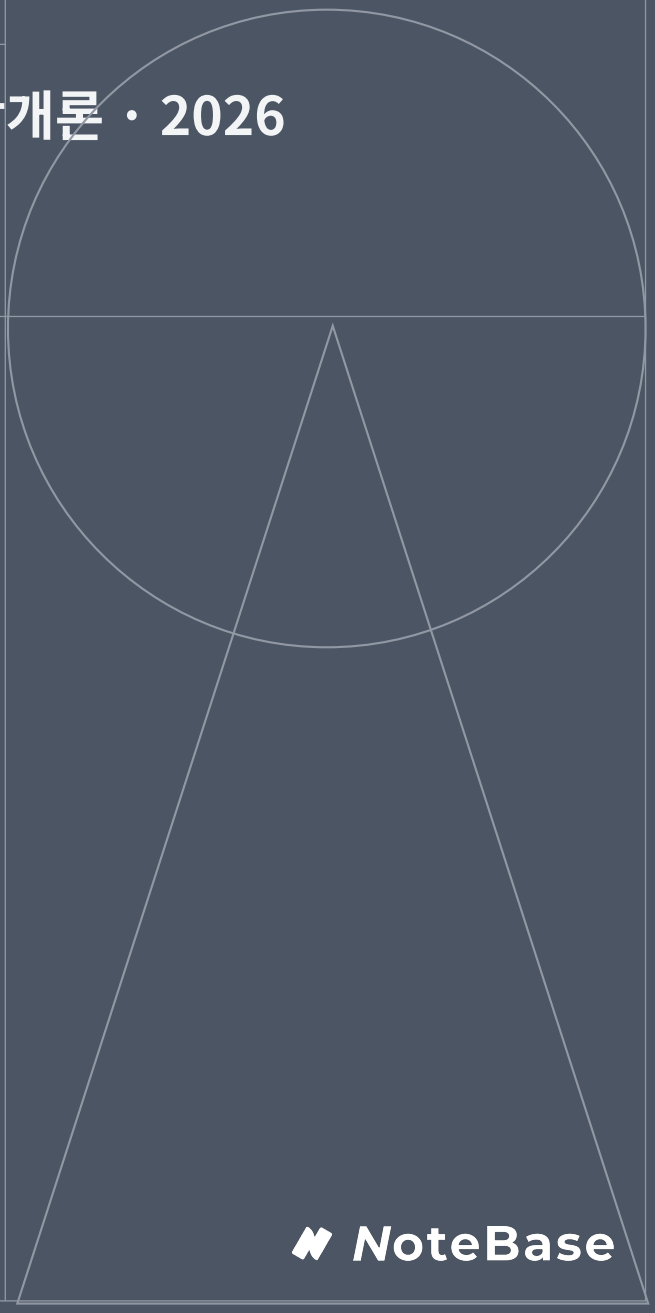
기출OX 해설집

공무원/기상직/9급 · 기상학개론 · 2026



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/기상직/9급 · 기상학개론 · 2026

공무원/기상직/9급 · 기상학개론 · 2026

문 1. 온위(potential temperature)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 온위는 건조공기덩이가 1000 hPa 고도로 단열적으로 압축 또는 팽창하면서 이동(하강 또는 상승)하였을 때의 온도이다.
ㄴ. 고도가 증가함에 따라 온위가 감소하는 대기는 정적으로 불안정한 상태이다.
ㄷ. 온위는 건조단열과정과 습윤단열과정에서 보존된다.
ㄹ. 엔트로피를 보존하며 운동하는 공기덩이는 등온위면을 따라 이동한다.

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

정답 2번

출제 포인트

온위의 정의와 보존 조건, 고도에 따른 온위 변화로 판단하는 정적 안정도, 등온위면과 등엔트로피면의 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

온위 θ는 공기덩이를 건조단열적으로 기준기압 1000 hPa까지 옮겼을 때 갖는 온도이다. 건조단열 과정에서는 θ가 보존되지만, 포화 공기덩이가 습윤단열적으로 상승하면 잠열이 방출되므로 일반 온위는 보존되지 않는다.
정적 안정도는 환경의 온위가 고도에 따라 어떻게 변하는지로 판단한다. $d\theta/dz > 0$이면 안정, $d\theta/dz = 0$이면 중립, $d\theta/dz < 0$이면 불안정이다.
공기덩이의 엔트로피는 온위와 대응하므로 엔트로피를 보존하는 운동은 θ가 일정한 등온위면을 따라 이루어진다.

NoteBase

선지별 해설

① X — ㄱ과 ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀렸다. 일반 온위는 건조단열과정에서는 보존되지만 습윤단열과정에서는 보존되지 않는다. 올바른 조합은 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.
② O — ㄱ은 온위의 정의에 맞고, ㄴ은 온위가 고도에 따라 감소하는 $d\theta/dz < 0$ 상태가 정적으로 불안정하다는 판단에 맞으며, ㄹ은 엔트로피 보존 운동이 등온위면을 따른다는 설명에 맞다.
③ X — ㄷ을 포함하고 참인 ㄱ을 제외한 점이 틀렸다. ㄷ의 '습윤단열과정에서도 보존된다'는 표현은 '건조단열과정에서 보존된다'로 고쳐야 하며, 올바른 조합은 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.
④ X — ㄷ을 포함하고 참인 ㄴ을 제외한 점이 틀렸다. 고도에 따라 온위가 감소하는 대기는 정적으로 불안정하므로 ㄴ도 포함해야 하며, 올바른 조합은 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.

오답 포인트

핵심 함정은 ㄷ의 '습윤단열과정'이다. 습윤단열 상승에서는 응결 잠열이 방출되므로 일반 온위가 아니라 상당온위와 같은 별도의 보존 변수를 구분해야 한다. 또한 온위의 연직 감소를 기온의 일반적인 연직 감소와 혼동하면 ㄴ을 잘못 판단하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

온위 문제에서는 먼저 '1000 hPa로 건조단열 이동시킨 온도'라는 정의를 확인한다. 다음으로 보존 조건은 건조단열, 안정도는 온위의 연직 기울기, 등엔트로피면은 등온위면이라는 세 기준을 각각 적용한다.

암기 포인트

온위는 건조단열에서 보존되고, 위로 갈수록 증가하면 안정·감소하면 불안정이며, 등엔트로피면은 등온위면이다.

NoteBase

문 2. 북극진동(AO, Arctic Oscillation)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 북극진동지수는 중위도 지역과 극 지역의 1000 hPa 고도장을 통해 산출할 수 있다.
ㄴ. 성층권의 돌연승온이 발생했을 때, 북극진동이 음의 위상으로 나타날 수 있다.
ㄷ. 북극진동이 양의 위상이면 극 지역의 해면기압은 평년보다 높다.
ㄹ. 북극진동이 음의 위상이면 차가운 극 공기가 북쪽에 갇히는 경향이 있다.

① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ ④ ㄷ, ㄹ

정답 1번

출제 포인트

북극진동지수의 산출 근거와 북극진동의 위상별 기압·한기 분포, 성층권 돌연승온과 음의 북극진동의 관계를 판단하는 문제이다.

핵심 개념

북극진동(AO)은 북극과 중위도 사이의 기압 변동이 서로 반대 방향으로 나타나는 현상이며, 1000 hPa 고도장의 변동을 이용해 지수화할 수 있다.
양의 위상에서는 북극의 기압이 평년보다 낮고 극 소용돌이가 강해 한기가 북쪽에 갇히는 경향이 있다. 음의 위상에서는 북극의 기압이 평년보다 높고 극 소용돌이가 약해 한기가 중위도까지 남하하기 쉽다. 성층권 돌연승온은 극 소용돌이를 약화시켜 음의 북극진동이 나타나는 데 영향을 줄 수 있다.

선지별 해설

① O — ㄱ과 ㄴ이 모두 옳다. 북극진동지수는 중위도와 극 지역의 1000 hPa 고도장 변동을 이용해 산출할 수 있고, 성층권 돌연승온 뒤에는 극 소용돌이가 약해지면서 음의 위상이 나타날 수 있다.
② X — ㄱ은 옳지만 ㄷ이 틀렸다. ㄷ의 '양의 위상이면 극 지역의 해면기압은 평년보다 높다'가 잘못된 표현이다. 올바르게는 양의 위상일 때 극 지역의 해면기압은 평년보다 낮고, 중위도 쪽 기압은 상대적으로 높다. 따라서 옳은 조합은 ㄱ, ㄴ이다.
③ X — ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀렸다. 양의 위상에서는 북극의 기압이 평년보다 낮아지므로, ㄷ은 '극 지역의 해면기압은 평년보다 낮다'로 고쳐야 한다. 따라서 옳은 조합은 ㄱ, ㄴ이다.
④ X — ㄷ과 ㄹ이 모두 틀렸다. ㄷ은 양의 위상에서 극 지역의 해면기압이 평년보다 낮다고 고쳐야 한다. ㄹ의 '음의 위상이면 차가운 극 공기가 북쪽에 갇힌다'도 반대이며, 올바르게는 음의 위상에서 약해진 극 소용돌이 때문에 차가운 공기가 중위도 쪽으로 남하하기 쉽다. 따라서 옳은 조합은 ㄱ, ㄴ이다.

NoteBase

오답 포인트

양의 위상을 '북극의 기압이 높은 상태'로 오해하기 쉽다. 양의 위상은 북극 저기압성 편차와 강한 극 소용돌이가 나타나 한기가 북쪽에 갇히는 상태이고, 음의 위상은 그 반대여서 한기가 남하하기 쉬운 상태이다.

다시 나오면 이렇게 판단

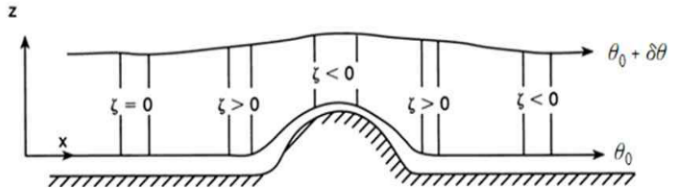
먼저 북극의 기압 편차를 확인한다. 북극 기압이 낮고 극 소용돌이가 강하면 양의 위상, 북극 기압이 높고 극 소용돌이가 약해 한기가 남하하면 음의 위상으로 판단한다. 성층권 돌연승온은 극 소용돌이 약화와 음의 위상 가능성으로 연결한다.

암기 포인트

양의 AO는 북극 저기압·한기 봉쇄, 음의 AO는 북극 고기압·한기 남하이다. 돌연승온은 극 소용돌이를 약화시켜 음의 AO와 연결될 수 있다.

NoteBase

문 3. 다음 그림은 북반구 중위도에서 높은 산맥 위로 흐르는 편서풍의 모식도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 편서풍을 따르는 유체 기둥은 등엔트로피면 θ_0와 $\theta_0 + \delta\theta$ 사이에 갇혀있고, 산맥을 넘는 동안에도 계속 갇혀있다. 또한 ζ는 상대 소용돌이도를 의미한다.)



① 유체 기둥이 높은 산맥에 접근하면 위치 소용돌이도 보존을 위해 상대 소용돌이도 증가가 일어남에 따라 행성 소용돌이도가 감소한다.
② 유체 기둥이 산 정상에 도달하면서 시계방향으로 회전하는 성분을 갖는다.
③ 산맥은 먼 풍하측까지 퍼지는 파동 형태의 유선을 만든다.
④ 풍하측 산사면에는 저기압성 흐름이 만들어진다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 북반구 편서풍이 산맥을 넘을 때 유체 기둥의 두께 변화와 위치소용돌이도 보존으로 상대 소용돌이도의 부호, 회전 방향, 풍하측 저기압성 흐름을 판단하는 문제이다. 도식에서 산 정상 부근은 $\zeta < 0$, 풍하측 사면은 $\zeta > 0$로 표시되어 있다.

선지별 해설

① X — 산 정상에 가까워질수록 두 등온위면 사이의 유체 기둥은 산맥 때문에 압축된다. 위치소용돌이도를 보존하려면 기둥 두께의 감소에 맞추어 절대 소용돌이도 $\zeta + f$도 감소해야 하므로, 상대 소용돌이도 ζ는 증가하는 것이 아니라 감소하여 음의 값을 갖는다. 틀린 표현인 '상대 소용돌이도가 증가한다'는 '상대 소용돌이도가 감소하여 고기압성 소용돌이도가 생긴다'로 고쳐야 한다.
② O — 도식에서 산 정상 부근은 $\zeta < 0$이다. 북반구에서 음의 상대 소용돌이도는 고기압성 회전이며, 위에서 내려다보면 시계방향 회전에 해당한다.
③ O — 산맥에 의한 유체 기둥의 압축과 풍하측에서의 신장이 상대 소용돌이도의 부호를 번갈아 바꾸므로, 산맥의 풍하측에는 파동 형태의 정상 로스비파가 이어질 수 있다.
④ O — 풍하측 사면을 내려가는 동안 유체 기둥이 다시 늘어나면 위치소용돌이도 보존에 따라 ζ가 증가한다. 도식의 풍하측 $\zeta > 0$ 구역은 북반구의 저기압성 회전에 해당하므로 풍하측 저기압성 흐름이 형성된다.

NoteBase

오답 포인트

①은 위치소용돌이도가 보존된다는 말 자체가 아니라, 산맥 위에서 기둥이 압축될 때 상대 소용돌이도가 '증가한다'고 한 방향이 함정이다. 도식의 정상 부근 $\zeta < 0$와 풍하측 $\zeta > 0$를 반대로 읽으면 ②와 ④도 함께 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

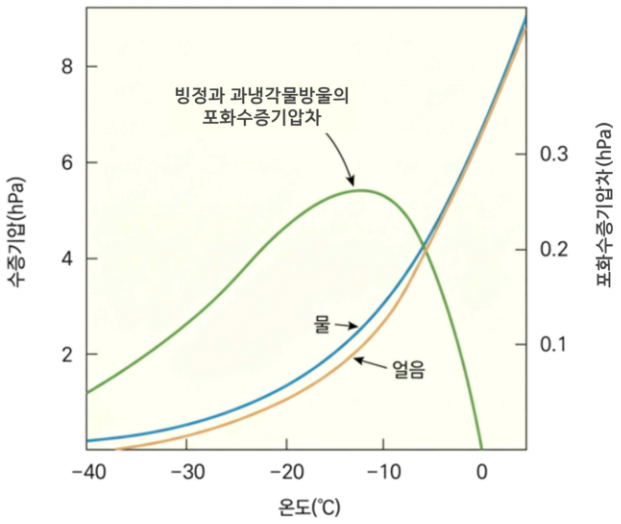
먼저 산 정상에서 유체 기둥이 압축되고 풍하측에서 다시 늘어나는지를 본다. 그다음 위치소용돌이도 보존을 적용하여 '압축 → ζ 감소 → 북반구 시계방향', '신장 → ζ 증가 → 북반구 반시계방향·저기압성'으로 연결한다.

암기 포인트

북반구 산악 흐름은 '정상 압축·음의 ζ·시계방향, 풍하 신장·양의 ζ·저기압성'으로 묶어 기억한다.

NoteBase

문 4. 다음 그래프는 물과 얼음의 온도에 따른 포화수증기압과 그 차이를 나타낸다. 물리적 특성을 고려할 때, 빙정과 과냉각물방울이 함께 존재하는 적란운에서 발생할 수 있는 베르게론-핀다이젠(Bergeron-Findeisen) 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?



ㄱ. 빙정과 과냉각물방울의 포화수증기압차가 큰 온도구간에서는 과냉각물방울에서 증발된 수증기가 빙정으로 이동한다.
ㄴ. 베르게론-핀다이젠 과정은 고위도 지방의 강수 발달에는 적용되지 않는다.
ㄷ. 승화 잠열에 비해 증발 잠열이 높아 과냉각물방울의 포화수증기압이 빙정의 포화수증기압보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ
③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 영하의 혼합운에서 과냉각 물방울에 대한 포화수증기압이 얼음에 대한 포화수증기압보다 크다는 그래프의 관계를 읽고, 베르제론-핀다이젠 과정의 수증기 이동 방향과 적용 범위를 판단하는 문제이다. 두 포화수증기압 사이의 수증기압에서는 공기가 물방울에 대해서는 불포화이고 얼음에 대해서는 과포화이므로, 물방울은 증발하고 얼음 결정에는 수증기가 승화·응결하여 얼음 결정이 성장한다.

NoteBase

선지별 해설

① O — ㄱ만 옳다는 조합이다. 포화수증기압 차가 큰 온도 구간에서는 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 얼음 결정 쪽으로 이동하여 얼음 표면에 달라붙고, 얼음 결정이 성장한다.

② X — ㄷ은 옳지 않다. 틀린 표현인 '승화 잠열에 비해 증발 잠열이 높아'를 '승화 잠열은 증발 잠열보다 크며'로 고쳐야 한다. 영하에서 과냉각 물방울의 포화수증기압이 얼음의 포화수증기압보다 큰 것은 맞지만, ㄷ은 그 잠열의 대소 관계를 반대로 제시하였다.

③ X — ㄱ은 옳지만 ㄴ은 옳지 않다. 틀린 표현인 '고위도 지방의 강수 발달에는 적용되지 않는다'를 '빙정과 과냉각 물방울이 공존하는 중·고위도의 찬 구름에서 중요한 강수 발달 과정이다'로 고쳐야 한다.

④ X — ㄱ은 옳지만 ㄷ은 옳지 않다. 승화 잠열은 고체인 얼음을 곧바로 수증기로 바꾸는 데 필요한 잠열로, 증발 잠열에 융해 잠열이 더해진 값이므로 증발 잠열보다 크다. 따라서 ㄷ의 잠열 비교는 '승화 잠열이 증발 잠열보다 크다'로 고쳐야 한다.

오답 포인트

그래프에서 물 곡선이 얼음 곡선보다 위에 있다는 사실만 보고 ㄷ 전체를 옳다고 판단하기 쉽다. 그러나 ㄷ의 결론과 별개로 잠열의 대소 관계가 반대로 쓰였다. 또한 베르제론-핀다이젠 과정은 고위도에서 제외되는 과정이 아니라, 빙정과 과냉각 물방울이 함께 있는 찬 구름의 대표적인 강수 성장 과정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

영하에서 물의 포화수증기압이 얼음의 포화수증기압보다 크면 '과냉각 물방울 증발 → 수증기 이동 → 얼음 결정 성장'의 방향으로 판단한다. 잠열을 비교할 때는 '승화 잠열 = 증발 잠열 + 융해 잠열'의 관계를 적용한다.

암기 포인트

물 위 포화수증기압 > 얼음 위 포화수증기압: 물방울은 작아지고 얼음은 커진다. 승화 잠열 > 증발 잠열이다.

NoteBase

문 5. 북반구 중위도 종관 규모 이상의 소용돌이도에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 소용돌이도 방정식의 규모 분석을 통해 고기압성 요란이 저기압성 요란보다 더 강함을 알 수 있다.
ㄴ. 로스비파(Rossby wave)는 절대 소용돌이도 보존과 관련된다.
ㄷ. 절대 소용돌이도는 발산고도에서 수평운동을 따라 보존된다.

① ㄱ ② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

소규모 소용돌이의 저기압성·고기압성 비대칭과 절대소용돌이도 보존 조건을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

소규모 소용돌이: 원심력의 영향이 중요해지며, 고기압성 순환에는 속도와 강도의 상한이 생기므로 저기압성 요란이 고기압성 요란보다 더 강해질 수 있다.
로스비파: 공기덩이가 남북으로 이동할 때 행성소용돌이도의 변화를 상대소용돌이도의 변화로 보상하며 나타나는 파동으로, 절대소용돌이도 보존과 관련된다.
절대소용돌이도 보존: 마찰과 기울임 등의 효과가 없고 수평 발산이 0인 비발산 흐름에서 수평운동을 따라 성립한다. 발산이나 수렴이 있으면 공기기둥의 늘어남·줄어듦 때문에 절대소용돌이도가 변한다.

선지별 해설

① X — ㄱ만 옳다는 조합이지만 ㄱ이 틀리다. ㄱ의 틀린 표현은 '고기압성 요란이 저기압성 요란보다 더 강함'이다. 소규모 순환에서는 고기압성 요란의 강도에 상한이 있으므로, 올바르게는 저기압성 요란이 고기압성 요란보다 더 강해질 수 있다.
② O — ㄴ만 옳다. 로스비파는 공기덩이의 남북 이동에 따른 행성소용돌이도 변화와 상대소용돌이도 변화가 서로 보상되는 과정에서 발생하므로 절대소용돌이도 보존과 관련된다.
③ X — ㄱ과 ㄷ을 모두 옳다고 묶었지만 둘 다 틀리다. ㄱ은 고기압성과 저기압성 요란의 강도 관계를 반대로 서술했다. ㄷ의 틀린 표현은 '발산고도에서 … 보존된다'이다. 올바르게는 수평 발산이 없는 비발산 흐름에서 절대소용돌이도가 수평운동을 따라 보존된다.
④ X — ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀리므로 옳은 것만의 조합이 아니다. 발산이 존재하면 공기기둥의 신축 효과로 절대소용돌이도가 변하므로, ㄷ은 '비발산 흐름에서 보존된다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

오답 포인트

ㄷ의 '발산고도'를 보존 조건으로 착각하기 쉽다. 절대소용돌이도 보존의 핵심 조건은 발산이 있는 고도가 아니라 수평 발산이 0인 비발산 흐름이다. 또한 소규모 요란에서는 고기압성 순환의 강도에 상한이 있다는 점 때문에 ㄱ의 강도 관계가 뒤집힌다.

다시 나오면 이렇게 판단

로스비파가 나오면 행성소용돌이도와 상대소용돌이도의 보상, 즉 절대소용돌이도 보존을 연결한다.
절대소용돌이도의 물질보존 여부는 먼저 수평 발산이 0인지 확인하고, 소규모 소용돌이의 강도 비교에서는 고기압성 순환에 상한이 있음을 적용한다.

암기 포인트

로스비파는 절대소용돌이도 보존, 보존 조건은 비발산, 소규모 요란은 저기압성이 더 강해질 수 있다.

NoteBase

문 6. 빛 A의 파장이 0.8 μm, 빛 B의 파장이 0.4 μm라고 할 때, 반경이 0.003 μm인 입자에 의한 레일리산란(Rayleigh scattering)만을 고려할 경우, B의 산란효율(scattering efficiency)은 A의 약 몇 배 인가?

① 1/16 ② 1/4
③ 4 ④ 16

정답 4번

출제 포인트

레일리 산란에서 같은 입자의 산란효율이 파장의 네제곱에 반비례한다는 관계를 이용해 두 빛의 산란효율 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

빛 A의 파장: $\lambda_A = 0.8\mu m$
빛 B의 파장: $\lambda_B = 0.4\mu m$
입자 반경: $r = 0.003\mu m$
입자 반경이 두 파장보다 매우 작으므로 레일리 산란 관계를 적용할 수 있다. 같은 입자에 대한 비를 구하므로 입자 반경과 굴절률에 관한 공통 인자는 소거된다.

사용할 공식

같은 입자의 레일리 산란효율 Q는 $Q \propto (r/\lambda)^4$, 즉 $Q \propto \lambda^{-4}$이다. 따라서
$\frac{Q_B}{Q_A} = \left(\frac{\lambda_A}{\lambda_B}\right)^4$
를 사용한다. B의 파장이 A의 절반이므로 산란효율은 2^4배가 된다.

계산 과정

$\frac{Q_B}{Q_A} = \left(\frac{0.8}{0.4}\right)^4 = 2^4 = 16$
따라서 빛 B의 산란효율은 빛 A의 16배이다. 두 파장의 단위가 모두 μm로 같으므로 비를 계산할 때 별도의 단위 환산은 필요하지 않다.

선지 판단

① X — 1/16은 파장비를 거꾸로 적용한 값이다. ‘B의 산란효율은 A의 1/16배’가 아니라 ‘16배’가 맞다.
② X — 1/4은 역파장 관계를 잘못 적용한 값이다. 산란효율은 파장의 1제곱이 아니라 4제곱에 반비례하므로 올바른 값은 16이다.
③ X — 4는 파장비 2를 제곱한 값으로, 네제곱 관계를 적용하지 않은 결과이다. 올바르게는 $2^4 = 16$이다.
④ O — $Q_B/Q_A = (0.8/0.4)^4 = 16$이므로 B의 산란효율은 A의 16배이다.

NoteBase

오답 포인트

파장이 절반이면 산란효율이 2배가 되는 것이 아니라 $2^4 = 16$배가 된다. 또한 Q_B/Q_A를 구할 때 파장은 반대로 λ_A/λ_B를 넣어야 하므로, 비를 뒤집으면 ①의 1/16이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

입자 크기가 파장보다 매우 작은지 확인한 뒤, 레일리 산란효율의 λ^{-4} 관계를 적용한다. 두 산란효율의 비에서는 '구하려는 산란효율의 파장'을 분모에 두고 네제곱하여 계산한다.

암기 포인트

레일리 산란은 짧은 파장일수록 강하며, 파장이 절반이면 산란효율은 16배이다.

NoteBase

문 7. 평균 온위가 300 K인 대기 경계층 내에서 연직온위경도($\frac{d\theta}{dz}$)와 연직바람시어($\frac{dU}{dz}$)가 다음과 같이 일정한 값을 가질 때, 이 조건에서 정적 안정도와 난류 상태에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 중력 가속도는 $10\,\mathrm{m\,s^{-2}}$이다.)

$\frac{d\theta}{dz} = 0.003\,\mathrm{K\,m^{-1}}$	$\frac{dU}{dz} = 0.03\ \mathrm{s^{-1}}$

① 정적 안정, 난류 생성
② 정적 안정, 난류 억제
③ 정적 불안정, 난류 생성
④ 정적 불안정, 난류 억제

정답 1번

출제 포인트

연직온위경도로 정적 안정도를 판정하고, 경도 리처드슨 수로 연직바람시어가 난류를 생성할 수 있는지 판단하는 문제이다.

조건 정리

평균 온위: $\theta = 300K$
중력가속도: $g = 10ms^{-2}$
연직온위경도: $d\theta/dz = 0.003Km^{-1}$
연직바람시어: $dU/dz = 0.03s^{-1}$
판단할 사항: 정적 안정도와 난류의 생성·억제 여부이다.

사용할 공식

정적 안정도는 $d\theta/dz$의 부호로 판단한다. $d\theta/dz > 0$이면 위로 들어 올려진 공기덩이가 주변보다 차가워져 원래 위치로 돌아가므로 정적으로 안정하다.

난류 발생 가능성은 경도 리처드슨 수
$Ri = \frac{g}{\theta}\frac{d\theta/dz}{(dU/dz)^2}$
로 판단한다. $Ri < 1/4$이면 바람시어에 의한 역학적 난류 생성이 성층의 난류 억제 효과보다 강하다.

NoteBase

계산 과정

1. $d\theta/dz = 0.003 Km^{-1} > 0$이므로 대기는 정적으로 안정하다.
2. 주어진 값을 경도 리처드슨 수에 대입하면
$Ri = \frac{10}{300}\frac{0.003}{(0.03)^2} = \frac{1}{9} \approx 0.11$
이다.
3. $0.11 < 0.25$이므로 안정한 성층임에도 강한 연직바람시어가 난류를 생성한다.

선지 판단

① O — 연직온위경도가 양수이므로 정적으로 안정하고, $Ri \approx 0.11 < 1/4$이므로 난류가 생성된다.
② X — '정적 안정'은 맞지만 '난류 억제'가 틀리다. 올바르게는 '정적 안정, 난류 생성'이다.
③ X — '난류 생성'은 맞지만 '정적 불안정'이 틀리다. 양의 연직온위경도이므로 올바르게는 '정적 안정, 난류 생성'이다.
④ X — '정적 불안정'과 '난류 억제'가 모두 틀리다. 올바르게는 '정적 안정, 난류 생성'이다.

오답 포인트

정적으로 안정하다는 사실만 보고 곧바로 난류가 억제된다고 판단하면 ②를 고르게 된다. 정적 안정도는 온위경도의 부호로 판단하지만, 난류 여부는 안정 성층의 억제 효과와 바람시어의 생성 효과를 함께 나타내는 Ri로 따로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $d\theta/dz$의 부호로 정적 안정도를 정하고, 이어서 Ri를 계산해 1/4과 비교한다. $Ri < 1/4$이면 난류 생성, $Ri > 1/4$이면 안정 성층에 의한 난류 억제로 판단한다.

암기 포인트

온위가 위로 증가하면 정적 안정이다. 그러나 $Ri < 1/4$이면 강한 바람시어가 안정 성층을 이기고 난류를 생성한다.

NoteBase

문 8. 지구시스템에서 장파복사에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 온실기체로 인해 흡수나 재방출이 일어난다.
ㄴ. 9.6 μm 부근 파장대에서 오존에 의한 흡수가 일어난다.
ㄷ. 적외위성영상은 지구복사에 의존하므로 야간에만 관측이 가능하다.

① ㄱ ② ㄱ, ㄴ
③ ㄴ, ㄷ ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

지구복사의 흡수·재방출에 따른 온실효과, 오존의 적외선 흡수 파장대, 적외위성의 주야간 관측 가능 여부를 판단하는 문제이다.

핵심 개념

ㄱ: 온실기체는 지표가 방출한 적외선인 지구복사를 흡수한 뒤 다시 방출하여 대기를 가열하므로 옳다.
ㄴ: 오존은 약 9.6μm 부근의 지구복사를 흡수하므로 옳다.
ㄷ: 적외위성영상은 물체가 방출하는 적외선 복사를 감지한다. 햇빛의 반사에 의존하지 않으므로 낮과 밤 모두 관측할 수 있다. 따라서 '야간에만'이라는 표현은 틀리다.

선지별 해설

① X — ㄱ만 옳다고 한 부분이 틀렸다. ㄴ도 오존이 9.6μm 부근의 지구복사를 흡수한다는 옳은 설명이므로, 올바른 조합은 ㄱ, ㄴ이다.
② O — ㄱ과 ㄴ은 옳고 ㄷ은 틀리므로 옳은 설명을 모두 고른 조합이다.
③ X — ㄷ을 포함하고 ㄱ을 제외한 부분이 틀렸다. 적외위성은 주야간 모두 관측할 수 있으므로 ㄷ은 제외하고, 온실기체의 흡수·재방출을 설명한 ㄱ을 포함해야 한다. 올바른 조합은 ㄱ, ㄴ이다.
④ X — ㄷ을 포함한 부분이 틀렸다. '야간에만 관측이 가능하다'가 아니라 '낮과 밤 모두 관측이 가능하다'가 올바른 설명이므로, 올바른 조합은 ㄱ, ㄴ이다.

오답 포인트

ㄷ의 '지구복사에 의존한다'는 앞부분만 보고 옳다고 판단하기 쉽다. 적외위성은 지구복사를 이용하기 때문에 오히려 태양광이 없는 밤에도 관측할 수 있으며, 관측이 밤으로만 제한되는 것은 아니다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

온실효과는 지구복사의 흡수·재방출, 오존은 9.6μm 부근 흡수로 판단한다. 위성영상의 주야간 관측 여부는 태양광 반사가 필요한지 확인한다. 적외영상은 자체 방출 복사를 감지하므로 주야간 관측이 가능하고, 가시영상은 태양광 반사가 필요해 야간 관측이 어렵다.

암기 포인트

온실기체는 지구복사를 흡수·재방출하고, 오존은 9.6μm 부근을 흡수하며, 적외위성은 주야간 모두 관측한다.

NoteBase

문 9. 지구시스템의 탄소 순환에서 자연 탄소 저장고로서 그 저장량이 가장 많은 것은?

① 육상 생물권 ② 해양권
③ 대기권 ④ 지권

정답 4번

출제 포인트

지구시스템의 주요 탄소 저장고 가운데 탄소의 총저장량이 가장 큰 곳을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

탄소 저장고는 탄소가 일정 기간 머무는 지구시스템의 구성 영역이다. 대기권·육상 생물권·해양권에도 탄소가 저장되지만, 퇴적암과 탄산염암 등에 막대한 탄소가 장기간 축적된 지권의 저장량이 가장 크다.

선지별 해설

① X — 육상 생물권은 식생과 토양 등에 탄소를 저장하지만 지권보다 총저장량이 작다. 틀린 표현은 '가장 많은 것'이며, 올바르게는 지권의 저장량이 가장 많다.
② X — 해양권은 많은 탄소를 주로 용존 무기탄소 형태로 저장하지만 지권 전체의 저장량에는 미치지 못한다. 틀린 표현은 '가장 많은 것'이며, 올바르게는 지권이 최대 탄소 저장고이다.
③ X — 대기권은 이산화탄소 등의 형태로 탄소를 포함하지만 주요 저장고 중 저장량이 가장 큰 곳은 아니다. 틀린 표현은 '가장 많은 것'이며, 올바르게는 지권의 저장량이 가장 많다.
④ O — 지권에는 탄소가 퇴적암·탄산염암과 화석 유기물 등의 형태로 장기간 막대하게 저장되어 있어 네 영역 중 저장량이 가장 크다.

오답 포인트

탄소를 활발히 교환하는 해양권이나 탄소순환에서 자주 언급되는 대기권을 최대 저장고로 오인하기 쉽다. 이 문항은 교환 속도나 순환량이 아니라 각 영역에 들어 있는 탄소의 총저장량을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

'저장량이 가장 많다'는 표현이 나오면 탄소의 이동량이나 교환 속도가 아니라 축적된 총량을 비교한다. 암석에 장기간 고정된 탄소까지 포함하므로 지권을 선택한다.

암기 포인트

탄소의 최대 저장고는 암석에 막대한 탄소를 저장한 지권이다.

NoteBase

문 10. 북반구 제트류(jet stream)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 아열대제트류는 해들리세포와 페렐세포의 경계 부근에서 형성된다.
② 아열대제트류의 생성은 각운동량 보존에 의해 서풍이 강화되는 기작(mechanism)과 관련된다.
③ 한대제트류가 북쪽과 남쪽을 휩쓸면서 사행하는 패턴으로 발달할 때, 아열대제트류와 합쳐지기도 한다.
④ 만약 지구의 자전속도가 현재보다 빨라진다면, 아열대제트류가 현재보다 더 높은 위도에서 발생한다.

정답 4번

출제 포인트

아열대제트류의 형성 위치와 각운동량 보존 원리, 그리고 지구 자전 속도가 발생 위도에 미치는 영향을 묻는 문제이다.

핵심 개념

아열대제트류는 해들리세포 상층의 공기가 극 쪽으로 이동할 때 각운동량을 보존하면서 강한 편서풍으로 가속되어, 해들리세포의 극측 경계인 약 30도 부근의 대류권 상부에 형성되는 제트류이다. 지구의 자전이 빨라지면 해들리세포의 남북 폭이 좁아져 그 극측 경계와 아열대제트류의 위치는 적도 쪽, 즉 더 낮은 위도로 이동한다.

선지별 해설

① O — 아열대제트류는 해들리세포의 극측 가장자리, 즉 해들리세포와 페렐세포의 경계 부근 상공에서 형성된다.
② O — 해들리세포 상층의 공기가 적도에서 극 쪽으로 이동하면 회전축까지의 거리가 줄어든다. 이때 각운동량을 보존하기 위해 동쪽 방향 속도가 커지므로 강한 편서풍인 아열대제트류가 형성된다.
③ O — 한대제트류가 크게 남북으로 사행하면 아열대제트류와의 위도 간격이 좁아져 두 제트류가 합쳐질 수 있다.
④ X — 틀린 표현은 '현재보다 더 높은 위도'이다. 자전 속도가 빨라지면 해들리세포의 남북 폭이 좁아지므로 아열대제트류는 현재보다 더 낮은 위도에서 발생한다고 고쳐야 한다.

오답 포인트

자전이 빨라지면 편향 효과가 강해진다는 사실만 보고 제트류가 더 높은 위도에 생긴다고 판단하기 쉽다. 그러나 발생 위도는 해들리세포의 폭으로 판단해야 하며, 빠른 자전은 해들리세포를 적도 쪽으로 수축시킨다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

아열대제트류 문항에서는 '해들리세포의 극측 경계', '상층 공기의 극향 이동', '각운동량 보존에 따른 편서풍 강화'를 연결한다. 자전 속도와 위치의 관계는 자전이 빠를수록 해들리세포가 좁아지고 아열대제트류가 더 낮은 위도에 형성된다는 기준으로 판단한다.

암기 포인트

아열대제트류는 해들리세포의 끝에서 형성되며, 자전이 빠르면 해들리세포가 좁아져 제트류는 저위도로 이동한다.

NoteBase

문 11. 무지개에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 무지개의 주된 형성 원인은 빛의 굴절이다.
ㄴ. 빛은 물속에서 파장에 관계없이 같은 속도로 진행한다.
ㄷ. 1차 무지개와 2차 무지개의 색 배열은 동일하다.
ㄹ. 2차 무지개는 2번의 반사와 2번의 굴절로 만들어진다.

① ㄱ, ㄴ　② ㄱ, ㄷ
③ ㄱ, ㄹ　④ ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 물방울에서 일어나는 빛의 굴절·분산과 내부 반사로 무지개가 형성되는 과정, 그리고 1차 무지개와 2차 무지개의 차이를 묻는 문제이다.

핵심 개념

무지개: 햇빛이 물방울에 들어가고 나올 때 굴절·분산되고, 물방울 안에서 반사되면서 여러 색으로 나뉘어 보이는 현상이다.
1차 무지개: 빛이 물방울 안에서 한 번 반사되고 두 번 굴절되어 나타나며, 바깥쪽이 빨간색이고 안쪽이 보라색이다.
2차 무지개: 빛이 물방울 안에서 두 번 반사되고 두 번 굴절되어 나타나며, 색 배열은 1차 무지개와 반대로 바깥쪽이 보라색이고 안쪽이 빨간색이다.

선지별 해설

① X — ㄱ은 옳지만 ㄴ은 옳지 않다. ㄴ의 틀린 표현은 '파장에 관계없이 같은 속도'이다. 올바르게는 물속에서 빛의 속도는 파장에 따라 달라지며, 이 차이 때문에 빛이 색깔별로 다르게 굴절되어 분산된다.
② X — ㄱ은 옳지만 ㄷ은 옳지 않다. ㄷ의 틀린 표현은 '색 배열은 동일하다'이다. 올바르게는 1차 무지개와 2차 무지개의 색 배열은 서로 반대이다.
③ O — ㄱ과 ㄹ이 모두 옳다. 무지개 형성에는 물방울 경계에서의 빛의 굴절과 분산이 핵심적으로 작용하며, 2차 무지개는 물방울 안에서 두 번 반사되고 들어갈 때와 나올 때 두 번 굴절된 빛으로 만들어진다.
④ X — ㄷ은 옳지 않고 ㄹ만 옳다. ㄷ의 틀린 표현은 '색 배열은 동일하다'이며, 올바르게는 2차 무지개의 색 배열이 1차 무지개의 색 배열과 반대이다.

오답 포인트

ㄴ에서는 진공에서의 빛의 속도와 물 같은 매질에서의 빛의 속도를 혼동하기 쉽다. 물에서는 파장에 따라 굴절률과 빛의 속도가 달라져 분산이 일어난다. 또한 ㄷ에서는 2차 무지개의 내부 반사가 한 번 더 일어나 색 배열이 1차 무지개와 반대가 된다는 점을 놓치기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

물방울에 들어가고 나올 때 굴절은 두 번 일어나며, 물방울 내부 반사는 1차 무지개에서 한 번, 2차 무지개에서 두 번 일어난다고 구분한다. 내부 반사가 한 번 더 일어나는 2차 무지개는 1차 무지개와 색 배열이 반대라고 판단한다.

암기 포인트

1차는 내부 반사 1번·바깥 빨강, 2차는 내부 반사 2번·바깥 보라이다. 굴절은 둘 다 2번이다.

NoteBase

문 12. 대기에서의 균형류(balanced flow)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 지균 균형은 전향력과 기압경도력의 균형을 의미한다.
ㄴ. 경도풍은 기압경도력, 전향력, 원심력, 마찰력이 균형을 유지할 때의 바람이다.
ㄷ. 관성풍은 기압경도력이 클수록 강해진다.
ㄹ. 선형풍은 북반구에서 항상 저기압을 중심으로 두고 회전하는 방향으로 분다.

① ㄱ, ㄴ　② ㄱ, ㄷ
③ ㄱ, ㄹ　④ ㄴ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

지균풍·경도풍·관성풍·선형풍에서 어떤 힘들이 균형을 이루는지 구별하는 문제이다.

핵심 개념

지균풍: 기압경도력과 전향력이 균형을 이루는 직선 등압선상의 균형류이다.
경도풍: 곡선 운동에서 기압경도력·전향력·원심력의 균형으로 부는 바람이며, 마찰력은 균형에 포함되지 않는다.
관성풍: 기압경도력 없이 전향력과 원심력이 균형을 이루는 바람이다.
선형풍: 전향력과 마찰력을 무시하고 기압경도력과 원심력이 균형을 이루며 저기압을 중심으로 회전하는 바람이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
ㄱ은 옳지만 ㄴ은 '마찰력'까지 경도풍의 균형에 포함한 점이 틀리다. 경도풍은 기압경도력·전향력·원심력의 균형으로 설명한다. 따라서 옳은 문장의 조합은 ㄱ·ㄹ이다.

② X
ㄱ은 옳지만 ㄷ은 관성풍의 세기가 기압경도력에 따라 커진다고 한 점이 틀리다. 관성풍에는 기압경도력이 작용하지 않으며 전향력과 원심력이 균형을 이룬다. 또한 옳은 ㄹ이 빠져 있으므로 올바른 조합은 ㄱ·ㄹ이다.

③ O
ㄱ의 지균 균형은 기압경도력과 전향력의 균형이다. ㄹ의 선형풍은 기압경도력과 원심력이 균형을 이루므로 저기압을 중심으로 회전한다. 따라서 ㄱ·ㄹ을 고른 ③이 옳다.

④ X
ㄹ은 옳지만 ㄴ은 경도풍의 균형에 마찰력을 포함한 점이 틀리고, 옳은 ㄱ도 빠져 있다. ㄴ에서 마찰력을 제외하고 판단해야 하며 올바른 조합은 ㄱ·ㄹ이다.

오답 포인트

ㄴ의 '마찰력'과 ㄷ의 '기압경도력'이 함정이다. 경도풍은 마찰력을 제외한 세 힘의 균형이고, 관성풍은 기압경도력 없이 전향력과 원심력만으로 균형을 이룬다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 바람의 이름을 본 뒤 균형에 참여하는 힘을 먼저 적어 판단한다. 지균풍은 기압경도력·전향력, 경도풍은 기압경도력·전향력·원심력, 관성풍은 전향력·원심력, 선형풍은 기압경도력·원심력의 짝으로 구별한다.

암기 포인트

지균은 기압경도력+전향력, 경도는 여기에 원심력, 관성은 전향력+원심력, 선형은 기압경도력+원심력이다.

NoteBase

문 13. 안개의 발생과 소멸에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 불포화된 공기가 복사과정을 통해서 냉각되면 포화수증기압이 감소하여 안개가 형성될 수 있다.
② 구름과 지표 사이의 공기가 불포화 상태였어도 비가 내리면 강수의 증발에 의해 지표 근처의 공기가 포화되어 안개가 형성될 수 있다.
③ 일출 이후 태양복사에 의해서 지표 근처의 공기가 가열되면 포화수증기압의 증가로 안개가 소산될 수 있다.
④ 포화된 두 공기덩이가 추가적인 과정 없이 혼합되면 불포화되어 안개가 소산될 수 있다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 공기의 냉각·가습·가열·혼합이 포화수증기압과 포화 상태를 어떻게 바꾸어 안개를 발생시키거나 소멸시키는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

안개: 지표 부근의 공기가 포화되어 수증기가 미세한 물방울로 응결한 현상이다.
냉각: 기온이 내려가면 포화수증기압이 감소하므로 공기가 포화에 가까워져 안개가 형성될 수 있다.
가습: 빗방울이 증발하면 공기 중 수증기량이 늘어나 포화에 도달할 수 있다.
가열: 기온이 오르면 포화수증기압이 증가하므로 상대습도가 낮아지고 안개가 소산될 수 있다.
혼합: 온도가 다른 두 포화 공기가 섞이면 포화수증기압의 비선형성 때문에 혼합 공기가 과포화되어 응결과 안개 형성이 일어날 수 있다.

선지별 해설

① O — 불포화 공기가 복사 냉각되면 기온과 포화수증기압이 낮아진다. 실제 수증기량이 크게 변하지 않아도 상대습도가 높아져 포화에 이르면 복사안개가 형성될 수 있다.
② O — 구름 아래에서 내리는 빗방울이 증발하면 지표 부근 공기에 수증기가 공급된다. 불포화 공기도 이 가습으로 포화에 도달하면 증발안개가 형성될 수 있다.
③ O — 일출 뒤 태양복사로 지표 부근 공기가 가열되면 포화수증기압이 증가하고 상대습도가 낮아진다. 이에 따라 안개 물방울이 증발하여 안개가 소산될 수 있다.
④ X — 틀린 표현은 '포화된 두 공기덩이가 추가적인 과정 없이 혼합되면 불포화된다'이다. 올바르게는 온도가 다른 두 포화 공기덩이가 혼합되면 혼합 공기가 과포화되어 응결이 일어나고 혼합안개가 형성될 수 있다. 두 공기의 온도가 같다면 혼합 뒤에도 포화 상태가 유지되므로, 단순 혼합만으로 불포화되어 안개가 소산된다고 할 수 없다.

NoteBase

오답 포인트

④는 혼합을 곧바로 희석이나 건조로 생각하게 만드는 함정이다. 두 공기덩이가 모두 포화 상태라면 온도가 다른 포화 공기의 혼합은 오히려 과포화와 응결을 일으킬 수 있으며, 안개 소산에는 일반적으로 가열이나 건조한 공기의 유입처럼 상대습도를 낮추는 과정이 필요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

공기가 포화에 가까워지는지를 먼저 판단한다. 냉각은 포화수증기압을 낮추고 가습은 실제 수증기량을 늘려 안개 발생에 유리하다. 가열은 포화수증기압을 높여 안개 소산에 유리하다. 서로 다른 온도의 포화 공기 혼합은 불포화가 아니라 과포화 가능성을 확인한다.

암기 포인트

냉각·가습은 안개 발생, 가열은 안개 소산, 서로 다른 온도의 포화 공기 혼합은 과포화와 혼합안개로 연결된다.

NoteBase

문 14. 기후되먹임(climate feedback) 작용에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 지구온난화로 기온이 높아지면 얼음과 눈이 녹아 태양복사의 흡수가 증가하여 지구온난화가 촉진된다.
② 지구온난화에 따른 수증기 증가로 대류권의 하층운이 증가하면 알베도가 감소되어 지구온난화가 촉진된다.
③ 이산화탄소가 증가하고 지구온난화가 진행되면 식생의 생장이 촉진되어 이산화탄소를 고정하는 음의 되먹임이 발생할 수 있다.
④ 지구온난화에 따라서 고위도의 영구동토층이 사라지면 동토층에 저장되어 있던 온실기체인 메탄이 방출되어 지구온난화를 촉진할 수 있다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 기후 변화에 대한 양의 되먹임과 음의 되먹임의 작동 경로를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

양의 되먹임은 처음의 기후 변화를 더 크게 만드는 작용이고, 음의 되먹임은 그 변화를 약화하는 작용이다. 얼음·눈 감소에 따른 지표 흡수 증가, 수증기의 온실효과 강화, 영구동토층의 메탄 방출은 온난화를 키우는 양의 되먹임이다. 식생의 이산화탄소 흡수 증가는 온난화를 약화할 수 있는 음의 되먹임이다.

선지별 해설

① O — 기온이 오르면 얼음과 눈이 녹아 지표의 알베도가 낮아지고, 태양복사 흡수가 늘어 추가 온난화가 일어난다.
② X — 틀린 부분은 '대류권의 하층운이 증가하면 알베도가 감소되어'이다. 하층운은 일반적으로 태양복사를 반사하여 알베도를 높이는 효과가 크며, 수증기 증가가 온난화를 강화하는 대표적 경로는 대기 중 수증기가 지구복사를 더 많이 흡수하여 온실효과를 강화하는 것이다. 올바르게는 '기온 상승으로 대기 중 수증기가 증가하면 수증기의 온실효과가 강해져 지구온난화가 촉진된다'이다.
③ O — 이산화탄소 증가로 식생의 생장이 촉진되면 광합성을 통한 이산화탄소 고정량이 늘어 대기 중 이산화탄소 증가를 완화할 수 있으므로 음의 되먹임이 될 수 있다.
④ O — 온난화로 영구동토층이 녹으면 저장되어 있던 탄소가 메탄 등 온실기체로 방출될 수 있고, 이에 따라 온난화가 더 강해지는 양의 되먹임이 나타날 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

②는 '수증기 증가'라는 맞는 출발점 뒤에 '하층운 증가 → 알베도 감소'라는 잘못된 경로를 붙였다. 수증기 되먹임의 핵심은 강수량 자체가 아니라 수증기의 온실효과이며, 하층운 증가는 대체로 알베도를 높이는 방향으로 작용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 선지에서 최초 변화가 만든 결과가 원래 변화를 강화하는지 약화하는지 확인한다. 온난화가 복사 흡수나 온실기체를 늘리면 양의 되먹임이고, 이산화탄소 흡수처럼 온난화 원인을 줄이면 음의 되먹임이다.

암기 포인트

얼음 감소·수증기 증가·메탄 방출은 온난화 강화, 식생의 이산화탄소 흡수는 온난화 완화이다.

NoteBase

문 15. 태풍에 대한 설명으로 옳지 않은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 태풍이 발달하는 과정에서 잠열 방출이 핵심적인 이유는 상승한 공기가 응결되어 방출된 잠열이 내부를 가열해 상승기류를 강화하는 양의 피드백 때문이다.
ㄴ. 적도 해상에서는 해수면온도가 높더라도 태풍이 발달하지 못한다.
ㄷ. 태풍의 눈벽을 따라 상승하는 기류는 온위를 보존한다.
ㄹ. 연직바람시어가 강할수록 열대요란이 강화된다.

① ㄱ, ㄴ ② ㄴ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ ④ ㄷ, ㄹ

정답 4번

출제 포인트

태풍의 발달 조건과 눈벽에서의 열역학적 보존량, 연직바람시어의 영향을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

태풍은 따뜻한 해수면에서 공급된 수증기가 응결할 때 방출하는 잠열을 에너지원으로 삼는 열대저기압이다.
ㄱ은 옳다. 상승한 공기의 응결로 방출된 잠열이 내부를 가열하고 상승기류를 강화하여 다시 수증기 공급과 응결을 촉진하는 양의 피드백이 나타난다.
ㄴ은 옳다. 적도 부근은 해수면온도가 높아도 전향력이 매우 약하여 태풍의 조직적인 회전이 형성되기 어렵다.
ㄷ은 옳지 않다. 눈벽의 포화 공기는 잠열을 방출하며 습윤단열적으로 상승하므로 온위가 아니라 상당온위가 거의 보존된다.
ㄹ은 옳지 않다. 강한 연직바람시어는 하층 순환과 상층 대류를 어긋나게 하여 열대요란의 조직화와 발달을 방해한다.

선지별 해설

① X — ㄱ과 ㄴ은 모두 옳은 설명이므로 '옳지 않은 것'의 조합이 아니다. 틀린 조합 'ㄱ, ㄴ'은 'ㄷ, ㄹ'로 고쳐야 한다.
② X — ㄴ은 옳고 ㄷ만 옳지 않으므로 옳지 않은 설명만 고른 조합이 아니다. 틀린 조합 'ㄴ, ㄷ'은 'ㄷ, ㄹ'로 고쳐야 한다.
③ X — ㄴ은 옳고 ㄹ만 옳지 않으므로 옳지 않은 설명만 고른 조합이 아니다. 틀린 조합 'ㄴ, ㄹ'은 'ㄷ, ㄹ'로 고쳐야 한다.
④ O — ㄷ은 눈벽 상승기류가 온위를 보존한다고 한 점이 틀리고, ㄹ은 강한 연직바람시어가 열대요란을 강화한다고 한 점이 틀리므로 옳지 않은 설명만 묶은 조합이다. 올바르게는 눈벽의 포화 상승기류에서 상당온위가 거의 보존되고, 연직바람시어가 강할수록 열대요란의 발달이 억제된다.

NoteBase

오답 포인트

ㄴ의 높은 해수면온도만 보고 적도에서도 태풍이 발달한다고 판단하기 쉽다. 그러나 태풍에는 따뜻한 바다뿐 아니라 회전을 조직할 충분한 전향력도 필요하다. 또한 ㄷ에서는 건조단열 상승 때의 온위 보존과 포화 공기의 습윤단열 상승 때의 상당온위 보존을 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

태풍 발달 조건은 따뜻한 해수면, 적도에서 충분히 떨어진 위도, 약한 연직바람시어로 정리한다. 눈벽의 포화 상승기류가 나오면 잠열 방출을 확인하고, 보존량을 상당온위로 판단한다.

암기 포인트

태풍은 따뜻한 바다·전향력·약한 시어에서 발달하고, 눈벽의 습윤단열 상승에서는 상당온위가 거의 보존된다.

NoteBase

문 16. 다음은 단순화된 난류운동에너지(TKE, Turbulent Kinetic Energy) 방정식이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, $\varepsilon > 0$으로 가정한다.)

$$\frac{d(TKE)}{dt} = \mathrm{MP} + \mathrm{BPL} - \varepsilon$$

MP: 기계적 난류 항, BPL: 열적 난류 항, ε: 소멸 항

ㄱ. 연직바람시어가 양수이면 난류의 생성에 기여하고, 음수이면 난류의 소멸에 기여한다.
ㄴ. BPL은 대기 질량의 중심이 높아지는 운동에서 음의 부호를 갖는다.
ㄷ. MP와 BPL로부터 레이놀즈수(Reynolds number)를 유도할 수 있다.
ㄹ. 난류운동에너지가 정상상태(steady-state)를 유지하고 있다면 이는 계속적인 난류의 생성이 있다는 것을 의미한다.

① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ ④ ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

단순화된 난류운동에너지 수지식에서 기계적 난류 항과 열적 난류 항의 의미, 그리고 정상상태의 조건을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

난류운동에너지 수지는 $\frac{d(TKE)}{dt} = MP + BPL - \varepsilon$로 나타내며, MP는 기계적 생성, BPL은 부력에 의한 생성 또는 소모, $\varepsilon > 0$은 소멸을 뜻한다.

기계적 난류 항: 평균바람의 연직시어로부터 난류운동에너지로 전환되는 항이며, 시어의 양·음 부호만으로 생성과 소멸을 나누지 않는다.

열적 난류 항: 부력에 의한 에너지 전환 항이다. 대기 질량 중심을 높여 위치에너지가 증가하는 운동에서는 난류운동에너지가 소비되므로 음의 값을 갖는다.

정상상태: 난류운동에너지의 시간 변화가 0인 상태로, $MP + BPL = \varepsilon$의 균형을 뜻한다.

NoteBase

선지별 해설

① X — ㄱ이 틀리고 ㄴ은 옳으므로 해당 조합은 정답이 아니다. ㄱ의 틀린 표현은 '연직바람시어가 양수이면 생성, 음수이면 소멸'이다. 올바르게는 연직바람시어의 부호 자체가 아니라 평균바람과 난류 운동량 플럭스의 결합으로 MP의 부호가 결정되며, 통상적인 하향경도 수송에서는 시어의 방향과 관계없이 기계적 난류 생성에 기여한다.
② X — ㄱ과 ㄷ이 모두 틀리므로 해당 조합은 정답이 아니다. ㄷ의 틀린 표현은 'MP와 BPL로부터 레이놀즈수를 유도할 수 있다'이다. 올바르게는 레이놀즈수는 관성력과 점성력의 비인 $Re = UL/\nu$로 정의되며, MP와 BPL만으로는 유도할 수 없다.
③ O — ㄴ과 ㄹ이 모두 옳다. 대기 질량 중심이 높아지면 위치에너지가 증가하므로 열적 난류 항 BPL은 음이 되고, 정상상태에서는 $MP + BPL = \varepsilon > 0$이므로 난류 생성이 계속되면서 소멸과 정확히 균형을 이룬다.
④ X — ㄷ은 틀리고 ㄹ만 옳으므로 해당 조합은 정답이 아니다. ㄷ은 MP와 BPL에서 레이놀즈수를 유도할 수 있다고 한 부분이 틀리며, 올바르게는 대표속도 U, 대표길이 L, 동점성계수 ν를 이용해 $Re = UL/\nu$로 구한다.

오답 포인트

ㄱ에서는 연직바람시어의 양·음 부호를 곧바로 난류의 생성·소멸 부호로 연결하기 쉽다. 그러나 기계적 생성은 시어와 난류 운동량 플럭스의 관계로 판단한다. ㄹ에서는 정상상태를 '난류 생성이 멈춘 상태'로 오해하기 쉽지만, 실제로는 생성과 소멸이 같은 크기로 계속 일어나는 동적 균형 상태이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $\frac{d(TKE)}{dt}$의 부호를 확인한다. 정상상태이면 좌변을 0으로 두어 $MP + BPL = \varepsilon$를 얻고, $\varepsilon > 0$이므로 전체 생성도 양수임을 판단한다. 각 생성항의 부호는 단일 변수의 양·음이 아니라 그 항이 나타내는 에너지 전환 방향으로 판별한다.

암기 포인트

정상 TKE는 생성 0이 아니라 생성과 소멸의 균형이며, 질량 중심 상승은 위치에너지 증가이므로 $BPL < 0$이다.

NoteBase

문 17. 북반구 중위도에서 발달하는 온대저기압에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 상층기압골이 하층저기압보다 서쪽으로 기울어진 구조를 보이는 경우가 많다.
ㄴ. 저기압의 발달 구조는 대기의 운동을 단순화한 준지균 방정식을 통해 해석될 수 있다.
ㄷ. 하층저기압 서쪽의 한랭이류는 상층의 기압골을 약화시킨다.

① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

발달하는 온대저기압에서 상층 기압골과 하층 저기압의 위치 관계, 준지균 이론의 적용, 한랭이류의 역할을 판단하는 문제이다.

핵심 개념

발달하는 온대저기압은 상층 기압골이 하층 저기압보다 서쪽에 놓여 기압계의 축이 고도에 따라 서쪽으로 기울어진 구조를 보이는 경우가 많다.
준지균 이론은 대기의 운동을 지균평형에 가까운 흐름으로 단순화하여 상층 발산, 소용돌이도 이류, 온도이류와 저기압 발달의 관계를 해석하는 틀이다.
하층 저기압 서쪽의 한랭이류는 기층을 냉각·수축시켜 상층 등압면 고도를 낮추므로 상층 기압골을 약화시키는 것이 아니라 강화하는 쪽으로 작용한다.

선지별 해설

① O — ㄱ과 ㄴ이 모두 옳다. 발달하는 온대저기압은 상층 기압골이 하층 저기압보다 서쪽에 위치하는 서쪽 기울기 구조를 보이며, 그 발달 과정은 준지균 방정식으로 해석할 수 있다.
② X — ㄷ의 '상층의 기압골을 약화시킨다'가 틀리다. 하층 저기압 서쪽의 한랭이류는 상층 등압면 고도를 낮춰 기압골을 강화한다. 따라서 'ㄱ, ㄷ'이 아니라 'ㄱ, ㄴ'이 옳다.
③ X — ㄴ은 옳지만 ㄷ은 틀리다. 한랭이류는 상층 기압골을 약화시키는 것이 아니라 강화하므로 'ㄴ, ㄷ'이 아니라 'ㄱ, ㄴ'이 옳다.
④ X — ㄷ이 틀렸으므로 ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 옳지 않다. 올바르게는 ㄱ과 ㄴ만 옳고 ㄷ은 '한랭이류가 상층 기압골을 강화한다'로 고쳐야 한다.

NoteBase

오답 포인트

ㄷ의 '한랭이류'만 보고 저기압의 에너지를 줄인다고 생각하기 쉽다. 그러나 이 문항은 하층 저기압 서쪽에서 냉각된 기층이 수축하여 상층 고도를 낮추고 기압골을 강화하는 효과를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

발달하는 온대저기압은 먼저 상층 기압골이 하층 저기압의 서쪽에 있는지 확인한다. 이어 저기압 서쪽의 한랭이류는 상층 고도를 낮춰 기압골을 강화하고, 동쪽의 온난이류는 상층 고도를 높여 기압능을 강화한다는 대응 관계로 판단한다.

암기 포인트

발달기에는 상층 기압골이 하층 저기압의 서쪽에 놓이고, 하층 저기압의 서쪽 한랭이류는 상층 골을 강화한다.

NoteBase

문 18. 준지균 이론에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 온도풍은 정역학 균형, 지균 균형과 모두 관련된다.
ㄴ. 베타평면근사(beta plane approximation)에 따르면 베타 매개변수(β, beta-parameter)는 경도에 따른 코리올리 매개변수의 변화율이다.
ㄷ. 고도가 증가함에 따라 온난이류가 약해지면 시간에 따라 층후가 증가한다.
ㄹ. 음의 소용돌이도 이류로 인해 상승기류가 발생한다.

① ㄱ, ㄴ　② ㄱ, ㄷ
③ ㄱ, ㄹ　④ ㄷ, ㄹ

정답 2번

출제 포인트

준지균 이론에서 온도풍의 성립 조건, 베타 매개변수의 정의, 온도이류에 따른 층후 변화, 소용돌이도 이류와 연직운동의 관계를 판단하는 문제이다.

핵심 개념

온도풍: 서로 다른 고도의 지균풍 차이인 연직 바람시어를 수평 온도경도와 연결한 관계이며, 정역학 균형과 지균 균형을 함께 이용해 유도한다.
베타 매개변수: 코리올리 매개변수 f의 남북방향 변화율로, $\beta = \partial f/\partial y$이다.
층후: 두 등압면 사이의 높이 차이로, 그 기층의 평균 기온에 비례한다.
연직운동: 준지균 오메가 방정식에서는 상층으로 갈수록 강해지는 양의 소용돌이도 이류가 상승운동을 유도하고, 반대 조건은 하강운동을 유도한다.

선지별 해설

① X — ㄱ은 옳지만 ㄴ은 틀리므로 옳은 문장만의 조합이 아니다. ㄱ의 온도풍 관계는 정역학 균형과 지균 균형을 함께 사용해 유도한다. ㄴ에서 틀린 표현은 '경도에 따른'이다. 올바르게는 베타 매개변수 β는 위도, 즉 남북방향에 따른 코리올리 매개변수 f의 변화율이다.
② O — ㄱ과 ㄷ이 모두 옳다. ㄷ에서 고도가 높아질수록 온난이류가 약해지면 아래쪽의 온난이류가 상대적으로 강하며, 기층의 평균 기온이 상승하여 두 등압면 사이의 층후가 시간에 따라 증가한다.
③ X — ㄱ은 옳지만 ㄹ은 틀리므로 옳은 문장만의 조합이 아니다. ㄹ에서 틀린 표현은 '음의 소용돌이도 이류로 인해 상승기류'이다. 올바르게는 상층으로 갈수록 강해지는 양의 소용돌이도 이류가 상승기류를 유도하며, 그 반대인 음의 소용돌이도 이류가 상층으로 갈수록 강해지는 조건은 하강기류와 관련된다.
④ X — ㄷ은 옳지만 ㄹ은 틀리므로 옳은 문장만의 조합이 아니다. ㄹ은 소용돌이도 이류의 부호만이 아니라 고도에 따른 변화까지 보아야 하며, 상승운동은 상층으로 갈수록 강해지는 양의 소용돌이도 이류와 연결된다.

NoteBase

오답 포인트

ㄴ의 '경도'를 무심코 '위도'로 읽거나, ㄹ에서 소용돌이도 이류의 부호만 보고 연직운동을 판단하기 쉽다. 베타 효과는 남북방향 변화이고, 소용돌이도 이류에 의한 상승·하강은 고도에 따른 이류의 변화가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도풍은 정역학 균형과 지균 균형, 베타는 f의 남북방향 변화율, 층후는 기층 평균기온에 비례한다는 세 기준을 먼저 적용한다. 연직운동은 상층으로 갈수록 강해지는 양의 소용돌이도 이류이면 상승, 반대이면 하강으로 판단한다.

암기 포인트

온도풍은 정역학+지균, 베타는 남북방향, 따뜻해지면 층후 증가, 상층의 강한 양의 소용돌이도 이류는 상승이다.

NoteBase

문 19. 다음은 태양상수 S를 유도하는 설명이다. ㉠ ~ ㉢에 들어갈 내용으로 바르게 연결한 것은? (단, 태양상수 S는 태양의 표면에서 방출된 에너지 중 지구에 도달하는 단위면적 당, 단위시간 당 복사에너지를 의미한다.)

- 태양을 흑체로 가정하였을 때, 태양의 표면에서 방출되는 에너지(L)는 스테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 법칙에 따라
  $L =$ ㉠
  (R_s: 태양의 반지름, T_s: 태양의 표면온도, σ: 스테판-볼츠만 상수)
- 지구와 태양 사이의 거리 $d = 1\,\mathrm{AU}$에서, L은 반지름 d인 구의 표면으로 균등하게 전달되므로,
  ㉠ $= S \times$ ㉡ 이 된다.
- 이를 통해서 태양상수 $S =$ ㉢ 임을 구할 수 있다.

	㉠	㉡	㉢
①	$4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$	πd^2	$\sigma T_s^4 (2R_s/d)^2$
②	$\pi R_s^2 \sigma T_s^4$	$4\pi d^2$	$\sigma T_s^4 (R_s/2d)^2$
③	$4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$	$4\pi d^2$	$\sigma T_s^4 (R_s/d)^2$
④	$\pi R_s^2 \sigma T_s^4$	πd^2	$\sigma T_s^4 (R_s/d)^2$

정답 3번

출제 포인트

스테판-볼츠만 법칙으로 태양의 총 방출 에너지를 구하고, 그 에너지가 거리 d인 구의 표면 전체로 퍼진다는 점을 이용해 태양상수 S를 유도하는 문제이다.

조건 정리

주어진 관계: 단위면적당 방출 에너지는 σT_s^4이고, 태양의 표면적은 $4\pi R_s^2$이다.
구해야 할 관계: 태양의 총 방출 에너지 L, 거리 d에서 에너지가 퍼지는 구의 표면적, 태양상수 S이다.
주의할 조건: 태양 복사는 모든 방향으로 고르게 퍼지므로 거리 d에서 통과하는 전체 면적은 원의 넓이 πd^2가 아니라 구의 표면적 $4\pi d^2$이다.

사용할 공식

스테판-볼츠만 법칙과 구의 표면적을 적용하면
$L = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$
이고, 거리 d에서의 에너지 보존 관계는
$L = S \times 4\pi d^2$
이다. 태양 표면의 단위면적당 방출량에 태양의 전체 표면적을 곱하면 총 방출량이 되며, 이 총량이 거리 d인 구면 전체에 균일하게 분산되기 때문에 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 태양의 총 방출 에너지는 $L = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$이다. 따라서 ㉠은 $4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$이다.
2. 거리 d에서 복사 에너지가 통과하는 구의 표면적은 $4\pi d^2$이므로 $L = S \times 4\pi d^2$이다. 따라서 ㉡은 $4\pi d^2$이다.
3. 위 두 식을 결합하면
$S = \frac{L}{4\pi d^2} = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T_s^4}{4\pi d^2} = \sigma T_s^4 \left(\frac{R_s}{d}\right)^2$
이다. 따라서 ㉢은 $\sigma T_s^4 (R_s/d)^2$이다.

선지 판단

① X — ㉠은 맞지만 ㉡의 πd^2이 틀렸다. 거리 d에서 에너지가 퍼지는 면적은 원의 넓이가 아니라 구의 표면적이므로, 올바르게는 ㉡ $= 4\pi d^2$, ㉢ $= \sigma T_s^4 (R_s/d)^2$이다. 제시된 ㉢ $\sigma T_s^4 (2R_s/d)^2$은 퍼지는 면적을 실제의 4분의 1로 잡아 태양상수를 4배로 계산한 결과이다.

② X — ㉡은 맞지만 ㉠의 $\pi R_s^2 \sigma T_s^4$이 틀렸다. 태양의 방출 면적은 원의 넓이가 아니라 구의 표면적이므로, 올바르게는 ㉠ $= 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$, ㉢ $= \sigma T_s^4 (R_s/d)^2$이다. 제시된 ㉢ $\sigma T_s^4 (R_s/2d)^2$은 총 방출량을 실제의 4분의 1로 잡은 결과이다.

③ O — ㉠ $= 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$, ㉡ $= 4\pi d^2$이므로 ㉢ $= \sigma T_s^4 (R_s/d)^2$이 되어 세 칸이 모두 옳다.

④ X — ㉢의 최종식은 맞지만 ㉠과 ㉡이 각각 틀렸다. 두 곳에서 모두 4를 빠뜨려 비율을 계산할 때 오류가 우연히 상쇄된 것이다. 올바르게는 ㉠ $= 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$, ㉡ $= 4\pi d^2$이다.

오답 포인트

태양의 겉보기 원판 넓이 πR_s^2와 실제로 복사를 방출하는 구의 표면적 $4\pi R_s^2$을 혼동하기 쉽다. 또한 거리 d에서도 복사는 원판이 아니라 구면 전체로 퍼진다. 특히 ④는 분자와 분모에서 같은 계수 4를 빠뜨려 최종 S만 맞게 만든 함정이므로, 각 빈칸을 따로 검산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

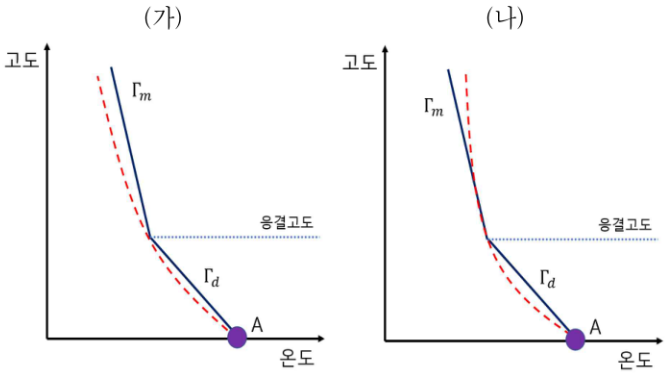
먼저 '단위면적당 방출량 × 방출 천체의 구면적'으로 광도 L을 구한 뒤, '광도 ÷ 관측 거리에서의 구면적'으로 복사 플럭스 S를 구한다. 즉 $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, $S = L/(4\pi d^2)$의 순서로 판단한다.

암기 포인트

방출할 때도 구면적 $4\pi R^2$, 퍼질 때도 구면적 $4\pi d^2$이다. 따라서 $S = \sigma T^4 (R/d)^2$이다.

NoteBase

문 20. 다음 그래프는 대기의 고도에 따른 기온 분포(파선)와 단열선(실선)을 나타낸다. (가)와 (나)에서 A지점에 있는 공기덩이가 외부와의 열 교환 없이 상승할 때, 생성되는 구름의 형태로 가장 바르게 연결한 것은? (단, Γ_d는 건조단열감률, Γ_m은 습윤단열감률이다.)



	(가)	(나)
①	적운형 구름	적운형 구름
②	층운형 구름	적운형 구름
③	적운형 구름	층운형 구름
④	층운형 구름	층운형 구름

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 응결고도 위에서 공기덩이의 습윤단열선과 환경의 기온 분포를 비교하여 대기의 안정도와 구름 형태를 판단하는 문제이다. 같은 고도에서 상승한 공기덩이가 환경보다 따뜻하면 계속 상승하여 적운형 구름이, 더 차가우면 상승이 억제되어 층운형 구름이 발달한다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- (가)의 적운형 구름은 맞지만, (나)의 적운형 구름이 틀렸다. (나)는 응결고도 위에서 공기덩이의 기온을 나타내는 실선이 환경 기온을 나타내는 파선보다 왼쪽에 있어 공기덩이가 환경보다 차갑다. 따라서 안정하므로 층운형 구름이 생성된다.
- 틀린 표현 '(나) 적운형 구름'은 '(나) 층운형 구름'으로 고쳐야 한다.

② X
- (가)는 응결고도 위에서 실선이 파선보다 오른쪽에 있어 공기덩이가 환경보다 따뜻하므로 불안정하여 적운형 구름이 발달한다. 반면 (나)는 공기덩이가 환경보다 차가워 안정하므로 층운형 구름이 발달한다. 두 판단이 모두 반대이다.
- 틀린 표현 '(가) 층운형 구름, (나) 적운형 구름'은 '(가) 적운형 구름, (나) 층운형 구름'으로 고쳐야 한다.

③ O
- (가)에서는 응결고도 위의 공기덩이가 환경보다 따뜻해 양의 부력을 유지하므로 연직 발달이 활발한 적운형 구름이 생성된다. (나)에서는 공기덩이가 환경보다 차가워 상승이 억제되므로 수평으로 퍼지는 층운형 구름이 생성된다.

④ X
- (나)의 층운형 구름은 맞지만, (가)의 층운형 구름이 틀렸다. (가)는 응결고도 위에서 공기덩이가 환경보다 따뜻하여 계속 상승할 수 있으므로 적운형 구름이 생성된다.
- 틀린 표현 '(가) 층운형 구름'은 '(가) 적운형 구름'으로 고쳐야 한다.

오답 포인트

실선과 파선의 기울기만 막연히 비교하거나, 선의 좌우가 뜻하는 온도 차를 반대로 읽기 쉽다. 온도는 오른쪽으로 갈수록 높으므로 같은 고도에서 실선이 파선보다 오른쪽이면 공기덩이가 더 따뜻해 불안정하고, 왼쪽이면 더 차가워 안정하다. 이 문항에서는 응결고도 위의 관계가 구름 형태를 결정한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 공기덩이가 응결고도까지는 건조단열감률 Γ_d, 그 위에서는 습윤단열감률 Γ_m을 따라 변한다고 본다. 이어 같은 고도에서 공기덩이의 실선과 환경의 파선을 좌우로 비교한다. 실선이 오른쪽이면 공기덩이가 더 따뜻해 불안정하므로 적운형, 왼쪽이면 더 차가워 안정하므로 층운형으로 판단한다.

암기 포인트

공기덩이가 환경보다 따뜻하면 불안정·적운형, 차가우면 안정·층운형이다.

NoteBase