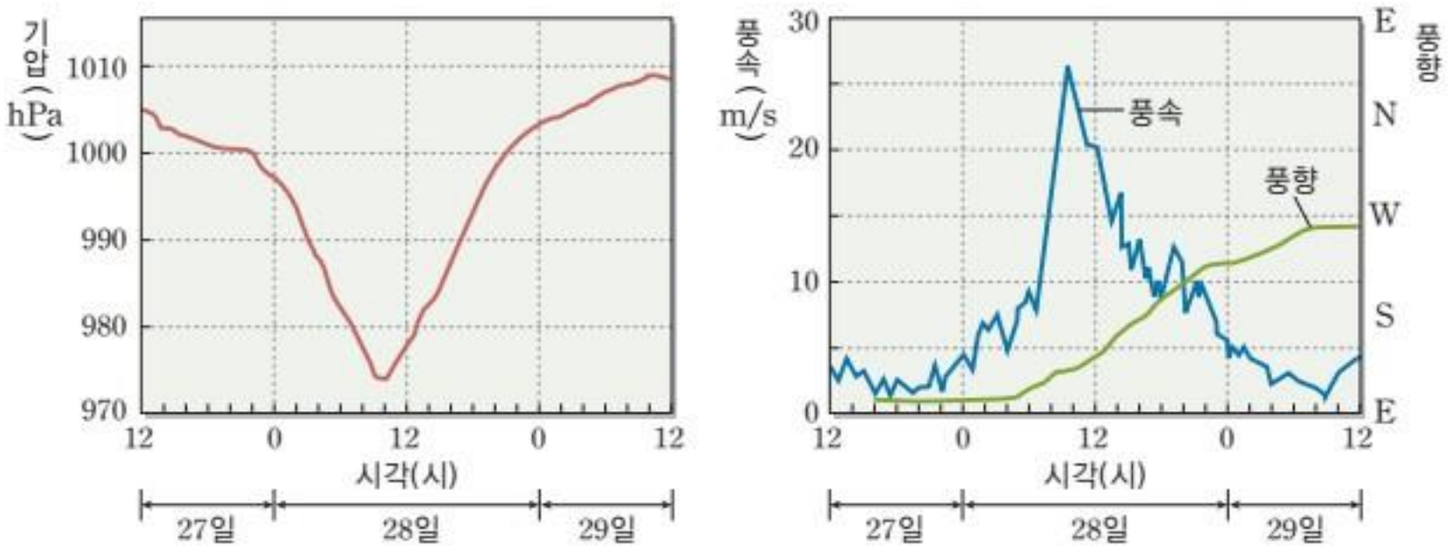
ㄱ. 주로 봄철에 발생한다.
ㄴ. 발원지에서 강한 바람이 불거나 햇빛이 강하게 비추어 저기압이 형성될 때 시작된다.
ㄷ. 모래 먼지가 편서풍을 타고 이동하다가 우리나라 부근에서 서서히 하강할 때 관측된다.

정답과 해설 158쪽

개념 적용 문제

➤ 태풍의 구조와 특징

01 그림은 태풍이 우리나라를 통과할 때, 어느 관측소에서 측정한 기압, 풍속, 풍향 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 28일에는 남풍이 우세하였다.

ㄴ. 기압이 가장 낮을 때 풍속도 가장 낮았다.

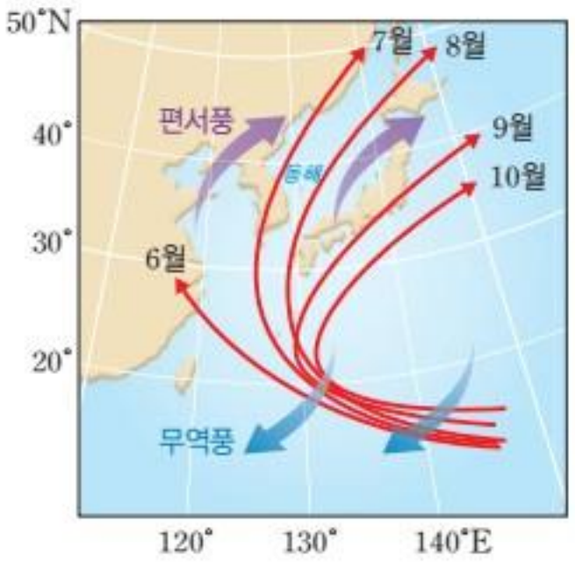
ㄷ. 태풍의 중심이 관측소에 가장 가까이 접근했을 때는 28일 10시경이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 풍속은 태풍의 눈 주변에서 가장 빠르고, 기압은 태풍의 중심부에서 가장 낮다.

➤ 태풍의 발생, 태풍의 이동과 소멸

02 그림은 우리나라 주변을 지나는 태풍의 발생 위치와 월별 이동 경로를 나타낸 것이다.
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

ㄱ. 태풍은 위도 20° 이하의 열대 해상에서 발생하였다.

ㄴ. 우리나라에 영향을 주는 태풍은 주로 7월~8월에 발생한다.

ㄷ. 겨울에 태풍이 거의 발생하지 않는 것은 수온이 낮기 때문이다.

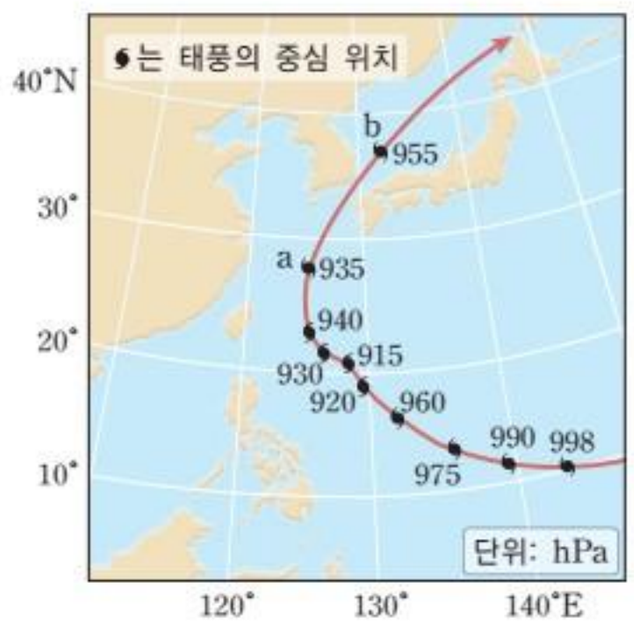
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 태풍은 수온이 높은 해역에서 발생한다. 우리나라에 영향을 주는 태풍은 주로 태평양의 수온이 높아지는 시기에 북상한다.

➤ 태풍의 이동과 소멸

03 그림은 우리나라에 영향을 준 어느 태풍의 진로와 중심 기압의 변화를 24시간 간격으로 측정하여 나타낸 것이다.

▷ 북반구에서 태풍 진행 경로의 오른쪽은 위험 반원이고, 왼쪽은 가항 반원이다.



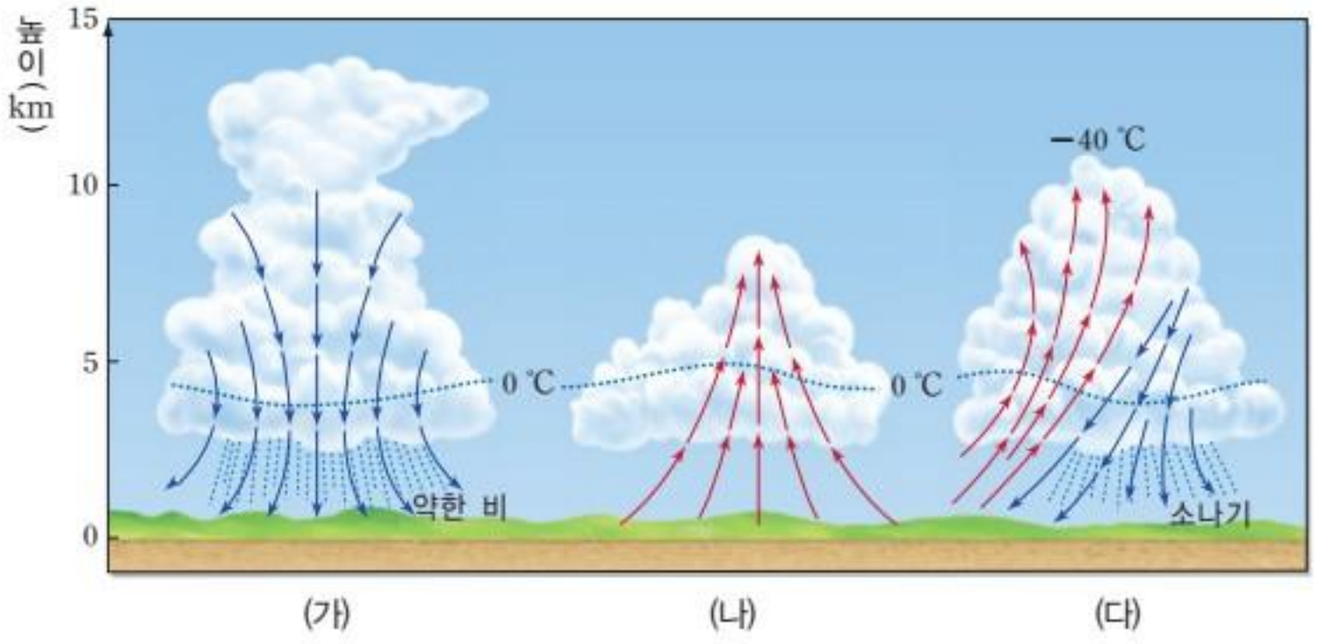
이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 태풍의 세력은 a일 때보다 b일 때 더 강하다.
② 25°N보다 높은 위도에서 태풍의 진로는 편서풍의 영향을 받았다.
③ 태풍의 이동 속도는 대체로 무역풍대보다 편서풍대에서 더 빠르다.
④ 태풍이 통과하면서 우리나라에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 바뀌었다.
⑤ 태풍에 의한 피해는 우리나라보다 일본이 더 컸을 것이다.

➤ 뇌우

04 그림 (가)~(다)는 뇌우가 발달하는 과정을 순서 없이 나타낸 것이다.

▷ 뇌우는 적운 단계, 성숙 단계, 소멸 단계를 거쳐 발달한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 발달 단계는 (나) → (다) → (가) 순이다.
ㄴ. (나)는 성숙 단계에 해당한다.
ㄷ. (다)에서 강수 현상은 주로 하강 기류와 함께 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 집중 호우

05 그림은 어느 해 7월 우리나라 중부 지방에 집중 호우가 발생하였을 때, 우리나라 주변의 공기 배치 및 이동 방향을 나타낸 것이다.
A에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▻ 저지 고기압은 이동하는 공기를 막는 역할을 하는 고기압을 뜻한다.

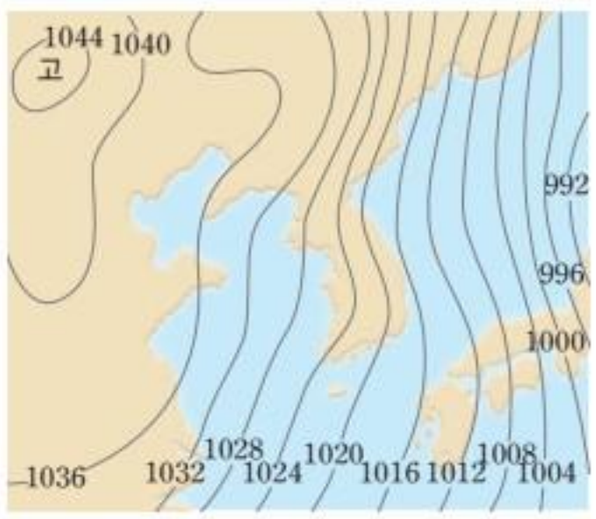
보기

ㄱ. 따뜻하고 습한 공기이다.
ㄴ. 우리나라 부근에서 차고 건조한 공기와 만나 적란운을 형성한다.
ㄷ. 북쪽의 저지 고기압에 가로막혀 한곳에 오래 머무를 수 있다.

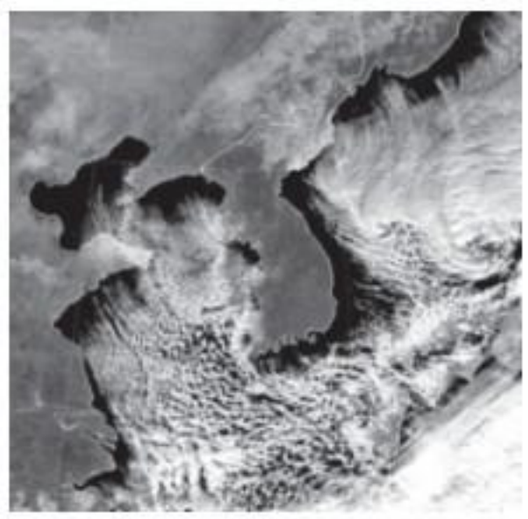
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 폭설

06 그림 (가)는 겨울철 어느 날 우리나라 부근의 지상 일기도를, (나)는 같은 날의 위성 영상을 나타낸 것이다.



(가)


(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

▻ 서해안 폭설의 주된 원인은 겨울철에 찬 기단이 상대적으로 따뜻한 황해를 통과하면서 형성되는 눈구름 때문이다.

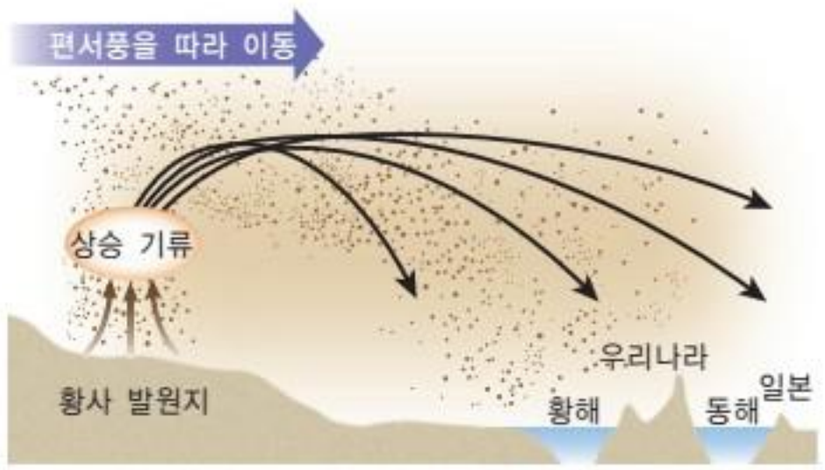
보기

ㄱ. 우리나라는 시베리아 고기압의 영향을 받고 있다.
ㄴ. 대륙의 찬 공기가 황해를 지나면서 수증기를 공급받아 구름을 형성하였다.
ㄷ. 우리나라 서해안 지역에 폭설이 내릴 수 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 황사

07 그림은 우리나라에 영향을 주는 황사의 발생 원리 및 이동 경로를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 황사 발원지는 사막이나 고원과 같은 건조한 지역이다.
ㄴ. 황사 발원지에 고기압이 형성되면 황사가 더 활발하게 일어난다.
ㄷ. 우리나라에 영향을 주는 황사는 편서풍의 영향으로 서쪽에서 유입된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 발원지에서 모래 먼지가 상승 기류를 만나 상층으로 올라간 뒤 바람에 의해 멀리 이동한다.

➤ 집중 호우, 폭설, 황사

08 다음은 우리나라에 영향을 주는 여러 악기상의 특징을 설명한 것이다.

악기상	특징
A	1시간에 30 mm 이상 또는 하루에 80 mm 이상의 비가 내리거나 연 강수량의 10 % 이상의 비가 하루에 내리기도 한다.
B	10분간 평균 풍속이 14 m/s 이상인 바람이 분다.
C	사막 지대의 미세한 토양 입자가 바람에 실려 와 하늘을 덮는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 대체로 넓은 지역에 지속적으로 나타난다.
ㄴ. B는 기압이 급격하게 변할 때 발생한다.
ㄷ. C는 주로 봄철에 나타나는 현상이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 일상생활에 큰 어려움을 주고 위험을 동반하는 기상 현상을 악기상이라고 한다. 악기상은 일기도 상에 나타나지 않을 정도로 규모가 작아 정확한 예보가 어렵다.

1등급 도전 문제

➤ 태풍의 이동과 소멸

09 그림은 어느 태풍의 이동 경로를, 표는 A와 B 중 한 관측소에서 측정한 시간에 따른 풍향과 기압의 변화를 나타낸 것이다.



시간	04시	10시	16시
풍향	북동풍	북풍	북서풍
기압(hPa)	970	986	1002

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

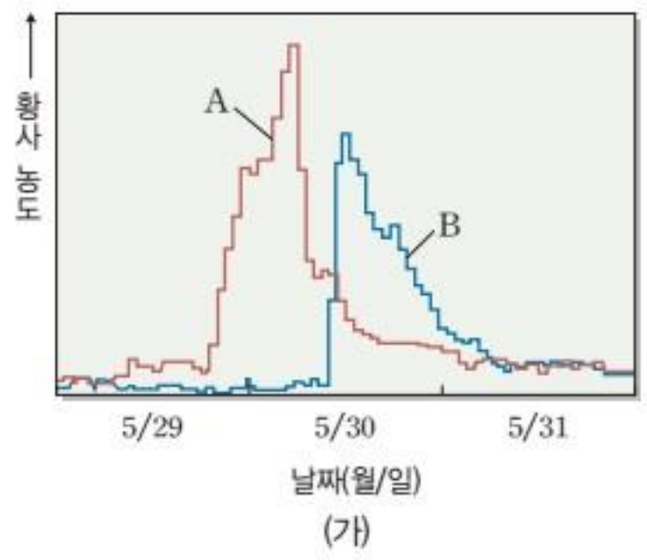
ㄱ. 풍향과 기압은 B에서 측정한 것이다.
ㄴ. 10시에 풍속은 A보다 B에서 더 클 것이다.
ㄷ. 이 기간 동안 태풍은 수증기 공급이 원활하였다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

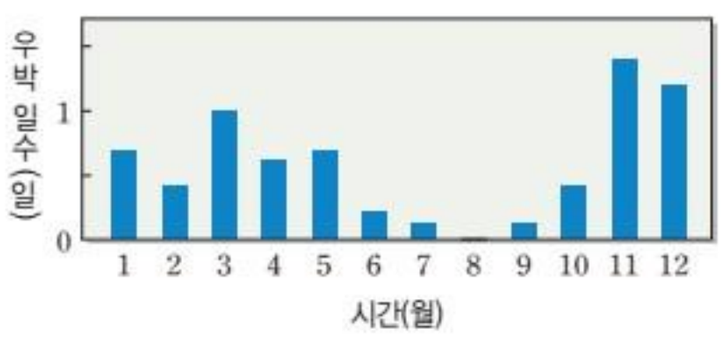
▻ 위험 반원에 위치한 곳에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 가항 반원에 위치한 곳에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

➤ 황사, 우박

10 그림 (가)는 우리나라에 영향을 준 어느 황사의 농도 변화를 관측소 A, B에서 측정하여 나타낸 것이고, (나)는 우리나라의 월별 평균 우박 일수이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)에서 관측소 A는 B보다 서쪽에 위치할 것이다.
ㄴ. (가)에서 황사는 발원지에서 5월 30일에 발생하였다.
ㄷ. (나)에서 우박은 겨울철보다 여름철에 많이 내렸다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▻ 건조한 지역에 강한 바람이 불면 미세한 토양 입자가 솟아오르기 시작하고, 먼지 입자가 상승 기류와 함께 상층 대기까지 올라가 편서풍을 타고 이동하면서 황사가 시작된다.

중단원 핵/심/정/리 2. 날씨의 변화와 악기상

01 날씨의 변화

1 공기의 이동과 날씨
▸52쪽~54쪽

1. **고기압과 저기압** 고기압은 주위보다 기압이 높은 곳으로, 중심부에 (1) 기류가 발달하기 때문에 날씨가 대체로 맑다. 저기압은 주위보다 기압이 낮은 곳으로, 중심부에 (2) 기류가 발달하기 때문에 구름이 생겨 날씨가 흐리거나 비가 내린다.
2. **우리나라 날씨에 영향을 주는 기단** 시베리아 기단, 북태평양 기단, 양쯔강 기단, 오호츠크해 기단
3. **전선 부근의 날씨** 전선을 경계로 기온, 습도, 바람 등이 크게 달라진다.

2 일기 예보
▸55쪽~57쪽

1. **가시 영상** 구름의 두께가 두꺼울수록 (3)게 보이고, 두께가 얇을수록 (4)게 보인다. 햇빛을 받지 못하는 밤에는 가시광선이 관측되지 않아 가시 영상을 얻을 수 없다.
2. **적외 영상** 물체의 온도가 낮을수록 적외선 에너지량이 적어서 밝게 보이므로, 최상부 고도가 높은 구름일수록 (5)게 보인다. 적외 영상은 낮과 밤에 관계없이 얻을 수 있다.
3. **레이더 영상** 강수대의 위치와 이동 경향, 예상 강수량 등을 파악할 수 있다.

3 고기압과 날씨
▸58쪽~59쪽

1. (6) **고기압** 중심부의 위치가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르며 수축과 확장을 하면서 주변 지역의 날씨에 영향을 주는 규모가 큰 고기압
2. (7) **고기압** 중심부의 위치가 일정한 곳에 머무르지 않고 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 규모가 작은 고기압으로, 주로 정체성 고기압에서 떨어져 나오거나 중위도 저기압의 전면 또는 후면에서 발달한다.

4 저기압과 날씨
▸60쪽~61쪽

1. (8) **저기압** 전선을 동반하지 않고, 수평 규모가 수십 km~100 km 정도인 저기압
2. **중위도 저기압** 전선을 동반하고, 수평 규모가 최대 1000 km인 종관 규모의 저기압

(1) 중위도 저기압의 일생: 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 중위도 저기압 발달 → 폐색 시작 → (9) 전선 발달 → 중위도 저기압 소멸

(2) 중위도 저기압과 날씨: 중위도 저기압이 우리나라를 통과할 때는 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 지나가게 되면서 날씨의 변화가 ㉠ → ㉡ → ㉢ 순으로 나타난다.

위치	㉢ 한랭 전선 뒤쪽	㉡ 온난 전선과 한랭 전선 사이	㉠ 온난 전선 앞쪽
구름 형태	(10)	거의 없음.	층운형
날씨	(11)	대체로 맑음	약하고 지속적인 비
기온	낮음.	높음.	낮음.
바람	(12)	남서풍	(13)

정답과 해설 159쪽

02 태풍과 악기상

1 태풍

▸68쪽~71쪽

1. **태풍** 해수면 온도가 약 27 ℃ 이상인 위도 5°~25°의 열대 해상에서 발생하는 열대 저기압 중에서 중심 부근의 최대 풍속이 17 m/s 이상으로 성장한 것
2. **태풍의 에너지원** 공기가 상승할 때 수증기가 응결하면서 방출되는 (14)
3. (15) 태풍의 중심으로부터 반지름 약 50 km에 이르는 구간으로, 약한 하강 기류가 나타나 대체로 날씨가 맑고 바람이 약하게 분다.
4. **태풍의 풍속과 기압 분포**

(1) 풍속 분포: 중심부로 갈수록 풍속이 빨라져서 태풍의 눈 주변에서 최대 풍속이 나타난다.

(2) 기압 분포: 태풍의 눈에서 기압이 가장 낮으며, 가장자리로 갈수록 기압이 높아진다.

5. **태풍의 이동과 소멸**

(1) 이동 경로: 발생 초기에는 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 이동하다가, 북위 약 25°~30°에 이르면 편서풍의 영향으로 방향을 바꾸어 북동쪽으로 이동하며 포물선 궤도를 그린다.

(16) 반원	태풍 이동 방향의 오른쪽 반원으로, 태풍 이동 방향이 태풍 자체의 바람 방향과 같아서 풍속이 상대적으로 빠름.
(17) 반원	태풍 이동 방향의 왼쪽 반원으로, 태풍 이동 방향이 태풍 자체의 바람 방향과 반대여서 풍속이 상대적으로 느림.

(2) 태풍의 소멸: 태풍이 찬 바다를 지나가면 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해지고, 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 거의 없고 지표와의 마찰이 커져서 세력이 약해진다.

2 악기상

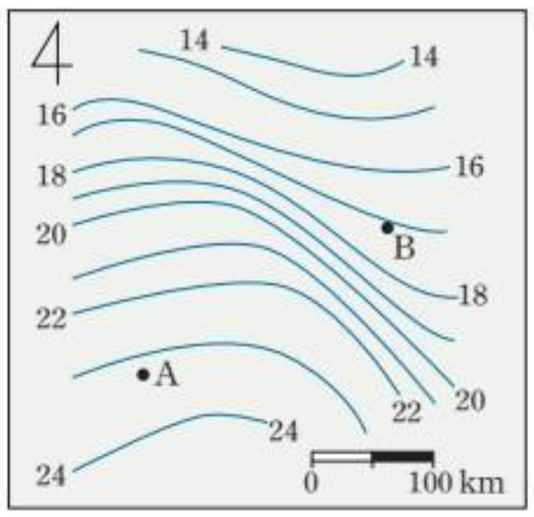
▸72쪽~76쪽

1. (18) 강한 상승 기류로 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상으로, 적운 단계 → 성숙 단계 → 소멸 단계를 거쳐 발달한다.
2. (19) 대기가 불안정한 날에 적란운에서 만들어져 땅 위로 떨어지는 얼음 덩어리로, 우리나라에서는 주로 초여름이나 가을에 잘 발생한다.
3. **집중 호우** 1시간에 30 mm 이상이나 하루에 80 mm 이상, 또는 하루에 연강수량의 10 % 이상의 비가 내리는 것을 집중 호우 또는 국지성 호우라고 한다.
4. (20) 10분간 평균 풍속이 14 m/s 이상인 바람을 말한다. 주로 강한 중위도 저기압의 영향을 받을 때, 겨울철에 시베리아 고기압의 영향을 받을 때, 태풍이 통과할 때와 같이 기압이 급격히 바뀔 때 발생한다.
5. (21) 1시간에 1 cm~3 cm 이상, 또는 24시간 이내에 20 cm 이상의 눈이 내리는 현상을 말한다. 찬 공기가 우리나라 방향으로 이동하면서 따뜻한 해수면으로부터 열과 수증기를 공급받을 때, 중위도 저기압이 통과할 때 주로 발생한다.
6. (22) 상공으로 올라간 다량의 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 이동하다가 서서히 하강하는 현상을 말한다. 우리나라 (23)철에 주로 발생한다.

통합 실전 문제

전선

01 그림은 전선 주변의 지상 기온 분포를 나타낸 것이다. 이 전선은 한랭 전선과 온난 전선 중 하나이다.



(단위: ℃)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

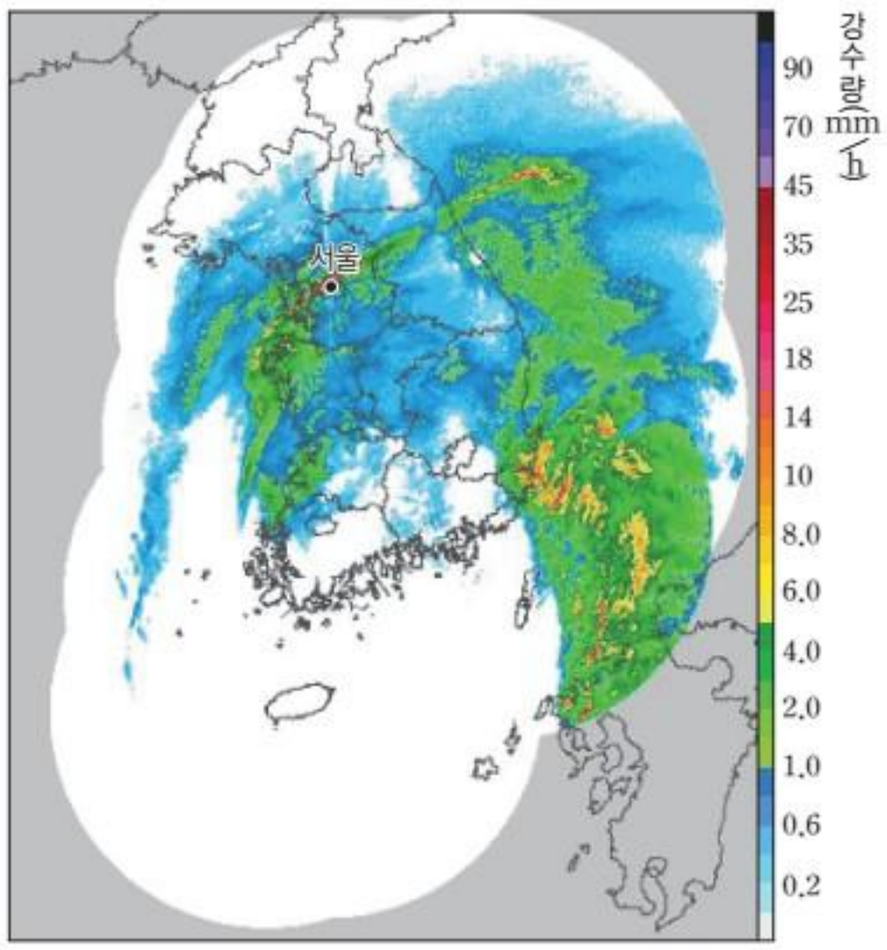
보기

ㄱ. 온난 전선 주변의 기온 분포이다.
ㄴ. A 지역에서는 북풍 계열의 바람이 분다.
ㄷ. B 지역의 상공에는 전선면이 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

일기도와 위성 영상

02 그림은 어느 날 우리나라 주변의 레이더 영상을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

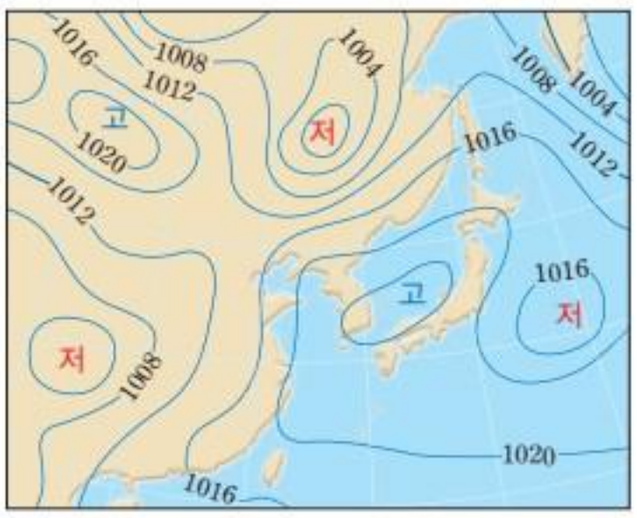
보기

ㄱ. 레이더 영상을 이용하여 구름의 두께와 고도를 알 수 있다.
ㄴ. 레이더 영상은 밤에도 촬영이 가능하다.
ㄷ. 현재 우리나라 중부 지방과 동해안 일대에 비구름이 분포하고 있다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

고기압의 종류

03 그림은 봄철의 지상 일기도를 나타낸 것이다.



우리나라 날씨에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

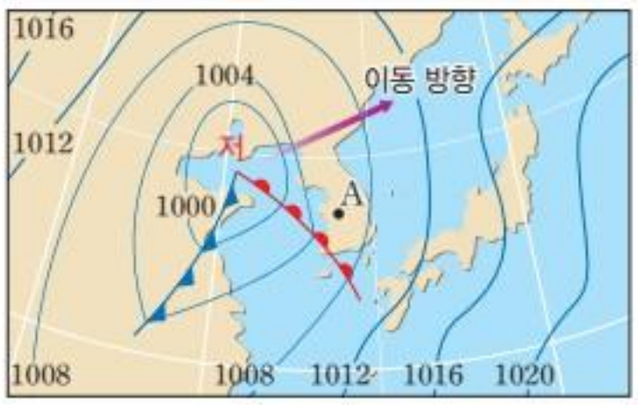
ㄱ. 현재 맑은 날씨가 나타난다.
ㄴ. 우리나라 상공의 고기압은 북태평양 고기압에서 분리된 것이다.
ㄷ. 고기압의 중심이 통과한 이후 서쪽부터 날씨가 흐려질 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

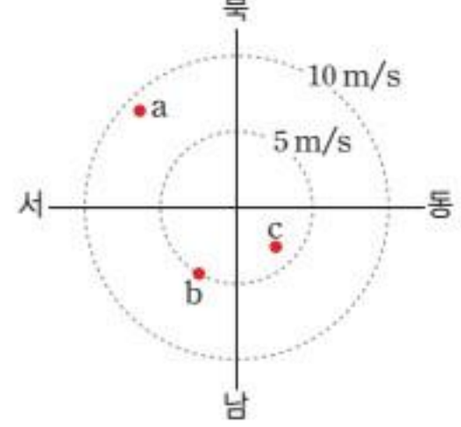
중위도 저기압

04 그림 (가)는 어느 날 우리나라 주변의 지상 일기도를, (나)는 관측소 A에서 일정한 시간 간격으로 측정한 풍속과 풍향을 나타낸 것이다.

(가)



(나)



A에서의 기상 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

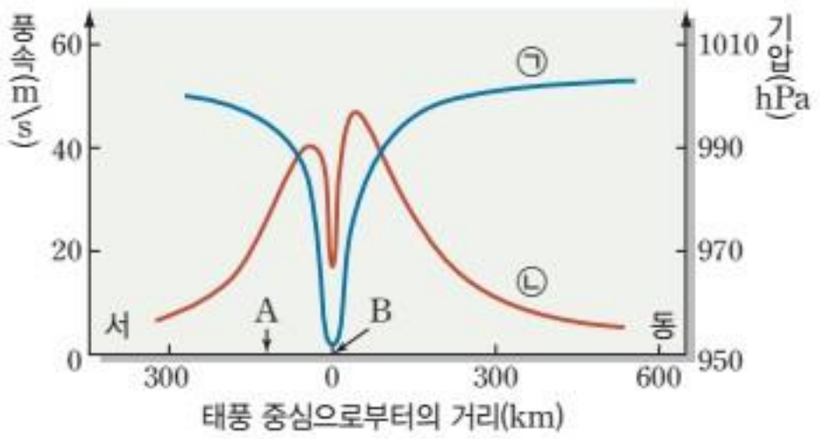
보기

ㄱ. (가)의 A에서는 현재 5 m/s보다 빠른 바람이 분다.
ㄴ. (나)에서 풍향과 풍속은 a → b → c 순으로 측정되었다.
ㄷ. 풍속의 변화는 온난 전선보다 한랭 전선이 통과할 때 크게 나타났다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태풍의 구조와 특징

05 그림은 북반구에서 발생하여 북상하는 태풍의 중심으로부터의 거리에 따른 기압과 풍속 분포를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

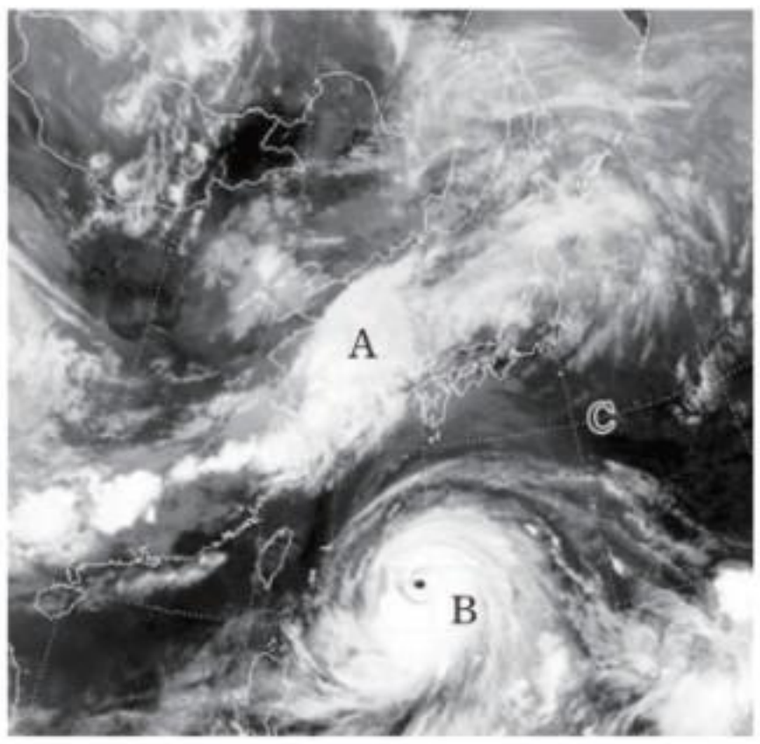
보기

ㄱ. ㉠은 기압, ㉡은 풍속이다.
ㄴ. A 지역에는 북풍 계열의 바람이 분다.
ㄷ. B 지역 상공에서는 약한 하강 기류가 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

일기도와 위성 영상 + 태풍

06 그림은 정체 전선과 태풍이 발달한 어느 날, 우리나라 주변의 적외 영상을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

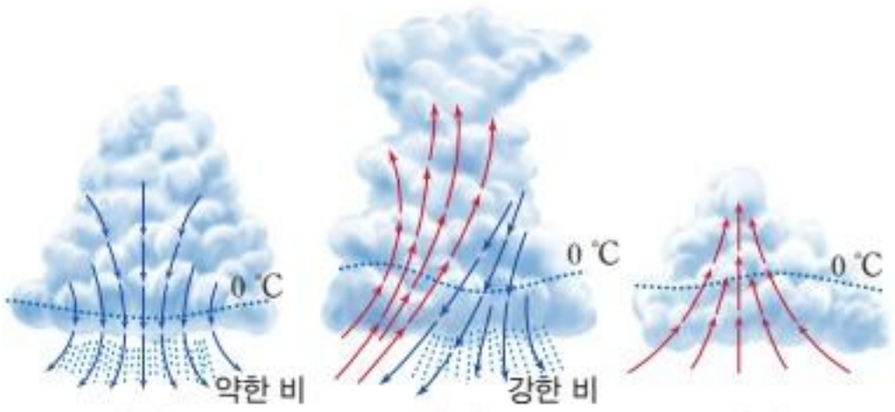
보기

ㄱ. A의 구름은 정체 전선 북쪽에 위치한다.
ㄴ. B의 태풍 중심에서는 상승 기류가 나타난다.
ㄷ. C에 북태평양 기단이 발달해 있다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

뇌우

07 그림 (가)~(다)는 뇌우의 발달 과정을 순서 없이 나타낸 것이다.



(가) (나) (다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

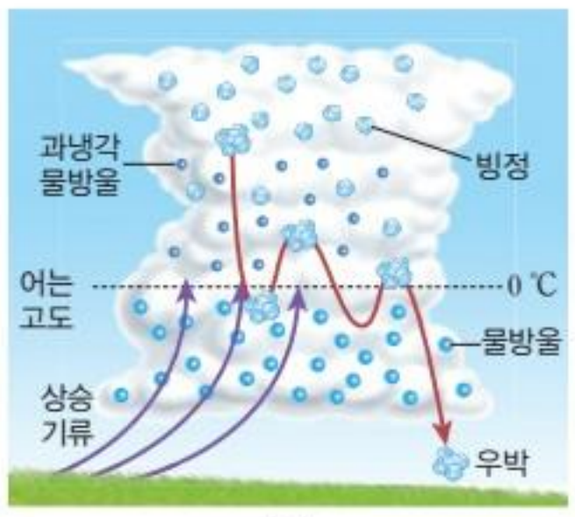
보기

ㄱ. 가장 마지막 단계는 (다)이다.
ㄴ. 번개 발생 빈도는 대체로 (가)가 (나)보다 높다.
ㄷ. 적외 영상에서는 (나)가 (다)보다 더 밝게 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

우박

08 그림 (가)는 우박이 형성되는 과정을, (나)는 지상에 떨어진 우박의 단면을 나타낸 것이다.





(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

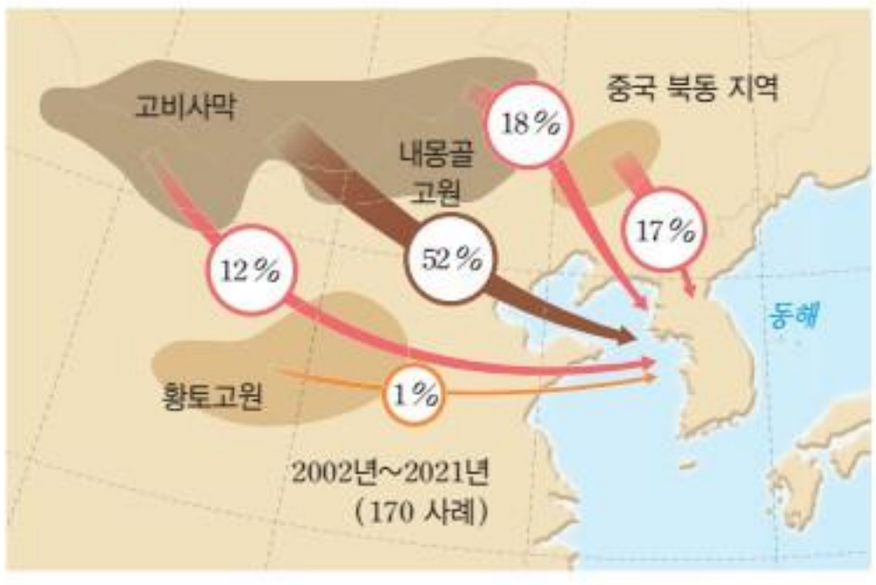
보기

ㄱ. 빙정은 구름 내에서 상승과 하강을 반복하며 성장한다.
ㄴ. 우박의 불투명한 층은 공기 중 먼지나 모래 입자가 함께 얼어 만들어진 것이다.
ㄷ. 우박은 주로 겨울과 한여름에 발생한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

황사

09 그림은 2002년~2021년까지 발원지에 따른 황사의 국내 유입 경로와 비율을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

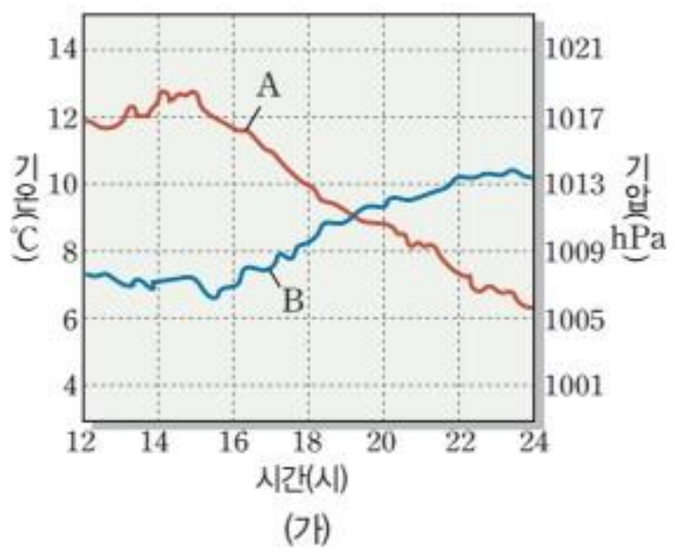
ㄱ. 황사 발원지는 대부분 중위도 사막이나 고원 지역이다.
ㄴ. 황사의 이동은 편서풍의 영향을 받는다.
ㄷ. 황사 발원지가 우리나라와 가까울수록 황사의 유입 빈도가 높다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

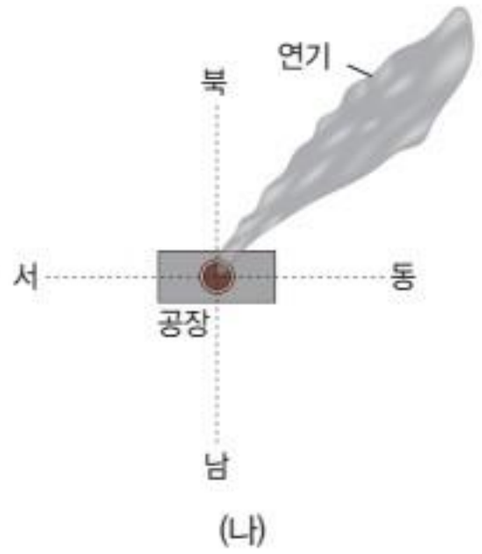
HIGH TOP 최상위 문제

정답과 해설 161쪽

1 그림 (가)는 우리나라 어느 지역에 전선이 통과할 때의 기온과 기압 변화를, (나)는 이날 18시경에 이 지역에 있는 공장의 굴뚝에서 나온 연기가 퍼져 나가는 것을 위에서 본 모습을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 기압, B는 기온 분포를 나타낸다.

ㄴ. 15시경에 온난 전선이 이 지역을 통과하였다.

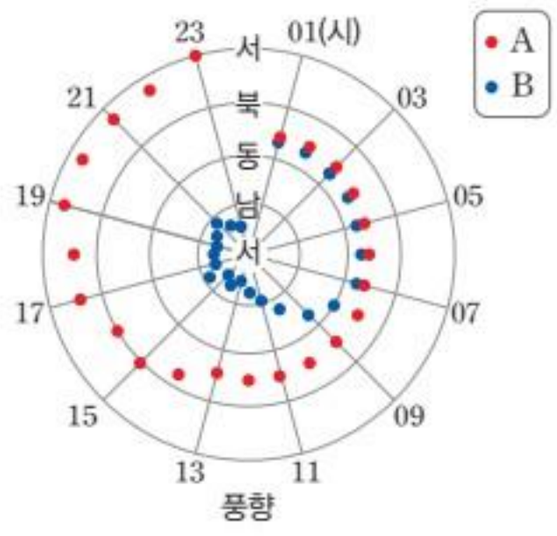
ㄷ. 19시경 이후 (나)의 연기는 남동쪽으로 퍼져 나갔을 것이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

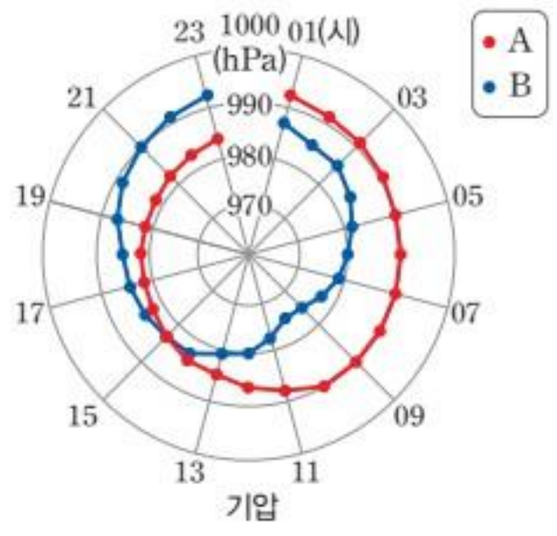
Solution Tip

온난 전선이 통과하면 기온이 상승하고 기압이 하강한다. 반면, 한랭 전선이 통과하면 기온이 하강하고 기압이 상승한다.

2 그림은 북상하는 어느 태풍의 영향을 받은 어느 날, 우리나라 관측소 A와 B에서 01시부터 23시까지 관측한 풍향과 기압을 나타낸 것이다.



풍향



기압

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 13시~19시 동안 A는 가항 반원에 위치하였다.

ㄴ. 관측 기간 동안 기압 변화 폭은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 관측 기간 동안 태풍 중심까지의 최단 거리는 A보다 B가 항상 가까웠다.

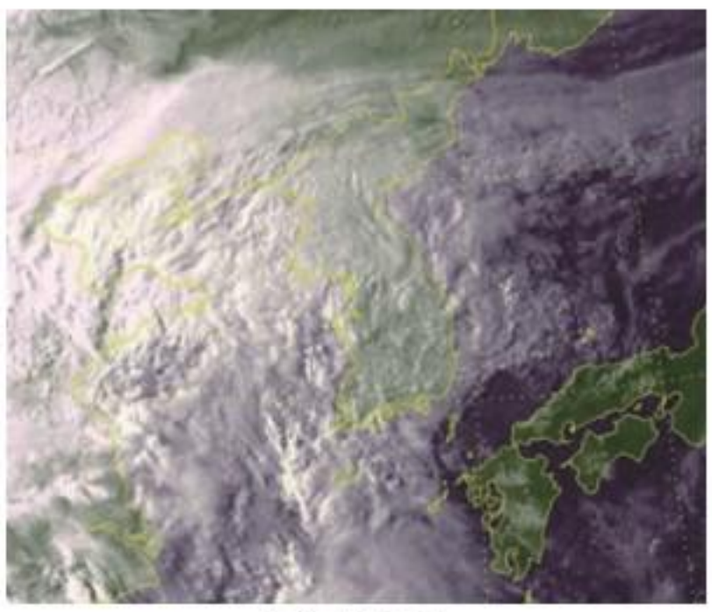
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

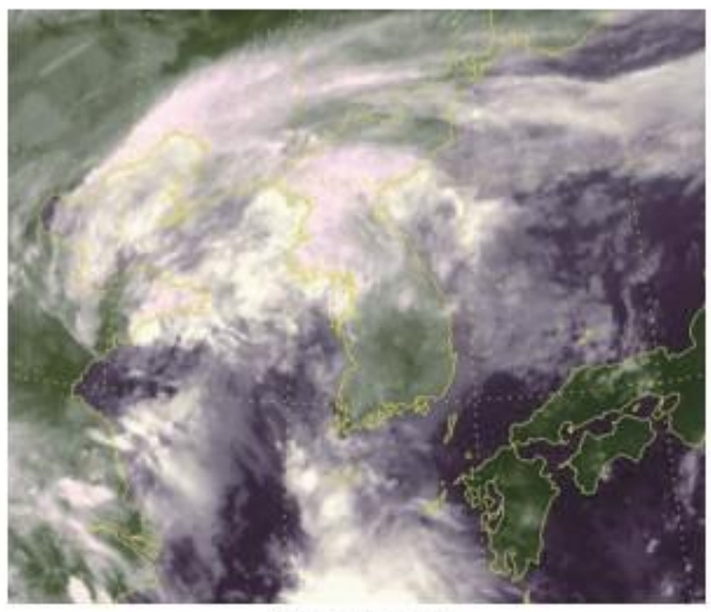
태풍의 위험 반원에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 가항 반원에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

사고력 확장 문제

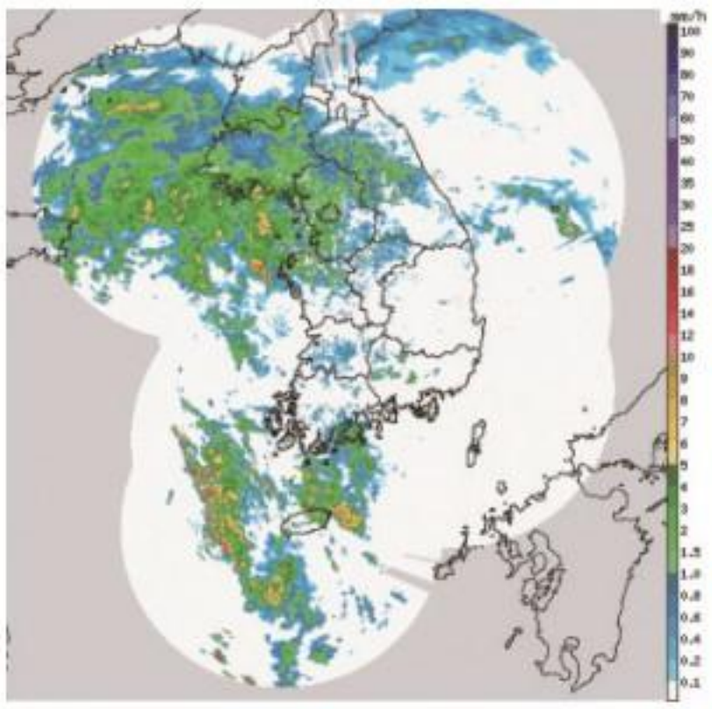
1 그림 (가)~(라)는 어느 날 같은 시각에 우리나라 주변의 위성 영상, 레이더 영상, 지상 일기도를 나타낸 것이다.



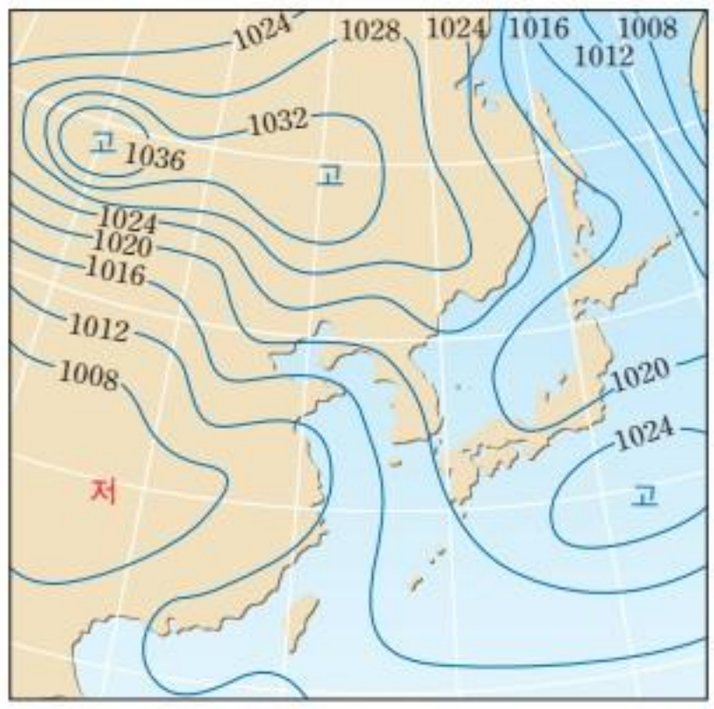
(가) 가시 영상



(나) 적외 영상



(다) 레이더 영상



(라) 지상 일기도

(1) (가)와 (나)에서 밝게 보이는 구름의 특징을 각각 서술하시오.

(2) (다)를 통해 알 수 있는 정보는 무엇인지 서술하시오.

(3) (라)를 참고할 때, 우리나라에 구름이 많아지고 강수 현상이 나타나는 까닭은 무엇인지 서술하시오.

KeyWord

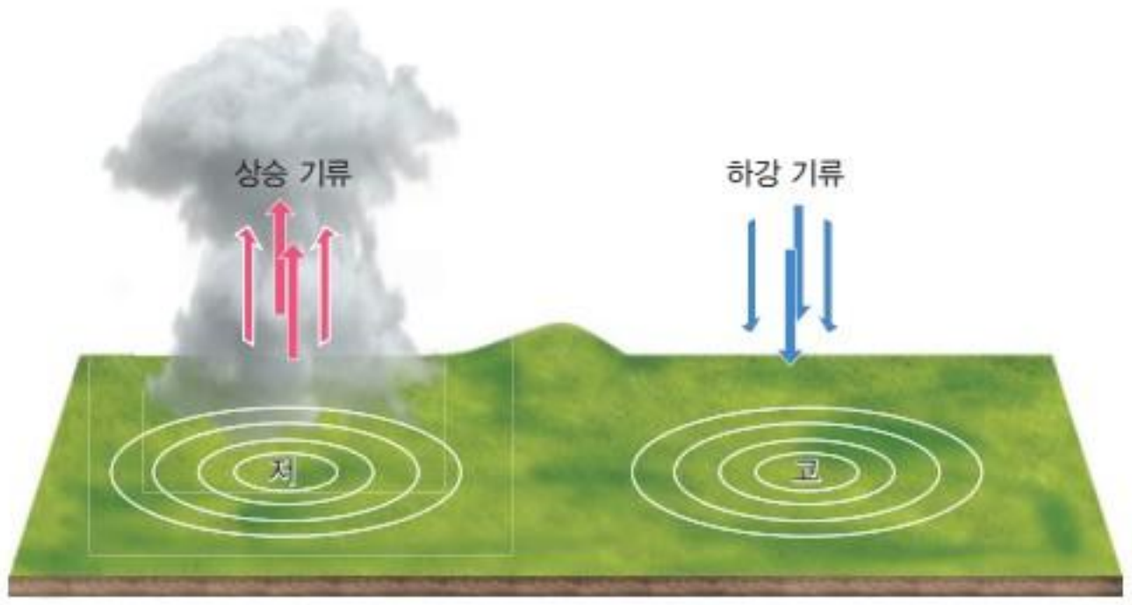
(1) • 두께
• 최상부의 고도
(2) • 강수량
• 강수대
(3) • 기압골

Solution Tip

일기도에 나타나는 고기압과 고기압 사이의 기압이 낮은 골짜기를 기압골이라고 하며, 기압골에서는 날씨가 흐리거나 강수 현상이 나타난다.

정답과 해설 162쪽

2 그림은 북반구에서 형성된 저기압과 고기압에서 공기의 이동과 구름의 형성을 나타낸 것이다.



(1) 북반구에서 저기압과 고기압이 형성될 때 지상에서는 바람이 어떻게 부는지 다음 용어 중 해당하는 것을 포함하여 각각 서술하시오.

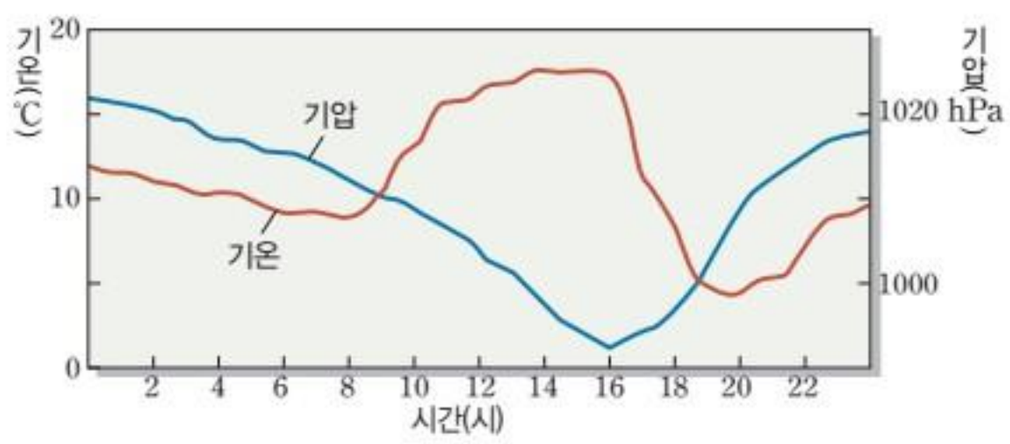
시계 방향　　시계 반대 방향

(2) 저기압에서는 구름이 많고, 고기압에서는 구름이 없는 맑은 날씨가 나타난다. 그 까닭을 공기의 상승 또는 하강과 관련된 물리적 변화를 적용하여 서술하시오.

KeyWord
(1) • 시계 반대 방향
• 시계 방향
(2) • 단열 팽창
• 단열 압축

Solution Tip
공기가 상승하면 단열 팽창하여 내부 온도가 내려가고, 공기가 하강하면 단열 압축되어 내부 온도가 올라간다.

3 그림은 중위도 저기압의 중심이 북반구 어느 관측소의 북쪽을 통과하는 동안 관측한 기온과 기압을 나타낸 것이다. 이 기간 동안 온난 전선과 한랭 전선이 모두 이 관측소를 통과하였다.



(1) 두 전선이 관측소를 통과한 시각은 대략 몇 시간 차이가 나는지 서술하시오.

(2) 이날 12시~18시의 날씨는 어땠을지 기온의 변화와 강수 형태를 중심으로 예상하여 서술하시오.

KeyWord
(1) • 온난 전선
• 한랭 전선
(2) • 소나기

Solution Tip
온난 전선의 전면에서는 넓은 지역에 걸쳐 흐리거나 약한 비가 내리고 남동풍이 분다. 한랭 전선의 후면에서는 좁은 지역에서 소나기성 강우가 내리며 북서풍이 분다.

4 그림은 태풍이 발생하는 과정을 모식적으로 나타낸 것이다.



(1) 위 그림을 바탕으로 태풍의 발생 과정을 서술하시오.

(2) 태풍의 에너지원은 무엇인지 쓰시오.

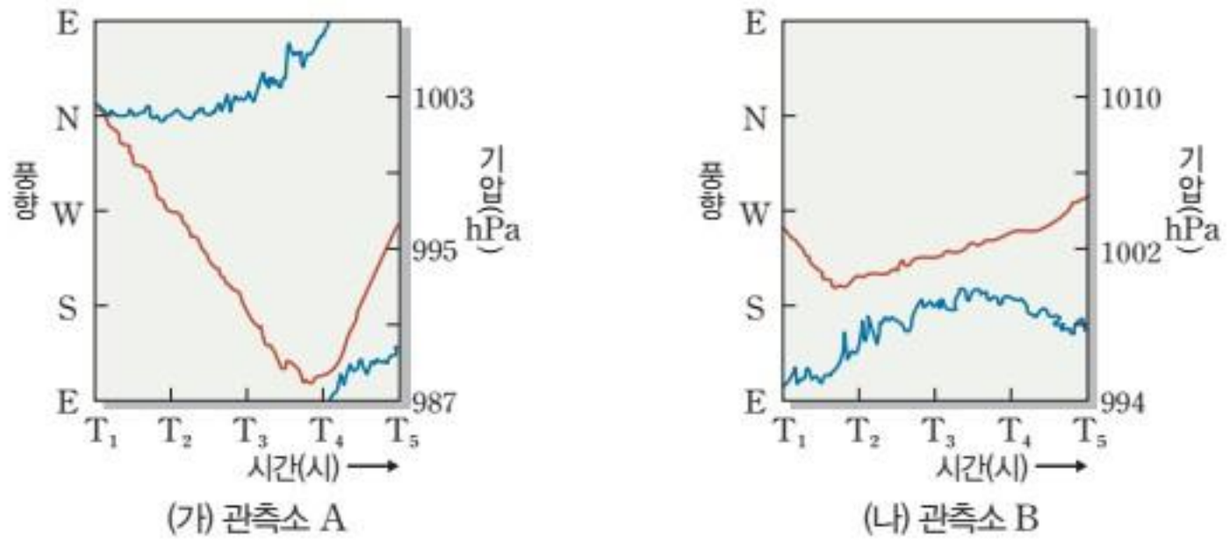
KeyWord

(1) • 열대 저기압
• 전향력
• 숨은열
(2) • 수증기
• 응결

Solution Tip

태풍은 위도 5°~25°의 열대 해상에서 발생한다.

5 그림 (가)와 (나)는 태풍의 영향을 받은 우리나라 관측소 A와 B에서 T_1~T_5 동안 측정한 기압과 풍향을 순서 없이 나타낸 것이다.



(가) 관측소 A　　(나) 관측소 B

(1) T_1~T_5 중 태풍의 중심이 관측소 A에 가장 가까웠던 시각을 고르고, 그 까닭을 서술하시오.

(2) T_1~T_4 동안 관측소 B는 위험 반원과 가항 반원 중 어디에 위치했는지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

KeyWord

(1) • 기압
(2) • 풍향
• 시계 방향

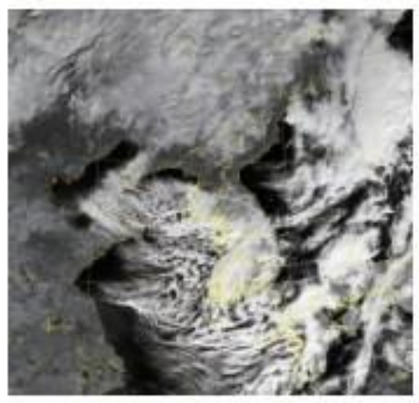
Solution Tip

태풍이 가까이 다가올수록 기압이 낮아지고, 태풍이 통과한 후에는 기압이 다시 상승하므로, 기압 곡선은 깔때기 모양으로 나타난다.

정답과 해설 162쪽

6 **다음은 우리나라 전역에 폭설이 내린 어느 날, 우리나라 주변의 위성 영상과 폭설이 내린 원인을 설명한 보도 자료를 나타낸 것이다.**

찬 공기를 동반한 대륙 고기압이 확장하면서 우리나라 전역에 많은 눈이 내렸다. 일반적으로 겨울철에 한파 발생 위성 영상을 보면, 찬 공기가 남하하여 해상을 통과할 때 바람 방향을 따라 구름이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이번 폭설의 주요 원인은 ㉠평년보다 2 ℃ 정도 높은 황해의 해수면 온도로 밝혀졌다.



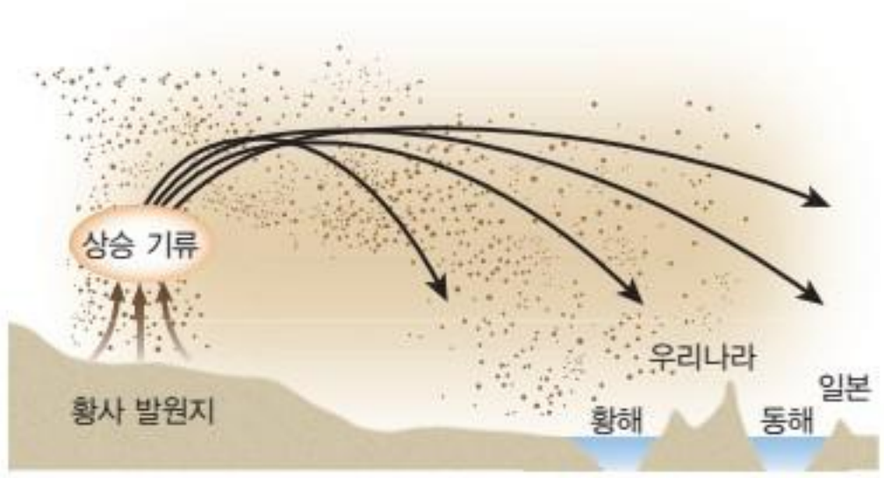
(1) 대륙 고기압이 확장하면서 눈구름이 발달하는 과정을 서술하시오.

(2) ㉠이 왜 폭설의 주요 원인으로 작용하였는지 서술하시오.

KeyWord
(1) • 황해
• 열과 수증기
(2) • 가열
• 수증기

Solution Tip
한랭한 대륙에서 형성된 기단이 따뜻한 바다 위를 지나가면 기단의 하부가 가열되어 불안정해지므로 적운이나 적란운이 형성된다.

7 **그림은 황사가 발생하는 모습을 나타낸 것이다.**



황사가 발원지에서 이동하여 우리나라에 도착하기까지의 과정을 아래와 같이 4단계로 구분하여 서술하시오.

(1) 발원지의 특성

(2) 황사의 상승 조건

(3) 황사의 이동

(4) 황사의 하강 조건

KeyWord
(1) • 건조
• 증발
(2) • 저기압
• 상승 기류
(3) • 편서풍
(4) • 고기압
• 하강 기류

Solution Tip
황사는 발원지에서 상승 기류를 타고 상공으로 올라간 다량의 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 멀리까지 날아가 서서히 내려오는 현상이다.

단원 Preview

이 단원에서 배우는 핵심 개념으로 단원 내용을 미리 살펴봅시다.

엘니뇨 남방진동

엘니뇨 시기

제발 비가 왔으면 좋겠네.

고기가 잘 안 잡혀.

약한 무역풍

해수의 용승과 침강

라니냐 시기

비가 안 와서 가뭄이 들었어.

홍수가 발생해서 마을이 잠겼어.

강한 무역풍

엘니뇨 남방진동

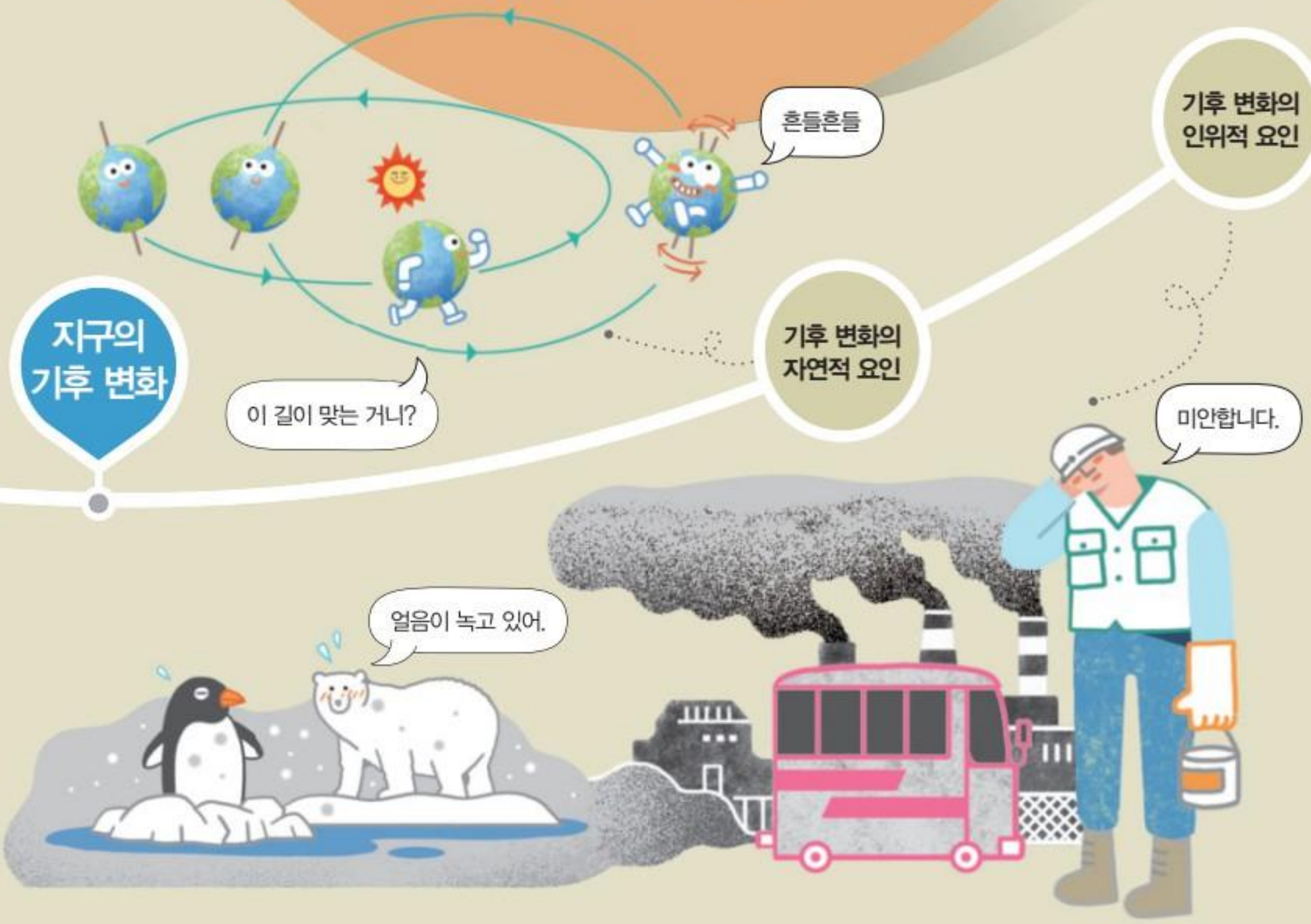
3

대기와 해양의 상호작용

지구의 기후 시스템은 태양 복사와 지구 복사, 지역의 지질학적 특징, 인간 활동 등의 영향을 받으며, 이러한 요인들이 복합적으로 상호작용하여 다양한 기상 현상과 기후 변화가 나타난다.

01 엘니뇨 남방진동

02 지구의 기후 변화



01 엘니뇨 남방진동

핵심 내용 미리보기

"동태평양의 표층 수온이 **평년보다 0.5 °C 이상 높은** 상태로 **수개월 이상 지속**되는 현상을 **엘니뇨**라고 한다."

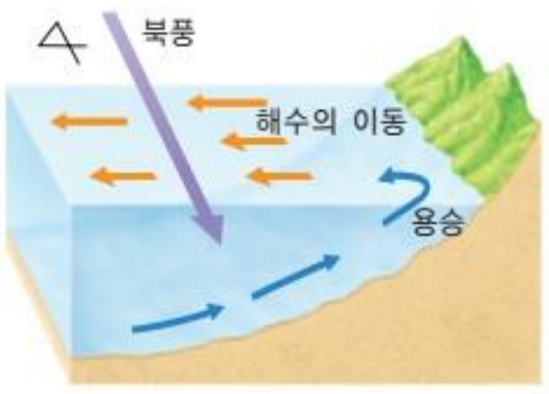
1 해수의 용승과 침강

대기와 해양은 맞닿아 있기 때문에 상호작용을 통해 서로 영향을 주고받으면서 끊임없이 대기와 해양의 환경이 변하게 된다. 해수의 용승과 침강, 엘니뇨 현상 등은 대기와 해양의 상호작용으로 나타나는 예이다.

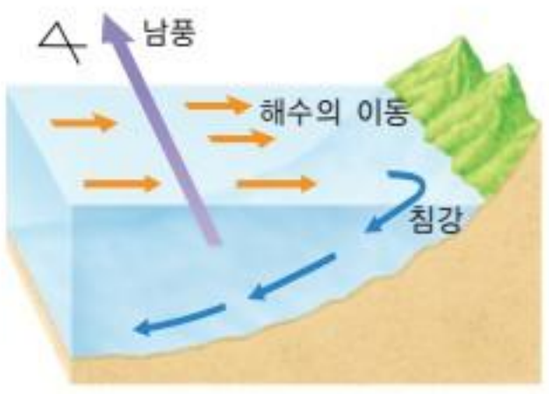
1. 용승과 침강

해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 지속적으로 불면 바람과의 마찰력에 의해 표층 해수가 이동하는데, 전향력의 영향으로 북반구에서는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 해수가 이동한다. 이러한 표층 해수의 수평 이동에 의해 특정 해역에서 해수가 빠져나가면 이를 채우기 위해 심층에서 해수가 올라오는데, 이를 용승이라고 한다. 반대로 특정 해역에 해수가 쌓이게 되면 표층의 해수가 심층으로 가라앉는데, 이를 침강이라고 한다.

(1) **연안 용승과 연안 침강:** 대륙의 연안에서 해안선을 따라 일정한 방향으로 바람이 지속적으로 불면 표층 해수가 먼바다 쪽으로 이동하여 용승이 일어나거나, 해안 쪽으로 이동하여 침강이 일어난다. 이를 각각 연안 용승, 연안 침강이라고 한다.

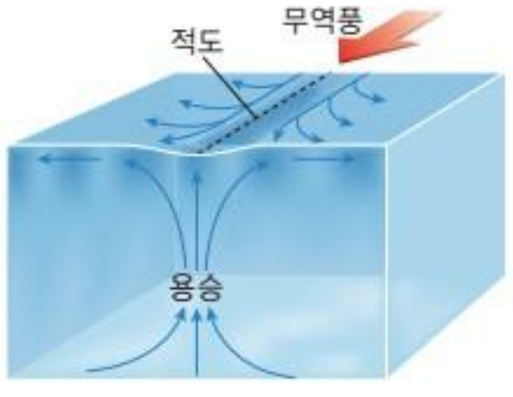


▲ **연안 용승(북반구)** 서해안(동해안)에서 지속적으로 북풍(남풍)이 불면 표층 해수는 먼바다로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 차가운 해수가 용승한다.



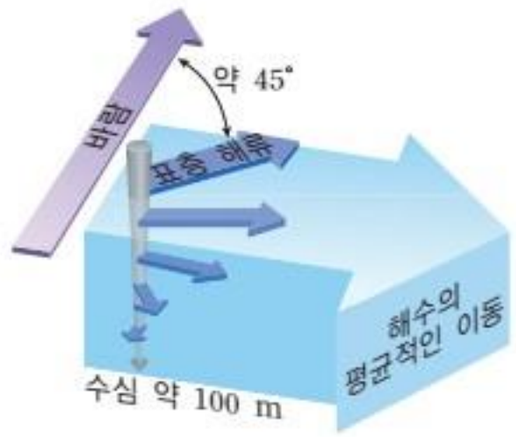
▲ **연안 침강(북반구)** 서해안(동해안)에서 지속적으로 남풍(북풍)이 불면 표층 해수는 먼바다에서 연안으로 이동하고, 연안에 쌓이는 해수는 심층으로 침강한다.

(2) **적도 용승:** 저위도 해역에서는 적도를 경계로 북동 무역풍과 남동 무역풍이 동에서 서로 부는데, 이 무역풍에 의해 북반구에서는 해수가 바람의 오른쪽 직각 방향으로 이동하고, 남반구에서는 해수가 바람의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다. 그 결과 적도 해역의 표층 해수가 발산하고, 이를 채우기 위해 심층 해수가 상승하는데, 이를 적도 용승이라고 한다.



▲ **적도 용승**

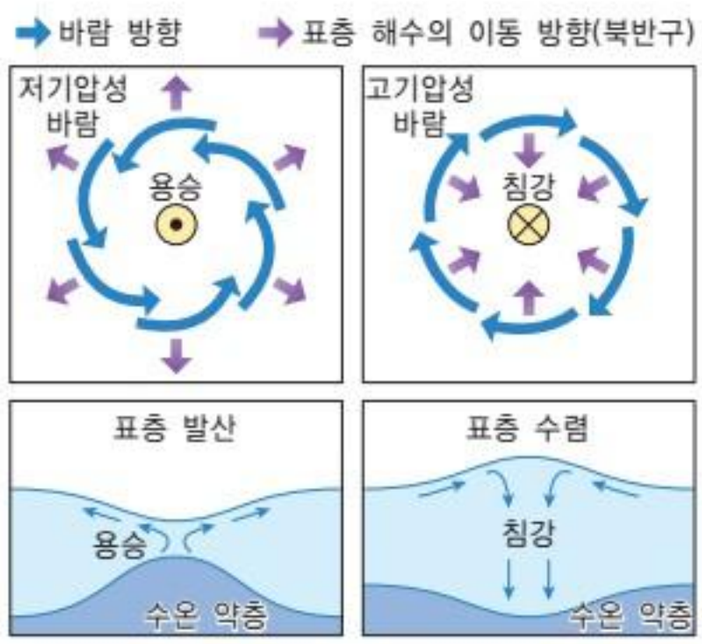
바람에 의한 표층 해수의 이동
해수면 위에 부는 바람으로 해수의 흐름이 발생하면 수심이 깊어짐에 따라 유속이 점점 감소하고, 전향력의 영향으로 해수의 이동 방향이 점차 오른쪽(북반구)으로 바뀌어 어느 수심에 이르러서는 표층 해수의 이동 방향과 반대 방향으로 해수가 흐른다. 이때의 수심을 마찰 저항 심도라고 하는데, 일반적으로 마찰 저항 심도는 수심 약 100 m ~200 m에 위치한다.



해수면에서 마찰 저항 심도까지의 해수의 평균적인 흐름은 북(남)반구에서 바람이 부는 방향의 오른(왼)쪽 직각 방향으로 나타나는데, 이러한 해수의 평균적인 흐름을 에크만 수송이라고 한다.

심화 **저기압에 의한 용승과 고기압에 의한 침강**

- 북반구에서 저기압(태풍) 부근에서는 시계 반대 방향으로 바람이 지속적으로 불고 있으므로, 바람의 오른쪽 직각 방향으로 해수가 이동하여 저기압 중심에서는 표층 해수가 발산한다. 그 결과 심해의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어난다.
- 북반구에서 고기압 부근에서는 시계 방향으로 바람이 지속적으로 불고 있으므로, 바람의 오른쪽 직각 방향으로 해수가 이동하여 고기압 중심에서는 표층 해수가 수렴한다. 그 결과 표층 해수가 가라앉는 침강이 일어나기도 한다.



▲ 저기압에 의한 용승 ▲ 고기압에 의한 침강

2. 용승 해역의 특징

(1) **전 세계 주요 용승 해역:** 캘리포니아 연안, 페루-칠레 연안, 아프리카 서해안에서는 연안 용승이 일어나고, 적도 부근의 해역에서는 적도 용승이 일어난다.



◀ 전 세계 주요 용승 해역

(2) **용승 해역의 특징**

① 연안 용승이 일어나는 해역은 영양염이 풍부한 심층 해수가 표층으로 올라와 식물성 플랑크톤이 잘 번식하므로 좋은 어장이 형성된다. 반면, 수온이 급격히 낮아져 양식장에 피해가 생기기도 한다.

② 연안 용승은 주변 지역의 날씨에 영향을 준다. 심층의 찬 해수가 올라오므로 주변 기온이 낮아지며, 기층이 안정되어 맑은 날씨가 유지된다. 따뜻한 공기가 유입될 경우에는 안개(해무)가 자주 발생하기도 한다.

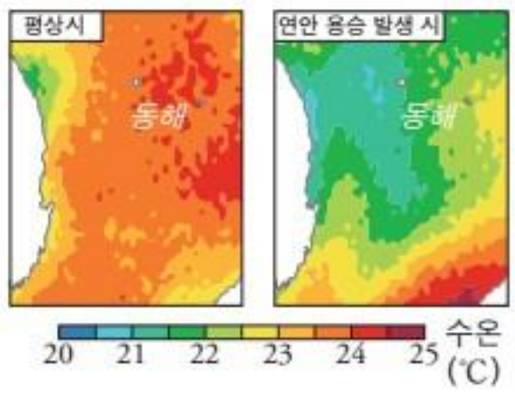
중요 개념 체크

정답과 해설 164쪽

1. 북반구에서 표층 해수는 지속적으로 부는 바람의 (　　)쪽 직각 방향으로 이동한다.
2. 용승에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.
   (1) 북반구의 서해안에 북풍 계열의 바람이 계속 불면 용승이 일어날 수 있다. - (　　)
   (2) 용승이 일어나는 해역에서는 표층 해수의 수온이 높아진다. ——— (　　)

우리나라의 용승 해역

우리나라 여름철에 동해 연안에서 남동 계절풍이 며칠 이상 계속 불면 연안 쪽 표층의 따뜻한 해수가 외해로 밀려가고 심층의 차가운 해수가 표층으로 올라오는 연안 용승이 일어난다. 그 결과 연안을 따라 냉수대가 나타나는데, 이러한 냉수대의 출현은 기장, 울산, 감포, 울진, 속초 연안 등에서 불규칙적으로 나타나며, 6월 말~8월 말 사이에 발생과 소멸을 반복한다.



영양염(류)

해양의 영양염은 질산염(NO_3^-), 암모늄(NH_4^+), 인산염(PO_3^{3-}) 등으로, 해양 생물의 생장과 번식에 필수적인 무기물이다. 이들은 해저 퇴적물의 분해와 해류의 순환으로 심층에서 표층으로 공급된다.

2 엘니뇨 남방진동

영국의 과학자 길버트 워커는 20세기 초에 남방진동을 발견하였다. 이는 이후 엘니뇨와 연관되어 중요한 기후 변동 연구의 기초를 마련하는 계기가 되었다.

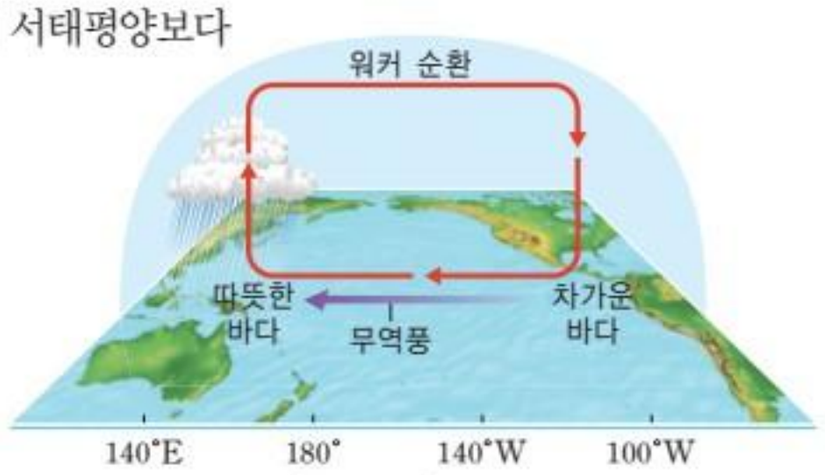
1. 남방진동(SO, Southern Oscillation)

남방진동은 동태평양과 서태평양 사이에서 3년~7년의 주기로 나타나는 기압 변동을 말한다. 호주의 다윈(Darwin)과 남태평양 한가운데 위치한 타히티(Tahiti)의 해면 기압이 서로 주기적으로 바뀌는데, 마치 진자가 진동하는 것처럼 보여 이를 남방진동이라고 부르게 되었다. 남방진동의 주기적인 기압 변동에 의해 해수의 온도 변화가 나타나며, 이는 강수량, 해류, 태풍 등에 영향을 주어 세계 곳곳의 날씨와 기후에 큰 영향을 미친다.

다윈과 타히티의 위치



(1) **평상시 열대 태평양에서의 대기 순환:** 열대 태평양 해역에는 무역풍의 영향으로 북적도 해류와 남적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐르고, 동태평양에서는 용승이 일어난다. 이에 따라 평상시 열대 태평양의 해수면 온도는 동태평양이 서태평양보다 낮다. 해수면의 온도 차이 때문에 서태평양에서는 상승 기류가 활발하여 저기압이 발달하고, 동태평양에서는 상공에서 수렴한 공기가 하강하여 지상에 고기압이 발달한다. 이러한 기압 배치로 인해 열대 태평양 상공에는 거대한 대기 순환이 형성되는데, 이를 워커 순환이라고 한다. 워커 순환에 따라 평상시에 서태평양 지역은 강수량이 많고, 동태평양 지역은 건조한 날씨가 이어진다.

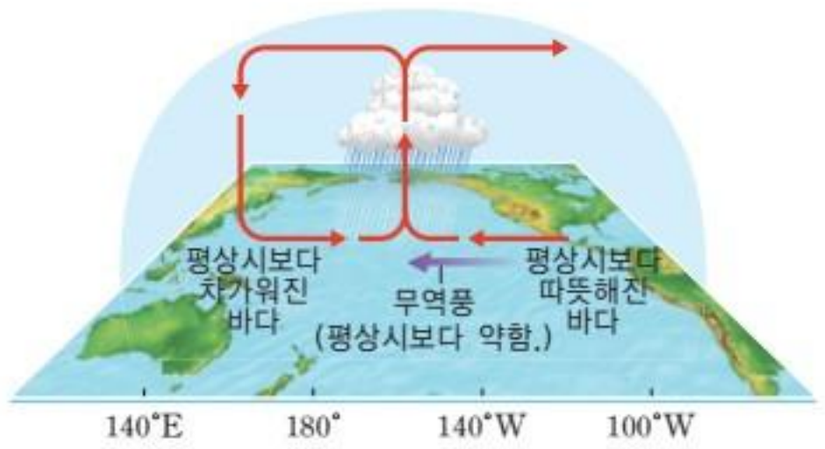


▲ **평상시의 대기 순환(워커 순환)**

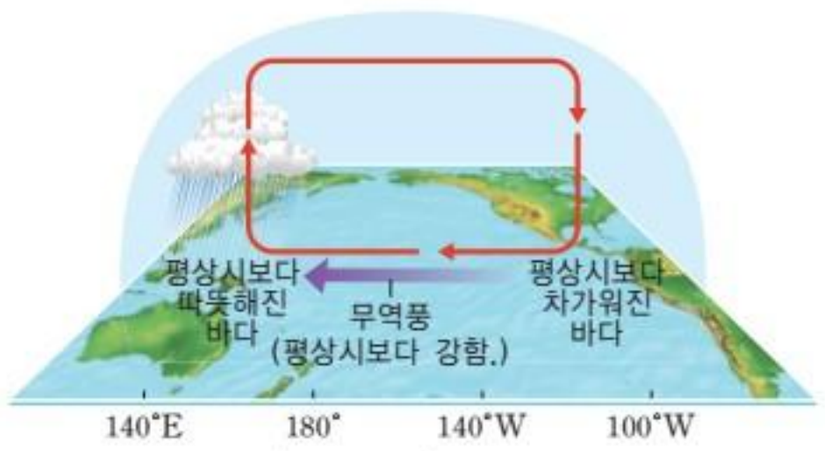
(2) **남방진동의 발생:** 아직 정확한 원인이 밝혀지지 않았지만, 열대 태평양에서 기압 배치가 '평상시 → ① → 평상시 → ② → 평상시'의 순서로 반복되는 현상이 나타난다.

① 타히티의 해면 기압 하강, 다윈의 해면 기압 상승: 평상시와 다르게 타히티 주변에서는 상승 기류가 나타나고, 다윈 주변에서는 하강 기류가 나타난다. 이에 따라 워커 순환에서 상승 기류가 발생하는 구역이 평상시보다 동태평양 쪽으로 이동한다. 그 결과 무역풍이 평소보다 약해지며, 동태평양 지역은 평상시보다 강수량이 증가하고, 서태평양 지역은 고기압의 영향으로 평상시보다 건조하여 가뭄이 발생한다.

② 타히티의 해면 기압 상승, 다윈의 해면 기압 하강: 타히티 주변에서는 평상시보다 기압이 높아져 하강 기류가 강하게 나타나고, 다윈 주변에서는 평상시보다 기압이 낮아져 상승 기류가 강하게 나타난다. 이에 따라 무역풍이 평소보다 강해지고 페루 연안의 용승이 활발해진다. 그 결과 서태평양 지역은 평상시보다 강수량이 증가하고, 동태평양 지역은 평상시보다 고기압이 강하게 발달하므로 맑은 날씨와 가뭄이 지속된다.



▲ **워커 순환의 약화(엘니뇨 시기)**

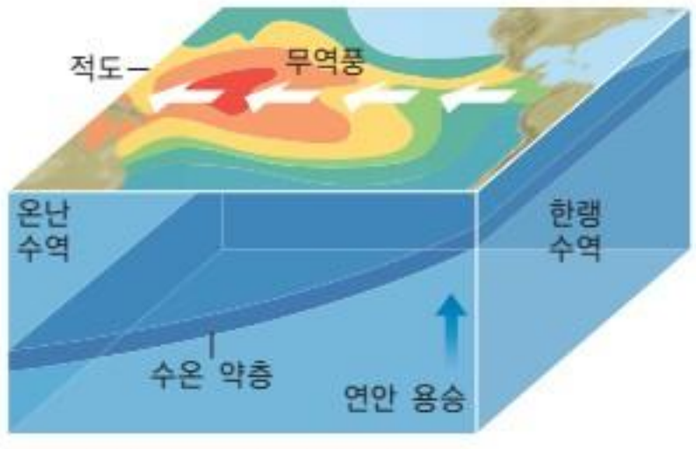


▲ **워커 순환의 강화(라니냐 시기)**

2. 엘니뇨와 라니냐

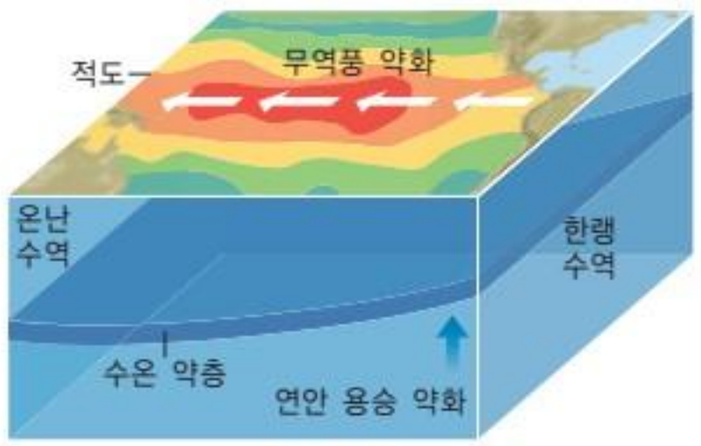
대기와 해양은 상호작용하여 대기 순환의 변화가 해양 순환의 변화를, 해양 순환의 변화가 대기 순환의 변화를 일으키는데, 대표적인 예가 엘니뇨와 라니냐이다.

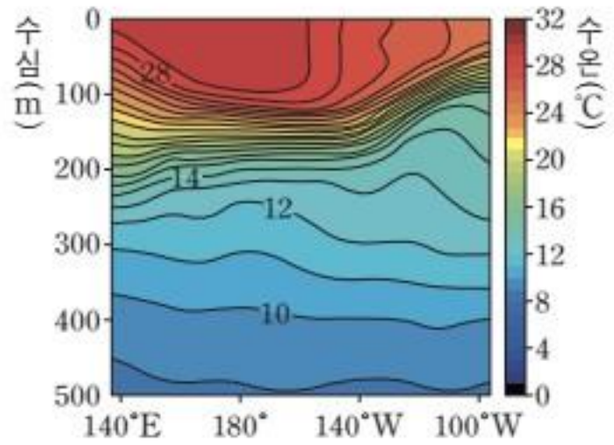
(1) **평상시:** 열대 태평양에서는 동쪽에서 서쪽으로 지속적으로 부는 무역풍에 의해 따뜻한 표층 해수가 서쪽으로 이동하여 페루 연안에서는 용승이 일어난다. 그 결과 열대 태평양의 동쪽은 서쪽보다 수온이 낮고, 따뜻한 해수층의 두께는 동쪽보다 서쪽이 두꺼워진다. 용승하는 차가운 해수는 영양염이 풍부하므로, 동태평양에 위치한 페루 연안에는 좋은 어장이 형성된다.



▲ 평상시의 열대 태평양 해양 구조

(2) **엘니뇨의 발생:** 평상시보다 워커 순환이 약해져서 무역풍이 약하게 불면 페루 연안의 용승이 약해지므로, 적도 부근 동태평양 해역에서 따뜻한 해수층이 두꺼워지고 해수면의 온도가 높아진다. 이때 열대 태평양의 남아메리카 연안부터 열대 태평양 중앙부에 이르는 해역까지의 해수면 온도가 평상시보다 0.5 ℃ 이상 높아진 상태가 5개월 이상 지속되는 대규모의 이상 수온 상승 현상이 나타나는데, 이를 엘니뇨(El Niño)라고 한다. 엘니뇨 시기에는 적도 부근 동태평양에서 용승이 약해지고, 따뜻한 표층 해수가 동태평양까지 이동하므로 수온 약층의 경사가 완만해진다.

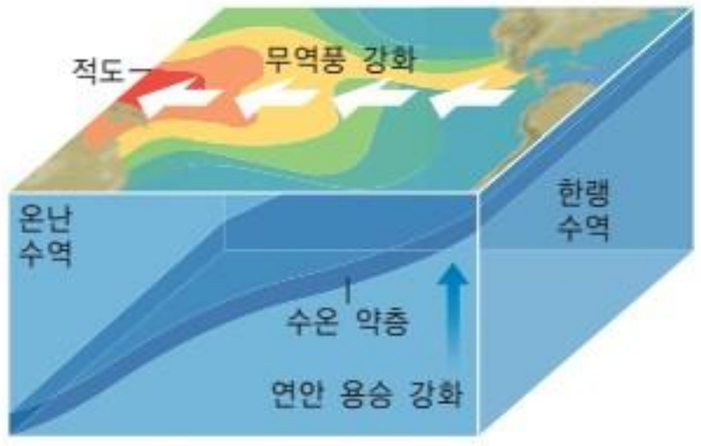


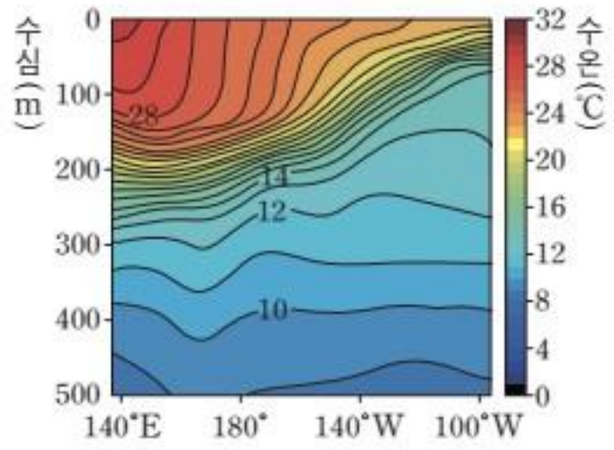


▲ 엘니뇨 발생 시 열대 태평양의 해양 구조와 연직 수온 분포

엘니뇨와 해수면의 높이 변화
엘니뇨가 발생하면 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 높아지므로 해수의 열팽창에 의해 해수면의 높이가 높아진다.

(3) **라니냐의 발생:** 평상시보다 워커 순환이 강해져서 무역풍이 강하게 불면 페루 연안의 용승이 강해지므로, 적도 부근 동태평양 해역에서 따뜻한 해수층이 얇아지고 해수면의 온도가 낮아진다. 이때 열대 태평양의 남아메리카 연안부터 열대 태평양 중앙부에 이르는 해역까지의 해수면 온도가 평상시보다 0.5 ℃ 이상 낮아진 상태가 5개월 이상 지속되는 대규모의 이상 수온 하강 현상이 나타나는데, 이를 라니냐(La Niña)라고 한다. 라니냐 시기에는 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 낮아지므로 수온 약층의 경사가 급해진다.





▲ 라니냐 발생 시 열대 태평양의 해양 구조와 연직 수온 분포

엘니뇨와 라니냐의 어원
엘니뇨(El Niño)와 라니냐(La Niña)의 어원은 스페인어에서 유래한 것이다. 엘니뇨는 '남자아이' 또는 '소년'을 뜻하며, 아기 예수를 의미하기도 하는데, 남아메리카 연안의 어부들이 성탄절 무렵에 따뜻한 해류가 나타나는 현상을 '아기 예수의 흐름'이라 부른 데서 비롯되었다. 라니냐는 '여자아이'를 뜻하며, 엘니뇨와 반대되는 현상을 표현하기 위해 붙여진 이름이다.

3. 엘니뇨 남방진동(ENSO)

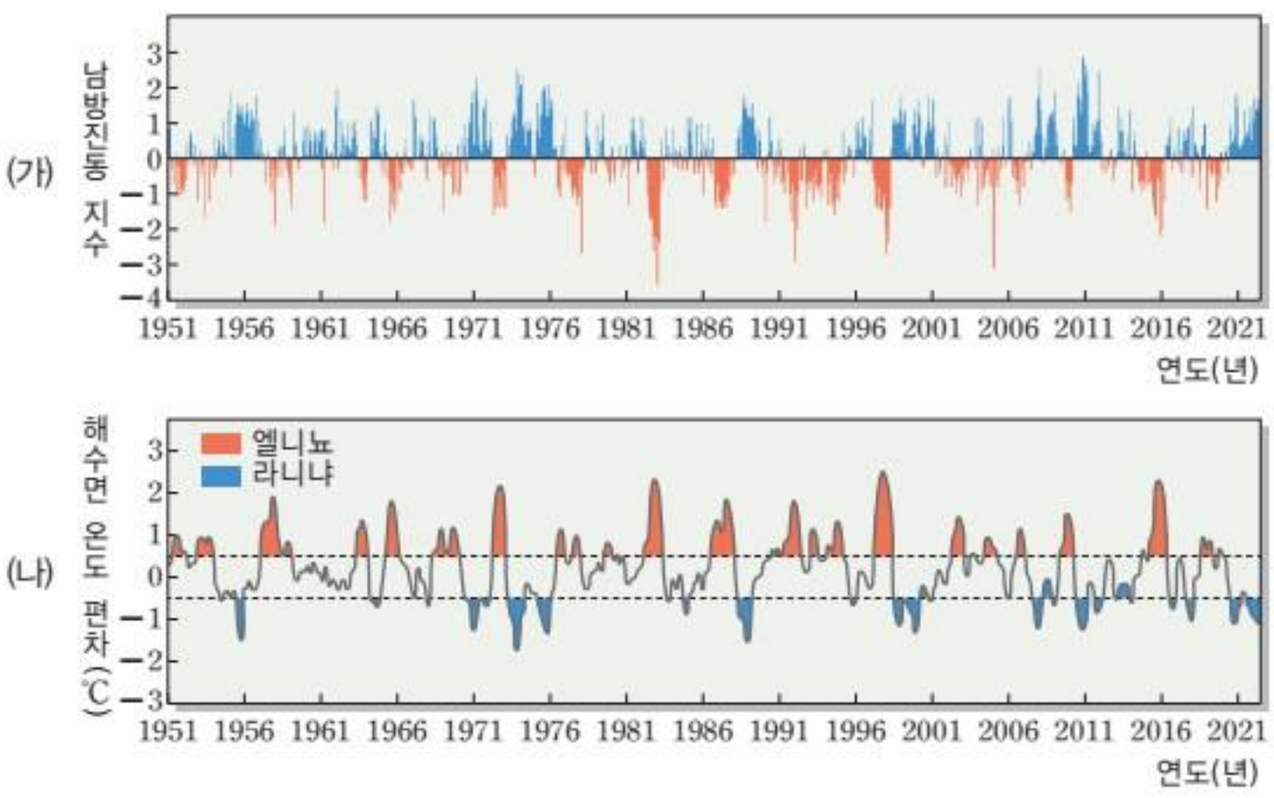
심화 강의 102쪽

엘니뇨와 라니냐는 열대 태평양 해수면의 온도 변화 현상이고, 남방진동은 대기의 기압 분포 변화이다. 그런데 엘니뇨와 라니냐, 남방진동은 대기와 해양의 상호작용으로 함께 일어나는 현상임이 밝혀져, 이를 합쳐서 엘니뇨 남방진동(El Niño and Southern Oscillation) 또는 엔소(ENSO)라고 한다.

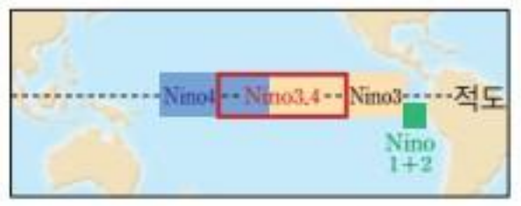
(1) **남방진동 지수(SOI, Southern Oscillation Index):** 남방진동 지수는 남방진동의 세기를 나타내는 척도로, 동태평양 타히티와 서태평양 다윈의 월평균 해면 기압의 차이로 나타낸다. 엘니뇨 시기에는 남방진동 지수가 음수(−)이며, 이때는 기압의 동서 차이가 작은 경우로 타히티가 저기압이고, 다윈이 고기압이 된다. 반대로 라니냐 시기에는 남방진동 지수가 양수(+)이며, 이때는 기압의 동서 차이가 큰 경우로 타히티가 고기압이고, 다윈이 저기압이 된다.

분석 남방진동 지수와 엘니뇨, 라니냐

그림 (가)는 1951년부터 2022년까지의 남방진동 지수를 나타낸 것이고, (나)는 같은 기간 동안 엘니뇨 감시 구역(Nino3.4)에서 측정한 해수면 온도 편차를 나타낸 것이다. 그림에서 빨간색 부분이 엘니뇨 발생 시기이고, 파란색 부분이 라니냐 발생 시기로, 엘니뇨 발생 시기일 때 남방진동 지수는 음수(−), 라니냐 발생 시기일 때 남방진동 지수는 양수(+)로 나타남을 알 수 있다.



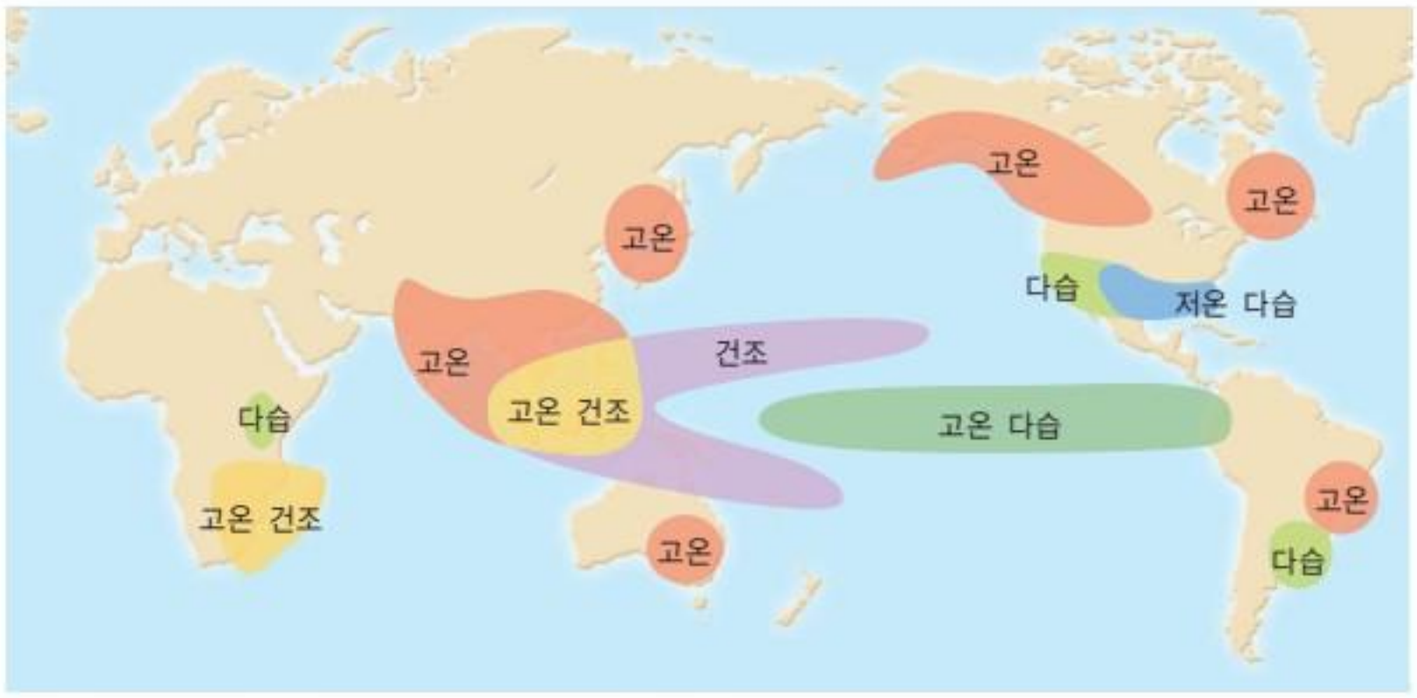
엘니뇨·라니냐 감시 구역



엘니뇨 감시 구역은 엘니뇨·라니냐 현상을 관찰하는 열대 태평양의 특정 해역으로, Nino1+2(남아메리카 인근), Nino3(동태평양), Nino3.4(중앙 태평양, 5°S~5°N, 170°W~120°W), Nino4(서태평양) 구역이 있다. 그중 Nino3.4 구역은 엘니뇨와 라니냐를 정의하는 핵심 구역으로, 이곳의 해수면 온도가 평년보다 ±0.5 ℃ 이상 변하면 해당 현상이 발생한 것으로 본다.

(2) **엘니뇨 남방진동의 영향**

① 엘니뇨 시기: 엘니뇨 시기에 서태평양에서는 평상시보다 기압이 높아져서 건조한 날씨가 이어지므로 인도네시아, 필리핀, 오스트레일리아 북부 등에서는 가뭄이 심해진다. 동태평양에서는 평상시보다 기압이 낮아져서 강수량이 증가하므로 중앙 아메리카, 남아메리카 북서부 등에서는 홍수가 자주 발생한다. 또, 페루 연안에서는 용승이 약해지고 좋은 어장이 파괴되어 어업에 피해가 발생한다. 엘니뇨가 강하게 발달하는 겨울철에는 북아메리카 북서부, 동남아시아, 아프리카 남동부 등에서 이상 고온 현상이 나타나기도 한다.



▲ 엘니뇨 시기의 겨울철에 나타나는 전 지구 기후 변화

② 라니냐 시기: 라니냐 시기에 서태평양에서는 평상시보다 기압이 더 낮아져서 강수량이 증가하므로, 인도네시아 부근에서 홍수가 자주 발생한다. 동태평양에서는 평상시보다 기압이 더 높아져서 건조한 날씨가 지속되므로 남아메리카 북서부 지역에서는 가뭄이 나타난다. 라니냐가 강하게 발달하는 겨울철에는 북아메리카 대륙의 북부 지역에 이상 저온 현상이 나타나기도 한다.



▲ 라니냐 시기의 겨울철에 나타나는 전 지구 기후 변화

③ 엘니뇨 남방진동이 우리나라에 미치는 영향: 엘니뇨가 강하게 발달하는 해의 11월과 12월에 우리나라에서는 대체로 강수량이 증가하고 기온이 상승하는 경향을 보인다. 반대로 라니냐가 강하게 발달하는 해의 11월과 12월에는 강수량이 감소하고 기온이 하강하는 경향을 보인다.

엘니뇨 남방진동이 지구의 평균 기온에 미치는 영향

엘니뇨는 단기적으로 지구의 기온을 높이고, 라니냐는 지구의 기온을 낮추는 역할을 한다. 그런데 엘니뇨 시기에는 따뜻한 표층 해수가 더 멀리 퍼지므로, 엘니뇨에 의한 기온 상승 효과가 라니냐에 의한 기온 하강 효과보다 더 크게 나타난다. 또한, 엘니뇨와 라니냐 간의 발생 빈도에 따라 지구의 기온 상승률이 달라질 수 있는데, 지난 수십 년간 엘니뇨의 발생 횟수는 증가하였고, 라니냐의 발생 횟수는 감소하는 경향을 띠고 있다.

중요 개념 체크

정답과 해설 164쪽

1. 동태평양과 서태평양 간의 기압 변화가 시소와 같이 진동하는 형태로 나타나는 현상을 ( )이라고 한다.
2. 적도 부근 동태평양 해역의 해수면 온도가 평상시보다 0.5 ℃ 이상 높아진 상태로 5개월 이상 지속되는 대규모의 이상 수온 상승 현상을 ( )라고 한다.

TOP 심화 강의

북극진동은 지구의 기후 변화에 어떤 영향을 미칠까?

1 북극진동(Arctic Oscillation)

북극진동은 북극 부근에 발달한 찬 공기의 소용돌이가 일정한 주기로 강약을 되풀이하는 현상으로, 적도 태평양 부근에서 일어나는 대기의 시소 현상을 남방진동이라고 부르듯이, 북극 부근에서 일어나는 대기의 시소 현상을 북극진동이라고 한다. 북극진동의 주기는 짧게는 수십 일에서부터 길게는 수십 년 정도로 상당히 불규칙하다.

중위도와 극지방의 해면 기압 차이를 지수화한 것을 북극진동 지수(AOI, Arctic Oscillation Index)라고 한다. 중위도와 극지방의 기압 차이가 커서 북극진동이 강하면 양수(+)로 표시하고, 중위도와 극지방의 기압 차이가 작아서 북극진동이 약하면 음수(−)로 표시한다.

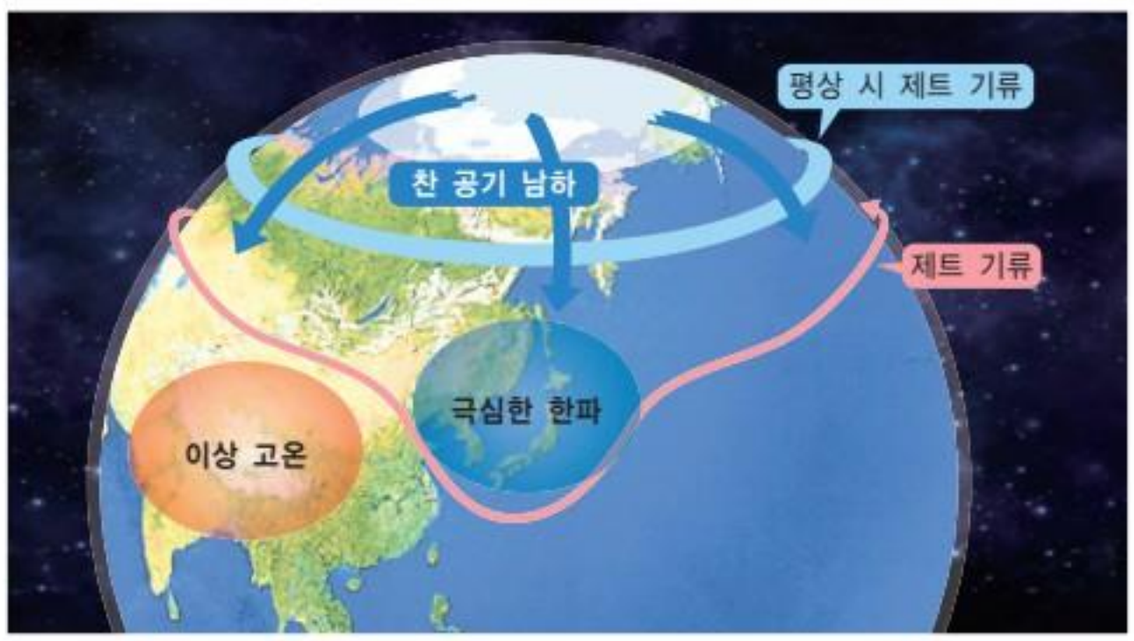
북극진동 지수

북극진동 지수는 (중위도 지방의 평균 해면 기압−극지방의 평균 해면 기압)으로 계산하며, '0'을 기준으로 −5~+5 사이의 값으로 표현된다.

- (+)일 경우: 북극의 기온이 낮아서 북극 지방의 기압은 하강하고, 중위도 지방의 기압은 상승한다.
- (−)일 경우: 북극의 기온이 높아서 북극 지방의 기압은 상승하고, 중위도 지방의 기압은 하강한다.

2 북극진동과 기후 변화

북극 지방은 입사하는 태양 복사 에너지량이 적어서 대기가 냉각되어 수축하고, 중위도 지방은 대기가 상대적으로 따뜻하여 팽창한다. 이에 따라 팽창하는 중위도 지방의 대기가 극지방의 대기를 밀어내 북극을 중심으로 고리 모양의 편서풍 제트 기류가 만들어진다. 이러한 제트 기류의 세기는 주기적으로 달라지는데, 강해질 때는 양(+)의 북극진동, 약해질 때는 음(−)의 북극진동이 나타난다. 북극진동이 양(+)일 때는 제트 기류가 강하므로 극지방으로부터 차가운 공기가 중위도 지방으로 내려오는 것을 막게 된다. 반대로 북극진동이 음(−)일 때는 제트 기류가 약화되면서 차가운 북극 공기가 남쪽으로 쉽게 유입돼 중위도 지방에 한파를 일으킨다. 2021년 초에 북극진동 지수가 −4.0을 초과하면서 서울은 35년만에 기온이 약 −18 ℃까지 낮아져 강추위가 나타났다.



최근 들어 북극권의 기후 변화가 매우 가속화되고 있다. 북극권의 기온 상승은 전 지구 기온 상승의 2배~3배 이상이고, 이에 따라 북극해를 덮고 있는 빙하 면적이 눈에 띄게 감소하였다. 우리나라의 전국 평균 한파 일수는 3.7일 정도인데, 최고로 많이 발생했던 2010년의 8.2일, 2012년의 8.0일, 2017년의 6.7일 등 역대 1, 2, 3위가 최근 10년 안에 발생했다. 우리나라의 겨울철 기온은 전반적으로 상승하고 있는데, 한파 발생 일수는 줄지 않고 오히려 최근 들어 증가하는 것처럼 보인다. 이는 여러 복합적인 원인이 있겠지만 북극권의 온난화가 주요한 원인으로 지목되고 있다.

정답과 해설 164쪽

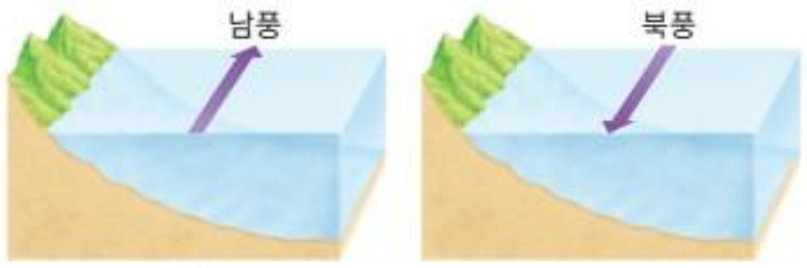
개념 기본 문제

01 해양에서 나타나는 용승에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 심층의 해수가 표층으로 올라오는 현상이다.
ㄴ. 용승의 주된 원인은 해수의 밀도 변화이다.
ㄷ. 용승이 일어나면 표층 해수의 수온이 낮아진다.
ㄹ. 용승 해역은 해양 환경의 급격한 변화에 의해 어장이 황폐해진다.

02 그림 (가)와 (나)는 우리나라 동해안에서 남풍과 북풍이 불 때의 모습을 나타낸 것이다.



(가) (나)

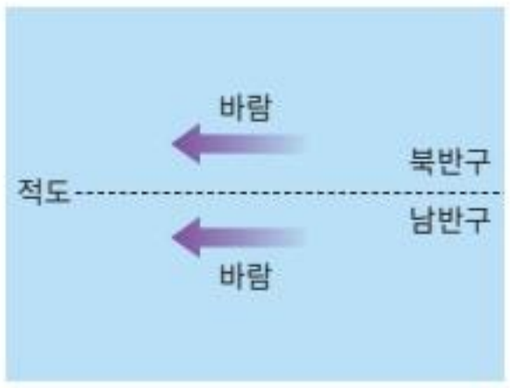
(1) (가)와 (나) 중 동해안에서 용승이 일어날 때와 침강이 일어날 때는 각각 언제인지 순서대로 기호를 쓰시오.

(2) (가)일 때 연안에서 나타나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 표층 해수의 수온이 높아진다.
ㄴ. 표층 해수는 연안에서 먼바다로 이동한다.
ㄷ. 표층 해수에 영양염과 플랑크톤이 감소한다.

03 그림은 저위도 해역에서 대기 대순환에 의해 지속적으로 부는 바람을 나타낸 것이다.

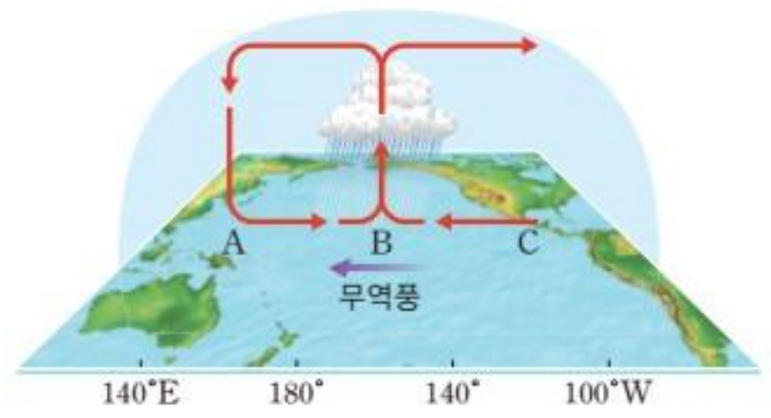


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 적도 부근의 저위도 지방에 부는 바람은 무역풍이다.
ㄴ. 표층 해수가 적도를 기준으로 반대 방향으로 이동한다.
ㄷ. 적도 부근에서는 표층 해수의 침강 현상이 일어난다.

04 그림은 어느 시기에 열대 태평양에서의 대기 순환을 나타낸 것이다.

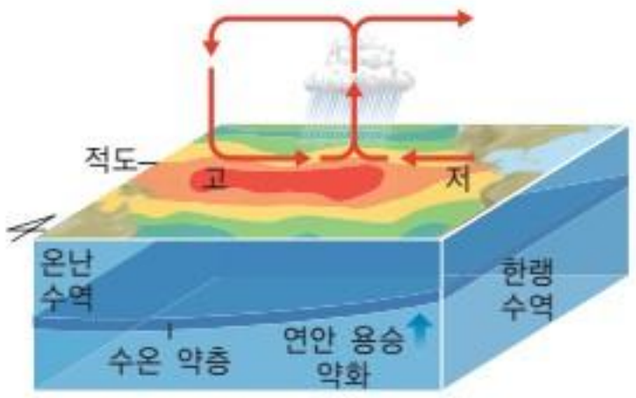


이 시기에 나타날 수 있는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 이 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 강해진다.
ㄴ. A~C 해역 중 기압이 가장 낮게 나타나는 곳은 B이다.
ㄷ. C 해역에서 표층 해수의 수온은 평상시보다 낮아진다.

05 그림은 어느 시기에 태평양 적도 부근에서의 대기 순환 및 수온 분포를 나타낸 모식도이다.

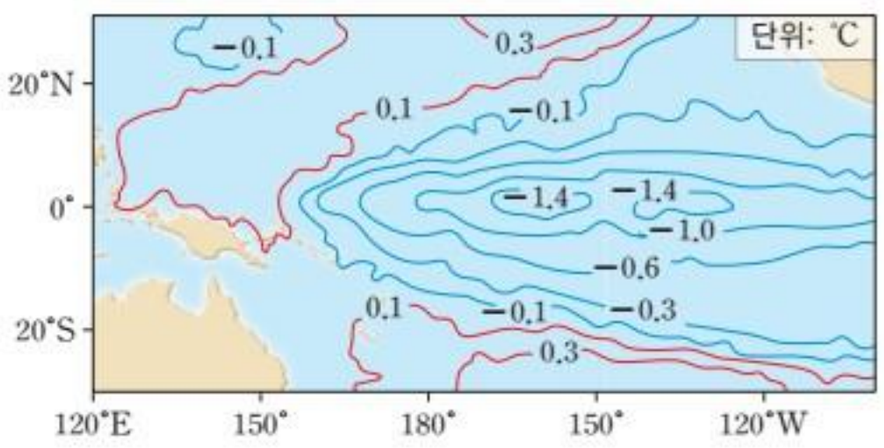


평상시와 비교했을 때, 이 시기에 동태평양 해역에서 나타나는 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 표층 해수의 수온이 높아진다.
ㄴ. 수온 약층이 시작되는 깊이가 얕아진다.
ㄷ. 강수량이 증가한다.

06 그림은 태평양 적도 부근 해역의 표층 수온 편차를 나타낸 것이다. 편차는 (관측값−평균값)이다.

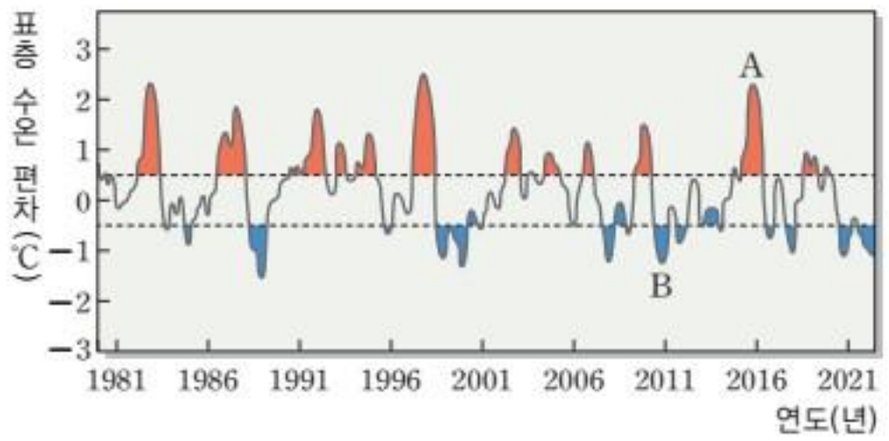


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

ㄱ. 이 시기에는 엘니뇨가 나타날 확률이 높다.
ㄴ. 동태평양은 평상시보다 표층 해수의 수온이 높았다.
ㄷ. 이 시기에는 평상시보다 무역풍이 강해졌다.

07 그림은 적도 부근 동태평양에서의 표층 수온 편차를 나타낸 것이다.



(1) A와 B 중 엘니뇨 발생 시기는 언제인지 쓰시오.

(2) A와 B 중 남방진동 지수가 양수(+)일 때는 언제인지 쓰시오.

08 다음은 어느 시기의 겨울철에 나타나는 전 지구 기후 변화에 대한 설명이다.



이 시기는 ㉠(엘니뇨, 라니냐)가 발생했을 때로, 강수량에 변화가 생겨 오스트레일리아 및 인도네시아에서는 ㉡(가뭄, 홍수)이/가 지속되며, 동태평양에서는 ㉢(가뭄, 홍수)이/가 발생하기도 한다.

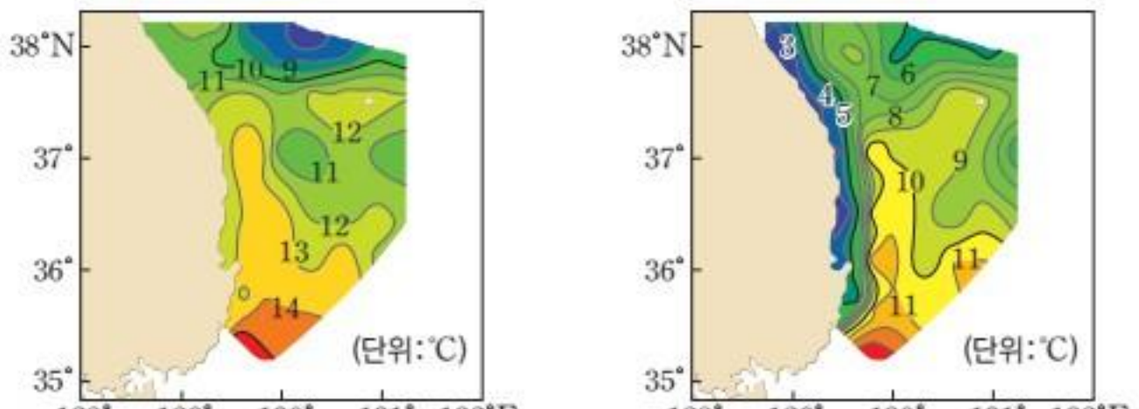
㉠~㉢에 알맞은 말을 각각 고르시오.

정답과 해설 165쪽

개념 적용 문제

➤ 용승과 침강

01 그림 (가)와 (나)는 동해에서 일주일 간격으로 측정한 표층 수온 분포를 나타낸 것이다.



(가) 일주일 전 (나) 일주일 후

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가) → (나)와 같은 현상은 주로 겨울철에 나타난다.
ㄴ. (나) 시기에는 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불었다.
ㄷ. 일주일 후 연안의 수온이 낮아진 주된 까닭은 차가워진 육지의 영향 때문이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 용승은 심해의 차가운 해수가 상승하는 현상으로, 용승이 일어나면 표층 수온이 낮아진다.

➤ 용승 해역의 특징

02 그림은 전 세계 주요 용승 해역을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

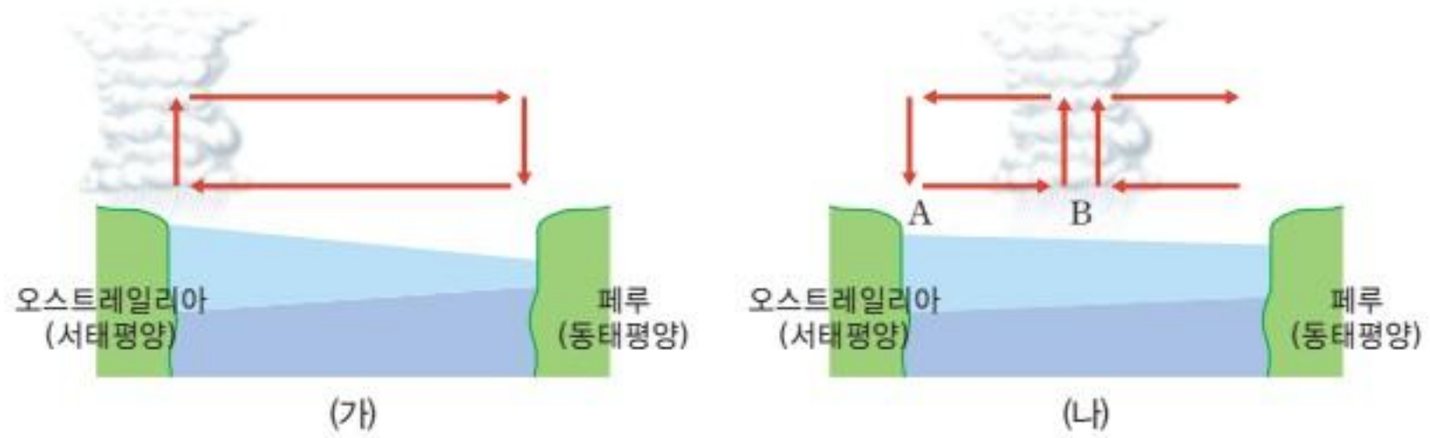
ㄱ. 적도 용승은 무역풍의 영향으로 발생한다.
ㄴ. 캘리포니아 연안에서는 남풍이 지속적으로 불 때 용승이 발생한다.
ㄷ. 연안 용승이 대륙의 동안보다 서안에서 많이 발생하는 까닭은 동안과 서안에서 부는 바람의 방향이 반대이기 때문이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 해수면 위에서 바람이 한 방향으로 지속적으로 불면, 북반구에서는 바람의 방향에 대하여 오른쪽 직각 방향으로 해수가 이동하고, 남반구에서는 바람의 방향에 대하여 왼쪽 직각 방향으로 해수가 이동한다.

➤ 남방진동

03 그림 (가)는 평상시에 태평양 적도 부근에서의 대기 순환을, (나)는 엘니뇨 또는 라니냐가 발생했을 때 태평양 적도 부근에서의 대기 순환을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기압 편차는 (관측값−평년값)이다.)

보기

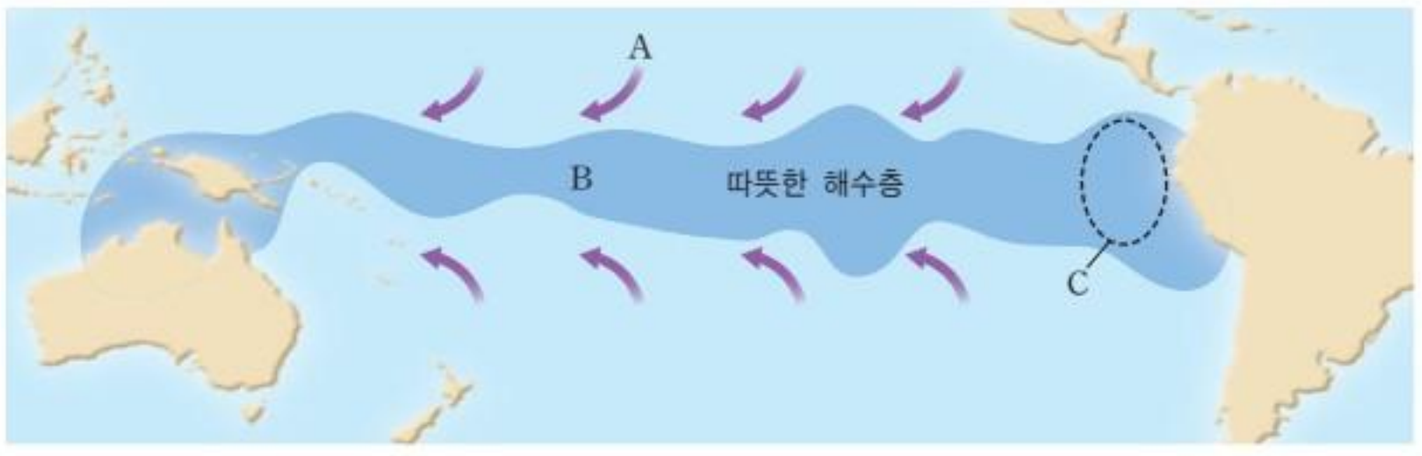
ㄱ. (나)는 엘니뇨가 발생했을 때이다.
ㄴ. (나)에서 기압 편차는 A에서 (−), B에서 (+)로 나타난다.
ㄷ. 남방진동은 (가)와 (나)가 교대로 나타나는 현상이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 평상시에는 적도 부근 서태평양에 상승 기류가 발달하고, 동태평양에 하강 기류가 발달한다. 엘니뇨 시기에는 적도 부근 서태평양에 하강 기류가 발달하고, 동태평양에 상승 기류가 발달하여 대기 순환의 형태가 달라진다.

➤ 엘니뇨와 라니냐

04 그림은 열대 태평양에서 엘니뇨가 발생하는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 무역풍으로, 평상시보다 강하게 분다.
ㄴ. B의 따뜻한 해수층은 평상시보다 동쪽으로 확장된다.
ㄷ. C에서는 용승 현상이 약화되고 표층 수온이 상승한다.

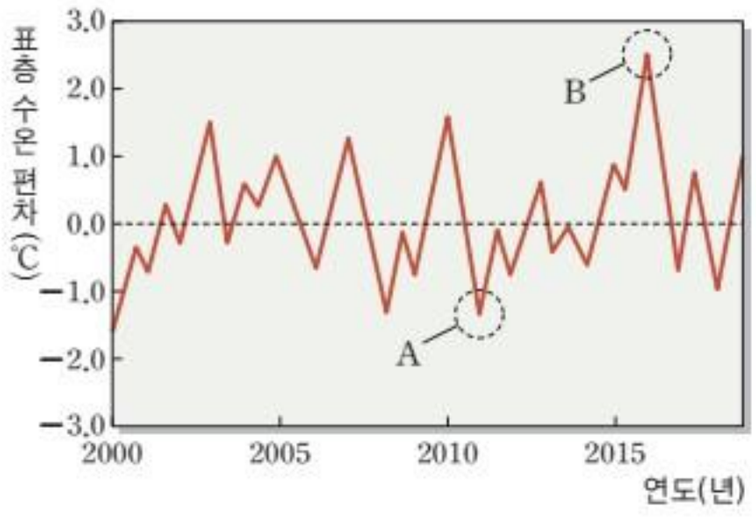
① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 엘니뇨는 평상시보다 무역풍의 세기가 약해지면서 발생한다.

➤ 엘니뇨와 라니냐

05 그림은 적도 부근 동태평양 해역의 표층 수온 편차(관측값−평균값)를 나타낸 것이고, A와 B는 엘니뇨와 라니냐 시기 중 하나이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



엘니뇨 시기에는 적도 부근 동태평양에서 용승이 약화되어 표층 수온이 높아지고, 열팽창에 의해 해수면의 높이가 상승한다.

보기

ㄱ. A는 라니냐, B는 엘니뇨가 발생했을 때이다.

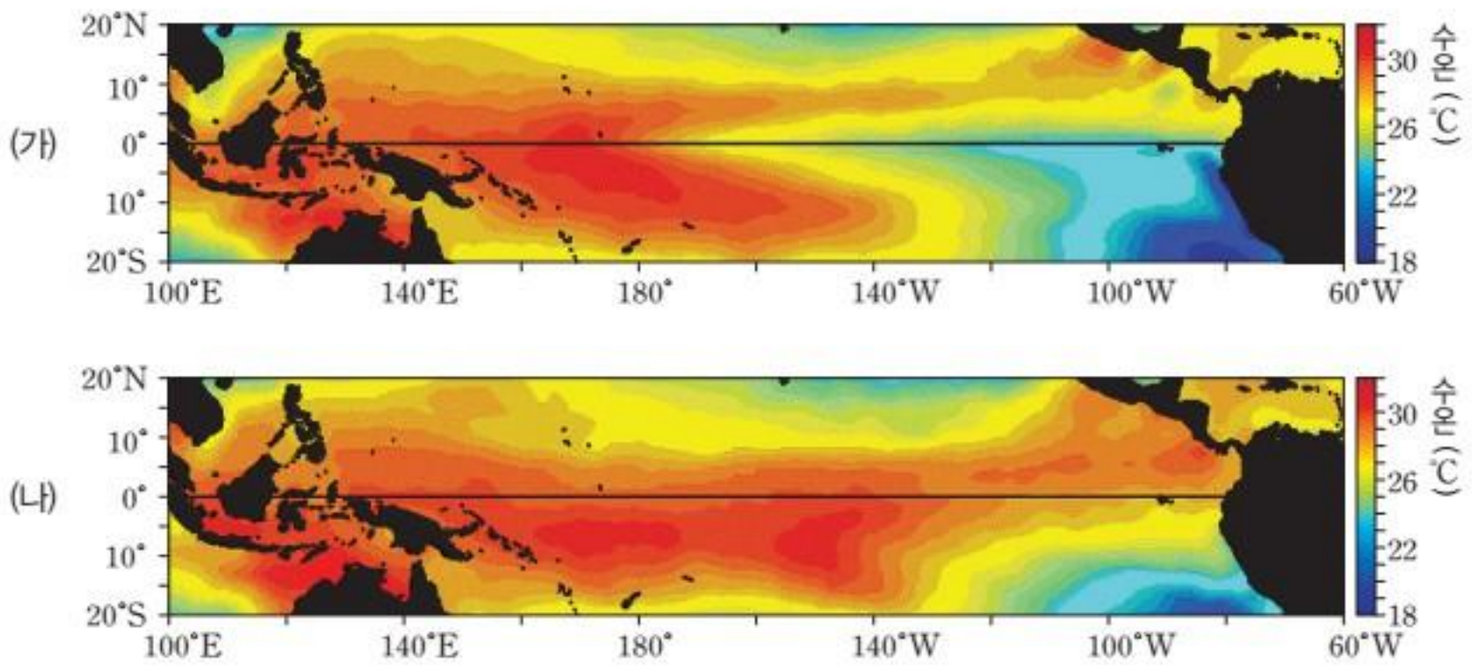
ㄴ. 무역풍은 A 시기보다 B 시기에 더 강하게 불었다.

ㄷ. 관측 해역의 해수면 높이는 A보다 B 시기에 더 높았다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 엘니뇨와 라니냐

06 그림 (가)와 (나)는 각각 평상시와 엘니뇨 발생 시 열대 태평양의 표층 수온 분포를 나타낸 것이다.



엘니뇨 시기에는 열대 서태평양의 따뜻한 표층 해수가 동태평양 쪽으로 이동하고, 동태평양에서 온난 수역의 두께가 두꺼워진다.

(가)에서 (나)로 바뀌었을 때 동태평양 적도 부근에서 나타나는 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 용승이 활발해진다.

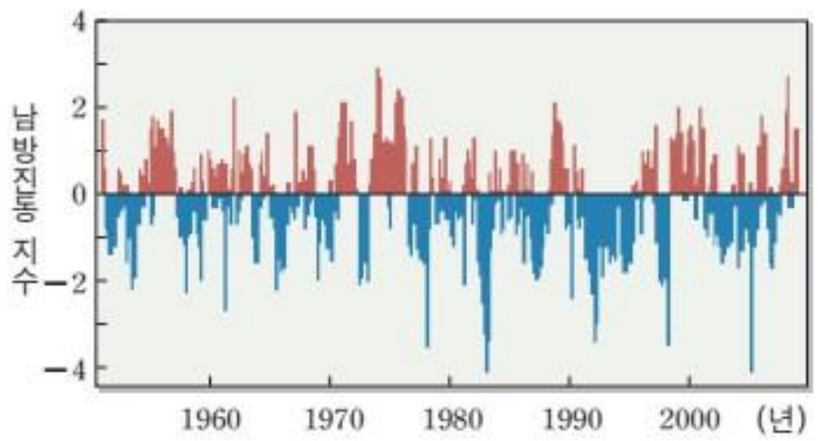
ㄴ. 강수량이 증가한다.

ㄷ. 수온 약층이 나타나는 깊이가 깊어진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 엘니뇨 남방진동

07 그림 (가)는 과거 약 60년 동안 적도 부근 해역에서 관측한 남방진동 지수의 변화를, (나)는 다윈과 타히티의 위치를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

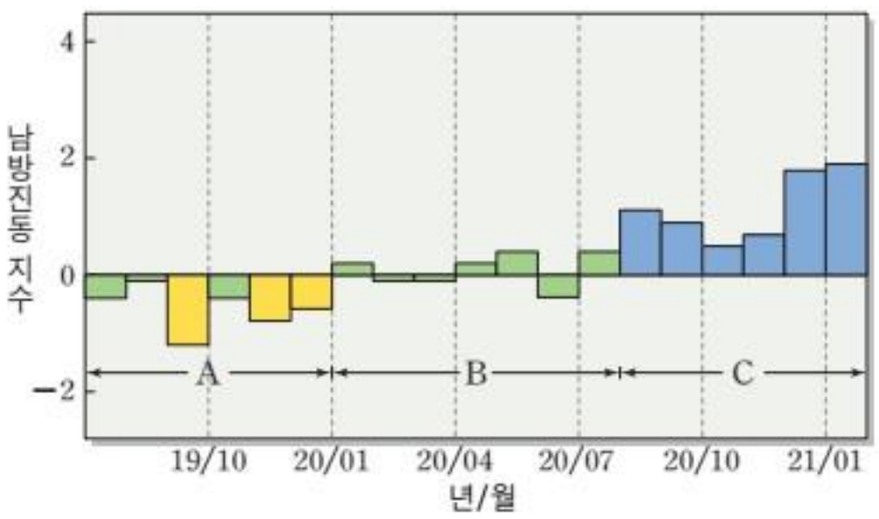
ㄱ. 남방진동은 적도 해역의 기압 배치가 주기적으로 변하는 현상이다.
ㄴ. 남방진동 지수는 엘니뇨 발생 시 (+), 라니냐 발생 시 (−)의 값으로 나타난다.
ㄷ. 엘니뇨 발생 시 타히티 일대는 표층 수온이 높아지고 저기압이 형성된다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▷ 남방진동 지수는 타히티의 해면 기압에서 다윈의 해면 기압을 뺀 값이다.

➤ 엘니뇨 남방진동

08 그림은 2019년부터 2021년 초까지 남방진동 지수의 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 편차는 (각 시기의 관측값 평균)−(A~C 전체 시기의 평균값)이다.)

보기

ㄱ. A 시기에는 엘니뇨, C 시기에는 라니냐가 나타났다.
ㄴ. 동태평양 적도 부근에서 기압 편차는 A 시기에 (+), C 시기에 (−)로 나타난다.
ㄷ. 동태평양 적도 부근에서 해수면의 높이 편차는 A 시기에 (+), C 시기에 (−)로 나타난다.

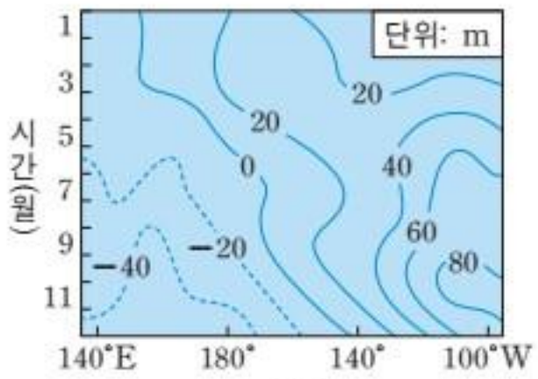
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▷ 엘니뇨 시기에는 적도 부근 동태평양의 기압이 평년보다 하강하고 서태평양의 기압이 평년보다 상승한다.

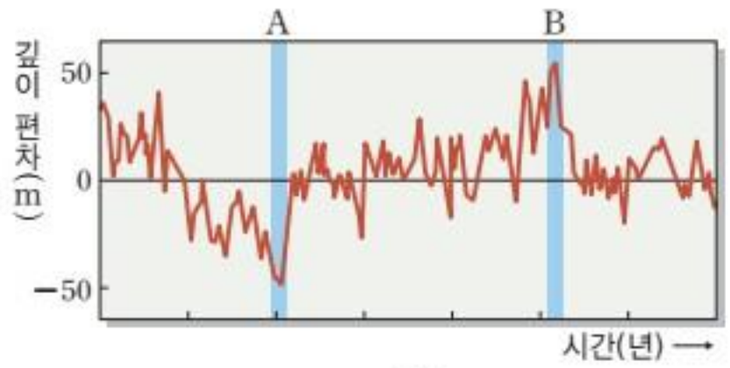
정답과 해설 165쪽

➤ 엘니뇨 남방진동

09 그림 (가)는 적도 부근 태평양 해역에서 어느 시기에 1년 동안 관측한 20 ℃ 등수온선의 깊이 편차를 나타낸 것이고, (나)는 적도 부근 동태평양 해역에서 수온 약층이 나타나는 깊이 편차를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 엘니뇨와 라니냐 시기 중 하나이며, 편차는 (관측값−평년값)이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

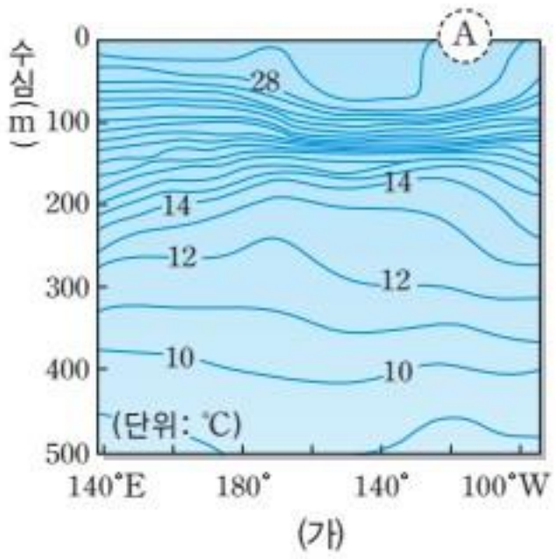
ㄱ. (가) 시기는 (나)의 A에 해당한다.
ㄴ. (가) 시기 동안 동태평양에서의 용승이 더욱 활발해졌다.
ㄷ. (가) 시기 동안 동태평양에서 강수량 편차는 (+)로 나타난다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

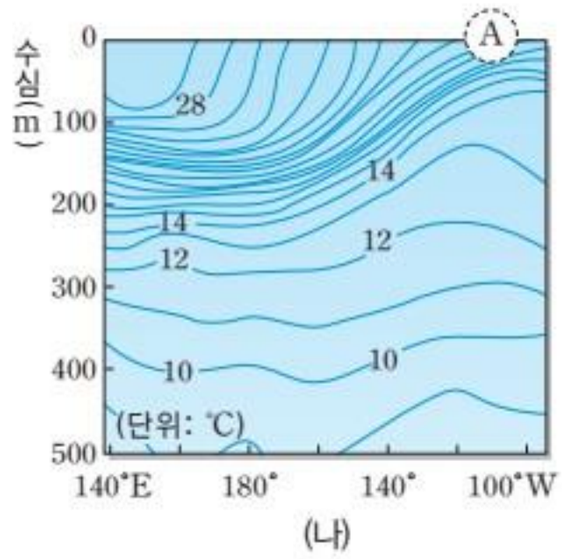
➤ 시간에 따라 20 ℃ 등수온선의 깊이 편차가 증가한다는 것은 용승이 약해지고 표층 해수의 수온이 높아져서 20 ℃ 등수온선이 더 깊은 곳에서 나타난다는 것을 의미한다.

➤ 엘니뇨 남방진동

10 그림 (가)와 (나)는 태평양 적도 부근 해역에서 수심에 따른 등수온선의 분포를 나타낸 것이다. 그림 (가)와 (나)의 측정 시기는 엘니뇨 또는 라니냐 시기 중 하나이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (가)는 엘니뇨, (나)는 라니냐가 발생한 시기이다.
ㄴ. A 해역에서 용승은 (가)보다 (나)일 때 더 활발하다.
ㄷ. A 해역에서 해수면의 높이는 (가)보다 (나)일 때 더 높아진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 엘니뇨 시기에는 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 높아지고, 라니냐 시기에는 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 낮아진다.

통합과학 연계

수능 TO 분석

엘니뇨와 라니냐, 남방진동

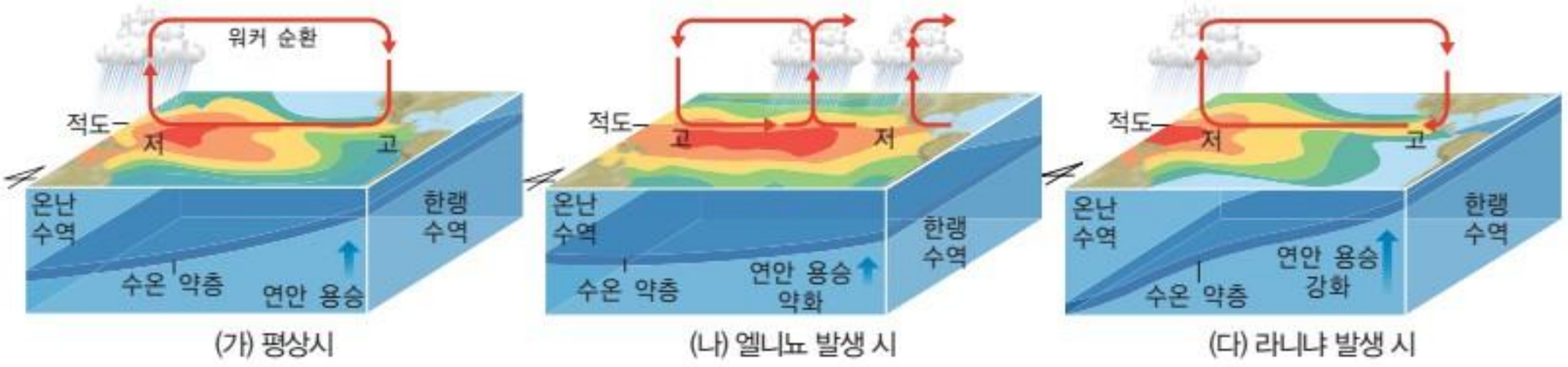
연계 Point 통합과학에서는 기후 변화의 사례로 엘니뇨와 라니냐의 발생 과정 및 특징을 다루며, 지구과학에서는 이러한 엘니뇨와 라니냐가 남방진동과 어떤 상관관계가 있는지에 대한 심화 내용을 다룬다. 따라서 수능에서는 엘니뇨, 라니냐의 발생 과정을 남방진동과 관련하여 해석하는 유형의 문제가 변별력 있는 문제로 출제될 수 있다.

통합과학 평상시와 엘니뇨 발생 시 대기와 해양의 변화



핵심 point 엘니뇨 시기에 동태평양에서는 용승이 약해지고 표층 수온이 상승하며, 저압대가 형성되어 강수량이 증가한다.

지구과학 엘니뇨 남방진동(ENSO)



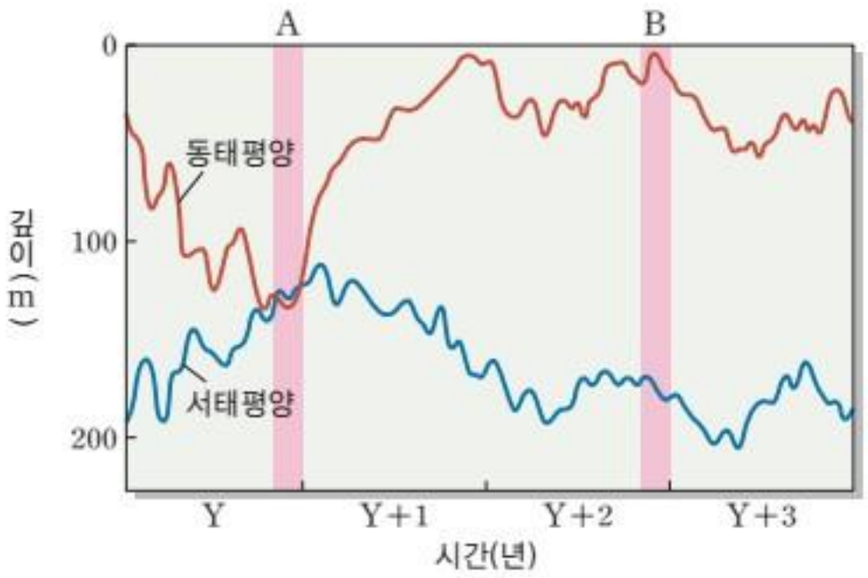
(가) 평상시 (나) 엘니뇨 발생 시 (다) 라니냐 발생 시

(가) 평상시	(나) 엘니뇨 발생 시	(다) 라니냐 발생 시
• 서태평양보다 동태평양에서 해면 기압이 높게 유지된다. • 무역풍의 영향으로 동태평양에서 용승이 일어난다. • 동태평양은 수온 약층이 시작되는 깊이가 얕다.	• 서태평양의 기압 상승, 동태평양의 기압 하강 → 남방진동 지수는 음수(−) • 무역풍 세기 약화 → 동태평양에서 용승 약화 → 동태평양 표층 수온 상승 • 동태평양에서 수온 약층이 시작되는 깊이가 깊어진다.	• 서태평양의 기압 하강, 동태평양의 기압 상승 → 남방진동 지수는 양수(+) • 무역풍 세기 강화 → 동태평양에서 용승 강화 → 동태평양 표층 수온 하강 • 동태평양에서 수온 약층이 시작되는 깊이가 더 얕아진다.

핵심 point 열대 태평양에서 기압 배치는 주기적으로 (가) → (나) → (가) → (다) → (가)의 순서로 변하는데, 이를 남방진동이라고 한다. 남방진동은 엘니뇨와 라니냐가 일어나는 주기와 거의 일치하기 때문에 서로 상관관계가 있음을 알 수 있다.

대표 예제 살펴보기

그림은 태평양 적도 부근 해역의 동태평양과 서태평양에서 각각 관측한 20 ℃ 등수온선의 깊이를 시간에 따라 나타낸 것이다. A와 B 중 하나는 엘니뇨 시기이고, 편차는 (관측값−평년값)이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 동태평양의 표층 수온 편차는 A 시기가 B 시기보다 크게 나타난다.
ㄴ. 동태평양에서 강수량 편차는 A 시기보다 B 시기에 크게 나타난다.
ㄷ. 동태평양에서 해수면의 높이 편차는 A 시기보다 B 시기에 크게 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

풀이

이 해역에서 20 ℃ 등수온선의 깊이가 깊어진다는 것은 표층 해수의 수온이 높아짐을 의미하며, 이는 용승이 약해졌을 때 나타난다. 따라서 **A 시기는 엘니뇨, B 시기는 라니냐**에 해당한다.

ㄱ. 엘니뇨 시기(A)에는 **적도 부근 동태평양에서 표층 해수의 수온이 평년보다 높아**지므로 표층 수온 편차가 크게 나타난다.

ㄴ. 엘니뇨 시기(A)에는 **적도 부근 동태평양에서 강수량이 증가**하므로 강수량 편차가 크게 나타난다.

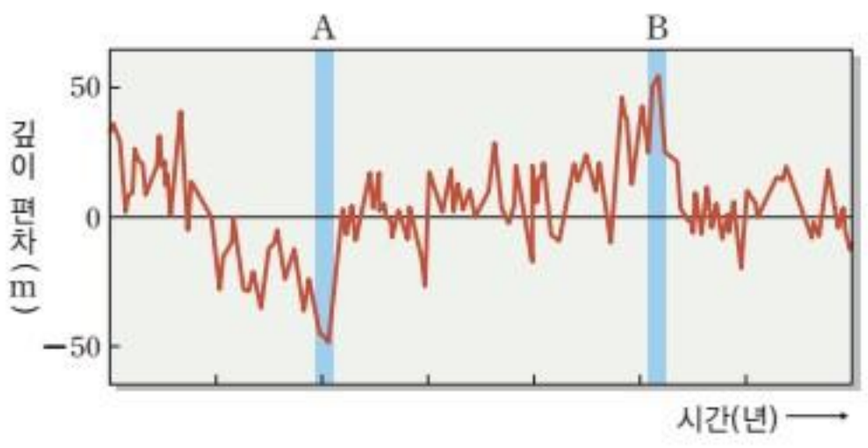
ㄷ. 엘니뇨 시기(A)에는 적도 부근 동태평양에서 표층 해수의 수온이 상승하므로 **해수면 높이가 평년보다 높아**진다.

정답 ①

실전 문제 풀어보기

정답과 해설 166쪽

그림은 동태평양 적도 부근의 어떤 해역에서 관측한 수온 약층이 시작되는 깊이 편차를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 엘니뇨와 라니냐 시기 중 하나이고, 편차는 (관측값−평년값)이다.



동태평양 적도 부근 해역에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 강수량 편차는 A 시기가 B 시기보다 크게 나타난다.
ㄴ. 용승은 A 시기가 B 시기보다 강하게 나타난다.
ㄷ. 해면 기압의 편차는 A 시기는 (−), B 시기는 (+)로 나타난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 지구의 기후 변화

핵심 내용 미리보기

"최근에는 **인간 활동**에 의한 **지구 온난화**로 지구의 **기후가 급격하게 변하고** 있다."

1 기후 변화의 자연적 요인

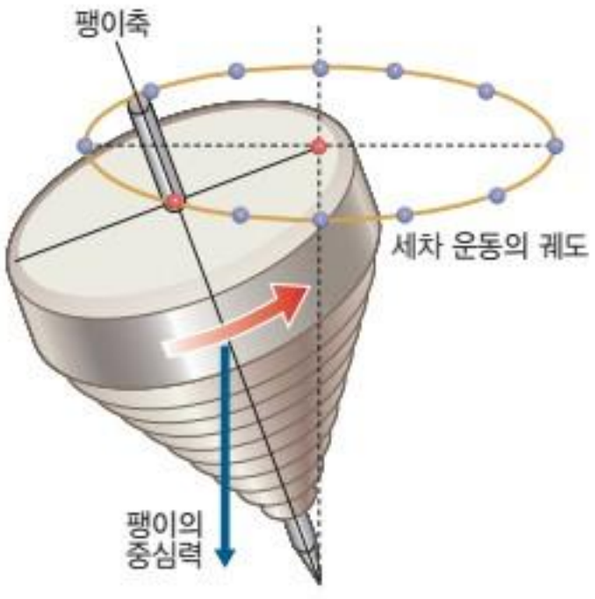
유엔 기후 변화 협약(UNFCCC)은 기후 변화를 '직접적 또는 간접적으로 전체 대기의 성분을 바꾸는 인간 활동에 의한, 그리고 비교할 수 있는 시간 동안 관찰된 자연적 기후 변동을 포함하는 변화'라고 정의하고 있다. 이러한 기후 변화의 원인은 자연적 요인과 인간 활동에 의한 인위적 요인으로 구분할 수 있다.

1. 기후 변화의 지구 외적 요인

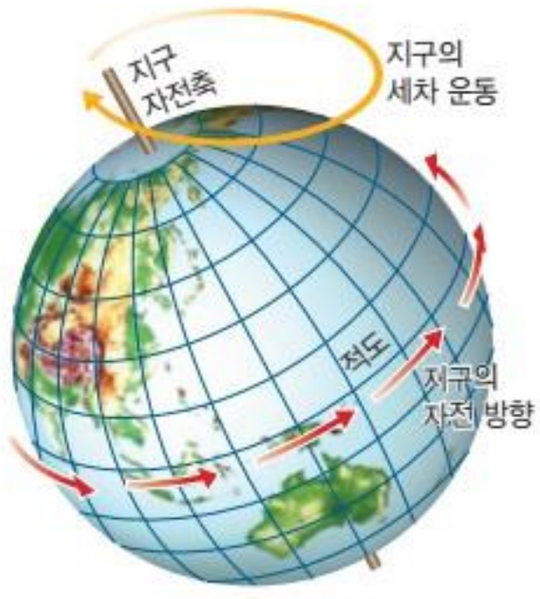
기후 변화의 자연적 요인은 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 구분할 수 있다. 지구 외적 요인으로는 지구 자전축의 세차 운동, 지구 자전축의 기울기 변화, 지구 공전 궤도 이심률 변화, 태양 활동의 변화 등이 있으며, 주로 지구의 자전과 공전 운동의 변화와 관련이 있으므로 천문학적 요인이라고도 한다.

(1) **지구 자전축의 세차 운동:** 팽이가 돌다가 힘이 약해지면 팽이의 축이 회전 방향과 반대 방향으로 회전하는 것을 볼 수 있다. 이와 마찬가지로 지구도 자전축이 지구 공전 궤도의 축을 중심으로 약 26000년을 주기로 회전하면서 경사 방향이 바뀌는 운동을 하는데, 이를 세차 운동이라고 한다. 지구 자전축이 지구 공전 궤도의 축에 대하여 기울어진 채로 공전하는 현상은 계절 변화가 나타나게 하는 주요한 요인으로, 태양의 남중 고도 변화에 따라 계절 변화가 일어난다. 태양의 남중 고도가 높은 시기는 여름이고, 태양의 남중 고도가 낮은 시기는 겨울인데, 지구의 세차 운동으로 약 13000년 후 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 되면 여름과 겨울에 해당하는 위치가 반대가 되어 북반구의 경우 기온의 연교차가 현재보다 커진다.

세차 운동에 따른 천구의 북극에 있는 별의 변화
현재 지구 자전축을 연장하면 천구의 북극에는 북극성이 위치해 있지만, 세차 운동으로 약 13000년 후에 지구 자전축의 경사 방향이 반대가 되면 천구의 북극에 직녀성이 위치하게 된다.



▲ **팽이의 세차 운동** 팽이를 돌릴 때 팽이의 회전 속도가 줄어들면 기울어진 팽이의 회전축이 돌면서 원뿔형의 운동을 한다.



▲ **지구 자전축의 세차 운동** 지구도 팽이와 마찬가지로 자전축이 지구 공전 궤도의 축에 대하여 일정한 주기로 원을 그리며 회전한다.

분석 세차 운동과 계절 변화

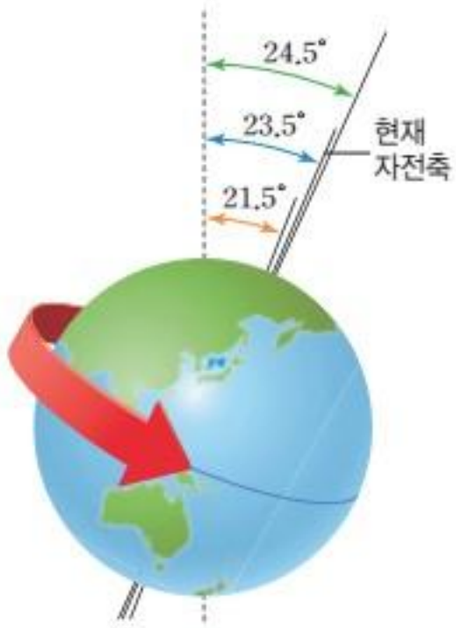


- 현재 지구의 북반구는 원일점에 위치할 때 여름이지만 약 13000년 후에는 근일점에 위치할 때 여름이 된다. 따라서 약 13000년 후에는 북반구 여름철에 태양과의 거리가 가까워지므로 북반구의 여름철 평균 기온은 현재보다 높아질 것이다.
- 현재 지구의 북반구는 근일점에 위치할 때 겨울이지만 약 13000년 후에는 원일점에 위치할 때 겨울이 된다. 따라서 약 13000년 후에는 북반구 겨울철에 태양과의 거리가 멀어지므로 북반구의 겨울철 평균 기온은 현재보다 낮아질 것이다.

→ 약 13000년 후에는 북반구에서 기온의 연교차가 커질 것이다.

원일점과 근일점
원일점은 지구의 공전 궤도상에서 태양과 지구 사이의 거리가 가장 먼 지점이고, 근일점은 지구의 공전 궤도상에서 태양과 지구 사이의 거리가 가장 가까운 지점이다.

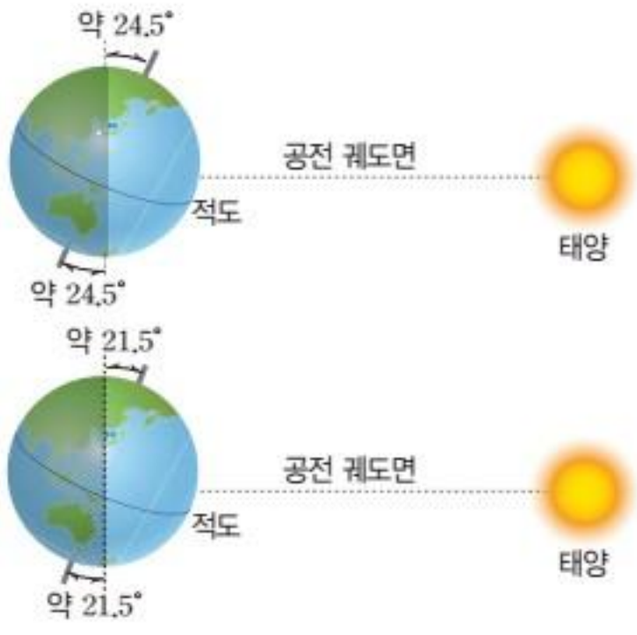
(2) 지구 자전축의 기울기 변화: 지구 공전 궤도의 축에 대한 지구 자전축의 기울기는 약 41000년을 주기로 약 21.5°~24.5° 사이에서 변한다. 현재 지구 자전축의 기울기는 약 23.5°인데, 지구 자전축의 기울기가 변하면 위도에 따른 태양의 남중 고도가 달라지기 때문에 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지량이 달라져 기후가 변한다. 현재보다 지구 자전축 기울기가 커지면 중위도 지방의 여름은 더 더워지고, 겨울은 더 추워져 기온의 연교차가 커진다.



▲ 지구 자전축의 기울기 변화

분석 지구 자전축의 기울기 변화에 따른 기후 변화

- 지구 자전축의 기울기가 현재보다 커지면 북반구와 남반구 모두 여름철에 태양의 남중 고도가 높아져서 더 더워지고, 겨울철에 태양의 남중 고도가 낮아져서 더 추워진다. 따라서 기온의 연교차가 커진다.
- 지구 자전축의 기울기가 현재보다 작아지면 북반구와 남반구 모두 여름철에 태양의 남중 고도가 낮아져서 서늘해지고, 겨울철에 태양의 남중 고도가 높아져서 따뜻해진다. 따라서 기온의 연교차가 작아진다.



(3) **지구 공전 궤도 이심률 변화:** 지구의 공전 궤도는 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도이다. 이러한 타원 궤도의 납작한 정도를 이심률이라고 하는데, 지구 공전 궤도의 이심률은 약 10만 년을 주기로 약 0.005~0.058 사이에서 변하고 있다. 지구 공전 궤도의 이심률이 달라지면 지구와 태양 사이의 거리가 달라져서 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량이 달라진다. 현재 지구 공전 궤도의 이심률은 약 0.017이며, 북반구에서 근일점과 원일점의 태양 복사 에너지 입사량은 약 7 % 차이가 난다. 이심률이 최대가 되어 근일점과 원일점의 거리 차가 가장 커지면 두 지점에서의 입사량은 약 20 % 차이가 나게 된다.

이심률(e)

이심률이란 타원 궤도의 납작한 정도를 뜻한다. 태양을 돌고 있는 행성들의 공전 궤도는 타원으로, 이심률이 클수록 공전 궤도의 일그러진 정도가 심하다.

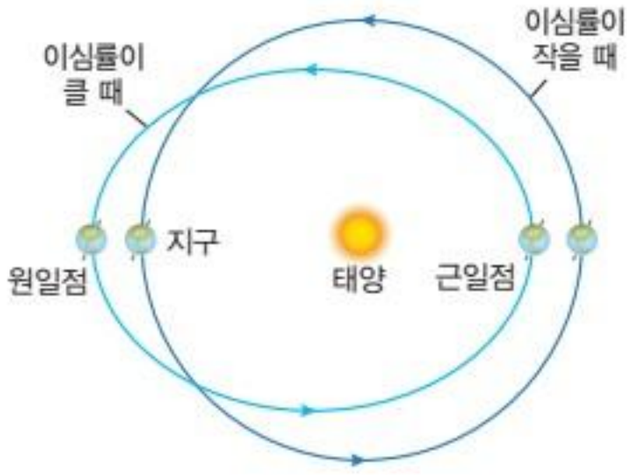
$$e=\sqrt{1-\left(\frac{b^2}{a^2}\right)}$$

(a: 장반경, b: 단반경)

- $e=0$인 경우: 완전한 원
- $0<e<1$인 경우: 타원
- $e=1$인 경우: 장반경이 무한인 납작한 타원(포물선)

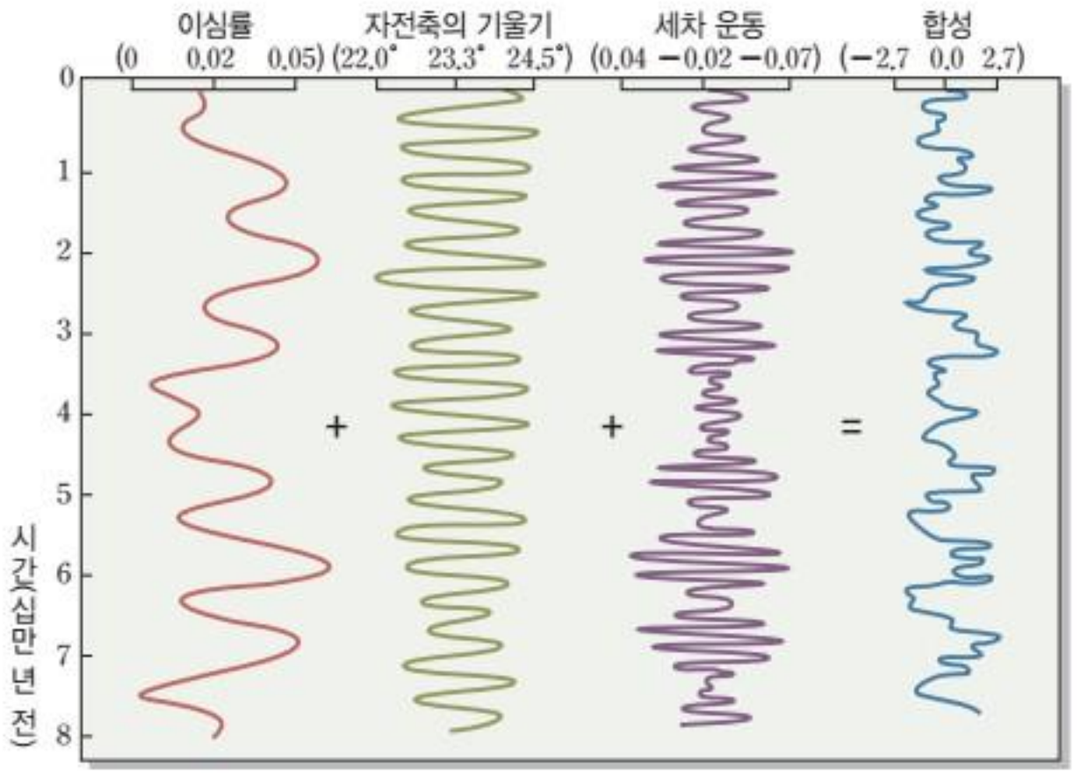
분석 + 지구 공전 궤도 이심률 변화에 따른 기후 변화

- 이심률이 현재보다 커지면 원일점은 태양에서 더 멀어지고, 근일점은 태양에 더 가까워진다. 따라서 북반구의 경우 여름철에 일사량이 감소하여 서늘해지고 겨울철에 일사량이 증가하여 따뜻해지므로 기온의 연교차가 작아진다.
- 이심률이 현재보다 작아지면 원일점은 태양에 더 가까워지고, 근일점은 태양에서 멀어진다. 따라서 북반구의 경우 여름철에 일사량이 증가하여 더 더워지고, 겨울철에 일사량이 감소하여 더 추워지므로 기온의 연교차가 커진다.



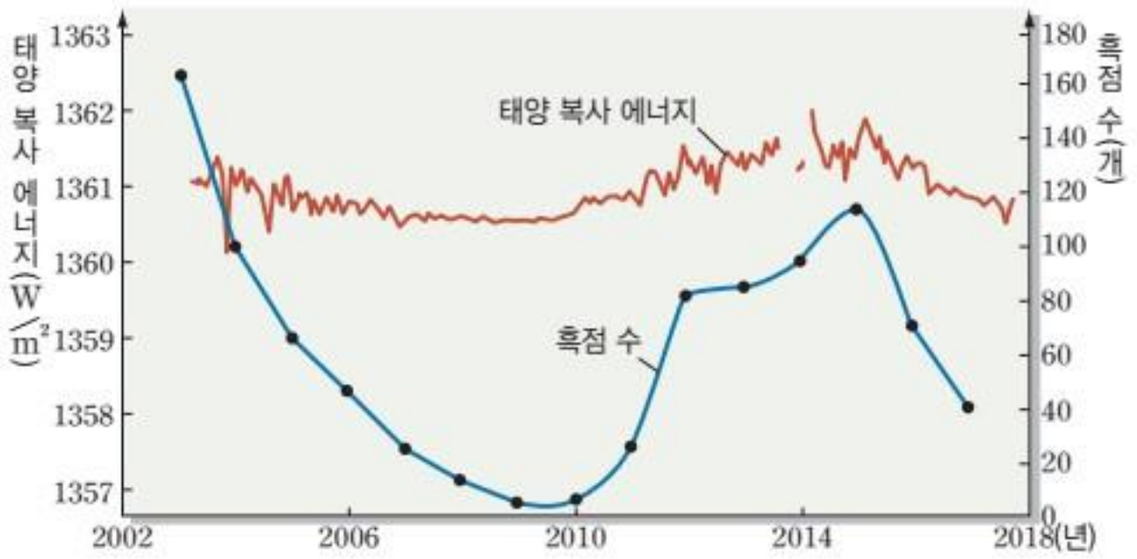
심화 + 밀란코비치의 기후 변화 이론

세르비아의 과학자 밀란코비치는 지구 자전축의 세차 운동, 지구 자전축의 기울기 변화, 지구 공전 궤도의 이심률 변화 등의 요인들이 통합적으로 작용하여 지구의 기후가 변한다고 가정하고, 이 세 가지 요인을 합성하여 변화 주기 그래프를 만들었는데, 이를 밀란코비치 주기라고 한다. 밀란코비치는 계산을 통해 과거 약 45만 년 동안의 기후 변동을 추정하였으며, 1976년 심해 퇴적물의 연구 결과 밀란코비치의 계산 결과가 실제 지구의 기후 변화 주기와 일치한다는 사실이 밝혀졌다.



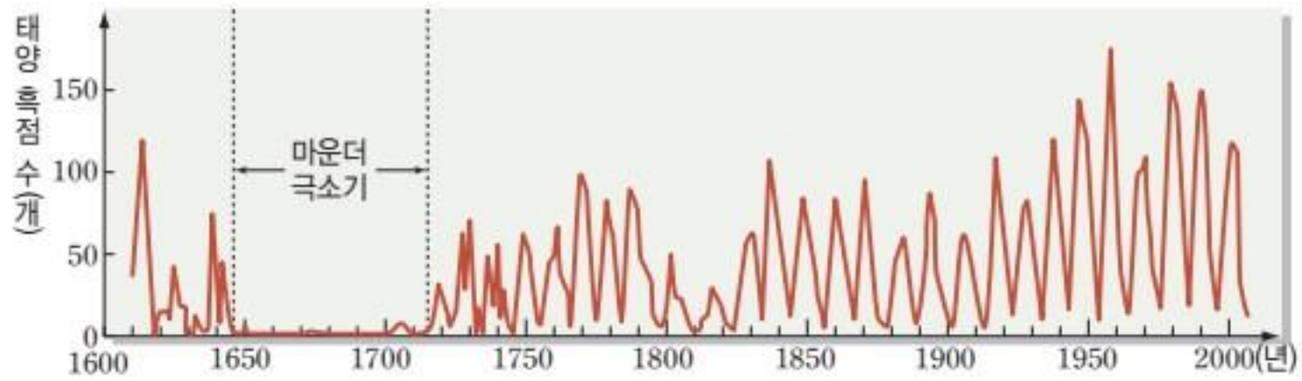
▲ 과거 약 80만 년 동안의 지구 궤도 요소 변화

(4) **태양 활동의 변화:** 태양에서 방출되는 복사 에너지의 변화는 지구 기후에 직접적인 영향을 주는데, 태양 복사 에너지량은 약 11년을 주기로 변하는 흑점 수와 관련이 있다. 흑점 수가 많아지는 태양 극대기에는 태양 복사 에너지량이 증가하여 지구의 평균 기온이 높아진다. 반대로 흑점 수가 적어지는 태양 극소기에는 태양 복사 에너지량이 감소하여 지구의 평균 기온이 낮아진다.



▲ 흑점 수와 태양 복사 에너지의 관계

실제로, 소빙하기(Little Ice Age) 동안에는 태양의 흑점 수가 현저히 감소했던 마운더 극소기(Maunder Minimum)가 있었으며, 이는 당시의 기후 냉각과 연관이 있다.



▲ 약 400년 동안의 태양 흑점 수 변화

(5) 그 밖의 지구 외적 요인

① 외계 천체 충돌(소행성·운석 충돌): 소행성이나 운석의 충돌 또한 기후 변화의 외적 요인이 될 수 있다. 충돌 시 발생하는 막대한 에너지와 함께 방출된 먼지가 대기 중으로 확산하면 태양 복사를 차단하여 강력한 냉각 효과를 유발할 수 있다. 이는 '핵겨울'과 비슷한 현상으로, 과거 대멸종 시기의 기후 급변과 관련이 있다. 예를 들면, 약 6600만 년 전 백악기−팔레오기(K−Pg) 멸종을 유발한 것으로 알려진 운석 충돌은 대량의 먼지와 에어로졸을 대기 중에 방출하며 급격한 기후 냉각을 일으켰을 것으로 추정된다.

② 지구−달 상호작용: 달은 조석 현상을 통해 지구의 자전 속도와 자전축의 안정성에 영향을 미친다. 만약 자전축의 안정성이 줄어들면 계절적 변화가 더 극단적으로 나타나 기후 변화에 영향을 줄 수 있다. 짧은 기간에는 중대한 변화로 이어지지 않지만, 수백만 년 이상의 긴 시간 동안 조석 효과는 기후를 간접적으로 변화시켜 왔다.

소빙하기(Little Ice Age)
약 14세기부터 19세기 중반까지 지속된 지구의 냉각기이다. 이 시기 동안 북반구의 평균 기온이 낮아졌으며, 유럽과 북아메리카 등에서 한파와 빙하 확장, 기근과 농업 생산 감소가 발생하였다. 주요 원인은 태양의 활동 감소(흑점 수 감소), 화산 폭발로 인한 에어로졸 증가, 해류 변화 등으로 추정된다. 소빙하기는 인간 활동과 생태계에 광범위한 영향을 미친 자연적 기후 변동이었다.

마운더 극소기(Maunder Minimum)
1645년~1715년까지 약 70년 동안 태양의 흑점 수가 비정상적으로 감소한 시기를 말한다.

백악기−팔레오기(K−Pg) 멸종
약 6600만 년 전에 일어난 생물의 대멸종 사건으로, 일반적으로 공룡 멸종으로 잘 알려져 있다. 오늘날의 자연 파괴를 일컫는 '홀로세 대멸종(현세 대멸종)'을 제외하고는 가장 최근에 일어난 대멸종이며, 현생누대 동안 다섯 번째 대멸종에 해당한다.
학술적으로는 독일어 '백악기(Kreidezeit)'와 '팔레오기(Paleogene)'에서 두 문자를 따 K−Pg 멸종이라고 부른다. 지질학적으로 중생대와 신생대를 구분하는 기준이 된다.

2. 기후 변화의 지구 내적 요인

기후 시스템 내의 상호작용으로 발생하는 기후 변화 요인을 지구 내적 요인이라고 한다. 지구 내적 요인에는 대기 투과율 변화, 대륙과 해양의 분포 변화, 지표면의 상태 변화 등이 있는데, 이로 인한 기후 변화는 지구의 기후를 장기적으로 변화시키는 자연적인 과정이다.

(1) **대기 투과율 변화:** 대기 투과율이란 태양 복사 에너지가 대기를 통과하여 지표면에 도달하는 양의 비율을 의미하는 것으로, 대기 투과율은 대기의 상태에 따라 달라진다. 대기 투과율에 영향을 미치는 사례로 화산 폭발에 의해 방출되는 화산 분출물이 있다. 화산 분출물 중에서 입자가 작은 화산재는 성층권까지 올라가 넓은 지역으로 퍼져갈 수 있다. 이러한 화산재는 태양 복사 에너지의 투과를 방해하므로 지구의 반사율을 증가시키고 결과적으로 지구의 평균 기온을 낮춘다. 실제로 1991년 피나투보 화산 폭발로 분출한 화산재는 지표로부터 약 40 km 높이의 성층권까지 치솟아 태양 복사 에너지가 지표에 도달하는 것을 방해하였는데, 이로 인해 지구 전체의 평균 기온이 약 0.4 ℃ 낮아졌다.

기후 시스템의 상호작용
지구의 기후는 태양 복사 에너지에 의해 크게 좌우되지만 대기(기권), 해양과 빙하(수권), 식생(생물권), 토양과 암석(지권) 등 지구시스템 각 영역의 모든 요소와 상호작용하며 변한다. 기후 변화는 어느 한 요소에 의해 단독으로 일어나는 것이 아니라 상호 연관되어 있으므로 어느 한 요소가 변하면 기후 시스템을 이루고 있는 요소 사이에 형성되어 있던 평형 관계가 무너져 기후 변화와 이상 기후 현상이 발생한다.





▲ 피나투보 화산 폭발에 의한 지구 평균 기온 변화

피나투보 화산 폭발
필리핀 북쪽 루손섬에 위치하는 피나투보 화산은 지난 1991년 6월 12일에 활동을 시작하여 2주에 걸쳐 수십 차례의 폭발을 일으켰다. 이때의 폭발로 이전에 있던 산봉우리가 사라지고, 그 자리에 지름 약 2 km의 칼데라가 생겼으며, 산의 높이도 약 1745 m에서 약 1485 m로 낮아지는 등 지형이 바뀌었다. 화산 주변의 많은 동식물이 죽거나 상처를 입었으며 생태계가 크게 변화하였다.

(2) **대륙과 해양의 분포 변화:** 대륙과 해양은 비열과 반사율이 다르므로, 대륙과 해양의 분포가 변하면 대기와 해수의 순환이 영향을 받아 기후가 변한다. 예를 들어, 대륙이 적도 지방에 주로 분포하면 태양 복사 에너지의 흡수량이 많아져 지구의 기온이 상승하고, 대륙이 극지방에 많이 분포하면 빙하의 면적과 눈이 쌓인 면적이 넓어져서 반사율이 증가하므로 지구의 기온이 하강한다. 또한, 대륙과 해양의 분포에 따라 해수의 순환이 달라져서 저위도에서 고위도로 수송되는 에너지량에도 변화가 생긴다.

한편, 판의 운동에 의해 여러 개의 작은 대륙이 하나의 초대륙으로 합쳐지면 대륙의 위도대가 달라지고, 해안 지역이었던 곳이 내륙으로 변하면서 건조한 기후가 되며, 판의 수렴으로 습곡 산맥이 형성되면서 지형의 고도가 상승하여 대기의 순환이 변화되어 기온이 상승하거나 하강하기도 한다.

이와 같이 대륙과 해양의 분포는 지구 표면을 구성하고 있는 판의 운동과 관계가 있으며, 판의 이동 속도가 매우 느리므로 오랜 시간에 걸쳐 천천히 기후 변화를 일으킨다.

(3) **지표면의 상태 변화:** 지표면의 상태는 기후를 결정하는 데 매우 중요한 요인이다. 숲이 많은 지역은 사막 지역에 비해 일교차가 작게 나타나며, 호수나 습지가 있는 지역은 그렇지 않은 지역에 비해 습도가 높게 나타난다. 이와 같이 지표면의 상태는 기후에 영향을 주기 때문에 지표면의 상태 변화는 곧 기후가 변함을 의미한다. 자연적인 원인에 의한 지표면의 상태 변화는 대부분 긴 시간에 걸쳐 천천히 일어난다. 지구는 긴 지질시대를 지나면서 지표면의 상태가 천천히 변화하였으며, 이에 따라 기후가 점진적으로 변해 왔다. 최근에 고위도의 대부분을 덮고 있던 빙하가 녹아 지표가 드러난 결과 태양 복사 에너지의 지표 반사율이 감소하여 기온이 상승한 것은 지표면 변화에 의한 기후 변화의 좋은 예이다.

(4) **해양 순환의 변화:** 해양은 지구의 열을 저장하고 운반하는 역할을 하므로 해양의 순환이 변하면 열과 에너지의 분포 방식이 달라져서 기후에 영향을 미친다. 예를 들면, 엘니뇨와 라니냐 현상은 열대 태평양에서 해수면 온도와 해류 변화를 기반으로 발생하는 현상인데, 이로 인해 전 지구적으로 강수량과 기온, 폭풍 발생 빈도 등이 달라진다. 장기적으로는 심층 순환의 약화가 대규모의 기후 변화와 연관될 수 있다.

(5) **생물권의 변화:** 생물권, 특히 식생의 변화는 지구의 기후를 변화시키는 주요 요인 중 하나이다. 식생은 이산화 탄소를 흡수하고 산소를 방출하므로 삼림이 감소하면 대기 중의 이산화 탄소 농도가 증가하여 기후 변화가 일어날 수 있다. 또한, 식물의 분포 변화는 지구 에너지 균형과 강수량 분포 패턴을 변화시키는 데 영향을 미친다.

(6) **지구 내부의 온실 기체 배출:** 습지, 화산 활동, 동토의 해빙 등 자연적인 현상으로 대량의 이산화 탄소(CO_2)와 메테인(CH_4) 등이 방출되어 기후 변화가 일어날 수 있다. 특히 지구 온난화로 동토가 녹으면서 과거에 갇혀 있던 메테인이 대규모로 방출되는 현상은 현재와 미래의 기후 변화에 있어 중요한 내적 요인으로 작용할 수 있다.

반사율(albedo)
지구나 금성 등 행성에 입사하는 복사 에너지에 대해 반사되는 복사 에너지의 비율을 반사율 또는 알베도라고 한다. 지구의 평균 반사율은 약 30 %이다. 실제로 지구에 의한 반사에는 구름에 의한 반사, 대기에 의한 산란, 지표면과 해수 표면에 의한 반사 등이 있다.

중요 개념 체크

정답과 해설 167쪽

1. 기후 변화의 지구 외적 요인에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.

(1) 지구 자전축의 기울기가 현재보다 작아지면 우리나라는 기온의 연교차가 커질 것이다. ——— ( )

(2) 지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 작아지면 우리나라는 기온의 연교차가 커질 것이다. ——— ( )

2. 대규모의 화산 폭발로 많은 양의 화산재가 대기 중에 오랫동안 머물면 지구의 반사율이 ( )아져 지구의 평균 기온이 ( )아질 수 있다.

2 기후 변화의 인위적 요인

기후는 자연적인 요인 외에도 인간 활동에 따라 변하기도 한다. 인간 활동에 의한 기후 변화 요인을 인위적 요인이라고 하는데, 인간의 활동으로 배출된 기체는 대기의 조성을 변화시켜 지구의 기후에 영향을 준다. 인위적 요인에 의한 기후 변화는 자연적인 요인에 의한 기후 변화보다 대체로 그 속도가 빨라 지구 환경에 큰 위협이 되고 있다.

1. 온실 효과

(1) **온실 효과:** 지구의 대기는 파장이 짧은 가시광선 영역의 태양 복사 에너지는 대부분 통과시키지만, 파장이 긴 적외선 영역의 지구 복사 에너지는 일부를 흡수하여 지표로 재방출한다. 이와 같은 과정에서 대기는 열을 가두어 지구 표면의 온도를 높이는데, 이러한 현상을 온실 효과라고 한다.



▲ 온실 효과

주요 온실 기체의 온실 효과 기여도
이산화 탄소는 1 ppm당 온실 효과 기여도는 작지만 다른 온실 기체에 비해 대기 중의 농도가 매우 높으므로 온실 효과에 미치는 영향이 가장 크다. 수증기는 지역에 따라 강수와 증발을 통해 자연적으로 조절되므로 인위적인 온실 효과의 변화 요인에 해당하지 않는다.

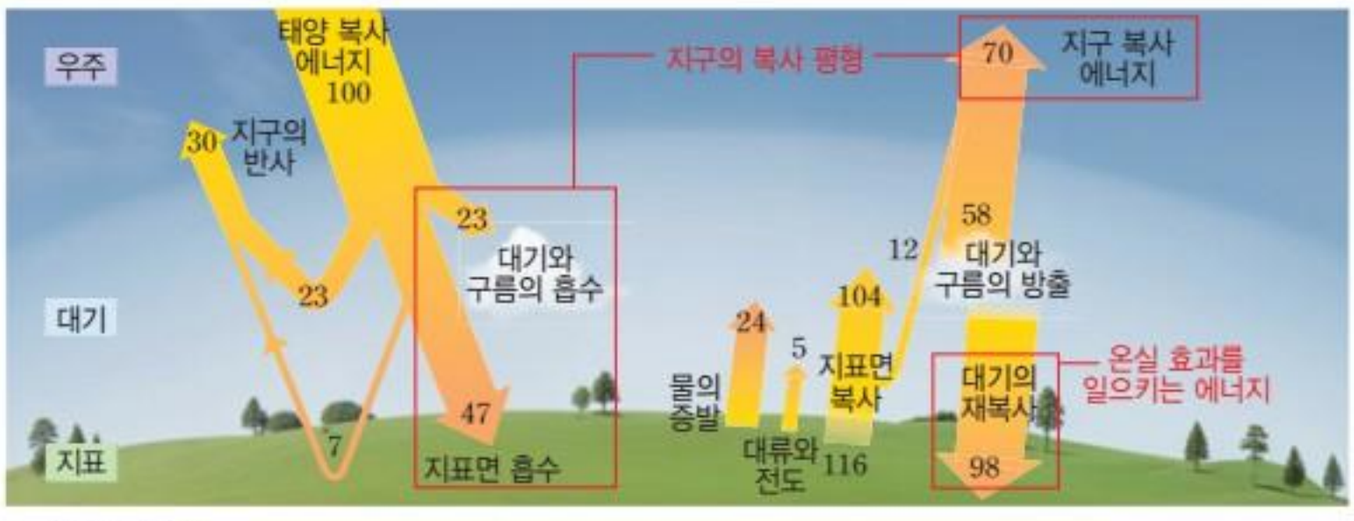
(2) **온실 기체:** 온실 효과를 일으키는 기체로, 주요 온실 기체에는 수증기(H_2O), 이산화 탄소(CO_2), 메테인(CH_4), 산화 이질소(N_2O) 등이 있다. 그중 이산화 탄소, 메테인, 산화 이질소 등은 산업 혁명 이후 인구 증가 및 산업의 발달로 인한 화석 연료의 사용 증가로 농도가 급격히 증가하였으며, 일부는 대기 중에 에어로졸을 형성해 지구의 기온을 변하게 한다.

에어로졸(aerosol)
공기 중에 떠 있는 작은 액체나 고체 입자로, 크기는 보통 0.001 μm~100 μm 정도이다. 황사, 화산재, 해염 같은 자연적 요인과 공장이나 자동차 등의 인위적인 요인에 의해 발생하며, 태양 복사 에너지를 산란시키거나 구름을 형성해 지구의 반사율을 변화시켜 기후 변화를 유발하는 원인으로 작용하고 있다.

2. 지구의 복사 평형과 지구 열수지

(1) **지구의 복사 평형:** 지구는 태양으로부터 에너지를 받는데, 이 에너지는 지구에서 여러 기상 현상을 통해 순환하면서 대기, 해양, 육지, 생물 등에 영향을 미친다. 순환을 마친 에너지는 다시 우주로 방출되어 지구의 에너지 출입이 열적 평형을 이루는데, 이를 지구의 *복사 평형이라고 한다.

(2) **지구 열수지:** 지구는 태양으로부터 에너지를 받은 만큼 우주로 방출하면서 복사 평형을 이루고 있다. 이때 지구에서 출입하는 에너지의 관계를 지구 열수지라고 한다. 대기 중에 온실 기체의 양이 증가하면 지표에서 방출하는 지구 복사 에너지를 대기가 더 많이 흡수하고, 대기가 지표로 재복사하는 에너지량이 증가하여 지구 열수지가 변한다.



▲ 지구 열수지

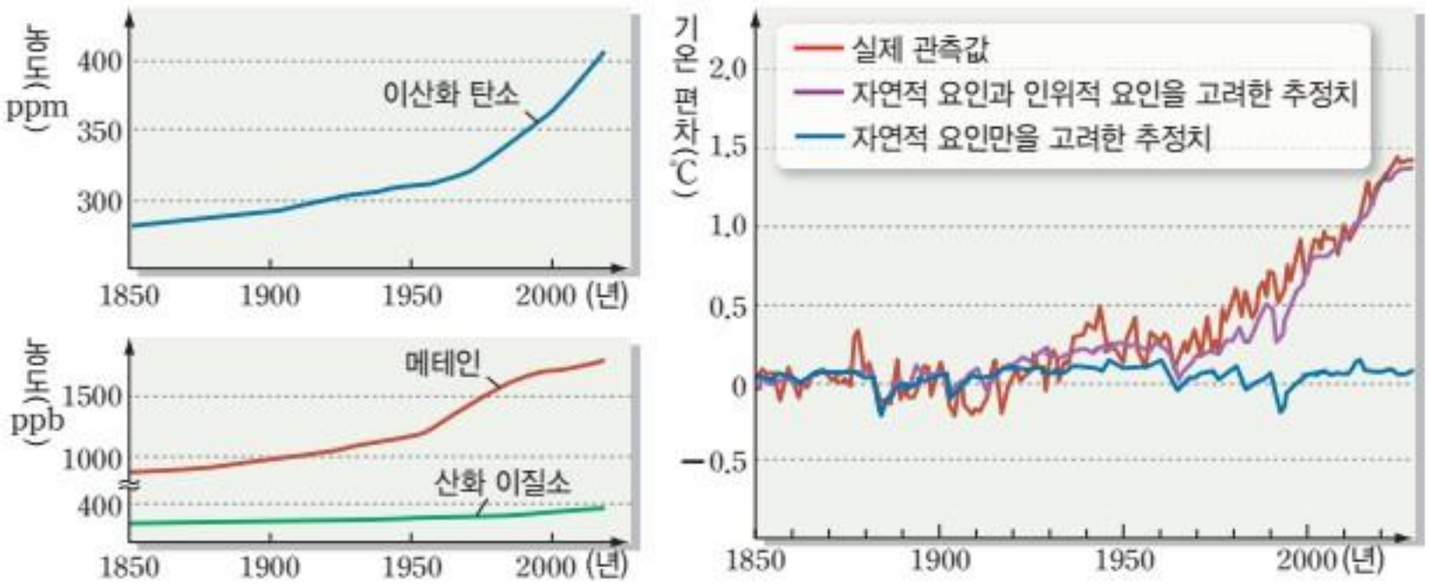
용어 리마인드
*복사 평형
물체가 흡수하는 복사 에너지량과 방출하는 복사 에너지량이 같은 상태

3. 지구 온난화

(1) **지구 온난화:** 대기 중 온실 기체의 양이 많아지면 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 상승하는데, 이를 지구 온난화라고 한다.

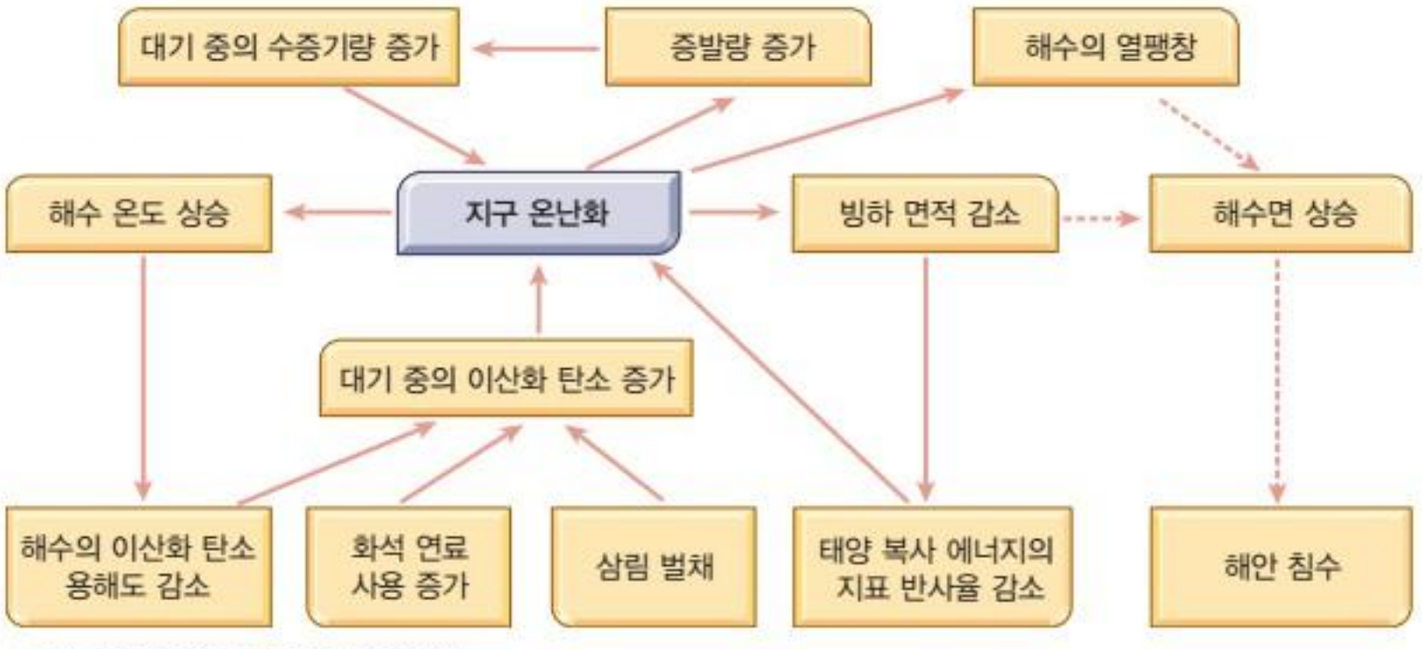
① 지구 온난화의 원인: 지구 온난화의 원인은 여러 가지가 있는데, 그중 가장 큰 원인은 인간의 활동에 의해 대기 중 온실 기체의 양이 급격히 증가하여 대기가 흡수하는 지구 복사 에너지량이 증가하기 때문이다.

② 온실 기체의 증가 요인: 온실 기체 중 이산화 탄소의 대기 구성 비율은 약 0.03 %에 불과하지만 지구 온난화를 일으키는 데 큰 역할을 하고 있다. 이산화 탄소는 동식물의 호흡 등을 통해 자연적으로도 발생하지만, 산업 혁명 이후 화석 연료의 과다한 사용으로 대기 중 농도가 크게 높아지고 있다. 또한, 숲이나 습지, 갯벌의 무분별한 개발로 생물권에서 기권의 이산화 탄소를 이전만큼 저장하지 못하여 대기 중에서 이산화 탄소가 차지하는 비율이 크게 증가하고 있다.



▲ **온실 기체의 농도 변화와 지구의 연평균 기온 변화** 자연적 요인만 고려한 추정치는 기온 편차가 0에 가까운 것으로 보아 기온 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 반면 자연적 요인과 인위적 요인을 함께 고려한 추정치는 실제 관측값과 거의 일치하므로, 현재의 기온 상승 경향은 인위적인 요인에 의한 것으로 판단할 수 있다.

(2) **지구 온난화의 진행:** 대기 중의 이산화 탄소 농도는 인간의 활동으로 계속 상승하고 있으며, 이로 인해 지구 온난화가 심화되고 있다. 이는 빙하 면적 감소를 통한 해수면 상승이나 여러 가지 기상 변화로 이어져 지구 기후 변화를 초래하고 있다.



▲ **지구 온난화와 기후 요소의 변화**

지구 온난화의 되먹임

되먹임(feedback)이란 한 시스템에서 어떤 일로 인해 발생한 결과가 다시 원인에 영향을 미치는 작용을 말한다. 되먹임에는 어느 한 변화가 더 큰 다른 변화를 부르는 양의 되먹임과, 상황의 변화를 진정시키는 음의 되먹임이 있다. 지구 온난화 과정도 양의 되먹임 작용과 음의 되먹임 작용이 나타난다. 지구의 평균 기온이 상승하면 극지방의 온도가 높아져 빙하의 면적이 감소하므로 지표의 반사율이 낮아지고, 그 결과 태양 복사 에너지의 흡수량이 증가하여 지구 온난화가 강화되는데, 이는 양의 되먹임 작용에 해당한다. 반면, 지구의 평균 기온이 상승하면 해수 온도가 높아져 해수의 증발이 활발해지므로 구름이 많이 생성되고, 그 결과 반사율이 높아져 태양 복사 에너지 흡수량이 감소하여 지구의 기온이 낮아지는데, 이는 음의 되먹임 작용에 해당한다.

(3) 지구 온난화와 지구 환경의 변화

① 지구 온난화로 지구의 평균 기온이 상승하면 열팽창에 의해 해수의 부피가 증가하고, 극지방과 고산 지대의 빙하가 녹아 해양으로 유입됨으로써 해수면의 높이가 상승하게 된다. 그 결과 인도양의 몰디브나 남태평양의 투발루와 같이 해발 고도가 낮은 지역은 바다에 잠길 수 있다.

② 지구의 평균 기온이 상승하면 해수의 증발량이 늘어나 열대 폭풍우가 증가하고, 대기 흐름도 변한다. 이로 인해 일부 지역은 폭우가 내려 홍수가 발생하고, 일부 지역은 사막화가 빠르게 진행되는 등 이상 기상 현상이 나타난다.

③ 전 세계적으로 기후대가 변해 곡물 수확량이 감소하거나 해양 생태계가 변해 수산업에도 영향을 줄 수 있으며, 말라리아와 같은 열대성 질병이 고위도로 확산될 수 있다.

④ 우리나라는 여름이 길어지고 겨울이 짧아지고 있으며, 남부 지방에서만 재배할 수 있었던 농작물을 중부 지방에서도 재배할 수 있게 되었다. 악기상 발생 빈도도 증가하고 있는데, 열대야 현상이 100년마다 4일~10일씩 증가하고 있으며, 태풍의 평균 중심 기압이 지난 10년 간 7 hPa 정도 감소하면서 태풍의 강도가 강해지고 있는 추세이다.

심화 강의 121쪽

(4) 기후 변화에 대응하는 방안: 기후 변화에 대응하기 위해서는 기후 변화를 완화하고, 기후 변화에 적응하고자 노력해야 한다.

① 기후 변화를 완화하는 방법으로는 온실 기체 배출 줄이기, 대기 중의 온실 기체 흡수하기, 지구에 들어오는 태양 복사 에너지 줄이기 등이 있다. 온실 기체의 배출을 줄이기 위해서는 화석 연료를 대체할 신재생 에너지를 개발하고, 에너지의 효율을 높여 적은 양의 에너지를 소비하게 하며, 친환경 기술 개발 등의 방법이 필요하다. 대기 중의 온실 기체를 흡수하는 방법으로는 이산화 탄소 포집 및 저장 기술, 해양 비옥화, 나무 숲 조성 등의 방법이 있다. 또한, 지구에 들어오는 태양 복사 에너지를 줄이는 방법으로는 지구 궤도에 인공 거울 설치, 성층권에 미세입자 살포 등이 있으나 아직까지 그 효과는 미미하다.

② 기후 변화에 적응하는 방법으로는 기상 재난 대책 강화, 기후 변화에 적응하는 농법 개발, 외래종 관리 등의 방법이 있다.

기후 변화가 우리나라 농업에 미치는 영향

농작물 재배지가 변화할 뿐만 아니라 집중 호우 일수 증가 등의 이상 기상으로 농업 기반 시설의 피해가 급증하고 있으며, 아열대성 병해충의 유입으로 농작물 피해가 증가하고 있다.



▲ 기후 변화에 따른 농작물 재배지의 변화

지구에 들어오는 태양 복사 에너지를 줄이는 방법

인공 거울 설치는 지구 궤도에 거울과 같은 반사체를 설치하여 지구의 반사율을 높이는 방법이다.
성층권에 미세입자 살포는 에어로졸과 같은 형태의 고체 입자를 성층권에 뿌려 빛을 차단해 지구에 입사하는 태양 복사 에너지를 줄이는 방법이다.

중요 개념 체크

정답과 해설 167쪽

1. (　　)는 대기에 흡수된 지구 복사 에너지의 일부가 지표로 재복사되어 지표면의 온도를 높이는 현상이고, (　　)는 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 점점 상승하는 현상이다.
2. 지구 온난화의 주된 원인은 화석 연료의 사용으로 인한 대기 중 (　　)의 농도 증가이다.

TOP 심화 강의

국제 사회는 지구의 기후 변화 방지를 위해 어떤 노력을 하고 있을까?

21세기에 인류가 직면한 가장 심각한 환경 위기 중 하나는 바로 기후 변화이다. 지구의 평균 기온 상승, 해수면 상승 등은 인간의 일상과 생존을 위협하고 있다. 이러한 위기를 극복하기 위해서는 국가 간의 경계를 넘어 전 지구적인 협력과 행동이 필수적이다.

1 주요 기후 변화 협약

(1) **유엔 기후 변화 협약**(UNFCCC): 1992년 브라질 리우데자네이루에서 개최된 유엔 환경개발 회의(Earth Summit)에서 체결된 '기후 변화에 관한 유엔 기본 협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)'은 전 세계적으로 처음 합의된 기후 변화 대응 틀이다. 이 협약의 목적은 '위험한 수준의 인간 활동에 의한 기후 변화 방지'에 있으며, 197개국이 가입하였다.

(2) **교토 의정서**(Kyoto Protocol): 유엔 기후 변화 협약(UNFCCC)을 바탕으로 1997년 일본 교토에서 진행된 당사국 총회에서 채택된 교토 의정서는 선진국에 구속력 있는 감축 목표를 부여한 것이 특징이다. 선진국 37개국에 대해 2008년~2012년 동안 1990년 대비 평균 5.2 %의 온실 기체 감축 의무를 부여하였다. 이로 인해 청정 개발 체제(CDM)와 공동 이행(JI), 배출권 거래제(ETS) 등의 여러 감축 메커니즘이 도입되었다. 그러나 2020년 이후에는 일부 국가의 이탈과 현실적 한계로 효과성에 의문이 제기되기도 하였다.

(3) **파리 협정**(Paris Agreement): 2015년 프랑스 파리에서 열린 당사국 총회에서 채택된 파리 협정은 선진국과 개발도상국 구분 없이 모든 국가에 감축 노력을 부여하는 최초의 법적 구속력 있는 합의이다. 주요 목표는 지구의 평균 기온 상승 폭을 산업화 이전 대비 2 ℃ 이하, 가능하다면 1.5 ℃ 이내로 제한하는 것이다. 각국은 자체적으로 정한 국가 결정 기여(NDC, Nationally Determined Contribution)에 따라 목표를 설정하고, 5년마다 진전 상황을 보고하며 상향하도록 하였다. 파리 협정은 세계 온실 기체 배출량의 약 97 %를 차지하는 국가들이 동참하면서 전 지구적 기후 변화 방지를 위한 역할을 하게 되었다.

기후 변화 방지를 위한 민간 부문의 노력

그린피스, 기후 행동 네트워크 등의 국제 NGO는 각국의 기후 정책 감시 및 정책 제안, 시민 교육 등을 담당하고 있다. 또한, 글로벌 기업들도 ESG(환경·사회·지배 구조) 경영, RE100(재생 에너지 100 % 사용) 캠페인, 기후 금융 등 적극적인 기후 대응을 선언하고 실천하고 있다.

2 부문별 국제 협력 사례

기후 변화 대응을 위한 각 국가 간 협력도 점차 확대되고 있다. 대표적으로 산림 보전 및 복원 사업(REDD+), 신재생 에너지 확대를 위한 국제 재생 에너지 기구(IRENA) 활동, 에너지 효율 향상 프로젝트 등이 있다. 유럽연합(EU)은 '유럽 그린딜'을 통해 2050년까지 탄소 중립을 실현하기 위해 대규모 재생 에너지 투자, 배출권 거래제(EU ETS) 강화, 친환경 기술 개발에 선도적으로 나서고 있다. 또 경제적, 기술적 여건이 충분하지 않은 개발도상국에 대한 지원도 이루어지고 있다. 녹색 기후 기금(GCF, Green Climate Fund)은 선진국이 연간 1000억 달러 규모의 자금을 조성하여 개발도상국의 온실 기체 감축과 기후 변화 적응 사업을 지원하는 중요한 국제 공조의 예이다.

개념 기본 문제

01 다음은 기후 변화의 여러 요인들을 나열한 것이다.

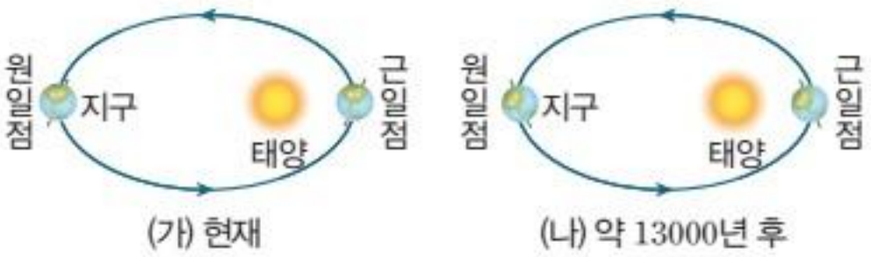
보기

ㄱ. 화산 활동　　ㄴ. 세차 운동
ㄷ. 화석 연료의 연소　　ㄹ. 지구 자전축 기울기 변화

(1) 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인을 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

(2) 기후 변화의 인위적 요인을 있는 대로 골라 기호를 쓰시오.

02 그림 (가)와 (나)는 현재와 약 13000년 후의 지구 자전축 경사 방향을 나타낸 것이다.

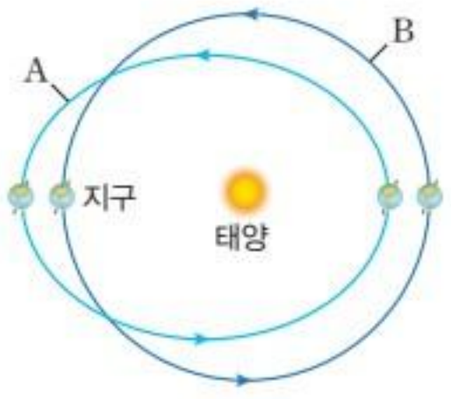


(가) 현재　　(나) 약 13000년 후

(1) 현재 북반구의 계절이 여름철에 해당하는 위치는 원일점과 근일점 중 언제인지 쓰시오.

(2) 약 13000년 후 북반구 중위도 지역의 기온의 연교차는 현재에 비해 어떻게 달라지는지 쓰시오.

03 그림의 A와 B는 서로 다른 시기의 지구 공전 궤도를 나타낸 것이다.



(1) A와 B 중 공전 궤도 이심률이 더 큰 것을 쓰시오.

(2) 공전 궤도 이심률이 A에서 B로 변하면 북반구 중위도 지역의 기온의 연교차는 어떻게 달라지는지 쓰시오.

02 지구의 기후 변화

정답과 해설 167쪽

04 그림은 복사 평형을 이루고 있는 지구의 열수지를 나타낸 것이다.

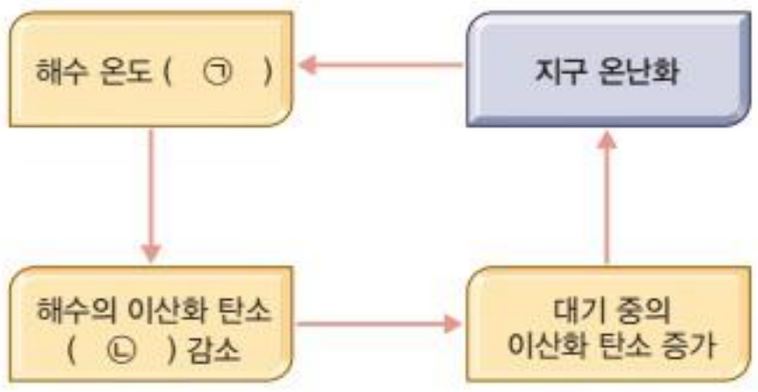


(1) (　　) 안에 알맞은 숫자를 쓰시오.

- A는 지구의 반사율로, (㉠)이다.
- B는 대기가 흡수하는 태양 에너지로, (㉡)이다.
- C는 온실 효과를 일으키는 에너지로, (㉢)이다.

(2) 대기 중의 온실 기체 농도가 증가하면 C의 값은 현재와 비교했을 때 어떻게 달라지는지 쓰시오.

05 그림은 지구 온난화가 진행되는 과정을 나타낸 것이다.



(　　) 안에 알맞은 말을 쓰시오.

06 다음은 지구 온난화에 의해 일어나는 여러 현상들을 설명한 것이다. (　　) 안에 알맞은 말을 고르시오.

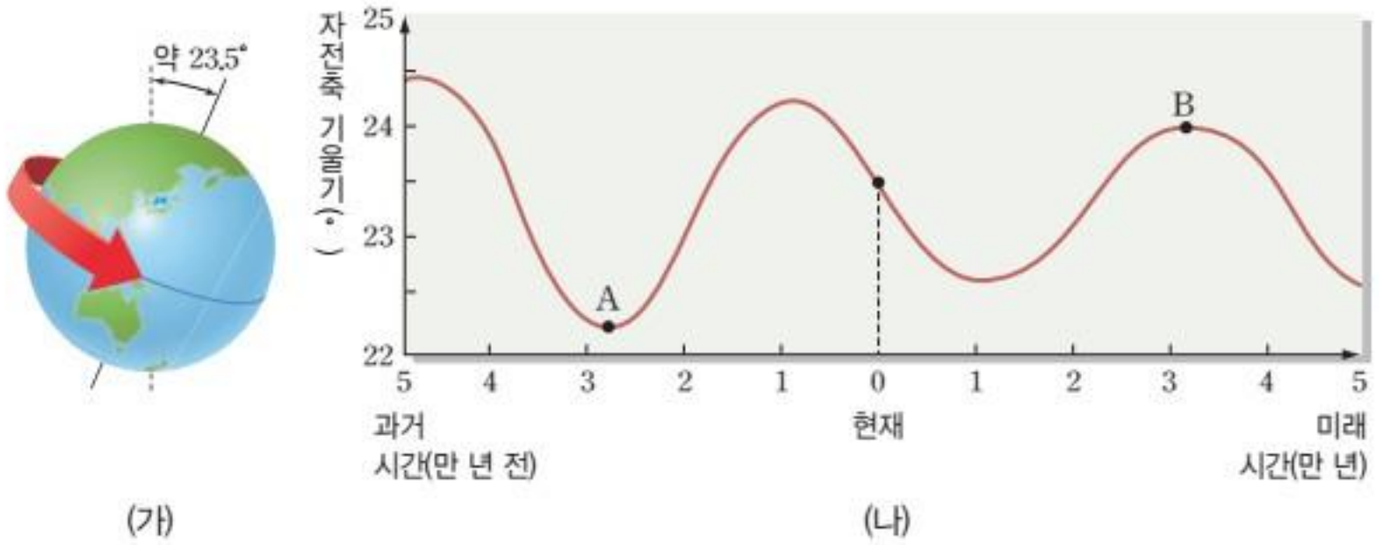
극지방과 고산 지대의 빙하가 녹고, 해수의 부피가 ㉠(증가, 감소)하여 해수면이 ㉡(상승, 하강)한다. 이에 따라 해안 저지대가 침수되어 생활 공간이 줄어들기도 한다. 또한, 수온이 ㉢(상승, 하강)하여 해수의 증발량이 ㉣(증가, 감소)하고, 대기 흐름이 변해 지역에 따라 강수량이 편중되거나 기상 이변이 발생한다.

정답과 해설 167쪽

개념 적용 문제

➤ 기후 변화의 지구 외적 요인

01 그림 (가)는 현재의 지구 자전축의 기울기를, (나)는 현재를 기준으로 과거와 미래의 지구 자전축의 기울기 변화를 나타낸 것이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자전축 기울기 변화 이외의 요인은 변하지 않았다고 가정한다.)

보기

ㄱ. A 시기에 우리나라는 현재보다 여름에 더 더웠을 것이다.
ㄴ. B 시기에 우리나라는 기온의 연교차가 현재보다 커질 것이다.
ㄷ. A 시기보다 B 시기에 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량이 많다.

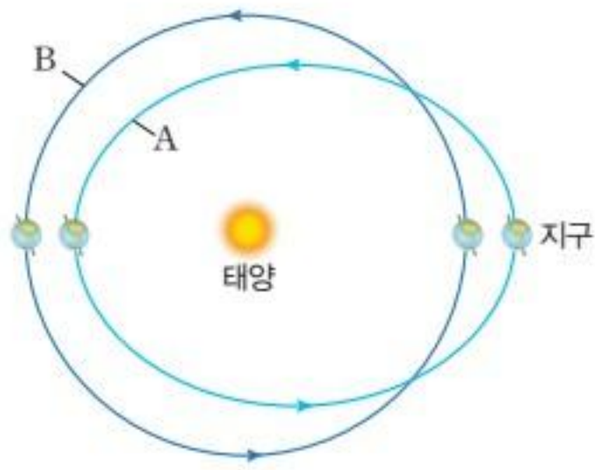
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 지구 자전축 기울기가 변하면 태양의 남중 고도가 달라진다. 우리나라는 중위도에 위치하기 때문에 자전축의 기울기가 커질수록 여름철에 태양의 남중 고도가 높아진다.

➤ 기후 변화의 지구 외적 요인

02 그림은 지구 공전 궤도의 이심률 변화를 나타낸 것이다.

지구의 공전 궤도가 A에서 B로 변했을 때 우리나라에서 나타날 수 있는 기후 변화로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지구의 공전 궤도 이심률 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정한다.)



보기

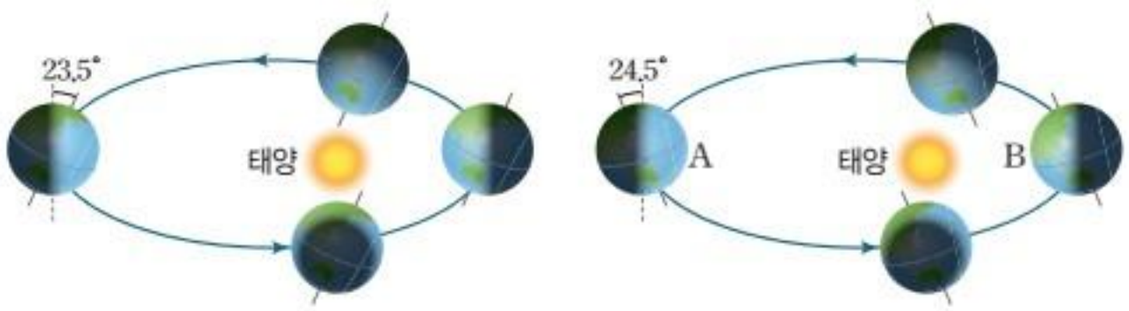
ㄱ. 여름의 기온이 상승한다.
ㄴ. 공전 궤도상에서 여름과 겨울이 나타나는 위치가 달라진다.
ㄷ. 태양의 남중 고도가 높아진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 세차 운동이 변함없다고 가정하면 우리나라의 여름은 원일점에서 나타나며, 자전축의 기울기 변화가 없다면 태양과의 거리에 관계없이 태양의 남중 고도는 변하지 않는다.

➤ 기후 변화의 지구 외적 요인

03 그림 (가)는 현재 지구 자전축의 기울기와 경사 방향을 나타낸 것이고, (나)는 약 13000년 후 변화된 모습을 예상하여 나타낸 것이다.



(가) 현재 (나) 약 13000년 후

약 13000년 후 우리나라의 기후 변화에 대해 추정한 내용으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지구 자전축의 기울기와 경사 방향 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정한다.)

보기

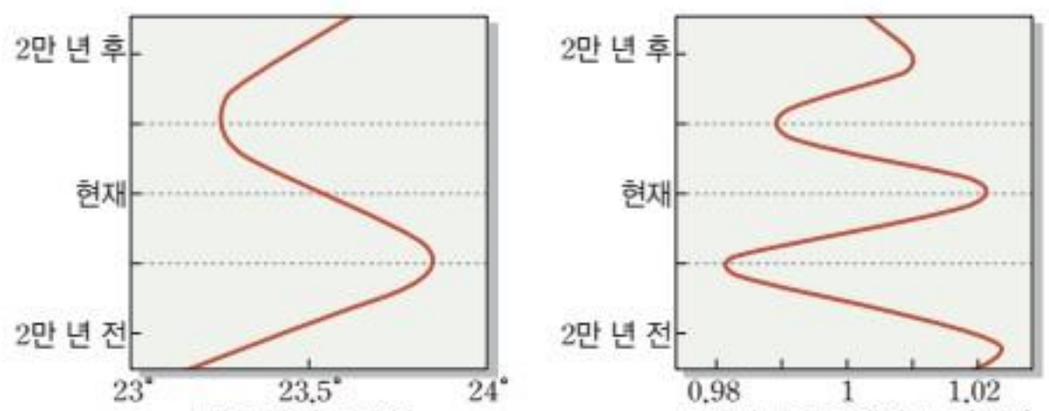
ㄱ. A에서 겨울, B에서 여름이 나타난다.
ㄴ. 여름의 기온은 현재보다 높아진다.
ㄷ. 여름일 때 태양의 남중 고도는 현재보다 높아진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 지구 자전축의 기울기가 변하면 태양의 남중 고도가 달라지고, 세차 운동으로 자전축의 경사 방향이 변하면 공전 궤도상에서 계절이 나타나는 위치가 달라진다.

➤ 기후 변화의 지구 외적 요인

04 그림 (가)는 현재를 기준으로 약 2만 년 전~2만 년 후의 지구 자전축 기울기 변화를, (나)는 같은 기간 동안 북반구 여름철의 태양과 지구 사이의 거리 변화를 나타낸 것이다.



(가) (나)

이 자료를 근거로 판단한 우리나라의 기후 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 기후 변화는 두 가지 요인 이외의 다른 요인의 영향은 없다고 가정한다.)

보기

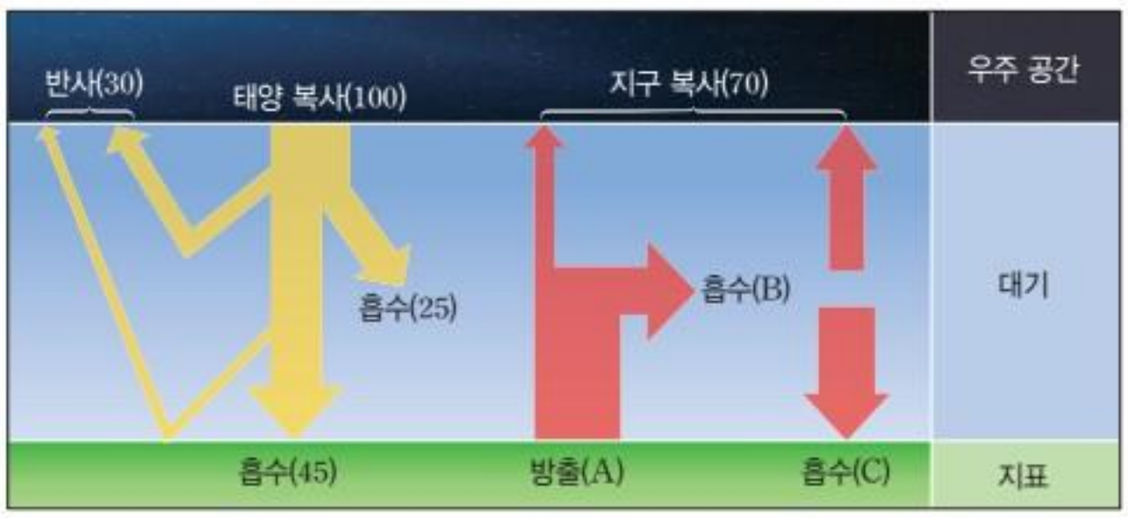
ㄱ. 1만 년 전에는 여름의 기온이 현재보다 더 높았다.
ㄴ. 1만 년 전부터 현재까지 여름철 태양의 남중 고도는 증가하였다.
ㄷ. 현재부터 1만 년 후까지 (가)와 (나)는 모두 기온의 연교차를 크게 하는 요인으로 작용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➢ 지구 자전축의 기울기가 작아지면 여름과 겨울에 태양의 남중 고도 차이가 작아진다.

➤ 지구의 복사 평형과 지구 열수지 + 지구 온난화

05 그림은 지구에 입사하는 태양 복사 에너지를 100으로 했을 때 복사 평형을 이루고 있는 지구에서의 열수지를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

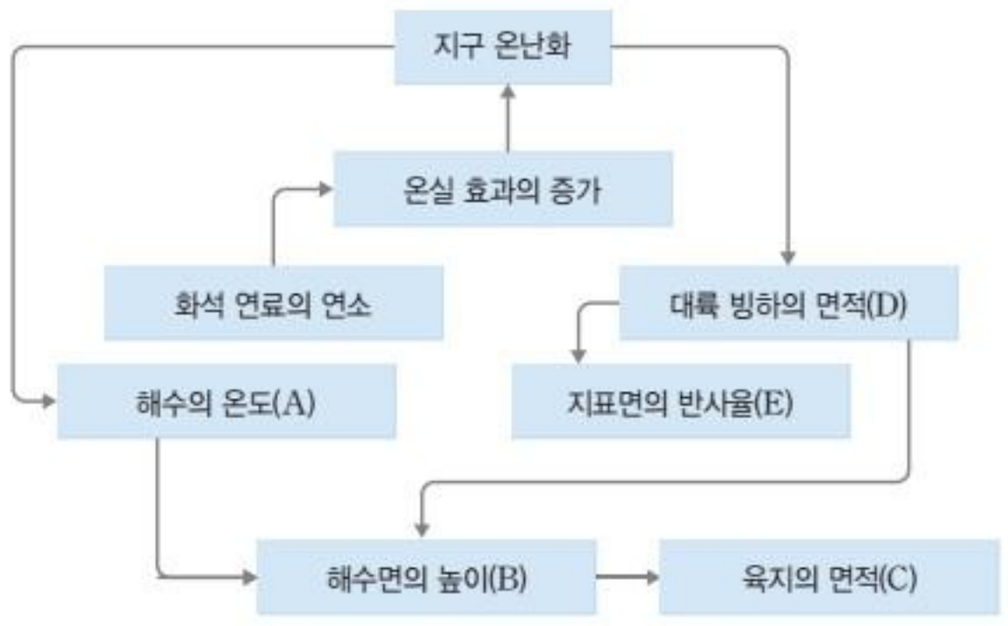
ㄱ. A는 (45 + C)이다.
ㄴ. 대기 중 온실 기체가 증가하면 B가 증가한다.
ㄷ. 지구 온난화가 진행되면 A와 C는 모두 증가한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 대기 중에 온실 기체의 양이 증가하면 지표에서 방출하는 지구 복사 에너지를 대기가 더 많이 흡수하고, 대기가 지표로 재복사하는 에너지량이 증가하여 지구 열수지가 변한다.

➤ 지구 온난화

06 그림은 지구 온난화의 원인과 그로 인한 지구 환경의 변화 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A → B 과정은 강수량의 증가 때문에 나타난다.
ㄴ. A가 증가하면 B는 증가하고 C는 감소한다.
ㄷ. D가 감소하면 E는 증가한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 해수의 온도가 높아지면 열팽창에 의해 해수의 부피가 커진다.

➤ 지구 온난화

07 그림은 산업화 이전 대비 최근 10년간 관측된 지구의 온도 상승 폭을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

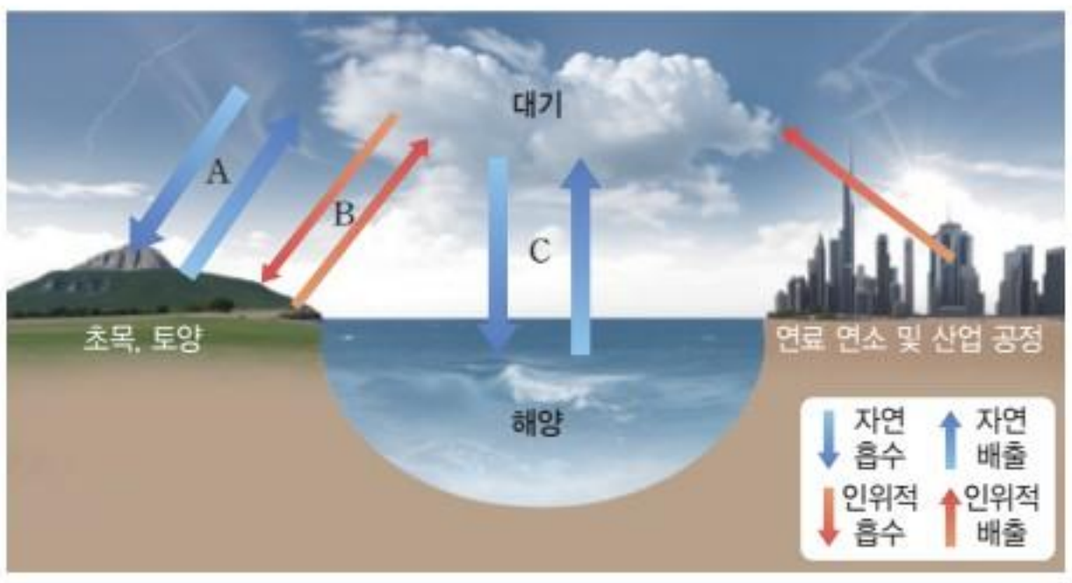
ㄱ. 지구 온난화에 기여한 정도는 자연적 요인보다 인위적 요인이 더 크다.
ㄴ. 최근 10년 동안 지구의 온도가 상승한 것은 산업화의 진행과 관련이 있다.
ㄷ. 지구 온난화에 가장 큰 영향을 주는 것은 에어로졸이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➢ 에어로졸은 공기 중에 떠 있는 작은 액체나 고체 입자로, 태양 복사 에너지를 반사 또는 산란하는 역할을 한다.

➤ 지구 온난화

08 그림은 지구시스템에서 탄소가 순환하는 과정을 나타낸 모식도이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A는 주로 식물의 광합성과 호흡에 의해 나타난다.
ㄴ. B는 삼림의 조성 및 파괴와 관련이 있다.
ㄷ. C는 강수와 증발에 의한 탄소의 이동 과정이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

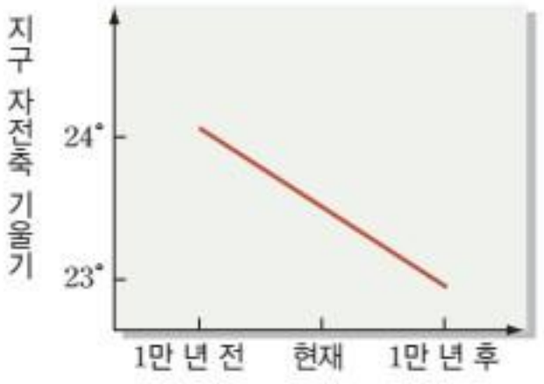
➢ 식물은 광합성을 통해 대기 중의 이산화 탄소를 흡수하고, 호흡을 통해 대기로 이산화 탄소를 방출한다.

도전 문제

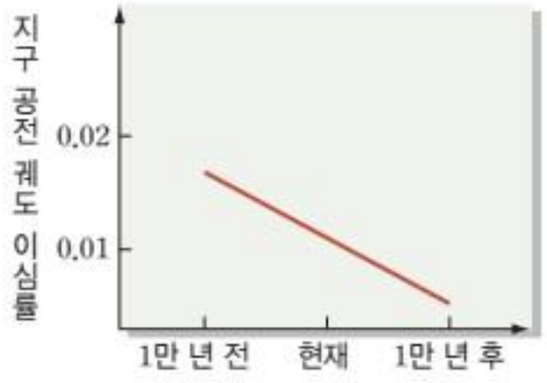
➤ 기후 변화의 지구 외적 요인

09 그림 (가)와 (나)는 약 1만 년 전부터 1만 년 후까지의 지구 자전축 기울기와 지구 공전 궤도 이심률의 변화 경향을 나타낸 것이다.

> 공전 궤도 이심률이 감소하는 것은 공전 궤도가 원에 가까운 모양으로 바뀐다는 것을 의미한다.



(가)



(나)

이 기간 동안 우리나라에서 나타나는 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 가지 이외의 다른 기후 변화 요소의 영향은 없다고 가정한다.)

보기

ㄱ. 여름일 때 태양의 남중 고도는 계속 증가하고 있다.
ㄴ. (여름일 때 태양과 지구의 거리−겨울일 때 태양과 지구의 거리)값은 감소하고 있다.
ㄷ. (가)는 기온의 연교차를 증가시키고, (나)는 기온의 연교차를 감소시킨다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 지구 온난화

10 그림은 지구 온난화가 진행되는 과정의 일부를 나타낸 모식도이다.

> 지구 온난화의 양의 되먹임 작용은 어떤 한 요소의 변화가 다른 요소에 영향을 미쳐 지구 온난화를 더욱 심화시키는 현상을 의미한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. A 과정에서 발생하는 기체의 대부분은 메테인(CH_4)이다.
ㄴ. B는 지구 온난화의 양의 되먹임 작용이고, C는 음의 되먹임 작용이다.
ㄷ. 지구 온난화가 진행되면 해안가 저지대의 침수 피해가 증가한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 엘니뇨 남방진동

1 해수의 용승과 침강

▸ 96쪽~97쪽

1. 연안 용승과 연안 침강

(1) 연안 용승(북반구): 서해안에서 지속적으로 (1)풍이 불면 표층 해수는 먼바다로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 차가운 해수가 용승한다.

(2) 연안 침강(북반구): 서해안에서 지속적으로 (2)풍이 불면 표층 해수는 먼바다에서 연안으로 이동하고, 연안에 쌓이는 해수는 심층으로 침강한다.

2. 적도 용승 적도 부근 해역에서는 적도를 경계로 동에서 서로 부는 무역풍에 의해 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다.

2 엘니뇨 남방진동

▸ 98쪽~101쪽

1. 남방진동 열대 동태평양과 서태평양 사이에서 3년~7년의 주기로 발생하는 기압 변동이다.

(1) 평상시: 동태평양에 (3)기압이 발달하고, 서태평양에 (4)기압이 발달하여 열대 태평양 상공에 거대한 대기 순환인 워커 순환이 형성된다.

(2) 타히티의 해면 기압 하강, 다윈의 해면 기압 상승: 타히티 주변에서는 평상시보다 기압이 낮아져 상승 기류가 생기고, 다윈 주변에서는 평상시보다 기압이 높아져 하강 기류가 생기며 기압 배치가 달라진다. 이때 남방진동 지수는 (5)로 나타난다.

(3) 타히티의 해면 기압 상승, 다윈의 해면 기압 하강: 타히티 주변에서는 평상시보다 기압이 높아져 강한 하강 기류가 생기고, 다윈 주변에서는 평상시보다 기압이 낮아져 강한 상승 기류가 생기며 기압 배치가 달라진다. 이때 남방진동 지수는 (6)로 나타난다.

2. 엘니뇨와 라니냐

(1) 엘니뇨: 동태평양에서 표층 수온이 평상시보다 0.5 ℃ 이상 높아진 상태가 5개월 이상 지속되는 현상으로, 무역풍이 (7)되어 발생한다.

(2) 라니냐: 동태평양에서 표층 수온이 평상시보다 0.5 ℃ 이상 낮아진 상태가 5개월 이상 지속되는 현상으로, 무역풍이 강화되어 발생한다.

구분		엘니뇨 시기	라니냐 시기
동태평양에서의 변화	용승	(8)해짐.	강해짐.
	해수면 온도	높아짐.	낮아짐.
	온난 수역 두께	두꺼워짐.	얇아짐.
	수온 약층의 시작 깊이	깊어짐.	얕아짐.
	기압	(9)	(10)
	강수량	(11)	(12)

3. 엘니뇨 남방진동(ENSO) 엘니뇨와 라니냐, 남방진동은 대기와 해양의 상호작용으로 함께 일어나는 현상이므로 이를 합쳐서 엘니뇨 남방진동 또는 엔소(ENSO)라고 한다.

정답과 해설 169쪽

02 지구의 기후 변화

1 기후 변화의 자연적 요인

▸ 112쪽~117쪽

1. 지구 외적 요인

(⑬)	지구 자전축이 약 26000년을 주기로 회전하는 현상이다. 약 13000년마다 경사 방향이 반대가 되면 근일점과 원일점에서 계절이 반대가 된다.
지구 자전축 기울기 변화	지구 자전축 기울기가 약 41000년을 주기로 약 21.5°~24.5° 사이에서 변한다. 자전축 기울기가 커지면 태양의 남중 고도 차이가 증가하여 기온의 연교차가 (⑭)진다.
지구 공전 궤도 이심률 변화	지구의 공전 궤도는 약 (⑮)만 년을 주기로 원에 가까워졌다가 긴 타원 모양으로 변한다. 북반구의 경우 이심률이 커지면 기온의 연교차가 (⑯)진다.
태양 활동의 변화	태양의 흑점 수가 많을 때는 태양 활동이 활발하며 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량이 증가한다.

2. 지구 내적 요인

대기 투과율의 변화	대규모의 화산 폭발로 많은 양의 화산재가 분출하여 대기 중에 오랫동안 머물면 지구의 반사율이 높아져 지구의 평균 기온이 (⑰)아진다.
대륙과 해양의 분포 변화	판의 운동으로 대륙이 이동하여 수륙 분포가 달라지면 대기와 해수의 순환이 영향을 받아 기후가 변한다.
지표면의 상태 변화	빙하의 분포, 식생의 변화 등으로 지표면의 (⑱)이 달라지면 기후가 변한다.

2 기후 변화의 인위적 요인

▸ 118쪽~120쪽

1. 온실 효과

(1) 온실 효과: 지구의 대기는 태양 복사 에너지는 대부분 통과시키지만, 지구 복사 에너지는 일부를 흡수하여 지표로 재방출하는데, 이러한 과정에서 지구의 평균 기온이 높게 유지되는 현상이다.

(2) 온실 기체: 온실 효과를 일으키는 기체로, 주요 온실 기체에는 수증기, (⑲), 메테인, 산화 이질소 등이 있다.

2. 지구의 복사 평형과 지구 열수지

(1) 지구의 복사 평형: 물체가 흡수하는 복사 에너지량과 방출하는 복사 에너지량이 같은 상태를 복사 평형이라고 한다. 지구는 오랜 기간 복사 평형 상태를 이루고 있다.

(2) 지구 열수지: 우주, 대기, 지표 각 영역에서 출입하는 에너지 관계를 지구 열수지라고 한다.

3. 지구 온난화

(1) 지구 온난화: 대기 중 온실 기체의 양이 증가함에 따라 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 높아지는 현상이다.

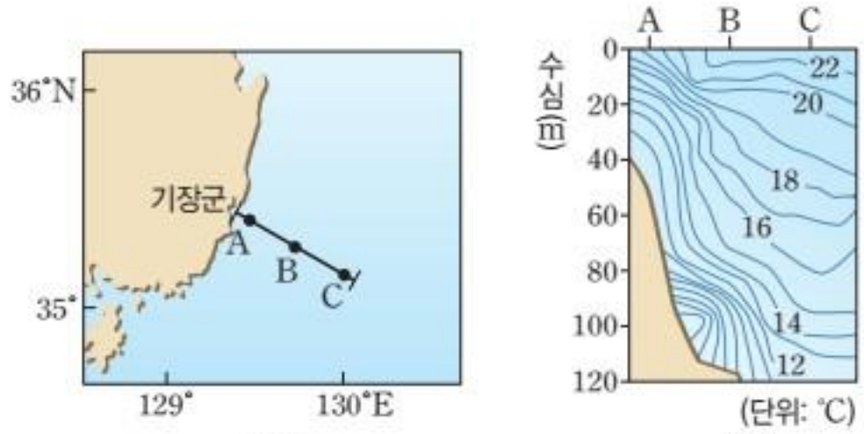
(2) 지구 온난화의 원인: 산업 혁명 이후 (⑳) 사용량의 급격한 증가 및 무분별한 삼림 벌채, 가축 사육 등 인간의 활동으로 대기 중 온실 기체의 양이 증가하였기 때문이다.

(3) 지구 온난화의 영향: 해수의 열팽창과 빙하의 융해에 의한 해수면 상승, 육지 면적 감소, 강수량과 증발량 변화, 기후대 변화 등

통합 실전 문제

용승과 침강

01 그림 (가)는 어느 시기에 부산 기장군 앞 해역에서 수온을 측정한 지점 A, B, C를, (나)는 이 구간의 수심에 따른 수온의 분포를 나타낸 것이다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 이 해역에서는 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불었다.
ㄴ. 해수면의 높이를 비교하면 A>B>C이다.
ㄷ. 수온 약층이 시작되는 깊이를 비교하면 A<B<C이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

용승 해역의 특징

02 그림은 전 세계의 주요 용승 지역을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

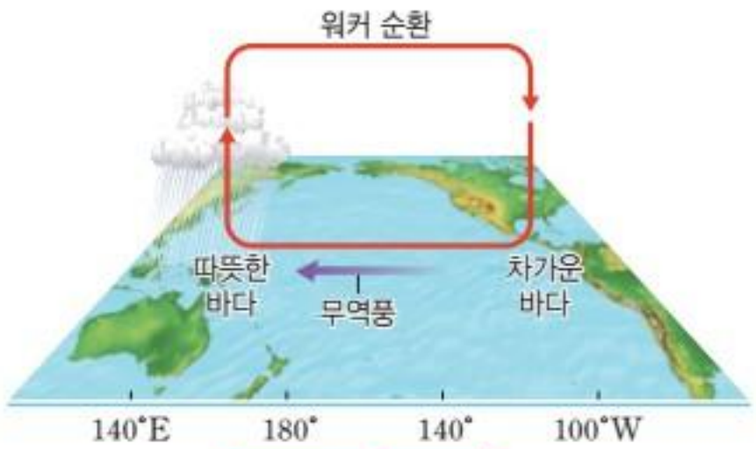
ㄱ. 적도 용승은 무역풍이 강할 때 활발하게 일어난다.
ㄴ. 캘리포니아 연안에서는 남풍 계열의 바람이 우세하게 분다.
ㄷ. 용승 해역은 표층 수온이 높아지고 강수량이 증가한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

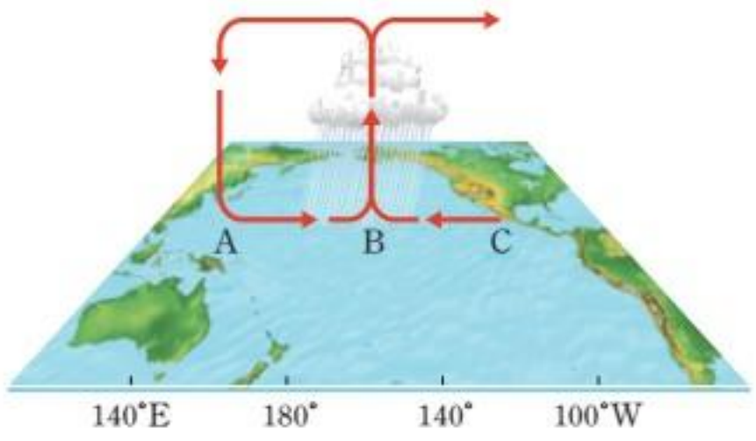
엘니뇨 남방진동

03 그림 (가)는 태평양 적도 부근에서 평상시의 대기 순환을, (나)는 엘니뇨 또는 라니냐 시기의 대기 순환을 나타낸 것이다.

(가)



(나)



(가) 시기와 비교했을 때 (나) 시기에 달라지는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

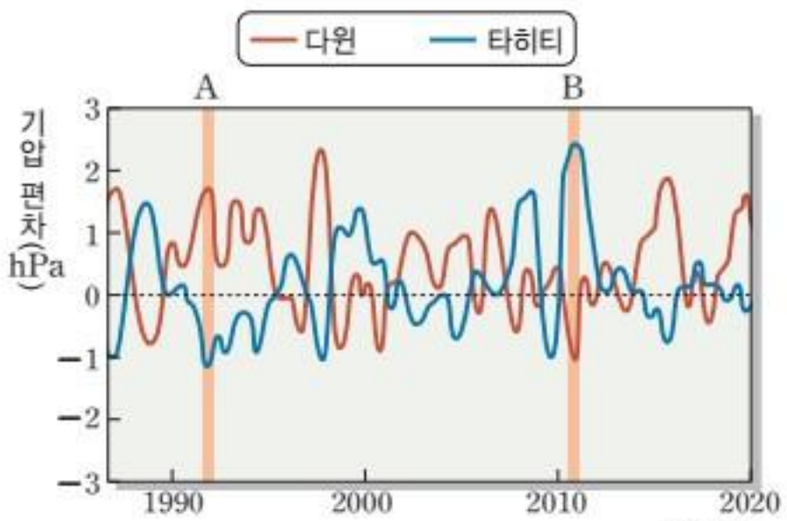
보기

ㄱ. A 해역에서는 강수량이 감소한다.
ㄴ. B 해역에 부는 무역풍의 세기는 약해진다.
ㄷ. C 해역의 표층 수온은 낮아진다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

엘니뇨 남방진동

04 그림은 적도 부근 서태평양에 위치한 다윈과 중앙태평양에 위치한 타히티에서 측정한 해수면 기압 편차(관측값−평년값)를 나타낸 것이다. (단, A와 B는 엘니뇨 또는 라니냐가 발생한 시기이다.)



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

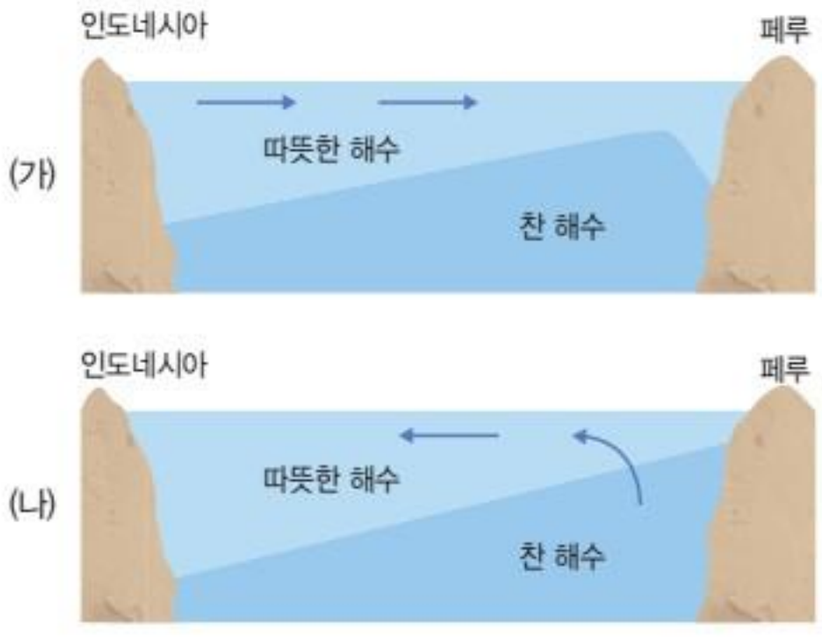
보기

ㄱ. 남방진동 지수는 A 시기일 때 (−), B 시기일 때 (+)로 나타난다.
ㄴ. A 시기일 때 다윈은 평년보다 맑은 날씨가 많이 나타났다.
ㄷ. $\frac{\text{다윈 부근 해역의 평균 표층 수온}}{\text{타히티 부근 해역의 평균 표층 수온}}$은 A 시기보다 B 시기에 더 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

엘니뇨 남방진동

05 그림 (가)와 (나)는 적도 부근 태평양에서 해수의 동서 방향 연직 단면과 해수의 이동 방향을 나타낸 것이다. (단, (가)와 (나)는 엘니뇨 또는 라니냐가 발생한 시기이다.)



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

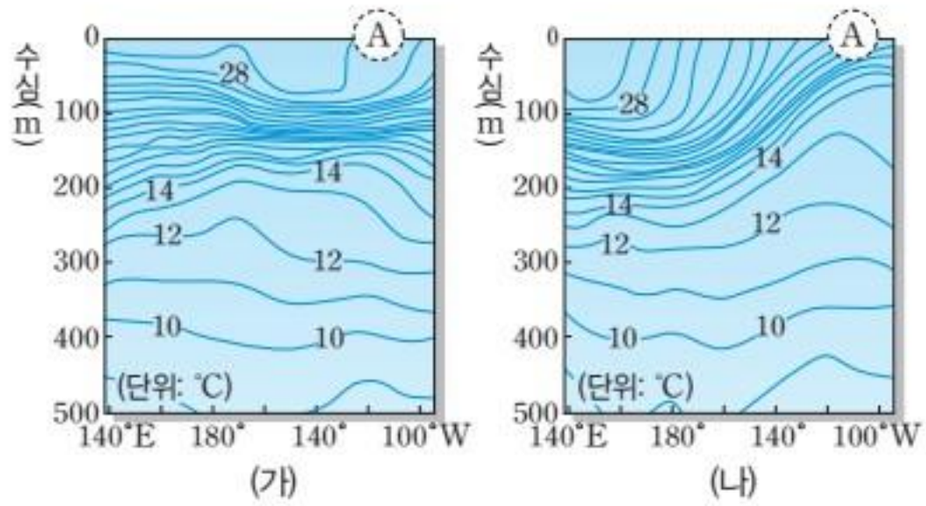
보기

ㄱ. 남방진동 지수는 (가)일 때 (−), (나)일 때 (+)로 나타난다.
ㄴ. 페루 앞바다의 해수면 높이는 (가)보다 (나)일 때가 더 높다.
ㄷ. 페루 앞바다에서 수온 약층이 나타나는 깊이는 (가)보다 (나)일 때가 더 깊다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

엘니뇨 남방진동

06 그림 (가)와 (나)는 엘니뇨와 라니냐 발생 시기에 열대 태평양 해역의 수심에 따른 수온 분포를 순서 없이 나타낸 것이다.



각 시기에 A 해역에서 나타나는 특징에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. 강수량은 (가)일 때가 (나)일 때보다 많다.
ㄴ. 해수면의 높이는 (가)일 때가 (나)일 때보다 더 높다.
ㄷ. 표층 해수에 포함된 영양염은 (가)일 때가 (나)일 때보다 더 적다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기후 변화의 지구 내적 요인

07 다음은 필리핀 피나투보 화산 분출 당시의 특징과 화산 분출 전후의 지구 평균 기온 변화를 나타낸 것이다.



- 1991년 6월 12일에 피나투보 화산은 화산 분출물을 격렬하게 뿜어내기 시작했고, 주변에는 화산재가 섞인 강한 비가 내렸다.
- 많은 양의 화산재가 성층권까지 도달하여 지구 전체로 퍼져 나갔다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

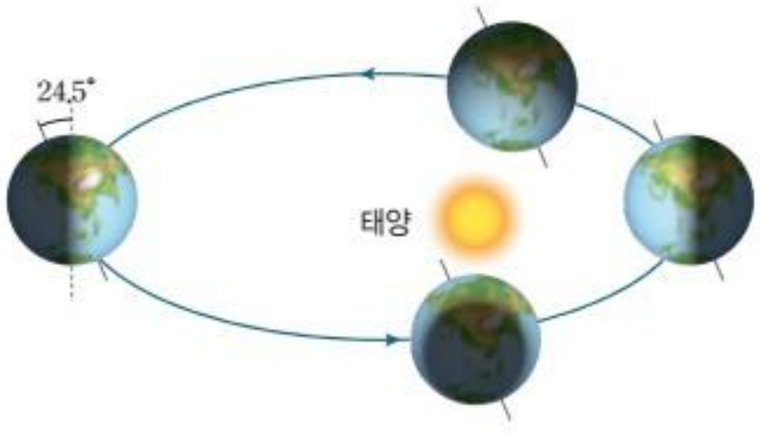
보기

ㄱ. 화산 분출에 의한 기후 변화는 지권과 기권의 상호작용에 해당한다.
ㄴ. 화산 분출의 결과로 대기의 투과율이 높아졌다.
ㄷ. 화산 활동은 지권, 기권, 수권, 생물권에 모두 영향을 준다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기후 변화의 지구 외적 요인

08 그림은 약 11500년 전 지구 자전축의 기울기와 자전축의 경사 방향을 나타낸 것이다.



11500년 전의 우리나라 기후에 대해 추정한 내용으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (현재 지구 자전축의 기울기는 약 23.5°이다.)

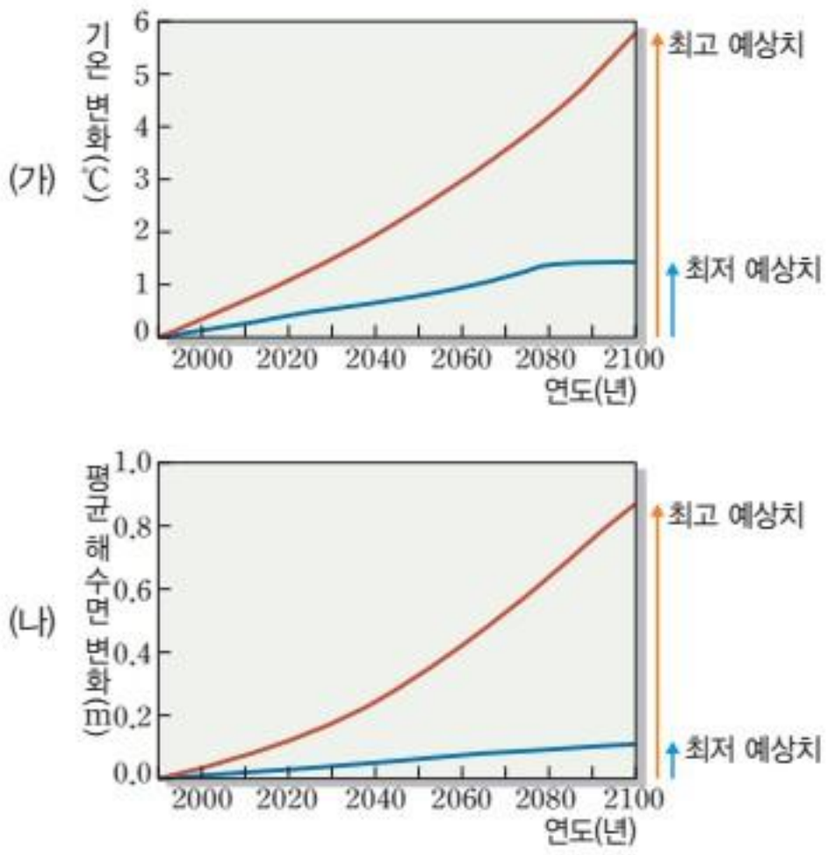
보기

ㄱ. 원일점에 위치할 때 겨울이 나타났다.
ㄴ. 기온의 연교차가 현재보다 컸다.
ㄷ. 여름과 겨울 모두 태양의 남중 고도가 현재보다 높았다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

지구 온난화

09 그림 (가)와 (나)는 각각 1990년부터 110년간 예상되는 지구 기온의 변화와 평균 해수면의 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

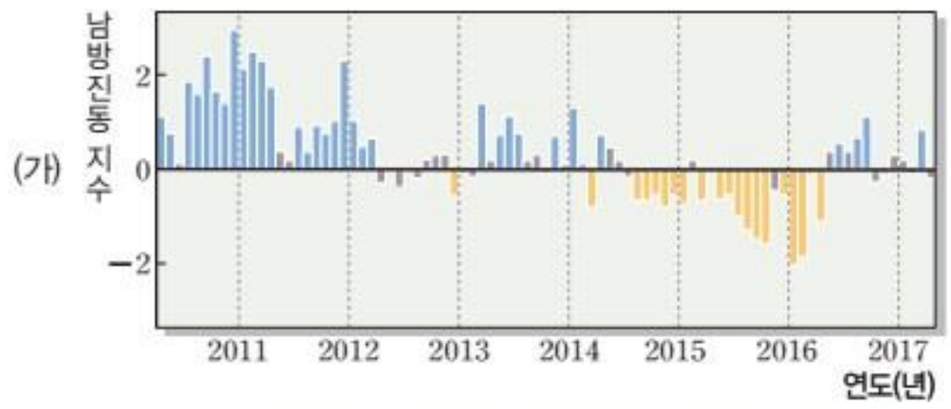
ㄱ. (가)의 주된 원인은 대기 중의 온실 기체 증가이다.
ㄴ. (나)는 지구 전체적인 강수량의 증가 때문이다.
ㄷ. (나)의 결과는 해안 생태계의 변화에 영향을 미친다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

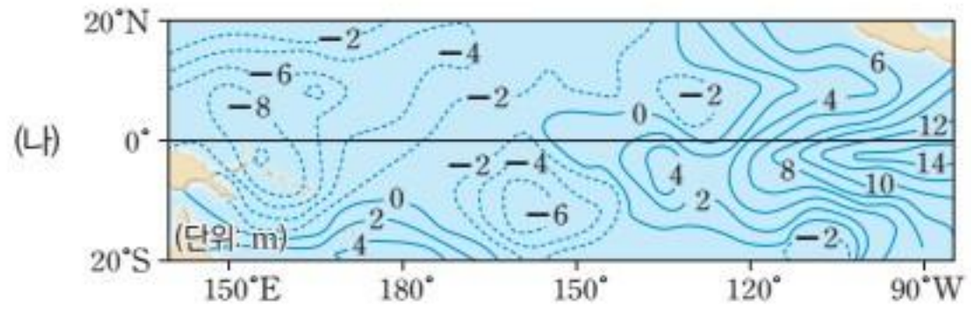
정답과 해설 171쪽

1 그림 (가)는 2010년~2018년 사이에 측정한 남방진동 지수를, (나)는 같은 기간 동안 엘니뇨 또는 라니냐가 가장 활발할 때 태평양 적도 부근 해역에서 관측된 따뜻한 해수층의 두께 편차(관측값－평년값)를 나타낸 것이다.

(가)



(나)



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. (나)는 2011년 전후로 측정한 것이다.

ㄴ. (나) 시기에 $\frac{\text{동태평양의 강수량}}{\text{서태평양의 강수량}}$은 평년에 비해 증가하였다.

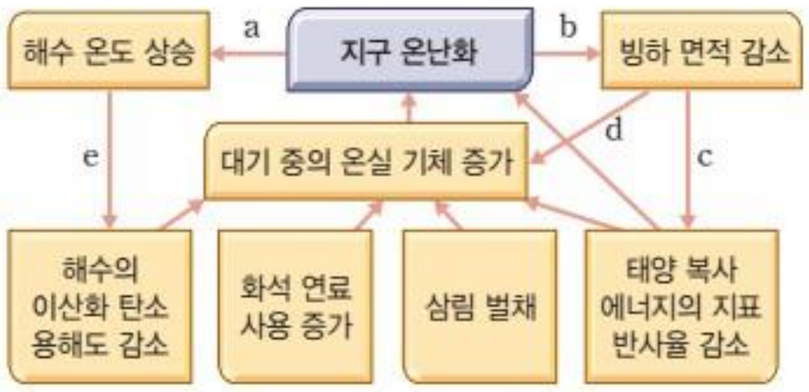
ㄷ. (나) 시기에 동태평양에서 수온 약층이 시작되는 깊이는 평년에 비해 증가하였다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

남방진동 지수가 (－)일 때 엘니뇨가 발생하고, (＋)일 때 라니냐가 발생한다.

2 그림은 지구 온난화가 진행되는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. a → e, b → c, b → d 과정은 모두 지구 온난화의 양의 되먹임 작용이다.

ㄴ. d 과정에서 방출하는 온실 기체의 대부분은 이산화 탄소이다.

ㄷ. a 과정은 해안 침수의 원인이 될 수 있다.

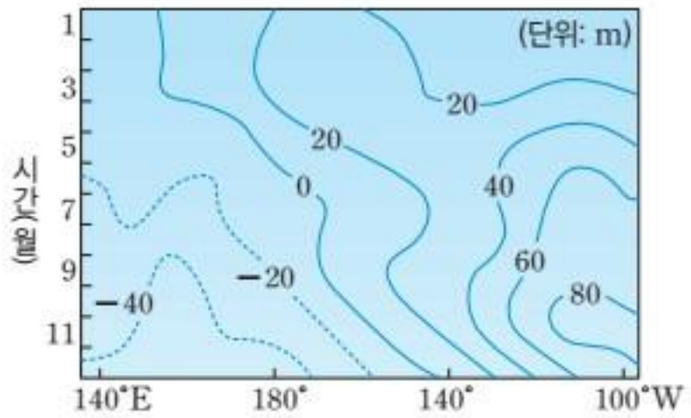
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

지구 온난화의 양의 되먹임은 지구 온난화에 의한 결과가 다시 지구 기온의 상승 요인으로 작용하는 것을 의미한다.

사고력 확장 문제

1 그림은 태평양 적도 부근 해역에서 엘니뇨 또는 라니냐가 발생한 시기에 1년 동안 관측한 20 ℃ 등수온선의 깊이 편차를 나타낸 것이다.



(1) 측정한 시기는 엘니뇨와 라니냐 중 어떤 시기에 해당하는지 까닭을 들어 서술하시오.

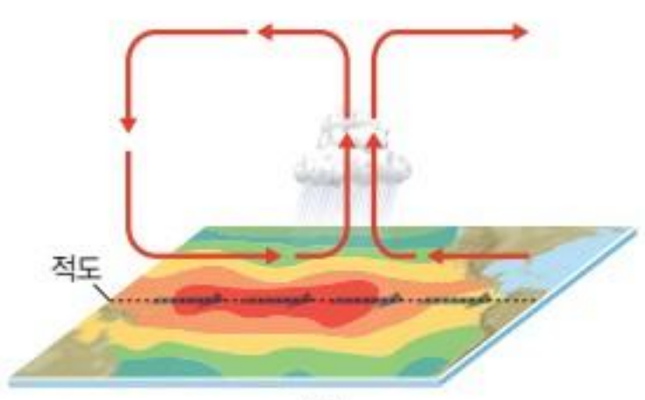
(2) 이 해 1월부터 10월까지 $\frac{\text{서태평양 해면 기압}}{\text{동태평양 해면 기압}}$의 변화를 자료를 해석하여 서술하시오.

KeyWord
(1) • 용승
(2) • 엘니뇨
• 해면 기압

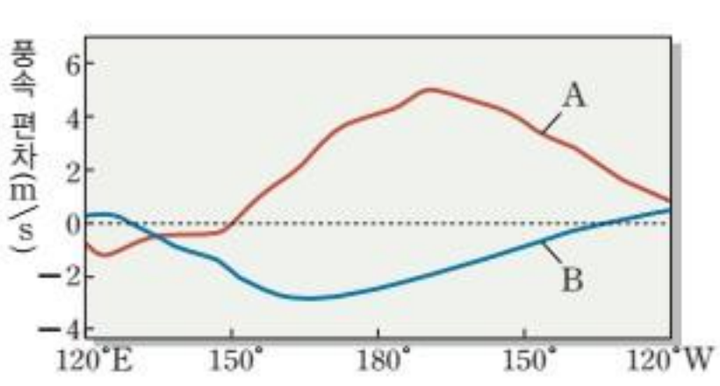
Solution Tip

20 ℃ 등수온선의 깊이가 깊어진다는 것은 표층 해수의 수온이 높아짐을 의미하며, 이는 심해에서 상승하는 차가운 물의 유입이 줄어들었기 때문이다.

2 그림 (가)는 어느 시기에 태평양 적도 부근에서의 대기 순환을 나타낸 것이고, (나)는 태평양 적도 부근 해역에서 부는 바람의 동서 방향 풍속 편차를 나타낸 것이다. A와 B는 엘니뇨와 라니냐 시기 중 하나이며, 편차는 (관측값−평년값)이다.



(가)



(나)

(1) (가)의 순환이 활발해졌을 때 동서 방향의 풍속 편차는 (나)의 A와 B 중 무엇에 해당하는지 까닭을 들어 서술하시오.

(2) 이 시기에 동태평양에서의 표층 수온 변화를 풍속과 관련지어 서술하시오.

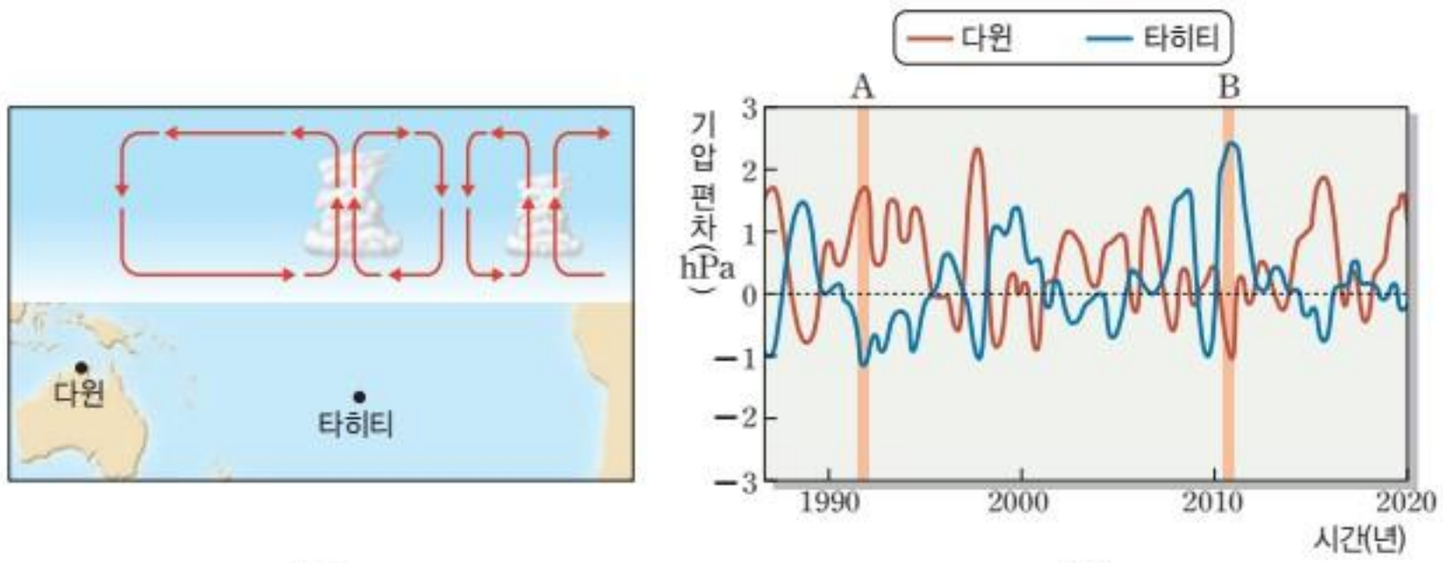
KeyWord
(1) • 엘니뇨
• 무역풍
(2) • 엘니뇨
• 용승

Solution Tip

엘니뇨 시기에는 무역풍의 세기가 약화된다.

정답과 해설 172쪽

3 그림 (가)는 태평양 적도 부근 해역의 대기 순환 모습을, (나)는 다윈과 타히티에서 측정한 기압 편차(관측 기압−평년 기압)를 나타낸 것이다.



(가) (나)

(1) (가)의 대기 순환은 (나)의 A와 B 중 어느 시기에 해당하는지 쓰시오.

(2) 남방진동 지수를 구하는 방법을 쓰고, A와 B 시기의 난방진동 지수의 크기를 비교하여 서술하시오.

KeyWord

(2) • 타히티, 다윈
• 기압 편차

Solution Tip

남방진동 지수는 동태평양의 기압 편차에서 서태평양의 기압 편차를 뺀 값이다.

4 다음은 지구 기후 변화에 영향을 주는 지구 외적 요인을 나타낸 것이다.

(가) 태양과 지구 사이의 거리 변화
(나) 지구 자전축의 기울기 변화
(다) 지구 자전축의 경사 방향 변화

(1) (가)~(다) 각 요인들의 변화가 기후 변화에 어떤 영향을 주는지 서술하시오. (단, 다른 요인들의 영향이 없는 독립 변인으로 설명할 것)

(2) 현재 지구 자전축의 기울기가 23.5°이고, 우리나라의 여름은 원일점에서 나타난다. 다음의 변화가 나타날 때 우리나라 여름의 기후 변화를 예상하여 서술하시오.

• 지구 자전축 기울기가 커진다.
• 지구 자전축 경사 방향이 정반대가 된다.
• 지구 공전 궤도 이심률이 커진다.

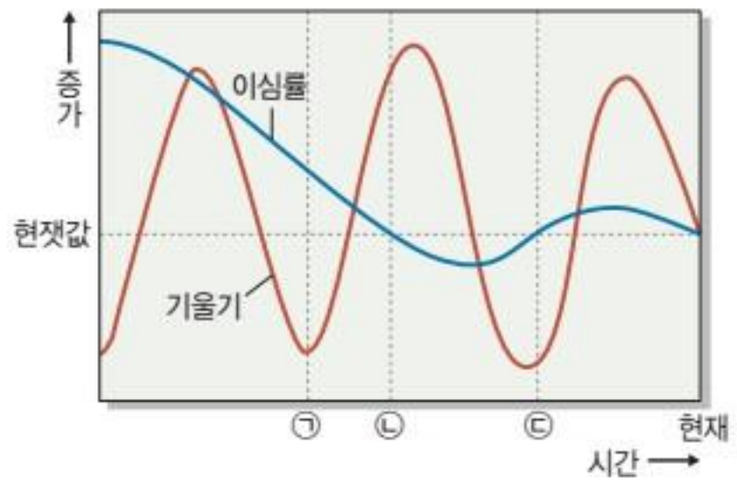
KeyWord

(1) • 태양 복사 에너지량
• 남중 고도
• 계절
(2) • 남중 고도
• 근일점

Solution Tip

자전축 기울기는 태양의 남중 고도, 자전축 경사 방향은 공전 궤도상에서 계절이 나타나는 위치, 이심률은 태양과 지구 사이의 거리와 관련이 있다.

5 그림은 지구 자전축 기울기와 지구 공전 궤도 이심률의 변화를 나타낸 것이다.



(1) ㉠~㉢ 중 근일점과 원일점에서 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량의 차이가 가장 큰 시기를 고르고, 그 까닭을 서술하시오.

(2) 우리나라에서 기온의 연교차가 크게 나타나는 시기부터 순서대로 ㉠~㉢을 나열하고, 그 까닭을 서술하시오. (단, 자전축 기울기와 지구의 공전 궤도 이심률 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정한다.)

KeyWord
(1) • 이심률
• 원일점, 근일점
(2) • 이심률
• 남중 고도
• 연교차

Solution Tip

이심률이 변하면 지구와 태양 사이의 거리가 변하기 때문에 태양으로부터 도달하는 일사량이 달라지며, 지구 자전축의 기울기가 변하면 위도에 따라 태양의 남중 고도가 변하게 되어 일사량의 차이가 생기게 된다.

6 그림은 복사 평형을 이루고 있는 지구의 열수지를 나타낸 것이다.



(1) 지구에서 우주 공간으로 방출되는 지구 복사 A의 값을 쓰시오.

(2) (1)의 결론을 바탕으로 대기 중의 온실 기체가 증가하여 지구 온난화가 진행되는 과정을 B~D의 변화를 이용하여 서술하시오.

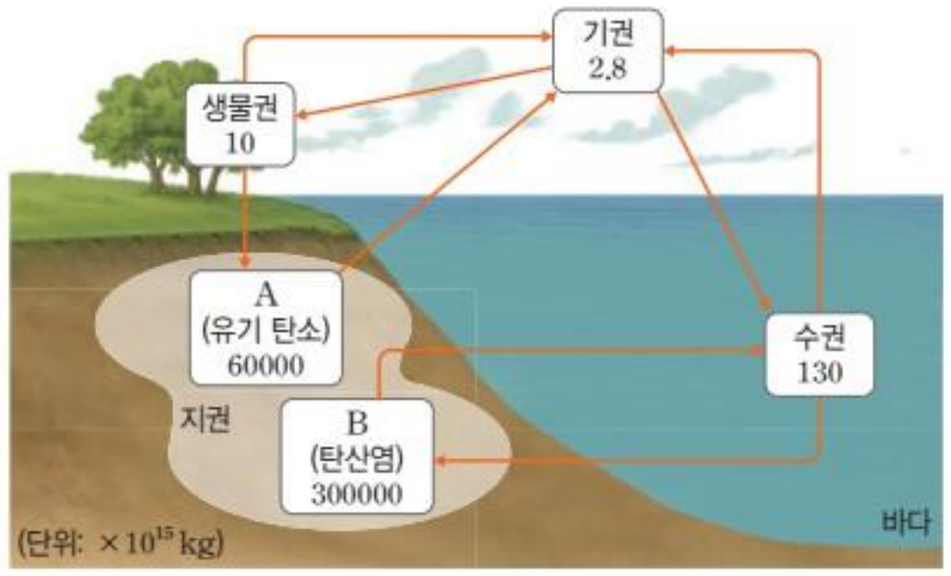
KeyWord
(2) • 복사 평형
• 온실 기체
• 기온 상승

Solution Tip

대기 중의 온실 기체의 양이 증가하면 지표에서 방출하는 지구 복사 에너지를 대기가 더 많이 흡수하므로 지표로 재복사하는 에너지의 양이 증가하면서 지구 온난화가 진행된다.

정답과 해설 172쪽

7 그림은 지구에 분포하는 탄소의 양과 순환을 나타낸 것이다.



(1) A와 B는 주로 어떤 형태로 자연에 존재하는지 각각 쓰시오.

(2) 기권의 탄소가 증가하여 지구 온난화가 진행되는 과정을 <u>두 가지</u>만 서술하시오.

KeyWord
(1) • 화석 연료, 석회암
(2) • 연소
• 해수의 온도

Solution Tip
지권의 탄소는 대부분 석회암으로 존재한다.

8 그림은 온실 기체의 감축 수준과 기후 변화 적응 대책의 수행 여부 등에 따라 미래 사회경제 구조가 어떻게 달라질 것인지 고려한 시나리오를 나타낸 것이다.



(1) 지구 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 <u>두 가지</u> 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

(2) SSP1의 경우에도 지구 온난화가 진행된다는 것을 알 수 있다. SSP1보다 더 강력한 방법으로는 무엇이 있는지 <u>한 가지</u>만 서술하시오.

KeyWord
(1) • 화석 연료
• 개발
(2) • 화석 연료
• 재생 에너지

Solution Tip
지구의 기온 상승은 주로 화석 연료의 사용, 삼림 파괴, 도시 개발 등의 과정에서 대기 중의 온실 기체가 증가하였기 때문이다.

논구술 대비 문제 I. 대기와 해양의 상호작용

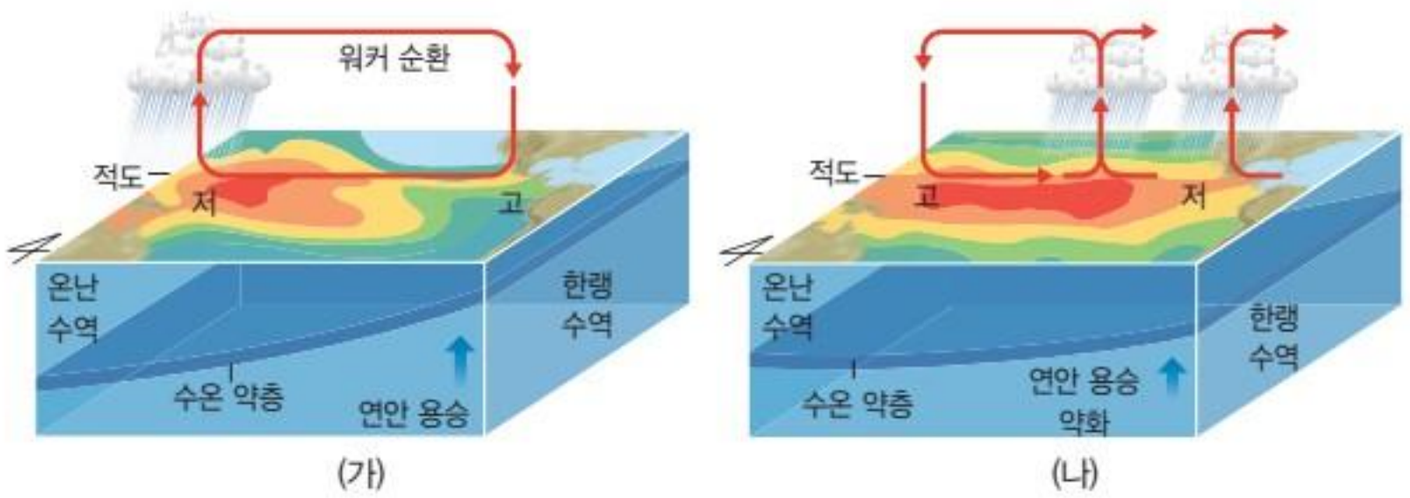
예시 문제

다음은 연안 용승과 엘니뇨 남방진동에 대한 설명이다.

[제시문 1] 그림은 태평양에서 연안 용승이 발생하는 대표적인 해역을 나타낸 것으로, 주로 동태평양 대륙의 서쪽 연안에서 용승이 발생한다. 이러한 용승이 일어나는 해역은 다른 해역에 비해 수온이 낮게 나타나며 고기가 많이 잡히는 좋은 어장이 형성된다.



[제시문 2] 그림 (가)는 평상시, (나)는 엘니뇨가 발생한 시기에 태평양 적도 부근의 대기 순환과 해수 온도 변화를 나타낸 것이다.



(1) [제시문 1]에서와 같이 동태평양 대륙의 서쪽 연안에서 용승이 나타나는 까닭을 대기 대순환과 관련지어 서술하고, 용승이 일어나는 해역에 좋은 어장이 형성되는 까닭을 서술하시오.

(2) [제시문 2]에서 엘니뇨가 발생할 때 평상시와 달라지는 해양 환경의 변화에 대해 [제시문 1]의 결과를 참고하여 다음 조건에 맞추어 서술하시오.

- 동태평양 해역의 수온 변화를 용승 및 바람으로 설명할 것
- 적도 부근 해역에서 온수대가 동쪽으로 이동하는 까닭을 적도 해류로 설명할 것
- 엘니뇨와 남방진동의 상관관계를 기압 배치의 변화로 설명할 것

출제 의도

엘니뇨의 발생 원리, 엘니뇨 발생 시기의 기압 배치 및 해수면 온도 변화 등을 대기 대순환과 용승을 통해 설명할 수 있는지를 묻고, 엘니뇨와 남방진동의 관계를 기압 배치의 변화를 통해 비교할 수 있는지를 평가한다.

문제 해결을 위한 배경 지식

- **연안 용승**: 북반구 서해안(동해안)에서 지속적으로 북풍(남풍)이 불면 표층 해수는 먼바다로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 차가운 해수가 용승한다.
- **무역풍**: 대기 대순환에 의해 저위도의 표층에서 부는 바람으로, 북반구에서는 북동 무역풍, 남반구에서는 남동 무역풍이 분다.
- **워커 순환**: 해수면 온도의 차이 때문에 평상시에 서태평양에서는 상승 기류가 활발하여 저기압이 발달하고, 동태평양에서는 상공에서 수렴한 공기가 하강하여 지상에 고기압이 발달한다. 이러한 기압 배치로 인해 열대 태평양 상공에는 거대한 대기 순환이 형성되는데, 이를 워커 순환이라고 한다.

문제 해결 과정

(1) 표층 해수는 지속적으로 부는 바람의 방향에 대하여 북반구는 오른쪽, 남반구는 왼쪽으로 이동하게 된다는 사실로부터 용승이 일어나는 원리를 설명한다.

(2) 엘니뇨 시기에 나타나는 적도 부근 동태평양 해역의 수온 변화는 용승에 영향을 주는 바람의 세력 변화와 관련이 있으며, 용승의 변화에 따라 태평양 적도 부근에서 온수대의 위치도 변하게 된다. 엘니뇨 시기에는 워커 순환의 모습이 평상시와 다르게 나타난다는 사실로부터 엘니뇨와 남방진동과의 상관관계를 설명한다.

해설

(1) 해수면에 바람이 일정한 방향으로 지속적으로 불면 바람과의 마찰력에 의해 표층의 해수가 이동하게 되는데, 전향력의 영향으로 북반구에서는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로, 남반구에서는 바람이 부는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 해수가 이동한다. 이러한 표층 해수의 수평 이동에 의해 특정 해역에서 해수가 빠져나가면 이를 채우기 위해 심층에서 해수가 올라오는데, 이를 용승이라고 한다. 용승이 일어나면 심해의 차가운 물이 올라오기 때문에 연안의 표층 수온은 낮아지고, 심층수에 포함된 풍부한 영양염이 함께 올라오므로 플랑크톤이 풍부해지고 먹이사슬에 의해 좋은 어장이 형성된다.

(2) 남방진동은 적도 부근 동태평양과 서태평양 사이에서 3년~7년의 주기로 나타나는 기압 변동을 말한다. 서태평양에 위치한 호주의 다윈과 남태평양 한가운데 위치한 타히티의 해면 기압이 서로 주기적으로 바뀌는데, 마치 진자가 진동하는 것처럼 보여 이를 남방진동이라고 부르게 되었다. 엘니뇨 시기에는 타히티 주변에서 상승 기류가 생기고, 다윈 주변에서 하강 기류가 생기며, 이에 따라 워커 순환에서 상승 기류가 발생하는 구역이 평상시보다 동태평양 쪽으로 이동한다. 그 결과 무역풍의 세기가 평소보다 약해지고, 페루 연안의 용승이 약화되므로 평상시보다 따뜻한 해수층이 두꺼워지며 해수면 온도가 상승한다.

예시 답안

(1) 북반구 서해안에서 북풍이 지속적으로 불면 표층 해수는 먼바다로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 차가운 해수가 올라온다. 따라서 캘리포니아 연안에서는 지속적으로 부는 북동 무역풍에 의해 연안 용승이 일어난다. 또한, 남반구 서해안에서 남풍이 지속적으로 불면 표층 해수는 먼바다로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 차가운 해수가 올라온다. 따라서 페루-칠레 연안에서는 지속적으로 부는 남동 무역풍에 의해 연안 용승이 일어난다. 용승이 일어나면 차가운 심층 해수의 영향으로 연안을 따라 표층 수온이 낮아지며, 심층 해수에 포함된 영양염에 의해 좋은 어장이 형성된다.

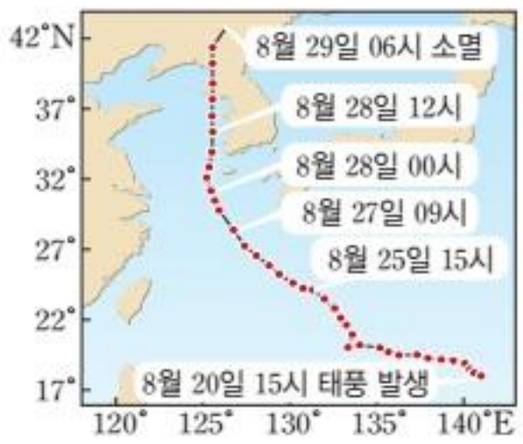
(2) 엘니뇨는 무역풍이 약해질 때 발생한다. 무역풍이 약해지면 캘리포니아 연안과 페루-칠레 연안에서의 용승이 약해지고, 용승이 약해지면 차가운 심층수의 영향이 감소하므로 연안의 표층 수온이 높아지게 된다. 또한, 무역풍이 약해지면 동에서 서로 적도를 따라 이동하던 표층 해류의 흐름이 약해지게 되어 평상시 서태평양에 형성된 온수대가 동태평양 쪽으로 이동하게 된다. 한편, 엘니뇨 시기에는 서태평양의 따뜻한 해수가 동태평양으로 이동하여 동태평양의 해수면 온도가 높아지므로 저기압이 분포하는 위치가 동쪽으로 이동하게 된다. 이때는 평상시 형성되어 있던 적도 부근의 워커 순환에도 변동이 생긴다. 따라서 남방진동과 엘니뇨는 밀접한 상관관계를 나타낸다고 볼 수 있다.

논구술 대비 문제

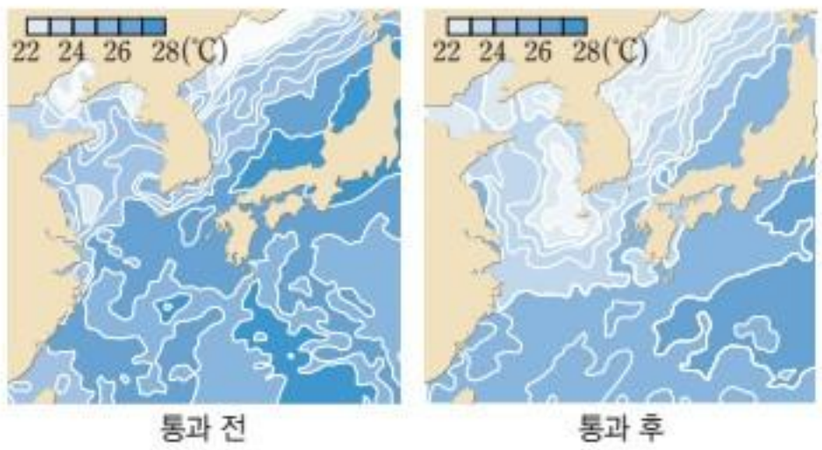
실전 문제

1 다음은 우리나라 황해를 통과하면서 많은 피해를 주었던 어떤 태풍에 대한 설명이다.

[제시문 1] 과거 10년(1990년~1999년) 동안 서태평양에서 발생한 346개 태풍 중 한반도 연근해를 통과한 22개의 태풍과 관련된 표면 수온 변동 연구 결과에 따르면, 태풍이 우리나라 부근 바다를 통과할 때 연안 수온은 평균 0.9 ℃ 급하강하였다. 태풍 통과 시보다 태풍 통과 후에 수온의 급하강이 일어나는 해역은 우리나라 동해 남부를 중심으로 하는 동해 연안 해역이었으며, 해마다 이들 해역에서 여름철 용승 냉수의 발생에 태풍이 간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.



▲ 태풍의 이동 경로



▲ 태풍의 통과 전후 우리나라 부근 바다의 수온 분포

[제시문 2] 강한 태풍이 해안으로 이동할 경우, 해수면이 급격하게 높아지는 폭풍 해일이 나타날 수 있다. 해일은 바닷물이 해안을 덮쳐 피해를 발생시키는데, 해일의 파고에 영향을 미치는 요인에는 태풍의 중심 기압, 풍속, 해안의 지형 등이 있다. 기압은 공기의 무게에 비례하여 아래로 향하는 압력이므로 기압이 높으면 해수면 고도는 낮아지고, 기압이 낮으면 해수면 고도는 높아진다. 기압에 따른 해수면의 고도 상승은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = 43.3 - 0.0433P_0$$

(h: 해수면의 고도 상승(m), P_0: 중심 기압(hPa))

(1) [제시문 1]의 자료에서 태풍이 통과하기 전보다 통과한 후에 동해 연안의 수온이 낮아졌음을 알 수 있다. 그 까닭은 무엇인지 태풍의 풍향과 저기압에 의한 용승의 과정을 근거로 서술하시오.

답안

> **출제 의도**
>
> 태풍이 동반하는 바람의 영향으로 일시적으로 해수가 이동하고, 그 결과 해수의 표면 온도 및 성층 구조가 변화함을 자료를 통해 해석할 수 있는지 평가한다. 태풍에 의한 해일의 규모를 수치로 해석하여 판단할 수 있는지를 함께 평가한다.

> **문제 해결을 위한 배경 지식**
>
> - **표층 해수의 이동 방향**: 북반구에서 바람에 의한 표층 해수의 이동 방향은 바람의 방향에 대하여 오른쪽 직각 방향으로 나타난다.
> - **혼합층**: 해수면 부근에서 부는 바람에 의해 해수가 고르게 섞여 깊이에 관계없이 수온이 거의 일정한 층을 혼합층이라고 하며, 혼합층은 바람이 셀수록 두꺼워진다.
> - **위치 에너지**
> = 질량 × 중력 가속도 × 높이

> **통합과학 연계 프로파일링**
>
> 1. 지구시스템의 구성 요소 중 기권, 수권, 지권은 성층 구조를 이룬다. 수권 중 해수는 깊이에 따른 수온의 변화에 따라 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분된다.
> 2. 수권의 물은 태양 에너지를 흡수하여 수증기가 되어 기권으로 이동한다.
> 3. 지구시스템의 구성 요소들은 끊임없이 상호작용한다. 태풍은 기권과 수권의 상호작용으로 발생하는 자연 현상이다.
> 4. 물체에 작용하는 중력의 크기를 무게라고 하며, 중력만 작용하여 연직 아래 방향으로 떨어지는 물체의 가속도를 중력 가속도라고 한다.

(2) [제시문 1]의 자료에서 황해에서도 태풍이 통과하기 전보다 후에 수온이 낮아졌다. 그 까닭은 무엇인지 혼합층의 두께 변화를 바탕으로 서술하시오.

답안

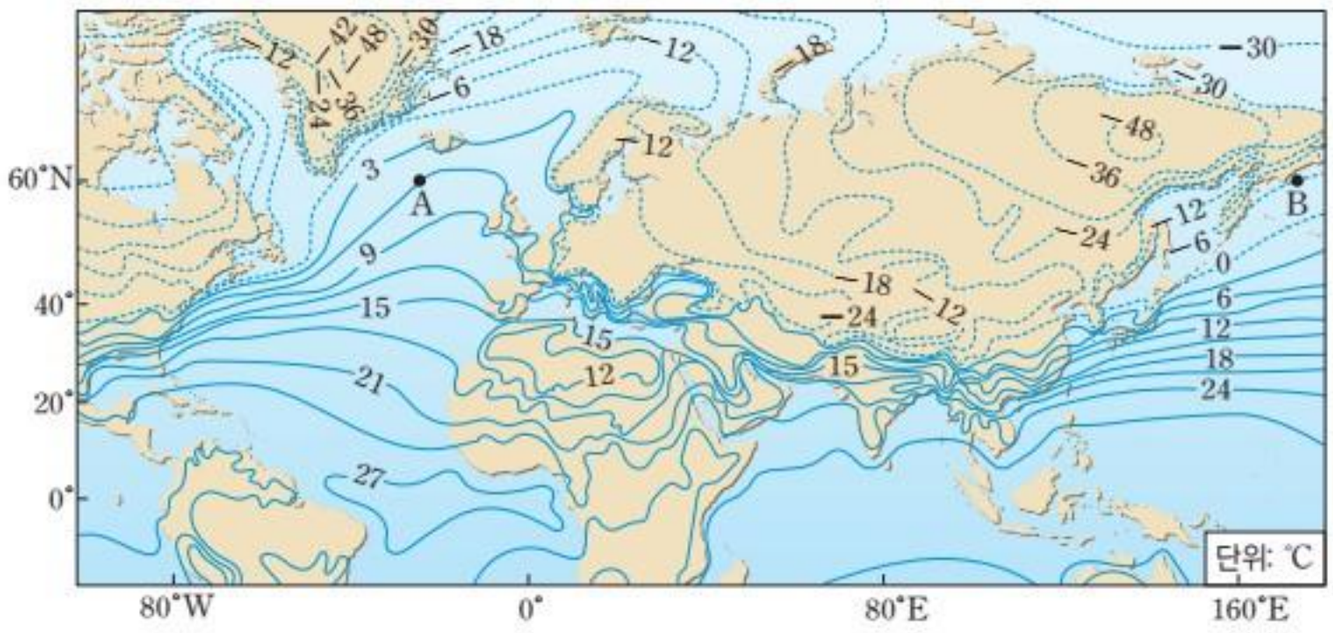
(3) [제시문 2]의 관계식을 이용하여 태풍의 영향으로 상승한 해수면 고도를 구하여 상승한 해수의 위치 에너지를 계산하고, 이를 바탕으로 해안가에 해일이 발생하는 까닭은 무엇인지 서술하시오. (단, 태풍이 영향을 미치는 곳의 평균 기압은 $960\ \mathrm{hPa}$, 태풍의 반지름은 $400\ \mathrm{km}$, 해수의 밀도는 $1000\ \mathrm{kg/m^3}$, 중력 가속도는 $9.8\ \mathrm{m/s^2}$으로 계산한다.)

답안

논구술 대비 문제

2 다음은 북반구의 평균 지상 기온 분포에 대한 설명이다.

기온에 영향을 주는 요인은 다양하지만, 그중 가장 중요한 요인은 위도이다. 지구에서는 위도에 따라 태양 복사 에너지의 양과 낮의 길이가 달라지므로 기온 차이가 발생하며, 그 결과 등온선은 대체로 위도에 평행하게 나타난다. 그러나 같은 위도임에도 지역에 따라 기온이 상당히 다르게 나타나기도 하는데, 이러한 차이를 보이는 원인에는 해발 고도, 수륙 분포, 해류, 계절풍 등이 있다. 그림은 북반구에서 1월의 평균 지상 기온 분포를 나타낸 것이다.



(1) **A와 B 해역은 같은 위도상에 위치한다. 두 지역의 평균 기온을 비교하고, 평균 기온이 다르게 나타나는 까닭을 표층 해류와 관련지어 서술하시오.**

답안

(2) **지구 온난화가 심화되면 A 해역 부근에 위치한 영국을 비롯한 유럽 지역에 극심한 한파가 올 수 있다는 연구 결과가 있다. 이러한 현상이 나타나게 되는 까닭을 해수의 순환과 관련지어 서술하시오.**

답안

출제 의도

같은 위도상에서도 지역별로 기온이 다르게 나타나는 원인을 해류의 성질과 연관 지어 설명할 수 있는지를 묻는다. 또한, 지구 온난화가 심층 순환에 미치는 영향과 이로 인한 기후 변화를 열염 순환의 원리로 설명할 수 있는지에 대한 과학적 사고력을 평가한다.

문제 해결을 위한 배경 지식

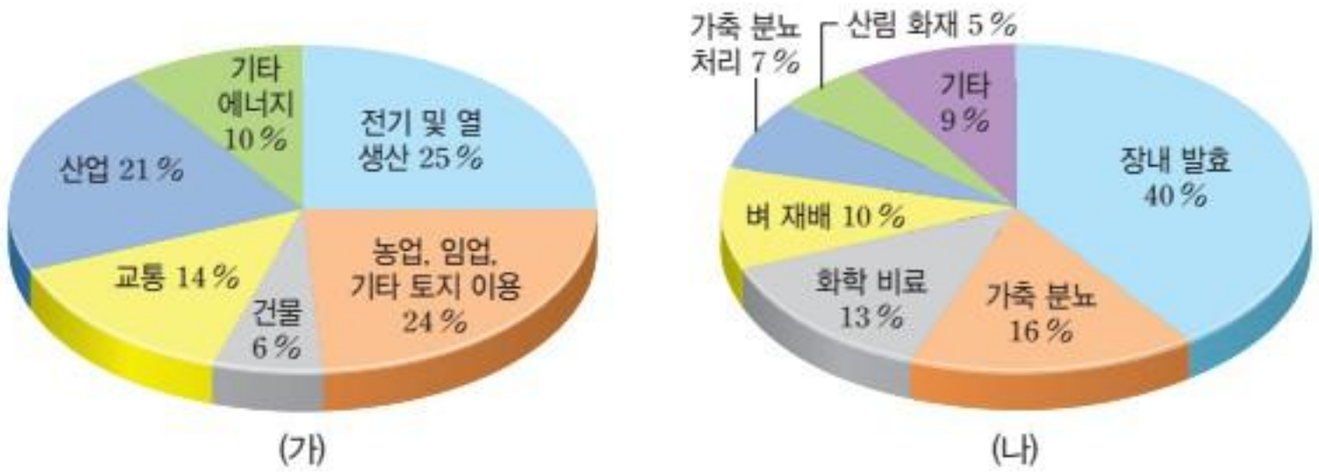
- **표층 순환**: 바람에 의해 형성되는 해류를 표층 해류라 하고, 표층 해류에 의한 순환을 표층 순환이라고 한다.
- **심층 순환**: 표층 해수의 밀도가 주위보다 커져 침강한 후 수평 방향으로 이동하는 심층 해수의 흐름을 심층 순환이라고 한다.
- **해류가 기후에 미치는 영향**: 난류가 흐르는 해안 지역은 동일한 위도의 다른 지역보다 따뜻하고 습도가 높으며, 한류가 흐르는 해안 지역은 대체로 기온과 습도가 낮다.

3 다음은 온실 기체와 지구 온난화에 대한 설명이다.

[제시문 1] 표는 온실 기체가 지구 온난화에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 지구 온난화 지수(GWP, Global Warming Potential)란 이산화 탄소가 지구 온난화에 미치는 영향을 기준으로 다른 온실 기체가 지구 온난화에 기여하는 정도를 나타낸 것이다.

온실 기체	지구 온난화 지수 (GWP100SAR)	지구 온난화 지수 (GWP100AR5)	주요 발생원	배출량
이산화 탄소	1	1	에너지 사용, 삼림 벌채	77 %
메테인	21	25	화석 연료, 폐기물, 농업, 축산	14 %
산화 이질소	310	298	산업 공정, 비료 사용, 소각, 가축 분뇨	8 %
수소 불화 탄소	140~11700	124~14800	에어컨 냉매, 스프레이 분사제	1 %
과불화 탄소	6500~9200	7390~12200	반도체 세정용	
육플루오린화 황	23900	22800	전기 절연용	

[제시문 2] 그림 (가)는 2014년의 부문별 온실 기체의 배출 비율을, (나)는 같은 해 농축산 부문에서 온실 기체의 배출 원인별 비율을 나타낸 것이다.



(1) 현재 지구 온난화에 가장 많은 영향을 주는 온실 기체는 무엇이며, 이것을 감축하기 위한 방안 두 가지를 [제시문 1]을 근거로 서술하시오.

답안

(2) 농축산 부문에서 지구 온난화에 가장 많은 영향을 주는 온실 기체는 무엇이며, 이 기체의 배출량이 증가하는 까닭을 [제시문 2]를 근거로 추론하여 서술하시오.

답안

출제 의도

온실 기체 중에서 현재 지구 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 기체를 찾고, 감축 방법을 제시할 수 있는지를 평가하며, 농축산 부문에서 발생하는 온실 기체의 종류와 발생 원인을 설명할 수 있는지를 평가한다.

문제 해결을 위한 배경 지식

- **온실 기체**: 지표에서 방출되는 적외선을 흡수하여 온실 효과를 일으키는 기체이다.
- **메테인**: 탄소 원자 1개와 수소 원자 4개로 구성된 유기 화합물로, 천연 가스의 주요 구성 성분이다.