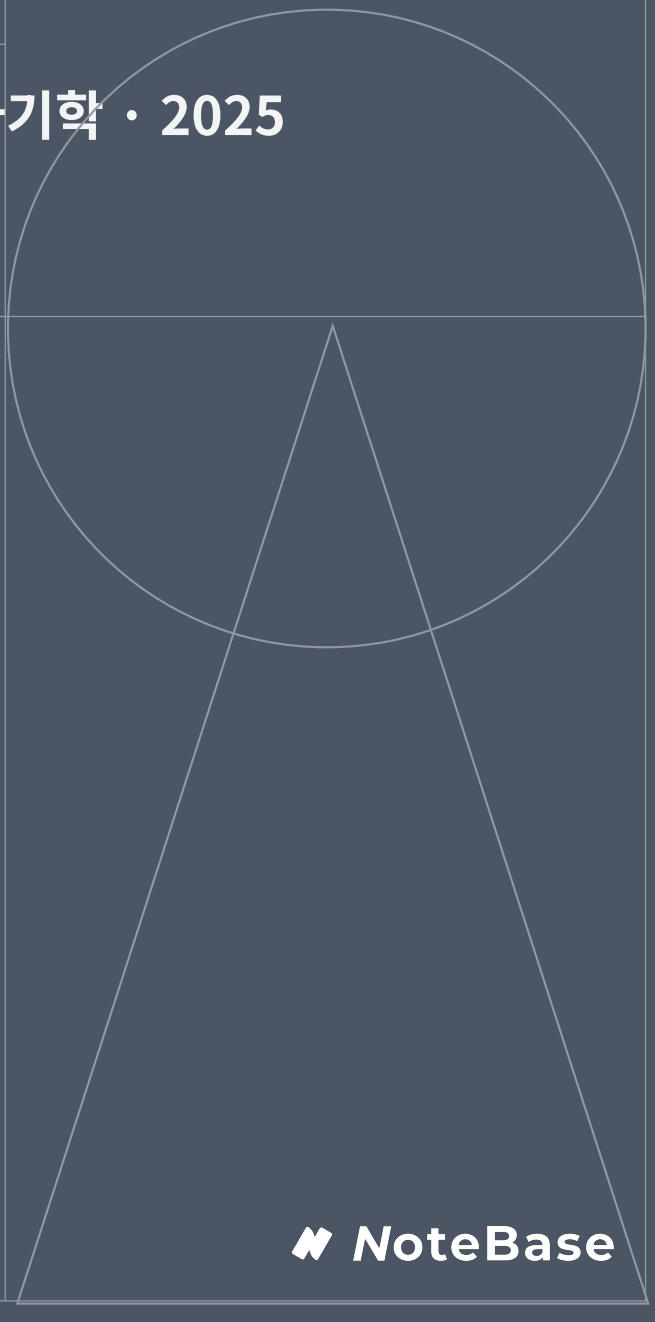
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2025



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2025

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2025

문 1. 벡터 $\vec{A} = 2\vec{a}_x + 3\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$와 $\vec{B} = 3\vec{a}_x + 2\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$가 이루는 각[rad]은?

① 0

② $\frac{\pi}{6}$

③ $\frac{\pi}{3}$

④ $\frac{\pi}{2}$

정답 4번

출제 포인트

두 벡터가 이루는 각은 내적(스칼라곱) 공식으로 구한다. 핵심은 내적값만 따져도 각의 종류를 곧바로 알 수 있다는 점이다. 내적이 0이면 두 벡터는 서로 수직(직각)이므로, 크기까지 계산하지 않아도 각이 $\frac{\pi}{2}$임을 바로 판단할 수 있다.

조건 정리

$\vec{A} = 2\vec{a}_x + 3\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$, $\vec{B} = 3\vec{a}_x + 2\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$. z성분 부호에 주의한다. A의 z성분은 +4, B의 z성분은 −3이다.

사용할 공식

두 벡터의 내적: $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$. 따라서 $\cos\theta = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}||\vec{B}|}$. 내적이 0이면 $\cos\theta = 0$이므로 $\theta = \frac{\pi}{2}$(직각)이다.

계산 과정

성분별로 곱해서 더한다.
$\vec{A} \cdot \vec{B} = (2)(3) + (3)(2) + (4)(-3) = 6 + 6 - 12 = 0$
내적이 0이므로 $\cos\theta = 0$, 즉 $\theta = \frac{\pi}{2}$. 두 벡터는 서로 수직이다.

NoteBase

선지 판단

① 0 → X. 각이 0이려면 두 벡터가 같은 방향(평행)이어야 하지만, 성분 비율이 다르고 내적이 0이라 평행이 아니다.
② $\frac{\pi}{6}$ → X. 30도(예각)는 내적이 양수일 때 가능하나 여기서는 내적이 0이다.
③ $\frac{\pi}{3}$ → X. 60도(예각) 역시 내적이 양수여야 하므로 해당 없음.
④ $\frac{\pi}{2}$ → O. 내적이 정확히 0이므로 $\cos\theta = 0$, 각은 90도(직각)이다.

오답 포인트

B의 z성분 부호를 −3이 아니라 +3으로 잘못 읽으면 내적이 $6 + 6 + 12 = 24$로 양수가 되어 예각(②③)으로 착각하기 쉽다. 부호 하나가 정답을 가른다. 또 내적이 0인데도 크기를 굳이 $|\vec{A}| = \sqrt{29}$, $|\vec{B}| = \sqrt{22}$로 계산하느라 시간을 낭비하지 말 것 — 분자가 0이면 각은 무조건 직각이다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터 사이 각을 묻는 문제는 먼저 내적(성분 곱의 합)만 계산한다. 내적이 0이면 즉시 $\frac{\pi}{2}$(수직), 양수면 예각(0~$\frac{\pi}{2}$), 음수면 둔각($\frac{\pi}{2}$~π)으로 후보를 좁힌 뒤 필요할 때만 크기를 구한다.

암기 포인트

내적 0 = 수직(직각, $\frac{\pi}{2}$) / 외적 0 = 평행(같거나 반대 방향). 부호: 내적이 양수면 예각, 음수면 둔각. 각 문제는 $\cos\theta$의 부호부터 본다.

NoteBase

문 2. 전기장과 자기장이 시간에 따라 변하지 않을 때, 서로 다른 두 매질의 경계 조건에 대한 설명으로 가장 옳은 것은? (단, 두 매질은 경계에서 자유전하가 없이 접촉되어 있다.)

① 전계의 경계면에 대하여 수직인 성분은 연속이다.

② 전속밀도의 경계면에 대하여 수평인 성분은 연속이다.

③ 자속밀도의 경계면에 대하여 수직인 성분은 연속이다.

④ 자계의 경계면에 대하여 수직인 성분은 연속이다.

정답 3번

출제 포인트

정자계·정전계에서 서로 다른 두 매질의 경계면 조건을 묻는 문제다. 핵심은 네 가지 장(E, D, B, H)이 경계에서 '수직(법선) 성분'이 연속인지 '수평(접선) 성분'이 연속인지를 정확히 짝짓는 것이다. 자유전하·자유전류가 없을 때를 가정하므로 표준 경계조건을 그대로 적용하면 된다.

핵심 개념

경계조건의 출발점은 맥스웰 방정식이다. 발산이 0이거나 면전하가 없으면 '법선(수직) 성분'이 연속이고, 회전이 0이거나 면전류가 없으면 '접선(수평) 성분'이 연속이다. 전계 E: 접선 성분 연속($E_{t1} = E_{t2}$). 전속밀도 D: 법선 성분 연속(자유면전하 0일 때 $D_{n1} = D_{n2}$). 자속밀도 B: $\nabla \cdot B = 0$이므로 법선 성분 연속($B_{n1} = B_{n2}$). 자계 H: 면전류 0일 때 접선 성분 연속($H_{t1} = H_{t2}$). 즉 D와 B는 '수직(법선)', E와 H는 '수평(접선)'이 연속이라고 외우면 된다.

선지별 해설

① X: 전계(E)는 수직(법선) 성분이 아니라 수평(접선) 성분이 연속이다. '전계의 수직 성분 연속' → '전계의 수평(접선) 성분 연속'이 옳다. 전계의 법선 성분은 두 매질의 유전율 차이만큼 불연속이다.
② X: 전속밀도(D)는 수평(접선) 성분이 아니라 수직(법선) 성분이 연속이다(자유면전하 0). '전속밀도의 수평 성분 연속' → '전속밀도의 수직(법선) 성분 연속'이 옳다.
③ O: 자속밀도(B)는 $\nabla \cdot B = 0$이므로 어떤 경계에서나 수직(법선) 성분이 연속이다($B_{n1} = B_{n2}$). 표현이 정확히 맞다.
④ X: 자계(H)는 수직(법선) 성분이 아니라 수평(접선) 성분이 연속이다(면전류 0). '자계의 수직 성분 연속' → '자계의 수평(접선) 성분 연속'이 옳다. 자계의 법선 성분은 두 매질의 투자율 차이만큼 불연속이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 '수직(법선) vs 수평(접선)'과 '어떤 장이 어디에 해당하는가'를 뒤바꿔 출제한다는 점이다. ②는 'D는 법선 연속'이 맞는데 '수평'으로 바꿔 틀렸고, ④는 'H는 접선 연속'이 맞는데 '수직'으로 바꿔 틀렸다. 글자 한 단어(수직/수평)만 바꿔 오답을 만드는 전형적 패턴이므로, '연속'이라는 결론에 안심하지 말고 성분 방향까지 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

경계조건 문제는 'D와 B = 수직(법선) 연속 / E와 H = 수평(접선) 연속'으로 두 짝을 먼저 떠올린 뒤 선지의 방향 단어가 이 짝과 맞는지만 대조하면 된다. 자유면전하·면전류가 '없다'는 조건이 붙어야 D 법선·H 접선이 깔끔히 연속이 되므로, 단서에서 그 조건을 먼저 확인한다. B는 면전류·면전하 조건과 무관하게 항상 법선 연속이라는 점도 기억해 둔다.

암기 포인트

법선(수직) 연속: D_n, B_n — 디비(DB)는 수직. 접선(수평) 연속: E_t, H_t — 이에이치(EH)는 수평. B의 법선 연속은 $\nabla \cdot B = 0$에서 무조건 성립.

NoteBase

문 3. $\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$[Wb]**인 정현파로 시간** t**에 따라 변화하는 자속이 권선수** N**인 코일과 쇄교할 때, 유도되는 기전력의 위상에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?**

① 자속에 비해 $\frac{\pi}{2}$[rad] 느리다.

② 자속에 비해 $\frac{\pi}{2}$[rad] 빠르다.

③ 자속에 비해 π[rad] 빠르다.

④ 자속과 위상이 같다.

정답 1번

출제 포인트

정현파 자속과 그로부터 유도되는 기전력 사이의 위상 관계를 묻는 문제다. 패러데이 법칙으로 기전력은 자속의 시간 미분에 비례하는데, 정현파를 미분하면 같은 정현파가 위상만 $\frac{\pi}{2}$만큼 어긋나므로, '미분이 위상에 어떤 변화를 주는가'를 정확히 따지는 것이 핵심이다.

조건 정리

쇄교 자속 $\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$ [Wb], 코일 권선수는 N, 각주파수는 ω. 자속의 위상 기준은 $\sin \omega t$이고, 이때 유도 기전력 $e(t)$의 위상을 자속과 비교한다.

사용할 공식

패러데이-렌츠 법칙: $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$. 미분 공식: $\frac{d}{dt}\sin \omega t = \omega \cos \omega t$. 위상 환산: $\cos\theta = \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right)$, $-\cos\theta = \sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)$.

계산 과정

자속을 미분하면 $\frac{d\Phi}{dt} = \Phi_m \omega \cos \omega t$. 기전력은 $e = -N\frac{d\Phi}{dt} = -N\omega\Phi_m \cos \omega t$. 부호를 위상으로 흡수하면 $e = N\omega\Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$. 자속은 $\sin \omega t$, 기전력은 $\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$이므로 기전력의 위상이 자속보다 $\frac{\pi}{2}$만큼 작다. 즉 기전력은 자속에 비해 $\frac{\pi}{2}$[rad] 뒤진다(느리다).

선지 판단

① 자속에 비해 $\frac{\pi}{2}$[rad] 느리다 → O. $e = N\omega\Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$이므로 기전력 위상이 자속보다 $\frac{\pi}{2}$ 작아 정확히 $\frac{\pi}{2}$ 만큼 지연된다.

② 자속에 비해 $\frac{\pi}{2}$[rad] 빠르다 → X. 빠른 것이 아니라 느리다. $+\frac{\pi}{2}$가 아니라 $-\frac{\pi}{2}$ 위상이다.

③ 자속에 비해 π[rad] 빠르다 → X. 미분으로 생기는 위상차는 $\frac{\pi}{2}$이며 π가 아니다. π는 단순 부호 반전(역상)일 때의 값이다.

④ 자속과 위상이 같다 → X. $\sin \omega t$와 $\cos \omega t$ 계열은 $\frac{\pi}{2}$ 차이가 나므로 동위상이 아니다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 함정은 ②처럼 '미분하면 위상이 빨라진다'고 외우는 것이다. sin을 미분하면 +cos가 되어 위상이 앞서지만, 기전력에는 패러데이 법칙의 음(-)부호가 붙어 −cos가 되므로 결과적으로 자속보다 $\frac{\pi}{2}$ 뒤진다. 음부호를 빠뜨리면 ②를 고르게 된다. 또 $\frac{\pi}{2}$와 π를 혼동하면 ③을 고른다.

다시 나오면 이렇게 판단

자속이 $\sin \omega t$이면 기전력은 $e = -N\frac{d\Phi}{dt}$를 계산해 반드시 음부호까지 위상으로 정리한다. 결과가 $\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ 형태이면 '기전력이 자속보다 $\frac{\pi}{2}$ 느리다(뒤진다)'로 즉시 판단한다. 위상차 크기는 항상 $\frac{\pi}{2}$, 방향은 '느리다(지연)'가 정답이다.

암기 포인트

정현파 자속 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$에서 유도 기전력은 $e = N\omega\Phi_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$. 한 줄 요약: '기전력은 자속보다 $\frac{\pi}{2}$ 뒤진다(느리다).' 미분이 만드는 위상차 크기는 $\frac{\pi}{2}$, 패러데이 음부호 때문에 방향은 지연이다.

NoteBase

문 4. 평행판 커패시터에 유전율과 고유저항이 각각 9×10^{-8}[F/m], 10^{6}[Ω · m]인 액체를 채웠을 때, 정전용량이 3[μF]이었다. 이때 극판 사이의 저항[kΩ]은? (단, 가장자리 효과는 무시한다.)

① 20

② 30

③ 40

④ 50

정답 2번

출제 포인트

같은 모양(같은 극판 면적과 간격)의 평행판에 채운 물질의 정전용량과 절연저항 사이에는 $RC = \rho\varepsilon$ 관계가 성립한다는 점을 묻는 문제다. 면적 A와 간격 d를 따로 구하지 않아도 이 한 식으로 바로 저항을 구할 수 있다.

조건 정리

유전율 $\varepsilon = 9 \times 10^{-8}$[F/m], 고유저항(저항률) $\rho = 10^{6}$[Ω · m], 정전용량 $C = 3[\mu\text{F}] = 3 \times 10^{-6}$[F].
가장자리 효과는 무시하므로 균일한 평행판으로 본다. 구하는 것은 극판 사이 저항을 kΩ 단위로 나타낸 값이다.

사용할 공식

평행판에서 정전용량은 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$, 같은 모양의 저항은 $R = \frac{\rho d}{A}$이다. 두 식을 곱하면 면적과 간격이 모두 소거되어 $RC = \rho\varepsilon$이 된다. 따라서 $R = \frac{\rho\varepsilon}{C}$.

계산 과정

먼저 $\rho\varepsilon = 10^{6} \times 9 \times 10^{-8} = 9 \times 10^{-2}$이다. 이를 C로 나누면 $R = \frac{9 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^{4}$[Ω]. 즉 30,000Ω = 30kΩ.

선지 판단

① 20kΩ → X: 어떤 조합으로도 20이 나오지 않는다. $\rho\varepsilon/C$를 정확히 계산하면 30이다.
② 30kΩ → O: $R = \rho\varepsilon/C = (9 \times 10^{-2})/(3 \times 10^{-6}) = 3 \times 10^{4}\Omega = 30\text{k}\Omega$.
③ 40kΩ → X: C를 빼고 곱셈만 잘못 처리하거나 지수를 한 자리 잘못 맞춘 값으로, 식 $R = \rho\varepsilon/C$와 맞지 않는다.
④ 50kΩ → X: 지수 계산이나 단위 환산을 틀렸을 때 나오는 함정 값으로, 정확한 결과 30kΩ과 다르다.

오답 포인트

정전용량 C로 나누지 않고 $\rho\varepsilon$만 계산하면 단위가 맞지 않는다(저항은 $\rho\varepsilon$을 C로 나눈 값). 또 3μF를 3×10^{-6}F로 바꾸는 것을 잊으면 지수가 어긋난다. 마지막에 Ω 단위로 30,000이 나온 뒤 kΩ로 묻는다는 점을 놓치면 0을 세 개 더 붙인 엉뚱한 값을 고르게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

같은 평행판(또는 같은 도체 모양)에 한 물질의 정전용량과 절연저항을 동시에 주면 면적·간격을 구하려 하지 말고 곧바로 $RC = \rho\varepsilon$를 떠올린다. 묻는 게 저항이면 $R = \rho\varepsilon/C$, 정전용량이면 $C = \rho\varepsilon/R$로 바로 대입한다. 단위는 F·Ω이 초(s)가 되도록 맞춰 검산하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

핵심 공식 한 줄: $RC = \rho\varepsilon$ (저항률 곱하기 유전율 = 저항 곱하기 정전용량). 이 문제의 답: $R = \frac{\rho\varepsilon}{C} = \frac{10^{6} \times 9 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-6}} = 30\text{k}\Omega$.

NoteBase

문 5. 2차원 평면에서 전위 $V(x, y) = x^3 - y^3$[V]에 의해 형성되는 전기력선이 점(1, 2)을 지날 때, 이 전기력선이 함께 통과하는 점은?

① (-2, 1)

② (2, 1)

③ (3, -6)

④ (4, 4)

정답 2번

출제 포인트

전위 V가 주어졌을 때 전기력선(field line)의 식을 구하는 문제다. 전기력선은 전기장 **E**에 항상 접하므로, 한 점을 지나는 전기력선이 또 어떤 점을 지나는지는 미분방정식 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$를 풀어 곡선식을 얻은 뒤 좌표를 대입해 확인한다.

조건 정리

전위 $V(x, y) = x^3 - y^3$[V]. 전기력선이 점 $(1, 2)$를 지난다. 이 전기력선이 함께 지나는 점을 보기 ①~④에서 찾는다.

사용할 공식

전기장: $\mathbf{E} = -\nabla V = \left(-\frac{\partial V}{\partial x},\ -\frac{\partial V}{\partial y}\right)$
전기력선의 접선 조건: $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$

계산 과정

성분 미분: $\frac{\partial V}{\partial x} = 3x^2, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = -3y^2$
전기장: $\mathbf{E} = (-3x^2,\ 3y^2)$
접선 조건: $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x} = \frac{3y^2}{-3x^2} = -\frac{y^2}{x^2}$
변수분리: $\frac{dy}{y^2} = -\frac{dx}{x^2}$
적분: $-\frac{1}{y} = \frac{1}{x} + C \Rightarrow \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = k$ (상수)
점 $(1, 2)$ 대입: $k = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$
따라서 전기력선은 $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{3}{2}$.

NoteBase

선지 판단

① $(-2, 1)$: $\frac{1}{-2} + \frac{1}{1} = \frac{1}{2} \neq \frac{3}{2} \rightarrow$ X
② $(2, 1)$: $\frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{3}{2} \rightarrow$ O (전기력선 위의 점)
③ $(3, -6)$: $\frac{1}{3} + \frac{1}{-6} = \frac{1}{6} \neq \frac{3}{2} \rightarrow$ X
④ $(4, 4)$: $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \neq \frac{3}{2} \rightarrow$ X

오답 포인트

전기력선을 등전위선과 헷갈려 V 값이 같은 점을 찾으면 안 된다(등전위선과 전기력선은 서로 수직이다). 점 $(1, 2)$에서 $V = 1 - 8 = -7$인데, 보기에서 V가 -7이 되는 점을 골라도 그것은 등전위선 위의 점이지 전기력선 위의 점이 아니다. 또한 $\mathbf{E} = -\nabla V$에서 마이너스 부호를 빠뜨리거나, $\frac{dy}{dx}$ 비를 $\frac{E_x}{E_y}$로 뒤집으면 전혀 다른 곡선이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위 V가 주어지고 '전기력선이 지나는 점'을 물으면, ① $\mathbf{E} = -\nabla V$로 전기장 성분을 구하고 ② $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$를 변수분리로 적분해 전기력선 곡선식을 얻은 뒤 ③ 주어진 점으로 적분상수를 정하고 ④ 보기를 대입한다. 이 문제처럼 분모가 x^2, y^2 꼴이면 적분 결과가 $\frac{1}{x}$, $\frac{1}{y}$ 형태로 나온다는 점을 기억하면 빠르다.

암기 포인트

전기력선은 $\mathbf{E}$에 접하고 등전위면에 수직. 전기력선 방정식은 $\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y}$(2차원에서 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$). 전위와 전기장의 관계는 항상 $\mathbf{E} = -\nabla V$.

NoteBase

문 6. 평행판 전극 간 매질의 유전율과 도전율이 각각 ε, σ이고 전극 양단에 교류전압을 인가할 때, 변위전류와 전도전류에 대한 설명으로 가장 옳은 것은? (단, 평행판 전극 내부 전계는 일정하다.)

① 변위전류의 위상은 인가전압의 위상보다 $\frac{\pi}{2}[rad]$ 빠르다.

② 매질 내 자유전자에 의한 전도전류는 없다.

③ 변위전류와 전도전류의 크기가 같아지는 주파수는 도전율에 반비례한다.

④ 변위전류는 전도전류와 달리 자기작용이 없다.

정답 1번

출제 포인트

유전율 ε과 도전율 σ를 동시에 갖는 매질(손실 유전체)에 교류전압을 걸었을 때, 전도전류 $J_c = \sigma E$와 변위전류 $J_d = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$의 위상·크기·자기작용을 구분하는 문제다. 전계가 인가전압과 같은 위상이라는 점에서 출발해, 시간 미분이 만드는 $\frac{\pi}{2}$ 위상차를 잡아내는 것이 핵심이다.

핵심 개념

전극 내부 전계가 일정하므로 $E = \frac{V}{d}$, 즉 전계는 인가전압과 같은 위상이다. $E = E_0\cos\omega t$로 두면 전도전류는 $J_c = \sigma E = \sigma E_0\cos\omega t$로 전계(전압)와 동상이다. 변위전류는 $J_d = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t} = -\varepsilon\omega E_0\sin\omega t = \varepsilon\omega E_0\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$이므로 전압보다 위상이 $\frac{\pi}{2}$ 앞선다. 두 전류 크기는 $|J_c| = \sigma E_0$, $|J_d| = \varepsilon\omega E_0$이고, 변위전류도 전도전류와 똑같이 앙페르-맥스웰 법칙에 의해 자기장을 만든다.

선지별 해설

① O — 전계가 인가전압과 동상이고 변위전류는 전계를 시간 미분한 양이므로 $J_d = \varepsilon\omega E_0\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, 즉 변위전류 위상이 인가전압보다 $\frac{\pi}{2}[\mathrm{rad}]$ 빠르다.

② X — 매질의 도전율이 $\sigma \neq 0$이므로 자유전자에 의한 전도전류 $J_c = \sigma E$가 분명히 존재한다. 틀린 표현 "전도전류는 없다" → 올바른 표현 "도전율이 있으므로 전도전류가 흐른다".

③ X — 두 전류 크기가 같아지는 조건은 $\varepsilon\omega = \sigma$에서 $\omega = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, 즉 주파수는 도전율 σ에 비례한다. 틀린 표현 "도전율에 반비례" → 올바른 표현 "도전율에 비례".

④ X — 변위전류는 맥스웰이 도입한 항으로 전도전류와 동일하게 자기장을 발생시킨다(앙페르-맥스웰 법칙). 틀린 표현 "자기작용이 없다" → 올바른 표현 "변위전류도 자기장을 만든다".

오답 포인트

③에서 $\omega = \sigma/\varepsilon$을 보고 "분모에 ε이 있으니 유전율에 반비례"까지는 맞지만 σ는 분자라서 도전율에는 비례한다는 점을 놓치기 쉽다. ④는 "변위전류는 실제 전하 이동이 아니다"라는 생각에 끌려 자기작용까지 없다고 오판하는 함정인데, 변위전류의 존재 이유 자체가 자기장 생성(앙페르-맥스웰)이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

손실 유전체+교류 문제는 전계를 $E = E_0 \cos \omega t$로 놓고 두 전류를 직접 써본다. 전도전류 σE는 전압과 동상, 변위전류 $\varepsilon \partial E/\partial t$는 $+\frac{\pi}{2}$ 앞섬, 크기비 $\frac{|J_d|}{|J_c|} = \frac{\varepsilon\omega}{\sigma}$, 두 크기가 같아지는 각주파수 $\omega = \frac{\sigma}{\varepsilon}$을 떠올리면 선지 대부분이 정리된다.

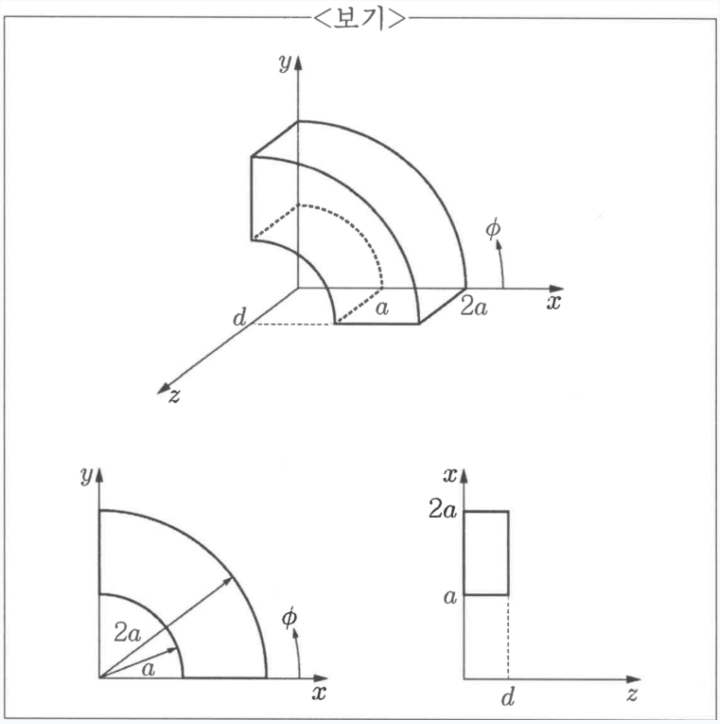
암기 포인트

전도전류 $J_c = \sigma E$(전압과 동상), 변위전류 $J_d = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$(전압보다 $\frac{\pi}{2}$ 빠름). 크기 같아지는 각주파수 $\omega = \frac{\sigma}{\varepsilon}$(도전율에 비례, 유전율에 반비례). 변위전류도 자기장을 만든다(맥스웰의 핵심).

NoteBase

문 7. <보기>와 같이 원형 와셔의 $\frac{1}{4}$의 모양을 한 도체가 있다. 이 도체의 내부 반경은 $a[m]$, 외부 반경은 $2a[m]$, 두께는 $d[m]$, 도전율은 $\sigma[S/m]$로 균일한 값을 갖는다. 양쪽 끝단(즉, $\phi = 0$인 끝단과 $\phi = \frac{\pi}{2}[rad]$인 끝단) 사이의 저항[Ω]은?

<보기>



① $\frac{\pi}{8\sigma d \ln 2}$

② $\frac{\pi}{2\sigma d \ln 2}$

③ $\frac{\pi}{\sigma d \ln 2}$

④ $\frac{2\pi}{\sigma d \ln 2}$

정답 2번

출제 포인트

전류가 반지름 방향이 아니라 둘레(방위각 ϕ) 방향으로 흐르는 곡선 도체의 저항을 구하는 문제다. 단면이 일정한 막대($R = \frac{1}{\sigma}\frac{L}{A}$)가 아니라, 안쪽일수록 길이가 짧고 바깥쪽일수록 길이가 긴 형태이므로 반지름에 따라 길이가 달라지는 점을 적분으로 처리해야 한다. 반지름이 다른 층들이 양 끝단 사이에서 \textbf{병렬}로 연결된다는 것이 핵심이다.

조건 정리

도체는 원형 와셔(고리)의 1/4 모양이다. 내부 반경 a[m], 외부 반경 $2a$[m], 두께(축 방향 높이) d[m], 도전율 σ[S/m]로 균일하다. 전류는 $\phi = 0$인 끝단과 $\phi = \frac{\pi}{2}$인 끝단 사이를 둘레 방향으로 흐른다. 즉 한 끝면에서 반대 끝면으로, 호를 따라가는 전류다.

NoteBase

사용할 공식

균일 도체의 저항은 $R = \frac{1}{\sigma}\frac{L}{A}$이다. 여기서는 반지름 r에서 두께 dr인 얇은 층 하나를 따로 본다. 그 층에서 전류가 지나는 길이는 호의 길이 $L = r\cdot\frac{\pi}{2}$, 전류에 수직인 단면적은 $A = d\,dr$이다. 각 층의 미소 저항은 $dR = \frac{1}{\sigma}\frac{r(\pi/2)}{d\,dr}$ 이며, 층들이 병렬이므로 컨덕턴스를 더한다: $\frac{1}{R} = \int \frac{1}{dR}$.

계산 과정

각 층의 컨덕턴스를 적분한다. $\frac{1}{R} = \int_a^{2a} \frac{\sigma d\,dr}{(\pi/2)r} = \frac{2\sigma d}{\pi}\int_a^{2a}\frac{dr}{r} = \frac{2\sigma d}{\pi}[\ln r]_a^{2a}$ 적분 결과는 $\ln(2a) - \ln(a) = \ln 2$ 이므로 $\frac{1}{R} = \frac{2\sigma d \ln 2}{\pi}$ 따라서 $R = \frac{\pi}{2\sigma d \ln 2}$ 가 된다.

선지 판단

① $\frac{\pi}{8\sigma d\ln 2}$ → X. 계수가 1/8이 되려면 분모에 4가 더 붙어야 하는데, 각도($\pi/2$)를 두 번 잘못 곱하거나 면적·길이를 뒤바꿔 생기는 값이다. 올바른 계수는 $\frac{1}{2}$.
② $\frac{\pi}{2\sigma d\ln 2}$ → O. 호의 길이 $r\cdot\frac{\pi}{2}$와 단면적 $d\,dr$로 층들을 병렬 적분하면 정확히 이 값이 나온다.
③ $\frac{\pi}{\sigma d\ln 2}$ → X. 각도가 $\pi/2$가 아니라 π(반원)일 때 나오는 형태로, 1/4이 아닌 1/2 고리로 오인한 값이다.
④ $\frac{2\pi}{\sigma d\ln 2}$ → X. 컨덕턴스를 더해야 할(병렬) 자리에서 저항을 그대로 적분(직렬로 오인)하면 $\ln 2$가 분모가 아닌 다른 위치로 가거나 계수가 뒤집혀 이런 큰 값이 된다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 (1) 전류 방향을 반지름 방향으로 착각해 $L = 2a - a = a$, A =호 면적으로 잡는 것, (2) 반지름별 층을 \textbf{직렬}로 보고 저항을 그냥 더해 $\int dR$을 계산하는 것이다. 실제로는 안쪽 층과 바깥 층이 같은 두 끝단을 공유하므로 병렬이고, 컨덕턴스 $1/dR$을 적분해야 한다. 또 각도를 $\pi/2$가 아니라 π로 넣으면 ③이 나오므로 1/4 고리(직각)임을 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

곡선·고리 도체에서 전류가 둘레 방향으로 흐르면: ① 반지름 r에서 길이는 호의 길이 $r\theta$, 단면적은 두께×dr, ② 층들은 병렬이므로 컨덕턴스 $\frac{\sigma A}{L}$를 $r = a$부터 $r = b$까지 적분, ③ $\int\frac{dr}{r} = \ln\frac{b}{r}$ 형태의 ln이 나오는지 확인. 여기서는 $b/a = 2$라 $\ln 2$, 각도 $\theta = \frac{\pi}{2}$가 분자에 그대로 남아 $R = \frac{\theta}{\sigma d\ln(b/a)}$의 꼴이 된다.

암기 포인트

둘레 방향 전류 고리 저항 공식: $R = \frac{\theta}{\sigma d\ln(b/a)}$ (θ=각도[rad], d=두께, a=내반경, b=외반경). 이 문제는 $\theta = \frac{\pi}{2}$, $b = 2a$이므로 $R = \frac{\pi/2}{\sigma d\ln 2} = \frac{\pi}{2\sigma d\ln 2}$. "둘레 전류=층 병렬=ln 등장"을 한 묶음으로 외운다.

NoteBase

문 8. 평균길이 $\pi[m]$, 권선수 1,000 [회]인 솔레노이드 코일에 비투자율 $\mu_r = 1{,}000$인 철심을 넣고, 크기가 $1[Wb/m^2]$인 자속밀도를 발생시키기 위해 코일에 흘려야 할 전류 $[A]$는? (단, 자유공간의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이고, 솔레노이드의 길이는 반지름보다 충분히 크다.)

① 1.5

② 2.5

③ 3.5

④ 4.5

정답 2번

출제 포인트

철심을 넣은 솔레노이드에서 원하는 자속밀도 B를 만들기 위해 흘려야 할 전류를 구하는 문제다. 핵심은 자속밀도가 $B = \mu H$이고, 솔레노이드 내부의 자계 세기가 $H = \frac{NI}{l}$이라는 두 식을 연결하는 것이다. "솔레노이드 길이가 반지름보다 충분히 크다"는 단서는 내부 자계를 균일한 $H = NI/l$로 봐도 된다는 뜻(누설·끝단 효과 무시)이다.

조건 정리

평균길이 $l = \pi$[m], 권선수 $N = 1{,}000$회, 비투자율 $\mu_r = 1{,}000$, 목표 자속밀도 $B = 1$[Wb/m^2], 자유공간 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$[H/m]. 구할 값은 전류 I[A].

사용할 공식

자속밀도와 자계의 관계: $B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$. 솔레노이드 내부 자계: $H = \frac{NI}{l}$. 두 식을 합치면 $B = \frac{\mu_0 \mu_r NI}{l}$ 전류에 대해 정리하면 $I = \frac{Bl}{\mu_0 \mu_r N}$

계산 과정

분모부터 정리한다. $\mu_0 \mu_r N = (4\pi \times 10^{-7})(1{,}000)(1{,}000) = 4\pi \times 10^{-7} \times 10^6 = 4\pi \times 10^{-1} = 0.4\pi$ 분자는 $Bl = 1 \times \pi = \pi$. 따라서 $I = \frac{\pi}{0.4\pi} = \frac{1}{0.4} = 2.5$[A] 분자·분모의 π가 깔끔하게 약분되어 $I = 2.5$A가 나온다.

선지 판단

① 1.5 → X: $I = Bl/(\mu_0 \mu_r N)$에 대입하면 2.5가 나오므로 1.5는 오답.
② 2.5 → O: $I = \frac{1 \times \pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 10^6} = \frac{\pi}{0.4\pi} = 2.5$A로 정확히 일치.
③ 3.5 → X: 계산값 2.5와 맞지 않음.
④ 4.5 → X: 계산값 2.5와 맞지 않음.

NoteBase

오답 포인트

첫째, 비투자율 $\mu_r = 1{,}000$을 빼먹고 $B = \mu_0 H$로 계산하면 전류가 1,000배 커져 터무니없는 값이 나온다. 철심이 있으면 반드시 $\mu = \mu_0 \mu_r$를 써야 한다. 둘째, N과 μ_r이 둘 다 1,000이라 $10^{-7} \times 10^{3} \times 10^{3} = 10^{-1}$로 지수가 -1이 되는 것을 $-7 + 3 = -4$처럼 한 번만 곱하면 자릿수가 어긋난다. 셋째, 분자·분모에 모두 π가 있어 약분되는데 이를 놓치고 π를 숫자로 대입해 끌고 가면 답이 지저분해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

"철심 솔레노이드 + 자속밀도 B 만들 전류"가 보이면 곧장 $I = \frac{Bl}{\mu_0 \mu_r N}$에 대입한다. 길이는 평균길이(자로 길이) l을 쓰고, 권선수 N과 비투자율 μ_r을 모두 분모에 넣었는지 확인한다. 수치가 $4\pi \times 10^{-7}$처럼 π를 포함하면 B나 l에 들어간 π와 약분되는 경우가 많으니 π를 끝까지 기호로 두고 약분부터 노린다.

암기 포인트

솔레노이드 자계 $H = \frac{NI}{l}$, 자속밀도 $B = \mu_0 \mu_r H$. 전류 구하는 변형식 $I = \frac{Bl}{\mu_0 \mu_r N}$을 통째로 외워두면 빠르다. 단위 결합 $\mu_0 \mu_r N$에서 10^{-7}과 $N \cdot \mu_r$의 지수 합을 먼저 정리하는 습관을 들이면 자릿수 실수를 막는다.

NoteBase

문 9. 자유공간에서 선전하밀도 $\rho_l[C/m]$로 균일하게 분포된 무한히 긴 선전하가 있다. 이 선전하가 $x=1[m]$, $y=2[m]$에서 z축과 평행하다. 점$(4,6,-1)$에서 전계의 x축 성분의 값이 $0.054[V/m]$일 때, y축 성분의 값$[V/m]$은? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0=\frac{1}{36\pi}\times10^{-9}[F/m]$이다.)

① 0.018

② 0.036

③ 0.054

④ 0.072

정답 4번

출제 포인트

무한히 긴 선전하가 만드는 전계는 선과 수직인 방향(반지름 방향)으로만 향한다는 점이 핵심이다. 선전하가 z축과 평행하므로 전계는 z성분이 없고, xy평면 안에서 선전하로부터 관측점까지의 수직 벡터 방향을 향한다. 따라서 전계의 x성분과 y성분의 비는 그 수직 벡터의 x:y 비와 정확히 같아진다. 이 방향 비례 관계를 알면 ρ_L이나 ε_0 값을 직접 대입하지 않고도 답을 구할 수 있다.

조건 정리

선전하 위치: $x=1,\ y=2$ (z축과 평행한 무한 직선). 관측점: $(4,\ 6,\ -1)$. 주어진 값: 전계의 x성분 $E_x=0.054$[V/m]. 구할 값: 전계의 y성분 E_y. 선전하로부터 관측점을 향하는 xy평면상 벡터: $(4-1,\ 6-2)=(3,\ 4)$.

사용할 공식

무한 선전하의 전계는 반지름 방향으로 $E=\frac{\rho_L}{2\pi\varepsilon_0\rho}$ 이고 방향은 단위 벡터 $\hat{\rho}$를 따른다. 따라서 성분은 $E_x=E\cdot\frac{\Delta x}{\rho}$, $E_y=E\cdot\frac{\Delta y}{\rho}$가 되어 $\frac{E_y}{E_x}=\frac{\Delta y}{\Delta x}$로 정리된다. 여기서 $\Delta x,\ \Delta y$는 선전하에서 관측점까지의 좌표 차이다.

계산 과정

1단계: 선전하에서 관측점까지의 xy평면 변위를 구한다. $\Delta x=4-1=3$, $\Delta y=6-2=4$. (z방향은 무한 직선이라 전계에 기여하지 않으므로 무시한다.)
2단계: 두 성분의 비는 변위 비와 같다. $\frac{E_y}{E_x}=\frac{\Delta y}{\Delta x}=\frac{4}{3}$.
3단계: 주어진 $E_x=0.054$를 대입한다. $E_y=0.054\times\frac{4}{3}=0.072$[V/m].
참고로 거리는 $\rho=\sqrt{3^2+4^2}=5$[m]이며, ρ_L과 ε_0 값을 따로 구하지 않아도 비례식만으로 답이 나온다.

NoteBase

선지 판단

① 0.018 → X: E_x를 거리 5로 나누는 등 비례 관계를 잘못 적용한 값으로 근거가 없다.
② 0.036 → X: $E_y = E_x \times \frac{4}{3}$가 아니라 $E_x \times \frac{2}{3}$ 등으로 변위 비를 절반으로 잘못 본 값이다.
③ 0.054 → X: 이는 주어진 E_x값 그대로이며, x성분과 y성분이 같으려면 $\Delta x = \Delta y$여야 하는데 여기서는 3과 4로 다르므로 틀리다.
④ 0.072 → O: $E_y = E_x \times \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.054 \times \frac{4}{3} = 0.072$[V/m]로 정확히 맞는다.

오답 포인트

흔한 실수는 두 가지다. 첫째, 거리 $\rho = 5$로 나누어 0.018 같은 값을 만드는 것인데, x성분과 y성분의 비를 구할 때는 거리가 분자·분모에서 약분되어 사라지므로 거리로 나눌 필요가 없다. 둘째, z좌표 차이(-1과 0)를 방향 계산에 넣는 것인데, 무한 직선 선전하는 z방향으로 대칭이라 z성분 전계가 0이므로 z좌표는 무시해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

무한 선전하(z축 평행) 문제에서 한 성분을 주고 다른 성분을 물으면, ρ_L이나 ε_0를 대입하지 말고 곧바로 방향 비례식 $\frac{E_y}{E_x} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$를 쓰면 된다. 여기서 $\Delta x,\ \Delta y$는 선전하 좌표(1,2)에서 관측점 좌표(4,6)까지의 차이만 보면 되고, z좌표는 보지 않는다.

암기 포인트

무한 선전하 전계는 반지름 방향뿐 → 성분 비 = 수직 변위 비 $\left(\frac{E_y}{E_x} = \frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$. 이 문제는 변위 (3,4), 거리 5의 3-4-5 직각삼각형이며, $E_y = 0.054 \times \frac{4}{3} = 0.072$. z축 평행 선전하는 z성분 전계 0이라 z좌표 무시.

NoteBase

문 10. 무손실 매질$(\varepsilon_r = 3,\ \mu_r = 1,\ \sigma = 0)$**을 진행하는 균일 평면파의 전기장이** $\vec{E} = 0.01\cos(4\pi \times 10^8 t - kz + \psi)\vec{a}_x$[V/m]**로 표현된다. 이 평면파의 전계의 크기가** $t = 0$[s], $z = 0.25$[m]**에서 최대치** 0.01[V/m]**이고 정현파일 때,** ψ**로 가능한 값**[rad]**은? (단,** $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$[F/m], $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$[H/m], $0 \le \psi < 2\pi$[rad]**이다.)**

① $\frac{\sqrt{3}}{3}\pi$

② $\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$

③ $\sqrt{3}\pi$

④ $\frac{4\sqrt{2}}{3}\pi$

정답 1번

출제 포인트

무손실 매질에서 평면파의 위상상수(파수) k를 구한 뒤, 코사인파가 어떤 시각·위치에서 "최대치"가 되려면 코사인의 전체 위상이 π의 정수배가 되어야 한다는 조건으로 초기위상 ψ를 역산하는 문제다. k 계산과 "최대치=cos가 ±1"이라는 두 가지를 정확히 연결하는 것이 핵심이다.

조건 정리

매질: $\varepsilon_r = 3,\ \mu_r = 1,\ \sigma = 0$ (무손실).
전계: $\vec{E} = 0.01\cos(4\pi \times 10^8 t - kz + \psi)\vec{a_x}$ [V/m], 진폭 0.01V/m.
각주파수 $\omega = 4\pi \times 10^8$ [rad/s].
관측점: $t = 0$ [s], $z = 0.25$ [m]에서 전계 크기가 최대치 0.01V/m.
조건: $0 \le \psi < 2\pi$, 빛의 속도 $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8$ [m/s].

사용할 공식

매질 내 속도: $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}$.
위상상수(파수): $k = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}{c}$.
최대치 조건: $\cos\theta = \pm 1$ 즉 전체 위상 $\theta = n\pi$ (n은 정수).

계산 과정

1) 파수: $k = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}{c} = \frac{4\pi \times 10^8 \times \sqrt{3}}{3 \times 10^8} = \frac{4\sqrt{3}}{3}\pi$ [rad/m].
2) $t = 0,\ z = 0.25$에서 코사인의 전체 위상: $\theta = \omega \cdot 0 - k \cdot 0.25 + \psi = -\frac{4\sqrt{3}}{3}\pi \times 0.25 + \psi = -\frac{\sqrt{3}}{3}\pi + \psi$.
3) 최대치이려면 $\theta = n\pi$: $\psi = n\pi + \frac{\sqrt{3}}{3}\pi$.
4) $0 \le \psi < 2\pi$ 범위: $n = 0$이면 $\psi = \frac{\sqrt{3}}{3}\pi \approx 1.81$ [rad], $n = 1$이면 $\psi = \frac{\sqrt{3}}{3}\pi + \pi \approx 4.96$ [rad].
5) 두 값 중 선지에 있는 것은 $\frac{\sqrt{3}}{3}\pi$뿐이다.

NoteBase

선지 판단

① $\frac{\sqrt{3}}{3}\pi$: O. $n=0$일 때의 해이며 $0 \le \psi < 2\pi$를 만족 → 정답.
② $\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi \approx 3.63$ [rad]: X. $\psi = n\pi + \frac{\sqrt{3}}{3}\pi$ 형태가 아니므로 최대치 조건 불충족.
③ $\sqrt{3}\pi \approx 5.44$ [rad]: X. 역시 $n\pi + \frac{\sqrt{3}}{3}\pi$ 꼴이 아니다.
④ $\frac{4\sqrt{2}}{3}\pi \approx 5.92$ [rad]: X. $\sqrt{2}$가 등장해 $\sqrt{3}$ 기반 해와 무관하다.

오답 포인트

첫째, 굴절률을 $\sqrt{\varepsilon_r \mu_r} = \sqrt{3}$로 넣어야 하는데 $\varepsilon_r = 3$을 그대로 곱해 k를 3배로 잘못 계산하면 $k \cdot 0.25$가 달라져 다른 선지로 빠진다. 둘째, "최대치"를 코사인=+1로만 보고 $\theta = 2n\pi$로 한정하기 쉽지만, 전계 "크기(절댓값)"의 최대이므로 $\cos\theta = \pm 1$, 즉 $\theta = n\pi$로 π 간격임에 주의. 셋째, z 앞 부호가 $-kz$이므로 ψ에 $+\frac{\sqrt{3}}{3}\pi$를 더해야지 빼면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

"무손실 매질 + 특정 t, z에서 최대치 + 초기위상 ψ"가 보이면 곧장 (1) $k = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}{c}$ 계산 → (2) 주어진 t, z를 코사인 위상에 대입 → (3) 위상=정수×π로 놓고 ψ 정리 → (4) $0 \le \psi < 2\pi$에 드는 값을 선지와 대조, 순서로 푼다. $\sqrt{\varepsilon_r}$가 $\sqrt{3}$이면 답에 $\sqrt{3}$이 남는 것이 자연스럽다.

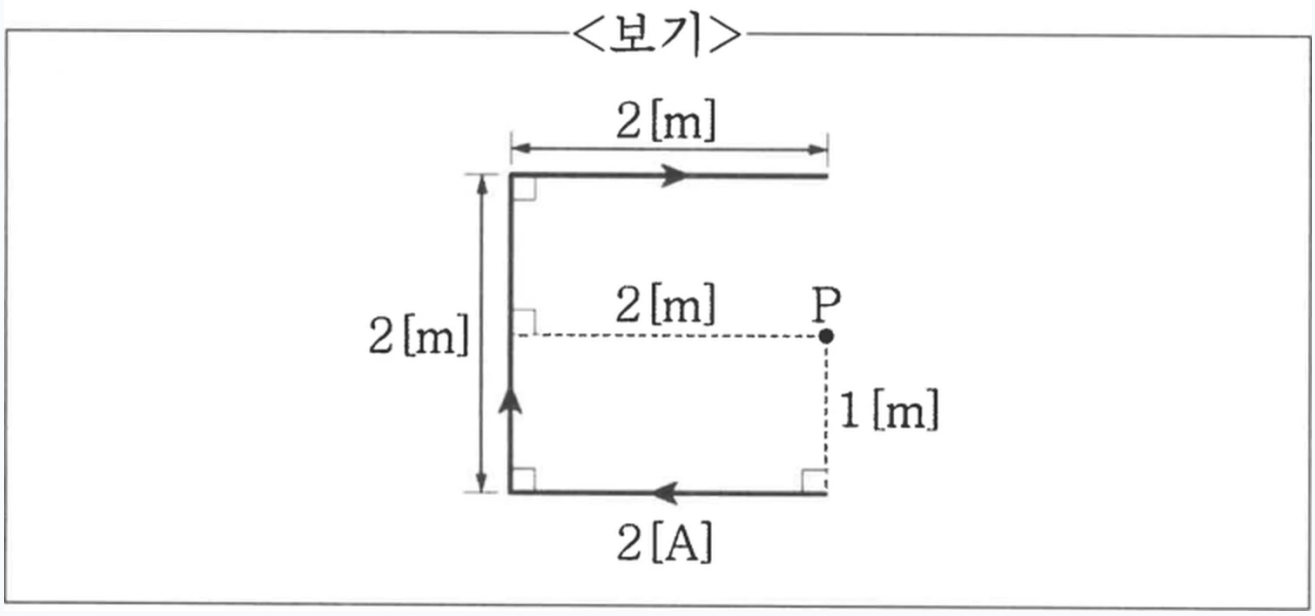
암기 포인트

무손실 매질 위상상수 $k = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}{c} = \beta$. $\varepsilon_r = 3, \mu_r = 1$이면 매질 속도는 $\frac{c}{\sqrt{3}}$로 느려진다. 코사인 진폭의 "크기 최대" 조건은 $\cos\theta = \pm 1 \Rightarrow \theta = n\pi$ (간격 π)이고, "양의 최대값"만이면 $\theta = 2n\pi$임을 구분한다.

NoteBase

문 11. <보기>와 같이 전류가 도선에 흐를 때, 점 P에서의 자계의 크기[A/m]는?

<보기>



① $\frac{\sqrt{5}}{8\pi}$
② $\frac{\sqrt{5}}{4\pi}$
③ $\frac{\sqrt{5}}{2\pi}$
④ $\frac{\sqrt{5}}{\pi}$

정답 3번

출제 포인트

ㄷ자(좌측이 막힌 ☒ 모양) 도선처럼 유한 길이 직선 도선 여러 개가 만드는 자계를 한 점에서 합성하는 문제다. 무한 직선 공식 $H = \frac{I}{2\pi d}$를 그대로 쓰면 틀린다. 끝이 있는 도선이므로 비오-사바르에서 유도한 유한 직선 공식 $H = \frac{I}{4\pi d}(\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$을 쓰고, 세 변이 만드는 자계가 모두 같은 방향(지면 안쪽)인지 확인해 크기를 단순히 더하는 것이 핵심이다.

조건 정리

전류 I = 2[A]. 좌측 세로변(길이 2[m], 전류 위쪽), 위 가로변(길이 2[m], 전류 오른쪽), 아래 가로변(길이 2[m], 전류 왼쪽)으로 이루어진 ☒ 모양 도선이다(오른쪽은 뚫림). 좌하단 모서리를 원점으로 잡으면 점 P의 좌표는 (2, 1)이다. 즉 P는 좌측 세로변에서 가로로 2[m] 떨어져 있고, 위·아래 가로변 각각으로부터는 세로로 1[m] 떨어져 있다.

NoteBase

사용할 공식

유한 길이 직선 도선이 수직거리 d인 점에 만드는 자계: $H = \frac{I}{4\pi d}(\sin\theta_2 + \sin\theta_1)$. 여기서 θ_1, θ_2는 도선의 양 끝을 점에서 바라본 각을 도선에 내린 수선(발)을 기준으로 잰 각이다. 점이 도선의 한쪽 끝의 바로 옆(수선의 발이 끝점과 일치)이면 그쪽 각은 0이 된다.

계산 과정

위 가로변: P는 이 변의 오른쪽 끝(2,2) 바로 아래에 있어 수직거리 d=1[m], 수선의 발이 끝점이므로 한쪽 각은 0, 반대쪽 끝(0,2)까지의 각은 θ=(2)/(√(2^2+1^2))=(2)/(5). 따라서 H_위=(2)/(4π·1)·(2)/(5)=(1)/(5 π).
아래 가로변: P는 이 변의 오른쪽 끝(2,0) 바로 위, d=1[m]로 위 변과 대칭이므로 H_아래=(1)/(5 π).
좌측 세로변: 수직거리 d=2[m], 수선의 발(0,1)이 변의 정중앙이므로 양 끝 각의 sin이 각각 (1)/(√(1^2+2^2))=(1)/(5)로 같다. H_좌=(2)/(4π·2)((1)/(5)+(1)/(5))=(1)/(25 π).
세 자계는 모두 지면 안쪽으로 향해 방향이 같으므로 그대로 더한다: H=(1)/(5 π)+(1)/(5 π)+(1)/(25 π)=(5)/(25 π)=(5)/(2π) [A/m].

선지 판단

① (5)/(8π) X → 좌측 변 하나만 계산했거나 위·아래 변을 빠뜨린 값에 가깝다.
② (5)/(4π) X → 정답의 절반으로, 세 변 중 일부만 더했거나 전류·거리를 잘못 대입한 값.
③ (5)/(2π) O → 위·아래 가로변 각 (1)/(5 π), 좌측 세로변 (1)/(25 π)를 모두 더한 정확한 합성값.
④ (5)/(π) X → 정답의 2배로, 거리 d를 절반으로 잡거나 각 변을 무한 직선으로 과대 계산한 값.

오답 포인트

첫째, 유한 직선을 무한 직선 $H = \frac{I}{2\pi d}$로 풀면 끝 효과를 무시해 값이 커진다(④ 유발). 둘째, 위·아래 가로변은 P가 끝점 바로 옆이라 한쪽 각이 0인데 이를 빠뜨리고 양쪽 다 각을 잡으면 안 된다. 셋째, 세 변의 자계 방향이 같은지(여기선 모두 지면 안쪽) 확인하지 않고 벡터로 빼면 ①②처럼 작아진다.

다시 나오면 이렇게 판단

ㄷ자·ㄱ자처럼 꺾인 유한 도선 문제는 (1) 변별로 나눠 각각 유한 직선 공식 적용, (2) 각 변에서 P까지 수직거리 d와 양 끝 각의 sin을 구하고, (3) 오른손 법칙으로 각 자계의 방향(지면 안/밖)을 표시한 뒤, (4) 방향이 같으면 더하고 반대면 빼서 합성한다. P가 어떤 변의 끝점 바로 옆이면 그쪽 각은 0이라는 점을 먼저 체크하면 계산이 빨라진다.

암기 포인트

유한 직선 도선의 자계 $H = \frac{I}{4\pi d}(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)$. 반무한(한쪽 끝이 점 옆) 도선은 한 각이 0이라 $H = \frac{I}{4\pi d}\sin\theta$. 무한 직선은 양쪽 각이 90도라 sin $= 1$이 되어 $H = \frac{I}{2\pi d}$로 환원된다. $d = 1$일 때 √(1^2+2^2)=5 같은 빗변 값을 미리 떠올리면 빠르다.

NoteBase

문 12. 2차원 평면에서 전계가 $\vec{E}=\frac{xy^2}{2}\vec{a}_x+\frac{x^2y}{2}\vec{a}_y$[V/m]일 때, 점$(-1,\,2)$와 점$(2,\,-4)$ 사이의 전위차[V]는?

① 15

② 17

③ 19

④ 21

정답 1번

출제 포인트

전계 $\vec{E}$가 주어졌을 때 두 점 사이의 전위차를 구하는 문제다. 핵심은 전계와 전위의 관계 $\vec{E}=-\nabla V$를 이용해 스칼라 전위 함수 $V(x,\,y)$를 먼저 복원한 뒤, 두 점의 전위를 대입해 빼는 것이다. 전계가 보존장(curl=0)이면 경로와 무관하게 전위차가 결정되므로 적분 경로를 고민할 필요 없이 전위 함수만 구하면 된다.

조건 정리

전계는 $\vec{E}=\frac{xy^2}{2}\vec{a}_x+\frac{x^2y}{2}\vec{a}_y$ [V/m]. 구할 것은 점 $(-1,\,2)$와 점 $(2,\,-4)$ 사이의 전위차 [V]. 즉 $V_{(-1,\,2)}-V_{(2,\,-4)}$의 크기를 묻는다.

사용할 공식

전계와 전위의 관계: $\vec{E}=-\nabla V=-\frac{\partial V}{\partial x}\vec{a}_x-\frac{\partial V}{\partial y}\vec{a}_y$. 따라서 $-\frac{\partial V}{\partial x}=\frac{xy^2}{2}$, $-\frac{\partial V}{\partial y}=\frac{x^2y}{2}$. 두 점 사이 전위차는 $V_{ab}=V(a)-V(b)$.

계산 과정

먼저 $-\frac{\partial V}{\partial x}=\frac{xy^2}{2}$를 x에 대해 적분하면 $V=-\frac{x^2y^2}{4}+f(y)$이다. 이것을 y로 편미분해 $-\frac{\partial V}{\partial y}=\frac{x^2y}{2}-f'(y)$가 $\frac{x^2y}{2}$와 같아야 하므로 $f'(y)=0$, 즉 $f(y)$는 상수다. 따라서 전위는 $V=-\frac{x^2y^2}{4}$ (기준점 상수는 차이에서 소거).
점 $(-1,\,2)$: $V=-\frac{(-1)^2(2)^2}{4}=-\frac{1\cdot 4}{4}=-1$ [V].
점 $(2,\,-4)$: $V=-\frac{(2)^2(-4)^2}{4}=-\frac{4\cdot 16}{4}=-16$ [V].
전위차 $=(-1)-(-16)=15$ [V].

선지 판단

① 15 → O. $V=-\frac{x^2y^2}{4}$를 복원해 두 점에 대입하면 $(-1)-(-16)=15$ [V]로 정확히 일치한다.
② 17 → X. 어느 한 점의 부호나 제곱 계산을 틀렸을 때 나오는 값이며 올바른 결과 15와 다르다.
③ 19 → X. 전위 함수의 계수 $\frac{1}{4}$를 빠뜨리거나 제곱을 잘못 처리한 경우의 오답이다.
④ 21 → X. 두 전위의 부호를 같은 부호로 잘못 빼면 나오는 값으로 옳지 않다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 부호다. $\vec{E} = -\nabla V$에서 음(-)부호를 빠뜨리면 전위 함수의 부호가 통째로 뒤집힌다. 또 좌표가 음수라도 제곱하면 양수가 되므로 $(-1)^2 = 1$, $(-4)^2 = 16$을 정확히 처리해야 한다. 마지막에 $V(a) - V(b)$를 계산할 때 $(-1) - (-16)$을 $-1 - 16 = -17$로 잘못 빼면 ②번 함정에 빠진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전계가 x, y의 함수로 주어지고 두 점 사이 전위차를 물으면, 적분 경로를 직접 잡지 말고 $\vec{E} = -\nabla V$로 전위 함수 V부터 복원한다. 한 성분을 적분한 뒤 다른 성분으로 검산하면 적분상수까지 확정된다. 전위차는 단순히 두 점 값의 차이이므로, 좌표를 대입할 때 음수의 제곱과 빼기 부호만 조심하면 된다.

암기 포인트

$\vec{E} = -\nabla V$ — 전계는 전위의 음(-) 기울기. 보존장(curl $\vec{E} = 0$)이면 전위차는 경로 무관. 이 문항의 전위는 $V = -\frac{x^2 y^2}{4}$이며, $(-1, 2)$에서 -1, $(2, -4)$에서 -16, 차이는 15 [V].

문 13. 균일 평면파가 공기 중으로부터 무손실 매질을 향해 수직으로 입사되고 있다. 입사파의 전기장이 $\vec{E}_i = e^{-jk_0z}\vec{a}_x[V/m]$이고, 반사계수가 0.5일 때, 공기에서의 시간평균 전력 밀도$[W/m^2]$는? (단, 공기의 특성 임피던스는 $120\pi[\Omega]$이고, 공기 중의 손실은 없다고 가정한다.)

① $\frac{1}{160\pi}$
② $\frac{1}{240\pi}$
③ $\frac{1}{320\pi}$
④ $\frac{1}{400\pi}$

정답 3번

출제 포인트

공기와 무손실 매질 경계에 평면파가 수직 입사할 때, 공기 쪽 시간평균 전력밀도는 "입사 전력 - 반사 전력"의 순수(net) 알짜값이다. 반사계수가 주어지면 반사파가 입사 전력의 $|\Gamma|^2$배를 되돌려 보내므로, 공기에서 실제로 매질로 전달되는 알짜 전력밀도는 입사 전력밀도에 $(1-|\Gamma|^2)$를 곱한 값이 핵심이다. 입사 전력밀도만 답으로 고르면 함정에 걸린다.

조건 정리

입사파 전기장 $\vec{E_i} = e^{-jk_0z}\vec{a_x}$ [V/m] 이므로 진폭 $|E_i| = 1$. 반사계수 $\Gamma = 0.5$. 공기 특성 임피던스 $\eta_0 = 120\pi$ [Ω], 공기는 무손실. 수직 입사 조건. 구하는 것은 공기에서의 시간평균(알짜) 전력밀도 [W/m^2].

사용할 공식

입사 전력밀도: $S_i = \frac{|E_i|^2}{2\eta_0}$. 반사 전력밀도: $S_r = |\Gamma|^2 S_i$. 공기에서의 알짜 전력밀도(경계로 전달되는 전력): $S = S_i - S_r = S_i(1-|\Gamma|^2) = \frac{|E_i|^2}{2\eta_0}(1-|\Gamma|^2)$.

계산 과정

입사 전력밀도 $S_i = \frac{|E_i|^2}{2\eta_0} = \frac{1^2}{2\times 120\pi} = \frac{1}{240\pi}$ [W/m^2].
반사 비율 $|\Gamma|^2 = (0.5)^2 = 0.25$ 이므로 전달 비율 $1-|\Gamma|^2 = 1-0.25 = 0.75$.
공기에서의 알짜 전력밀도 $S = S_i(1-|\Gamma|^2) = \frac{1}{240\pi}\times 0.75 = \frac{0.75}{240\pi} = \frac{1}{320\pi}$ [W/m^2].

NoteBase

선지 판단

① $\frac{1}{160\pi}$: X. 이런 값은 나오지 않는다. 입사 전력에 잘못된 계수를 곱했을 때 나오는 함정값으로, 알짜 전력은 입사 전력보다 작아야 하는데 $\frac{1}{160\pi} > \frac{1}{240\pi}$라 물리적으로 불가능 → 올바른 값은 $\frac{1}{320\pi}$.
② $\frac{1}{240\pi}$: X. 이것은 반사를 고려하지 않은 "입사 전력밀도" S_i 자체값이다. 반사 0.5로 일부가 되돌아가므로 알짜는 이보다 작아야 한다 → $S_i(1-0.25) = \frac{1}{320\pi}$.
③ $\frac{1}{320\pi}$: O. $S = \frac{1}{240\pi} \times 0.75 = \frac{1}{320\pi}$. 입사에서 반사분을 뺀 알짜 전력밀도로 정확히 일치한다.
④ $\frac{1}{400\pi}$: X. $1-|\Gamma|^2 = 0.75$가 아니라 $1-|\Gamma| = 0.5$나 0.6 같은 잘못된 비율을 곱했을 때 근처에 나오는 값으로, 반사 "전력" 비율은 $|\Gamma|^2$임을 놓친 결과다 → 올바른 비율 0.75 적용 시 $\frac{1}{320\pi}$.

오답 포인트

가장 흔한 실수 두 가지. 첫째, 반사 전력 비율을 $|\Gamma| = 0.5$로 쓰면 전달 비율을 0.5로 잡아 $\frac{1}{480\pi}$ 같은 엉뚱한 값이 나온다 — 전력은 진폭의 제곱이므로 반드시 $|\Gamma|^2 = 0.25$를 써야 한다. 둘째, 반사를 아예 빼지 않고 입사 전력밀도 $\frac{1}{240\pi}$(②)를 답으로 고르는 것 — "공기에서의 전력밀도"는 입사파와 반사파가 함께 만드는 알짜 전력이라 $(1-|\Gamma|^2)$를 곱해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

수직 입사 + 반사계수 Γ가 주어지고 "공기(입사 측) 매질의 시간평균/알짜 전력밀도"를 물으면 곧바로 $S = \frac{|E_i|^2}{2\eta_0}(1-|\Gamma|^2)$에 대입한다. 진폭이 1이고 $\eta_0 = 120\pi$면 입사값 $\frac{1}{240\pi}$부터 적고, 거기에 $(1-|\Gamma|^2)$를 곱하는 흐름만 기억하면 된다. $\Gamma = 0.5$면 0.75배.

암기 포인트

포인팅 시간평균 전력밀도 $S = \frac{|E|^2}{2\eta}$. 반사 "전력" 비율은 $|\Gamma|^2$, 투과(전달) "전력" 비율은 $1-|\Gamma|^2$. 무손실 무경계에서 입사 측 알짜 전력 = 입사 전력 × $(1-|\Gamma|^2)$. 이 문항: $\frac{1}{240\pi} \times (1-0.25) = \frac{1}{320\pi}$.

NoteBase

문 14. 전하량 2[C]의 입자가 속도 $\vec{v} = 10(\cos 30^\circ\,\vec{a}_x + \sin 30^\circ\,\vec{a}_y)$[m/s]로 움직인다. 이 공간에 $\vec{B} = 0.5\vec{a}_z$[Wb/m^2]의 균일 자기장이 있을 때, 자계에 의해 입자가 받는 힘 $\vec{F}$[N]는?

① $5(\vec{a}_x - \sqrt{3}\vec{a}_y)$

② $10(\vec{a}_x - \sqrt{3}\vec{a}_y)$

③ $5(\sqrt{3}\vec{a}_x - \vec{a}_y)$

④ $10(\sqrt{3}\vec{a}_x - \vec{a}_y)$

정답 1번

출제 포인트

자기장 속을 움직이는 전하가 받는 힘은 로렌츠 힘 $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$로 구한다. 핵심은 두 가지다. 첫째, $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$를 정확히 대입하는 것. 둘째, 단위벡터 외적의 순환 관계 $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$, $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$를 부호까지 정확히 처리하는 것이다.

조건 정리

전하량 $q = 2$C, 속도 $\vec{v} = 10(\cos 30^\circ\,\vec{a}_x + \sin 30^\circ\,\vec{a}_y) = 5\sqrt{3}\vec{a}_x + 5\vec{a}_y$[m/s], 자속밀도 $\vec{B} = 0.5\vec{a}_z$[Wb/m^2]. 속도는 xy평면 안에 있고 자기장은 z축 방향이므로, 힘은 다시 xy평면 안에 생긴다.

사용할 공식

로렌츠 힘(자기력): $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$. 외적 단위벡터 관계: $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$, $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$.

계산 과정

먼저 $\vec{v} \times \vec{B}$를 구한다. $\vec{v} \times \vec{B} = (5\sqrt{3}\vec{a}_x + 5\vec{a}_y) \times (0.5\vec{a}_z) = 5\sqrt{3} \times 0.5(\vec{a}_x \times \vec{a}_z) + 5 \times 0.5(\vec{a}_y \times \vec{a}_z)$
$= 2.5\sqrt{3}(-\vec{a}_y) + 2.5(\vec{a}_x) = 2.5\vec{a}_x - 2.5\sqrt{3}\vec{a}_y$ 여기에 전하량을 곱한다.
$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) = 2(2.5\vec{a}_x - 2.5\sqrt{3}\vec{a}_y) = 5\vec{a}_x - 5\sqrt{3}\vec{a}_y = 5(\vec{a}_x - \sqrt{3}\vec{a}_y)$[N]

선지 판단

① $5(\vec{a}_x - \sqrt{3}\vec{a}_y)$ → O. 계산 결과와 정확히 일치한다.
② $10(\vec{a}_x - \sqrt{3}\vec{a}_y)$ → X. 크기가 2배다. 외적에 들어간 $\vec{B} = 0.5$의 0.5를 빠뜨리고 $q = 2$만 곱하면 이 값이 나온다.
③ $5(\sqrt{3}\vec{a}_x - \vec{a}_y)$ → X. x성분과 y성분의 $\sqrt{3}$ 위치가 뒤바뀌었다. $\cos 30^\circ$과 $\sin 30^\circ$을 외적에서 그대로 옮겨 붙이는 실수다($\sqrt{3}$은 외적을 거치며 y성분으로 가야 한다).
④ $10(\sqrt{3}\vec{a}_x - \vec{a}_y)$ → X. ②와 ③의 오류를 동시에 범한 함정 선지다(크기 2배 + 성분 뒤바뀜).

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 외적의 부호다. $\vec{a}_x \times \vec{a}_z$은 순환 순서(x→y→z)를 거스르므로 $-\vec{a}_y$로 음수가 된다. 이 부호를 놓치면 y성분 방향이 틀어진다. 또 $\vec{B} = 0.5\vec{a}_z$에서 0.5를 빠뜨리고 계수를 1로 보면 크기가 2배(②④)가 되니, 자속밀도 계수를 끝까지 곱해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

$\vec{v} \times \vec{B}$ 형태에서 속도는 xy평면, 자기장은 z축이면 정답도 반드시 xy평면 벡터다. $\cos 30^\circ$이 붙은 x성분($\sqrt{3}$ 계수)은 외적 $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$를 거쳐 y성분으로 옮겨가므로, 최종식에서 $\sqrt{3}$은 y성분에 붙어야 한다. $\sqrt{3}$이 x성분에 붙은 선지(③④)는 바로 제외하고, 남은 두 개 중 계수 곱($q \times |\vec{B}| = 2 \times 0.5 = 1$)을 맞춘 쪽을 고른다.

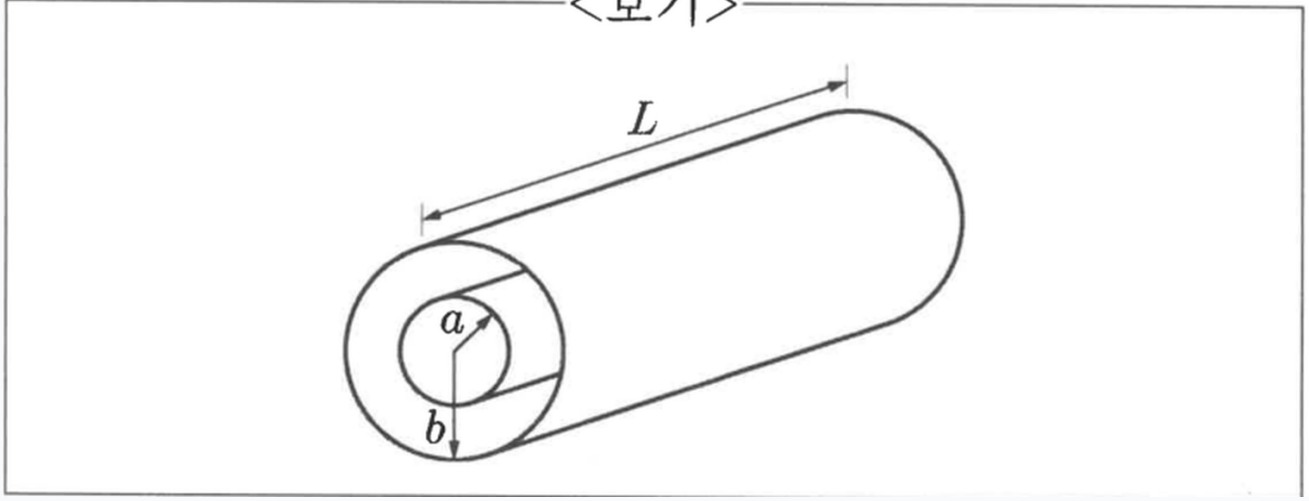
암기 포인트

자기력 공식: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$. 단위벡터 외적 순환: x→y→z→x 방향은 +, 거스르면 -. 즉 $\vec{a}_x \times \vec{a}_y = \vec{a}_z$, $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$, $\vec{a}_z \times \vec{a}_x = \vec{a}_y$(반대 순서는 모두 음수). 삼각비: $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$.

NoteBase

문 15. <보기>와 같이 내부 반경 $a = 1[\mathrm{cm}]$, 외부 반경 $b = 2[\mathrm{cm}]$, 길이 $L[\mathrm{m}]$인 케이블의 내부도체와 외부도체 사이에 도전율이 $\sigma[\mathrm{S/m}]$인 선형 · 균질 · 등방성 절연체가 채워져 있다. 이 케이블의 절연저항$[\Omega]$은? (단, 케이블의 도체는 완전도체이며, 가장자리 효과는 무시한다.)

<보기>



① $\frac{L}{2\pi\sigma}$

② $\frac{L\ln 2}{2\pi\sigma}$

③ $\frac{1}{2\pi\sigma L}$

④ $\frac{\ln 2}{2\pi\sigma L}$

정답 4번

출제 포인트

동축 케이블(내부도체-절연체-외부도체)에서 전류가 반지름 방향으로 새어 나갈 때의 절연저항(누설저항)을 구하는 문제다. 도선의 길이 방향 저항과 달리, 절연저항은 전류가 반지름 방향으로 흐르므로 면적이 r에 따라 계속 커진다는 점이 핵심이다. 길이 L이 커질수록 전류가 새는 통로가 넓어져 저항은 작아지므로, 정답 식에서 L은 반드시 분모에 있어야 한다.

조건 정리

내부 반경 $a = 1[\mathrm{cm}]$, 외부 반경 $b = 2[\mathrm{cm}]$, 길이 $L[\mathrm{m}]$, 절연체의 도전율 $\sigma[\mathrm{S/m}]$, 도체는 완전도체, 가장자리 효과 무시. 구하는 것은 내부도체와 외부도체 사이 절연체의 절연저항 $R[\Omega]$.

사용할 공식

반지름 r에서 두께 dr인 원통 껍질의 저항은 $dR = \frac{dr}{\sigma A} = \frac{dr}{\sigma(2\pi r L)}$ 이고, 이를 a부터 b까지 직렬로 더하면 $R = \int_a^b \frac{dr}{2\pi\sigma L r} = \frac{1}{2\pi\sigma L}\ln\frac{b}{a}$ 이다. (정전용량 $C = \frac{2\pi\varepsilon L}{\ln(b/a)}$와 $RC = \varepsilon/\sigma$ 관계로도 같은 결과를 얻는다.)

NoteBase

계산 과정

전류가 흐르는 면적은 반지름 r인 원통 옆면 $A = 2\pi rL$이다. 이를 공식에 넣어 적분하면 $R = \frac{1}{2\pi\sigma L}\ln\frac{b}{a}$ 이다. 주어진 값 $b = 2$, $a = 1$을 대입하면 $\frac{b}{a} = 2$이므로 $R = \frac{\ln 2}{2\pi\sigma L}$ 가 된다. 단위는 [cm]끼리의 비율이라 단위가 상쇄되므로 cm를 m로 바꿀 필요가 없다.

선지 판단

① $\frac{L}{2\pi\sigma}$ → X. 비율 $\ln(b/a)$이 빠졌고, 길이 L이 분자에 있어 길이가 길수록 저항이 커진다는 잘못된 방향이다. 절연저항은 L이 분모에 와야 한다.
② $\frac{L\ln 2}{2\pi\sigma}$ → X. $\ln 2$는 맞지만 L이 분자에 있어 방향이 반대다. 길이가 길수록 누설 면적이 넓어져 저항은 작아져야 한다.
③ $\frac{1}{2\pi\sigma L}$ → X. L은 분모에 잘 들어갔으나 반경 비율항 $\ln(b/a) = \ln 2$가 통째로 빠졌다.
④ $\frac{\ln 2}{2\pi\sigma L}$ → O. $R = \frac{1}{2\pi\sigma L}\ln\frac{b}{a}$에 $b/a = 2$를 넣은 정확한 식이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 ②처럼 L을 분자에 두는 것이다. 도선의 길이 방향 저항 $R = \frac{l}{\sigma A}$(길이가 길수록 저항 증가)와 혼동하기 때문인데, 절연저항은 전류가 옆면으로 새는 것이라 길이가 길수록 누설 통로가 넓어져 저항이 작아진다. 또 ③처럼 $\ln(b/a)$ 항을 빼먹는 실수도 잦다.

다시 나오면 이렇게 판단

동축 케이블 절연저항은 $R = \frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma L}$ 하나로 끝난다. 선지에서 우선 L이 분모에 있는지(있으면 ③·④로 압축)부터 보고, 그다음 반경 비율 $\ln(b/a)$가 들어있는지로 ③과 ④를 가른다. $b/a = 2$면 $\ln 2$가 들어간 ④가 답이다.

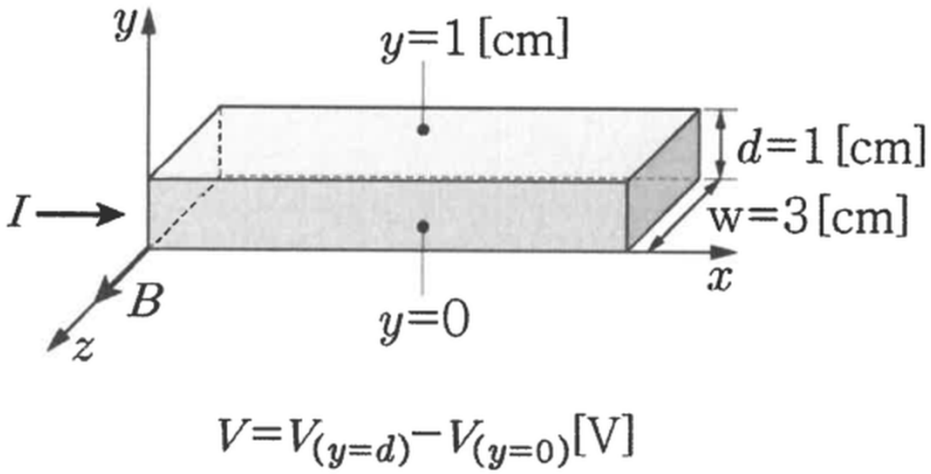
암기 포인트

동축 케이블 절연(누설)저항: $R = \frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma L}$. 같은 구조의 정전용량 $C = \frac{2\pi\varepsilon L}{\ln(b/a)}$와 짝이며 $RC = \frac{\varepsilon}{\sigma}$로 연결된다. 핵심 직관: 반지름 방향 전류는 면적 $2\pi rL$이 커지므로 L은 분모, 반경 비율은 자연로그로 들어간다.

NoteBase

문 16. <보기>와 같이 균일 자기장 $\vec{B} = \vec{a}_z[\mathrm{Wb/m^2}]$ 내 직육면 도체에 $100\vec{a}_x[\mathrm{m/s}]$의 일정한 속도로 통과하는 양전하에 의한 전류 I[A]가 흐를 때, 전위차 V[V]의 값은? (단, 전류 I[A]는 양전하에 의해서만 발생한다고 가정한다.)

<보기>



$$V = V_{(y=d)} - V_{(y=0)}[\mathrm{V}]$$

① −3

② −1

③ 1

④ 3

정답 2번

출제 포인트

균일 자기장 안에서 전하가 일정 속도로 움직일 때 생기는 전위차(홀 효과/운동 기전력)를 묻는 문제다. 핵심은 두 가지다. 첫째, 평형 상태에서 전하에 작용하는 자기력과 전기력이 균형을 이루어 $\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$가 성립한다는 것. 둘째, 전위차를 구할 때는 두 측정면 사이의 거리(여기서는 높이 d)만 곱하면 되고, 폭 w는 답에 쓰이지 않는다는 것이다.

NoteBase

조건 정리

자기장: $\vec{B} = \vec{a}_z$ Wb/m^2(즉 +z 방향 1 T)
전하 속도: $\vec{v} = 100\vec{a}_x$ m/s, 전하는 양전하
전류는 양전하에 의해서만 발생
측정 거리: $d = 1$ cm $= 0.01$ m (y=0에서 y=d까지)
폭: $w = 3$ cm (이 값은 함정 — 전위차에는 쓰이지 않음)
구할 값: $V = V_{(y=d)} - V_{(y=0)}$

사용할 공식

운동하는 전하에 작용하는 자기력: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$
평형 시 전기력과 자기력 균형: $q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$
전위차: $V_{(y=d)} - V_{(y=0)} = -\int_0^d \vec{E} \cdot d\vec{y}$

계산 과정

1) 자기력 방향 확인: $\vec{v} \times \vec{B} = 100\vec{a}_x \times \vec{a}_z = 100(\vec{a}_x \times \vec{a}_z) = 100(-\vec{a}_y) = -100\vec{a}_y$. 즉 양전하는 $-y$ 방향으로 힘을 받아 y=0 쪽에 모인다.
2) 평형 전기장: $\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B} = -(-100\vec{a}_y) = 100\vec{a}_y$ [V/m]. 전기장은 $+y$ 방향, 크기 100V/m.
3) 전위차: $V_{(y=d)} - V_{(y=0)} = -\int_0^d E dy = -Ed = -(100)(0.01) = -1$ V.
전기장이 $+y$를 향하므로 y가 커질수록 전위가 낮아져 위쪽(y=d)이 더 낮다. 따라서 부호는 음수다.

선지 판단

① -3 X: 폭 $w = 3$ cm를 거리로 잘못 넣어 $100 \times 0.03 = 3$으로 만든 뒤 부호만 음수로 붙인 오답이다.
전위차에 곱할 거리는 측정면 사이 높이 $d = 1$ cm이지 폭이 아니다.
② -1 O: $V = -Ed = -(100)(0.01) = -1$ V. 자기력으로 양전하가 y=0에 모여 y=0이 (+), y=d가 (−)가 되므로 $V_{(y=d)} - V_{(y=0)} < 0$이다.
③ 1 X: 크기 1 V는 맞지만 부호가 틀렸다. 양전하가 y=0 쪽에 쌓이므로 y=d가 더 낮은 전위이고, $V_{(y=d)} - V_{(y=0)}$는 +1 V가 아니라 −1 V다.
④ 3 X: 폭 3cm를 거리로 쓴 데다 부호까지 양수로 둔 이중 오답이다(올바른 거리는 $d = 1$ cm, 올바른 부호는 음수).

오답 포인트

이 문제의 두 함정은 (1) 거리와 (2) 부호다. 폭 $w = 3$ cm가 눈에 띄게 적혀 있지만 전위차 $V_{(y=d)} - V_{(y=0)}$는 y방향 거리 $d = 1$ cm로만 계산한다 — w는 전류·저항을 물을 때나 쓰는 함정 수치다. 부호는 $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$ (순환 순서가 거꾸로라 음수)를 정확히 따져야 하며, 양전하가 모이는 쪽(y=0)이 고전위가 되어 $V_{(y=d)} - V_{(y=0)}$가 음수가 된다는 점을 놓치면 ③처럼 부호만 틀린다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

균일 자기장 속 일정 속도 전하의 전위차 문제는 (1) $\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$로 전기장의 크기와 방향을 먼저 구하고, (2) 묻는 두 면 사이의 거리만 곱하고, (3) 정의식 $V_a - V_b = -\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{l}$에 방향을 그대로 대입해 부호를 결정한다. 외적은 $\vec{a}_x \times \vec{a}_y = \vec{a}_z$(순환)이고 순서가 거꾸로면 음수임을 기억하면 방향 실수를 막는다. 도형에 적힌 여러 길이 중 '전위를 재는 두 면 사이 거리'만 고른다.

암기 포인트

홀 효과 전위: $\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$, 전위차 크기 $= vBd$(d는 측정면 간 거리). 외적 순환: $\vec{a}_x \times \vec{a}_y = \vec{a}_z$, $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$, $\vec{a}_z \times \vec{a}_x = \vec{a}_y$(거꾸로면 부호 반대). 양전하는 자기력 받는 쪽에 쌓여 그쪽이 고전위가 된다. 이 문제: $vBd = 100 \times 1 \times 0.01 = 1\,\text{V}$, 부호 음수 → -1 V.

NoteBase

문 17. xy**평면에 가로** W[m]**, 세로** L[m]**인 직사각형 고리가 고정되어 있고, 네 꼭짓점의 좌표가 각각** $(0,0,0)$**,** $(W,0,0)$**,** $(W,L,0)$**,** $(0,L,0)$**이다. 이 공간에** $\vec{B}=B_0xt^2\vec{a}_z$[Wb/m^2]**와 같이 위치**(x)**와 시간**(t)**에 따라 변화하는 자기장이 가해질 때, 이 고리에 유도되는 기전력의 크기**[V]**는?**

① B_0LW^2t

② B_0LWt^2

③ $\frac{B_0LWt^2}{2}$

④ $B_0LW^2t^2$

정답 1번

출제 포인트

위치(x)와 시간(t)에 동시에 의존하는 자기장이 주어진 고리에서 유도 기전력을 구하는 문제다. 자기장이 위치에 따라 변하므로 자속을 구할 때 면적분(적분)을 해야 하고, 시간에 따라 변하므로 패러데이 법칙으로 시간 미분을 해야 한다. x가 들어 있으므로 단순히 $B\times$(면적)으로 끝내면 안 되고 x에 대해 적분해야 한다는 것이 핵심이다.

조건 정리

고리는 xy평면에 놓여 있고 가로 W, 세로 L인 직사각형이다. 가로 방향이 x축(폭 W), 세로 방향이 y축(폭 L)이다. 자기장은 $\vec{B}=B_0xt^2\vec{a_z}$로 면(z축)에 수직이고, 크기가 위치 x와 시간 t에 따라 변한다. 면적 요소는 $dA=dxdy$이며 x는 0부터 W까지, y는 0부터 L까지 적분한다.

사용할 공식

자속: $\Phi=\iint\vec{B}\cdot d\vec{A}$. 패러데이 법칙(유도 기전력): $\varepsilon=-\frac{d\Phi}{dt}$, 크기는 $\left|\frac{d\Phi}{dt}\right|$.

계산 과정

먼저 자속을 면적분으로 구한다. $\Phi=\int_0^W\int_0^L B_0xt^2dydx=B_0t^2L\int_0^W xdx=B_0t^2L\cdot\frac{W^2}{2}=\frac{B_0LW^2t^2}{2}$. 이제 시간으로 미분한다. $\varepsilon=-\frac{d\Phi}{dt}=-\frac{B_0LW^2}{2}\cdot\frac{d}{dt}(t^2)=-\frac{B_0LW^2}{2}\cdot 2t=-B_0LW^2t$. 크기는 $|\varepsilon|=B_0LW^2t$이다.

NoteBase

선지 판단

① $B_0LW^2t \rightarrow$ O. 자속 $\frac{B_0LW^2t^2}{2}$를 시간 미분하면 t^2의 미분에서 2가 나와 분모 2와 약분되고 차수가 1로 내려가 정확히 이 값이 된다.
② $B_0LWt^2 \rightarrow$ X. t^2이 그대로 남았다는 것은 시간 미분(패러데이 법칙)을 하지 않은 자속 형태에 가깝다. 또 W가 1제곱뿐이라 x에 대한 적분도 빠진 표현이다. 틀린 표현 $B_0LWt^2 \rightarrow$ 올바른 표현 B_0LW^2t.
③ $\frac{B_0LWt^2}{2} \rightarrow$ X. 이것은 x에 대해 적분하지 않고 W를 한 번만 곱한 자속의 형태이며(게다가 미분도 안 함), 유도 기전력이 아니다. 틀린 표현 $\frac{B_0LWt^2}{2} \rightarrow$ 올바른 표현 B_0LW^2t.
④ $B_0LW^2t^2 \rightarrow$ X. W^2으로 적분은 반영했지만 시간 미분을 하지 않아 t^2이 그대로 남았고, 분모 2도 빠졌다. 틀린 표현 $B_0LW^2t^2 \rightarrow$ 올바른 표현 B_0LW^2t.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 자기장이 x에 비례한다는 점을 놓치고 =B×(면적)=B_0xt^2· LW처럼 x를 상수로 두는 것이다. 그러면 W가 1제곱만 남아 ②③ 같은 오답으로 빠진다. 또 하나는 자속까지만 구하고 시간 미분을 빼먹어 t^2이 남은 ③④를 고르는 것이다. W^2(공간 적분)과 t의 1제곱(시간 미분)이 둘 다 맞아야 정답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기장에 위치 변수(여기서는 x)가 들어 있으면 자속은 반드시 면적분으로 구한다 → x에 비례하면 적분 결과로 $\frac{W^2}{2}$이 나온다(폭의 제곱/2). 그다음 시간 변수의 거듭제곱은 패러데이 법칙으로 한 번 미분해 차수를 1 낮춘다 → t^2은 $2t$가 되어 분모 2를 지운다. 결과적으로 공간 적분으로 W^2, 시간 미분으로 t가 남는 선지를 고르면 된다.

암기 포인트

위치에 비례하는 자기장 $B = B_0xf(t)$가 폭 W, 길이 L 고리를 지날 때 자속은 $\Phi = \frac{B_0LW^2}{2}f(t)$이고, 유도 기전력 크기는 $|\varepsilon| = \frac{B_0LW^2}{2}\left|\frac{df}{dt}\right|$. 여기서 $f(t) = t^2$이면 $\frac{df}{dt} = 2t$이라 $|\varepsilon| = B_0LW^2t$. 핵심 두 단계: 공간은 적분(→$W^2/2$), 시간은 미분(→t).

NoteBase

문 18. 한 원자의 자기쌍극자 모멘트가 인접 원자의 자기쌍극자 모멘트와 크기가 같고 방향이 반대로 배열되어 있어, 순 자기쌍극자 모멘트가 0인 자성체는?

① 상자성체

② 강자성체

③ 반강자성체

④ 페리자성체

정답 3번

출제 포인트

발문이 설명하는 핵심 조건은 두 가지다. (1) 인접 원자의 자기쌍극자 모멘트가 크기가 같고 방향이 정반대(반평행)로 배열, (2) 그 결과 순(net) 자기쌍극자 모멘트가 0. 이 두 조건을 동시에 만족하는 자성체를 고르는 문제로, 자성체 4종류(상자성·강자성·반강자성·페리자성)의 원자 모멘트 배열 차이를 구분할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

상자성체: 원자마다 영구 자기모멘트는 있으나 방향이 제각각(무질서)이라 외부 자기장이 없으면 평균 모멘트가 약하게 흩어져 있다. 강자성체: 인접 모멘트가 같은 방향(평행)으로 정렬되어 합쳐지므로 큰 순 모멘트를 가진다(철·니켈·코발트). 반강자성체: 인접 모멘트가 크기가 같고 방향이 반대(반평행)로 정렬되어 서로 상쇄되므로 순 모멘트가 0이다. 페리자성체: 인접 모멘트가 방향은 반대지만 크기가 서로 달라 완전히 상쇄되지 않고 일부가 남아 순 모멘트가 0이 아니다(페라이트).

선지별 해설

① 상자성체: X. 모멘트가 한 방향으로 규칙적으로 반평행 배열된 것이 아니라 무질서하게 흩어진 상태다. '크기 같고 방향 반대로 배열' 조건과 맞지 않는다.

② 강자성체: X. 인접 모멘트가 같은 방향(평행)으로 정렬되어 순 모멘트가 0이 아니라 매우 크다. '방향 반대' 조건과 정반대다.

③ 반강자성체: O. 인접 원자 모멘트가 크기는 같고 방향이 반대(반평행)로 배열되어 완전히 상쇄되므로 순 자기쌍극자 모멘트가 0이다. 발문의 두 조건을 모두 만족한다.

④ 페리자성체: X. 인접 모멘트가 방향은 반대지만 크기가 서로 달라 상쇄되지 않고 남는 모멘트가 있어 순 모멘트가 0이 아니다. '크기가 같다'는 조건을 어긴다.

NoteBase

오답 포인트

가장 헷갈리는 함정은 ④ 페리자성체다. 페리자성체도 인접 모멘트가 '반대 방향'이라는 점은 반강자성체와 같아서 방향 조건만 보면 답으로 착각하기 쉽다. 그러나 페리자성체는 모멘트 '크기가 다르다'는 점이 결정적 차이라서 순 모멘트가 남는다. 발문의 '크기가 같고'라는 단어를 놓치면 ④로 오답한다. 즉 순 모멘트 0 → 반강자성체, 순 모멘트가 남음(불완전 상쇄) → 페리자성체로 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

키워드 두 개를 순서대로 본다. 먼저 '방향이 반대(반평행)'면 후보는 반강자성체와 페리자성체 둘로 좁혀진다(상자성·강자성은 탈락). 그다음 '크기가 같다 + 순 모멘트 0'이면 반강자성체, '크기가 다르다 + 순 모멘트 남음'이면 페리자성체로 확정한다. 반대로 '같은 방향 정렬'이면 강자성체, '무질서한 정렬'이면 상자성체다.

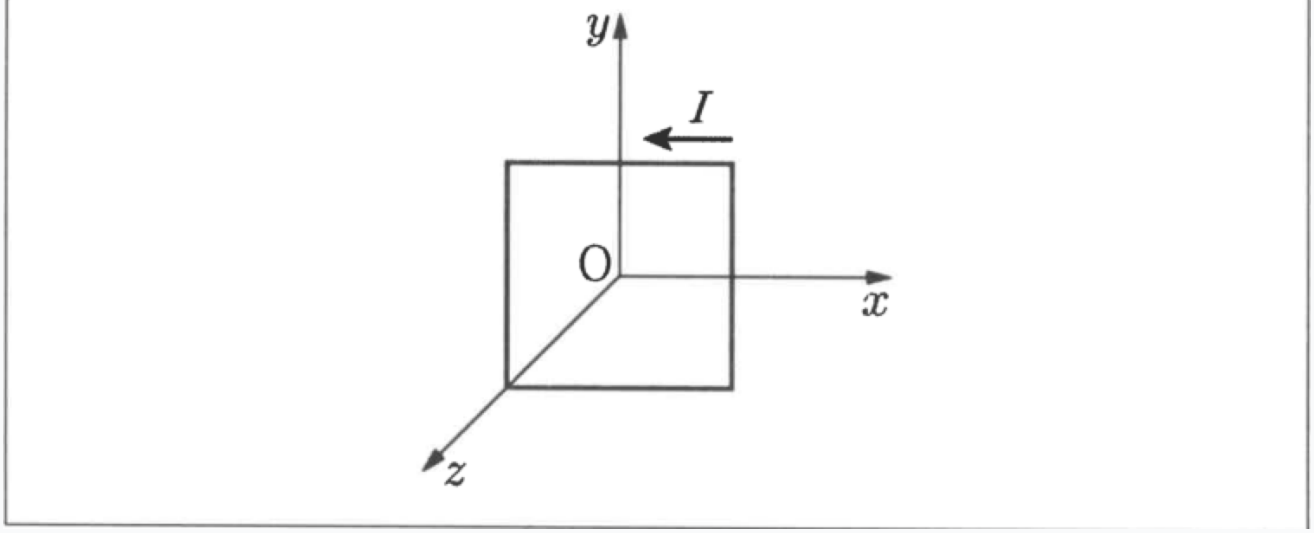
암기 포인트

배열로 외우기: 상자성=무질서, 강자성=평행(↑ ↑ ↑ ↑), 반강자성=크기 같은 반평행(↑ ↓ ↑ ↓, 합 0), 페리자성=크기 다른 반평행(↑ ↓의 길이 차로 합이 남음). 순 모멘트가 정확히 0인 것은 반강자성체 하나뿐임을 기억하면 된다.

NoteBase

문 19. <보기>와 같이 xy 평면에 각 변의 길이가 10[mm]인 무한히 얇은 정사각형 루프가 있다. 이 루프에 일정한 전류 $I = 1$[A]가 반시계 방향으로 흐르고, 균일 자기장 $\vec{B} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z$[Wb/m^2]가 인가될 때, 루프에 작용하는 토크 $\vec{T}$[N · m]는?

<보기>



① $0.1(\vec{a}_x + \vec{a}_y)$

② $0.01(\vec{a}_x - \vec{a}_z)$

③ $0.001(-\vec{a}_y - \vec{a}_z)$

④ $0.0001(-\vec{a}_x + \vec{a}_y)$

정답 4번

출제 포인트

균일 자기장 속 전류 루프에 작용하는 토크를 구하는 문제다. 핵심은 두 가지다. 첫째, 루프의 자기 모멘트 벡터 $\vec{m}$의 크기와 방향을 정확히 정하는 것(특히 전류가 반시계 방향이라 방향이 $+\vec{a_z}$임을 오른손 법칙으로 확인), 둘째, 토크 공식 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$에서 벡터 외적을 부호까지 정확히 계산하는 것이다.

조건 정리

루프는 xy평면에 놓인 정사각형이고 한 변의 길이는 10[mm]=0.01[m]이다. 전류 $I = 1$[A]가 반시계 방향(그림에서 위쪽 변의 화살표가 $-x$ 방향)으로 흐른다. 자기장은 $\vec{B} = \vec{a_x} + \vec{a_y} + \vec{a_z}$[Wb/m^2]로 균일하다. 면적은 $A = (0.01)^2 = 10^{-4}$[m^2]이다.

NoteBase

사용할 공식

자기 모멘트: $\vec{m} = IA\hat{n}$ (방향은 전류의 오른손 법칙으로 결정).
토크: $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$.
단위벡터 외적: $\vec{a_z} \times \vec{a_x} = \vec{a_y}$, $\vec{a_z} \times \vec{a_y} = -\vec{a_x}$, $\vec{a_z} \times \vec{a_z} = 0$.

계산 과정

1) 면적: $A = (0.01)^2 = 10^{-4}[\mathrm{m}^2]$.
2) 모멘트 방향: 전류가 반시계 방향(위쪽 변에서 $-x$ 방향)으로 흐르므로 오른손 법칙에 의해 $\hat{n} = +\vec{a_z}$. 따라서 $\vec{m} = IA\hat{n} = 1 \times 10^{-4} \times \vec{a_z} = 10^{-4}\vec{a_z}[\mathrm{A \cdot m}^2]$.
3) 토크: $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} = 10^{-4}\vec{a_z} \times (\vec{a_x} + \vec{a_y} + \vec{a_z})$.
4) 항별 외적: $\vec{a_z} \times \vec{a_x} = \vec{a_y}$, $\vec{a_z} \times \vec{a_y} = -\vec{a_x}$, $\vec{a_z} \times \vec{a_z} = 0$.
5) 정리: $\vec{T} = 10^{-4}(\vec{a_y} - \vec{a_x} + 0) = 10^{-4}(-\vec{a_x} + \vec{a_y}) = 0.0001(-\vec{a_x} + \vec{a_y})[\mathrm{N \cdot m}]$.

선지 판단

① $0.1(\vec{a_x} + \vec{a_y}) \rightarrow$ X. 크기 자릿수(10^{-4}이 아닌 10^{-1})와 부호가 모두 틀렸다. 면적 10^{-4}을 반영하지 않은 값이다.
② $0.01(\vec{a_x} - \vec{a_z}) \rightarrow$ X. 외적 결과에 $\vec{a_z}$ 성분은 나올 수 없고(모멘트가 $\vec{a_z}$이므로 $\vec{a_z} \times \vec{a_z} = 0$), 크기 자릿수도 틀렸다.
③ $0.001(-\vec{a_y} - \vec{a_z}) \rightarrow$ X. 부호와 성분 구성이 모두 틀렸다(올바른 결과는 $-\vec{a_x} + \vec{a_y}$). 크기 자릿수도 10^{-3}으로 틀렸다.
④ $0.0001(-\vec{a_x} + \vec{a_y}) \rightarrow$ O. $\vec{T} = 10^{-4}(-\vec{a_x} + \vec{a_y})$와 정확히 일치한다.

오답 포인트

첫째, 면적을 $(0.01)^2 = 10^{-4}$으로 제곱해야 하는데 0.01을 그대로 쓰면(②) 자릿수가 한 자리 틀린다. 둘째, 모멘트가 $\vec{a_z}$ 방향이므로 $\vec{B}$의 $\vec{a_z}$ 성분은 외적에서 0이 되어 토크에 $\vec{a_z}$는 절대 남지 않는다(②③ 함정). 셋째, 전류가 반시계라 모멘트가 $+\vec{a_z}$인데 시계 방향으로 착각해 $-\vec{a_z}$로 두면 부호가 전부 뒤집힌다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 루프 토크 문제는 순서가 고정이다. (1) 루프가 놓인 평면을 보고 모멘트 방향 후보를 정하고(xy평면이면 $\pm\vec{a_z}$), (2) 전류 방향에 오른손 법칙을 적용해 부호를 확정하고, (3) $\vec{m} = IA\hat{n}$에서 면적은 반드시 제곱, (4) $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$를 외적 규칙대로 계산한다. 모멘트와 같은 방향의 $\vec{B}$ 성분은 토크에 기여하지 않는다는 점만 기억하면 $\vec{a_z}$ 들어간 선지는 즉시 버릴 수 있다.

암기 포인트

토크 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$, 모멘트 $\vec{m} = IA\hat{n}$. 면적은 변의 제곱(10[mm]→$10^{-4}[\mathrm{m}^2]$). 외적 순환: $\vec{a_z} \times \vec{a_x} = \vec{a_y}$, $\vec{a_z} \times \vec{a_y} = -\vec{a_x}$, 자기 자신과의 외적은 0. 모멘트와 나란한 자기장 성분은 토크에 기여하지 않는다.

NoteBase

문 20. 반지름 R인 도체구에 전하 Q가 대전되어 있다. 이에 반지름이 $\frac{R}{2}$이고 대전된 전하가 없는 작은 도체구를 접촉시켰을 때, 작은 도체구로 이동하는 전하량은?

① Q
② $\frac{Q}{2}$
③ $\frac{Q}{3}$
④ $\frac{Q}{4}$

정답 3번

출제 포인트

두 도체구를 접촉시키면 전하가 다시 분배되어 두 구의 전위가 같아진다는 것이 핵심이다. 흔히 전하가 표면적 비율이나 절반씩 나뉜다고 착각하기 쉬운데, 실제 분배 기준은 전위(V)가 같아지는 것이며, 이는 반지름에 비례한 전하 분배로 이어진다.

조건 정리

큰 도체구: 반지름 R, 처음 전하 Q
작은 도체구: 반지름 $\frac{R}{2}$, 처음 전하 0 (대전된 전하 없음)
두 구를 접촉시킨 뒤 전체 전하는 보존되고, 두 구의 전위가 같아진다.
구하는 값: 작은 도체구로 이동한 전하량.

사용할 공식

고립 도체구의 전위: $V = \frac{kq}{r}$
전하 보존: $q_1 + q_2 = Q$
접촉 후 전위 같음: $\frac{kq_1}{R} = \frac{kq_2}{R/2}$

계산 과정

전위가 같다는 조건에서 $\frac{q_1}{R} = \frac{q_2}{R/2}$ 이므로 $\frac{q_1}{R} = \frac{2q_2}{R}$, 즉 $q_1 = 2q_2$.
전하 보존 $q_1 + q_2 = Q$에 대입하면 $2q_2 + q_2 = Q$, $3q_2 = Q$.
따라서 작은 구의 전하 $q_2 = \frac{Q}{3}$, 큰 구의 전하 $q_1 = \frac{2Q}{3}$.
작은 구는 처음에 전하가 0이었으므로, 이동한 전하량 = 작은 구의 최종 전하 = $\frac{Q}{3}$.

NoteBase

선지 판단

① Q: X. 전체 전하 Q가 전부 작은 구로 가지 않는다. 큰 구가 더 크므로 더 많은 전하를 유지한다.
② $\frac{Q}{2}$: X. 전하가 절반씩 나뉜다는 생각은 두 구의 반지름이 같을 때만 성립한다. 여기서는 반지름이 다르다.
③ $\frac{Q}{3}$: O. 전위가 같아지는 조건에서 전하는 반지름에 비례해 2 : 1로 분배되므로 작은 구는 $\frac{Q}{3}$을 갖는다. 처음 전하가 0이었으니 이동량도 $\frac{Q}{3}$.
④ $\frac{Q}{4}$: X. 표면적 비(반지름 제곱비 4 : 1)로 분배된다고 오해하면 나오는 값이지만, 분배 기준은 전위(반지름 1차비)이지 표면적이 아니다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 ④이다. 반지름이 R과 $\frac{R}{2}$이므로 표면적 비가 4 : 1이라는 점에 끌려 작은 구에 $\frac{Q}{5}$나 $\frac{Q}{4}$가 간다고 계산하기 쉽다. 그러나 도체구의 전위는 $V = \frac{kq}{r}$로 반지름의 1차에만 의존하므로 전하는 반지름 비 2 : 1로 나뉜다. ②(절반)는 두 구의 크기가 같을 때만 맞는 답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 도체구 접촉 문제는 무조건 '전위가 같아진다 → 전하는 반지름에 비례 분배'로 시작한다. 반지름 비가 $a : b$이면 최종 전하 비도 $a : b$이다. 이 문제는 $R : \frac{R}{2} = 2 : 1$이므로 큰 구 $\frac{2Q}{3}$, 작은 구 $\frac{Q}{3}$. 작은 구의 처음 전하가 0이면 작은 구의 최종 전하가 곧 이동 전하량이다.

암기 포인트

접촉한 두 도체구는 전위가 같다: $\frac{q_1}{r_1} = \frac{q_2}{r_2}$. 즉 전하는 반지름 비로 분배(표면적 비가 아님). 반지름 비 2 : 1 → 전하 비 2 : 1 → 작은 구에 전체의 $\frac{1}{3}$.

NoteBase