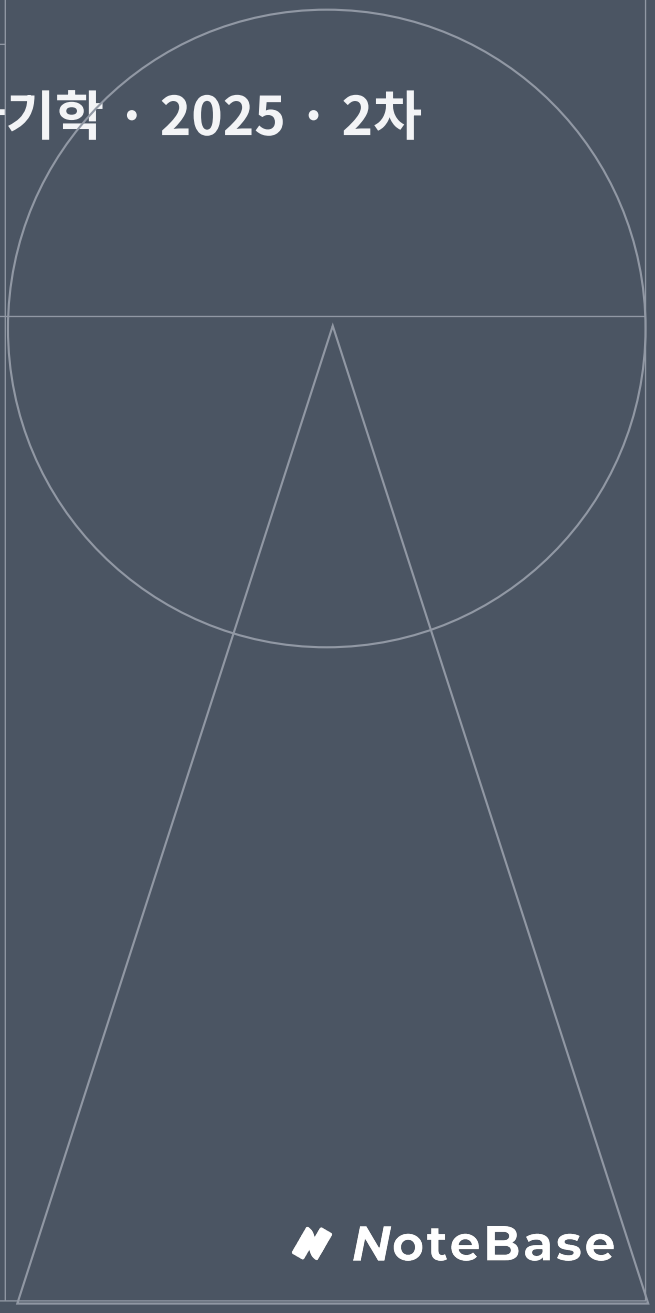
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2025 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2025 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2025 · 2차

문 1. $z=0$ **평면을 경계면으로 영역 1**$(z>0)$**은 비유전율** $\varepsilon_{r1}=2$**인 유전체로 채워져 있고, 영역 2**$(z<0)$**는 비유전율** $\varepsilon_{r2}=3$**인 유전체로 채워져 있다. 영역 1의 전기장이** $\vec{E}_1=3\vec{a}_x-\vec{a}_y+6\vec{a}_z[V/m]$**일 때, 영역 2의 전기장의 크기** $|\vec{E}_2|[V/m]$**는? (단, 경계면에 전하는 없다)**

① $\sqrt{22}$

② $\sqrt{26}$

③ $\sqrt{33}$

④ $\sqrt{46}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 유전체 경계면에서 자유전하가 없을 때의 경계조건을 이용해 영역 2의 전기장 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\varepsilon_{r1}=2, \varepsilon_{r2}=3, \vec{E}_1=3\vec{a}_x-\vec{a}_y+6\vec{a}_z$[V/m]이다.
구해야 할 값은 영역 2의 전기장 크기 $|\vec{E}_2|$이다.
경계면 자유전하가 없으므로 접선 성분의 $\vec{E}$는 연속이고, 법선 성분의 $\vec{D}$는 연속이다.

사용할 공식

접선 성분은 $E_{1t}=E_{2t}$이고, 법선 성분은 $D_{1n}=D_{2n}$이므로 $\varepsilon_1E_{1n}=\varepsilon_2E_{2n}$이다.
이 문제는 $z=0$ 경계면에서 영역 1과 영역 2가 서로 다른 유전체인 경우이므로, 접선 방향은 x, y축으로 그대로 두고 법선 방향 z축만 유전율 비에 따라 바꾸는 경계조건을 쓴다.

계산 과정

1. 경계면 $z=0$의 접선 방향은 x, y축이므로 $E_{2x}=3, E_{2y}=-1$이다.
2. 법선 방향은 z축이므로 $\varepsilon_1E_{1z}=\varepsilon_2E_{2z}$에서 $2\times6=3\times E_{2z}$이다. 따라서 $E_{2z}=4$이다.
3. 따라서 $\vec{E}_2=3\vec{a}_x-\vec{a}_y+4\vec{a}_z$이고,
$|\vec{E}_2|=\sqrt{3^2+(-1)^2+4^2}=\sqrt{26}$

NoteBase

선지 판단

① X: $\sqrt{22}$는 계산 결과와 다르다. 접선 성분 3, -1과 법선 성분 4를 모두 반영하면 올바른 값은 $\sqrt{26}$이다.
② O: 경계조건을 적용하면 $E_{2z}=4$가 되어 $|\vec{E}_2|=\sqrt{26}$이므로 맞다.
③ X: $\sqrt{33}$은 법선 성분을 잘못 옮기거나 크기 계산을 잘못한 값이다. 올바르게는 $|\vec{E}_2|=\sqrt{26}$이다.
④ X: $\sqrt{46}$은 영역 1의 크기 $|\vec{E}_1|$에 해당하는 값이다. 영역 2에서는 법선 성분이 6에서 4로 바뀌므로 올바른 값은 $\sqrt{26}$이다.

오답 포인트

접선 성분 연속과 법선 성분의 $\vec{D}$ 연속을 뒤바꾸면 틀린다. 특히 E_z를 그대로 두면 $\sqrt{46}$이 나오므로, 자유전하가 없을 때는 법선 방향에서 εE가 같아진다는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

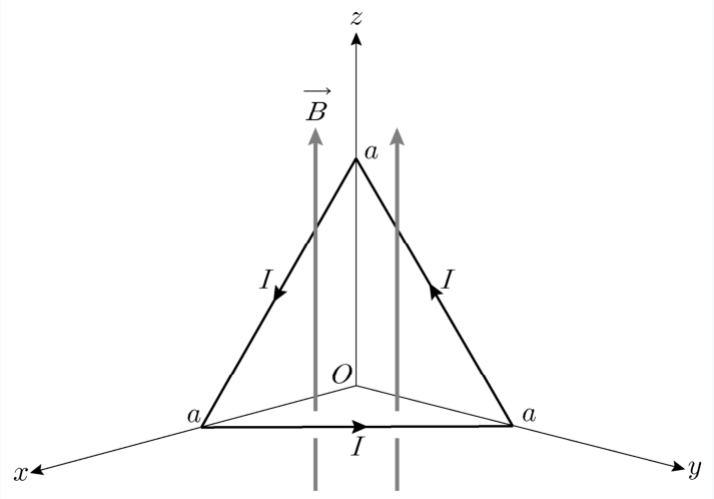
유전체 경계면 문제는 먼저 접선 방향과 법선 방향을 나눈 뒤, 접선은 $\vec{E}$ 연속, 법선은 자유전하가 없으면 $\vec{D}$ 연속으로 처리하면 된다.

암기 포인트

경계면 자유전하가 없으면 접선은 E가 같고, 법선은 εE가 같다.

NoteBase

문 2. 그림과 같이 균일한 자속밀도 $\vec{B} = B_0\vec{a}_z$[T]가 존재하는 공간에 정상전류 I[A]가 흐르는 정삼각형 도체 폐루프가 있을 때, 이 폐루프에 작용하는 힘 $\vec{F}$[N]는? (단, B_0는 0이 아닌 상수이다)



① 0

② $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x - \vec{a}_y + \vec{a}_z)$

③ $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x + \vec{a}_y - \vec{a}_z)$

④ $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 균일한 자기장 속 닫힌 전류 폐루프의 합력 $\vec{F}_{\text{tot}} = I\oint d\vec{l} \times \vec{B}$를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 균일한 자속밀도 $\vec{B} = B_0\vec{a}_z$, 정상전류 I, 정삼각형 도체 폐루프이다.
구해야 할 값: 폐루프 전체에 작용하는 합력 $\vec{F}$이다.
주의할 조건: 자기장은 균일하고, 물어본 것은 각 변의 힘이 아니라 닫힌 폐루프 전체의 힘이다.

사용할 공식

$\vec{F}_{\text{tot}} = I\oint d\vec{l} \times \vec{B}$
$\vec{B}$가 일정하므로
$\vec{F}_{\text{tot}} = I\left(\oint d\vec{l}\right) \times \vec{B} = \vec{0}$
이 공식을 쓰는 이유: 균일한 자기장에서는 각 도선 소구간 힘의 벡터합이 도선 경로의 닫힘 조건 $\oint d\vec{l} = \vec{0}$로 정리되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 미소 도선에 작용하는 힘은 $d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$이다.
2. 폐루프 전체 힘은 $\vec{F}_{\text{tot}} = I\oint d\vec{l} \times \vec{B}$이다.
3. 자기장 $\vec{B} = B_0\vec{a}_z$가 공간 전체에서 일정하므로 $\vec{B}$를 적분 밖으로 뺄 수 있다.
4. 닫힌 삼각형 루프에서는 한 바퀴 돈 변위벡터 합이 $\oint d\vec{l} = \vec{0}$이므로 $\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{0}$이다.

선지별 해설

① O

- 균일한 자기장 속 닫힌 전류 루프의 합력은 항상 $\vec{0}$이다. 각 변에는 개별적으로 힘이 생길 수 있으나 벡터합은 0이 된다.

② X

- 제시한 힘 $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x - \vec{a}_y + \vec{a}_z)$는 폐루프 전체 합력이 아니다. 틀린 표현은 비영벡터 합력이라는 부분이며, 올바르게는 폐루프 전체 힘은 $\vec{0}$이다.

③ X

- 제시한 힘 $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x + \vec{a}_y - \vec{a}_z)$도 균일장 속 닫힌 루프의 성질과 모순된다. 틀린 표현은 비영벡터 합력이라는 부분이며, 올바르게는 각 변의 힘을 모두 더하면 0이 된다.

④ X

- 제시한 힘 $3\sqrt{2}IaB_0(\vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z)$도 전체 합력으로는 성립하지 않는다. 틀린 표현은 합력이 특정 방향 성분을 가진다는 부분이며, 올바르게는 폐루프 전체 합력은 방향 성분 없이 $\vec{0}$이다.

오답 포인트

각 변마다 $I\vec{l} \times \vec{B}$를 계산해 힘이 생긴다는 사실만 보고 전체 합력도 0이 아닐 것이라고 오해하기 쉽다. 이 문항의 함정은 한 변의 힘이나 두 변의 합을 끝까지 더하지 않고 폐루프 전체의 벡터합 성질을 놓치는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

균일한 자기장에서 닫힌 전류 폐루프의 전체 힘을 묻는 문제는 모양과 놓인 방향보다 먼저 $\oint d\vec{l} = \vec{0}$를 확인한다. 폐루프 전체 합력은 0이고, 0이 아닌 값은 보통 토크나 개별 변의 힘과 혼동한 경우이다.

암기 포인트

균일장에서는 닫힌 전류루프의 합력은 0이고, 비균일장이어야 순합력이 생긴다.

NoteBase

문 3. 비유전율 $\varepsilon_r = 16$이고, 비투자율 $\mu_r = 1$인 매질에서 균일 평면파가 전파할 때, 이 매질의 고유 임피던스 $\eta[\Omega]$는? (단, 자유공간의 유전율은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이고, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)

① 5π

② 10π

③ 20π

④ 30π

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 매질의 고유 임피던스 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$를 상대투자율과 상대유전율로 바꾸어 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\varepsilon_r = 16, \mu_r = 1, \varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} F/m, \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$이다.
구해야 할 값: 매질의 고유 임피던스 η이다.
주의할 조건: 상대값이 주어졌으므로 $\mu = \mu_0\mu_r, \varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$로 바꾸어 계산해야 한다.

사용할 공식

공식: $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0\mu_r}{\varepsilon_0\varepsilon_r}} = \eta_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}$
이 공식을 쓰는 이유: 균일 평면파가 전파하는 매질의 고유 임피던스는 투자율과 유전율의 비의 제곱근으로 정해지며, 문제는 상대투자율과 상대유전율을 직접 주고 있기 때문이다.

계산 과정

1. 자유공간의 고유 임피던스는 $\eta_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} = 120\pi\Omega$이다.
2. 따라서 매질의 고유 임피던스는 $\eta = 120\pi\sqrt{\frac{1}{16}}$이다.
3. $\sqrt{1/16} = 1/4$이므로 $\eta = 120\pi \times \frac{1}{4} = 30\pi\Omega$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $30\pi\Omega$이므로 $5\pi\Omega$는 틀리다. $120\pi \times \frac{1}{4} = 30\pi$이므로 '5π'가 아니라 '30π'가 되어야 한다.
② X: 계산 결과와 비교하면 $10\pi\Omega$는 틀리다. 고유 임피던스는 $30\pi\Omega$이므로 '10π'가 아니라 '30π'로 고쳐야 한다.
③ X: 계산 결과와 비교하면 $20\pi\Omega$도 틀리다. $\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r} = 1/4$를 반영하면 값은 20π가 아니라 30π가 된다.
④ O: $\eta = 120\pi\sqrt{1/16} = 120\pi \times 1/4 = 30\pi\Omega$이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

고유 임피던스를 $\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$가 아니라 $120\pi \times \mu_r/\varepsilon_r$처럼 제곱근 없이 계산하거나, $\sqrt{16} = 4$를 놓치면 오답이 나온다. 상대값과 절대값을 섞는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

매질의 고유 임피던스 문제는 먼저 $\eta_0 = 120\pi\Omega$를 떠올린 뒤, 여기에 $\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$만 곱하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

$\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$이며, $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 16$이면 고유 임피던스는 자유공간의 1/4배인 $30\pi\Omega$이다.

NoteBase

문 4. 어떤 양도체(good conductor) 전선의 표피 깊이(skin depth)는 주파수 200 [kHz]에서 0.1 [mm]이다. 주파수가 800 [kHz]로 증가하면 표피 깊이[mm]는?

① 0.025

② 0.05

③ 0.2

④ 0.4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 양도체의 표피 깊이가 주파수의 제곱근에 반비례한다는 관계를 이용해 주파수 변화 후의 표피 깊이를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 주파수 200 kHz에서 표피 깊이 0.1mm이다.
구해야 할 값: 주파수 800 kHz에서의 표피 깊이이다.
주의할 조건: 같은 양도체에서는 표피 깊이 δ가 주파수 f의 제곱근에 반비례한다.

사용할 공식

$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \propto \frac{1}{\sqrt{f}}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 양도체의 종류가 같으므로 μ와 σ는 일정하고, 표피 깊이와 주파수의 관계만 이용하면 되기 때문이다.

계산 과정

1. 주파수 비는 $\frac{800}{200} = 4$이다.
2. 따라서 표피 깊이 비는 $\frac{1}{\sqrt{4}} = \frac{1}{2}$이다.
3. 새로운 표피 깊이는 $0.1 \times \frac{1}{2} = 0.05$ mm이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.025mm는 0.1/4로 계산한 값이다. 표피 깊이는 주파수에 단순 반비례하는 것이 아니라 주파수의 제곱근에 반비례하므로 틀리다. 틀린 표현은 '0.025mm'이고, 올바르게는 '0.05mm'이다.
② O: 주파수가 4배가 되면 표피 깊이는 $1/\sqrt{4} = 1/2$배가 되므로 $0.1 \rightarrow 0.05$ mm가 된다.
③ X: 0.2mm는 주파수가 커지면 표피 깊이도 커진다고 본 값이다. 양도체의 표피 깊이는 주파수가 증가할수록 더 얕아지므로 틀리다. 틀린 표현은 '0.2mm'이고, 올바르게는 '0.05mm'이다.
④ X: 0.4mm는 주파수 4배 증가를 표피 깊이 4배 증가로 오해한 값이다. 실제로는 주파수 증가 시 표피 깊이가 감소하므로 틀리다. 틀린 표현은 '0.4mm'이고, 올바르게는 '0.05mm'이다.
계산 결과 0.05mm이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

주파수 4배를 보고 표피 깊이를 1/4배로 줄이거나, 반대로 4배로 늘리는 실수가 잦다. 이 문제의 핵심은 $\delta \propto 1/\sqrt{f}$이지 $\delta \propto 1/f$가 아니라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

양도체 표피 깊이 문제는 같은 재질이라는 조건을 먼저 확인하고, $\delta \propto 1/\sqrt{f}$를 적용해 주파수 비의 제곱근 역수만큼 표피 깊이를 조정하면 된다.

암기 포인트

표피 깊이는 주파수의 제곱근에 반비례하므로 주파수 4배면 깊이 1/2배, 주파수 9배면 깊이 1/3배이다.

NoteBase

문 5. 자유공간에 $\vec{H} = 4kxy^2\vec{a}_x - 3z^2\vec{a}_z$ [A/m]의 자기장이 분포하고 있다. 점 $P(2, -1, 3)$에서의 전류밀도가 $\vec{J} = 16\vec{a}_z$ [A/m^2]일 때, 상수 k는?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정자계에서 전류밀도와 자기장의 관계 $\vec{J} = abla \times \vec{H}$를 이용해 상수 k를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{H} = 4kxy^2\vec{a}_x - 3z^2\vec{a}_z[A/m]$, 점 $P(2, -1, 3)$, 전류밀도 $\vec{J} = 16\vec{a}_z[A/m^2]$이다.
구해야 할 값은 상수 k이다.
주의할 조건은 자유공간의 정자계이므로 $\vec{J}$를 $\vec{H}$의 회전으로 구한다는 점과, $\vec{H}_y = 0$이라는 점이다.

사용할 공식

$\vec{J} = abla \times \vec{H}$
이 공식을 쓰는 이유는 정자계에서 전류밀도가 자기장 세기의 회전으로 주어지기 때문이다.

계산 과정

$\vec{H} = 4kxy^2\vec{a}_x + 0\vec{a}_y - 3z^2\vec{a}_z$
따라서
$abla \times \vec{H} = \left|\vec{a}_x, \vec{a}_y, \vec{a}_z; \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}; 4kxy^2, 0, -3z^2\right|$
이고, x성분과 y성분은 0이다.
z성분은
$J_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = 0 - \frac{\partial}{\partial y}(4kxy^2) = -8kxy$
이므로
$\vec{J} = -8kxy\vec{a}_z$
이다.
점 $P(2, -1, 3)$를 대입하면
$\vec{J} = -8k \cdot 2 \cdot (-1)\vec{a}_z = 16k\vec{a}_z$
이다.
주어진 $\vec{J} = 16\vec{a}_z$와 같아야 하므로 $16k = 16$이고, 따라서 $k = 1$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과 $k = 1$이므로 옳다.
② X: 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 'k=2'이고, 올바르게는 'k=1'이다. 이는 $16k = 16$에서 양변을 정확히 나누지 못하면 고르기 쉬운 오답이다.
③ X: 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 'k=3'이고, 올바르게는 'k=1'이다. 3은 점의 z좌표이지만, $J_z = -8kxy$에는 z가 들어가지 않으므로 사용하면 안 된다.
④ X: 계산 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 'k=4'이고, 올바르게는 'k=1'이다. 4는 H_x의 계수일 뿐이며, y 미분과 점 대입을 마치면 $16k$를 주어진 전류밀도와 비교해야 한다.

오답 포인트

회전 연산에서 어떤 성분이 남는지 정리하지 않으면 z좌표 3이나 계수 4를 그대로 끌어와 오답을 고르기 쉽다. 특히 $J_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}$에서 $H_y = 0$임을 놓치거나, $\frac{\partial}{\partial y}(y^2) = 2y$를 빠뜨리면 값이 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

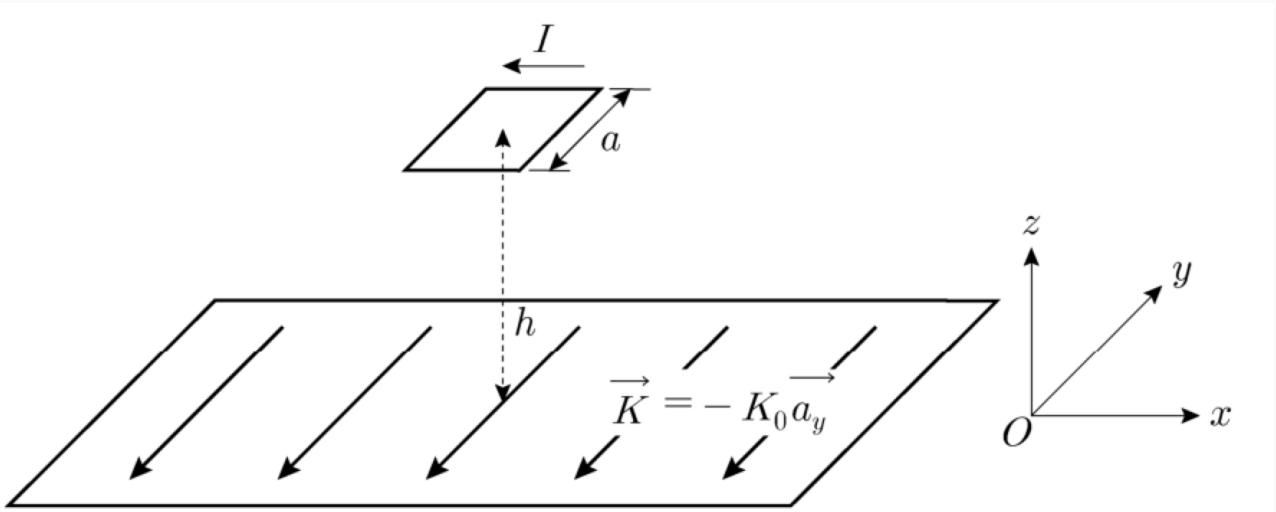
벡터장의 전류밀도 문제는 먼저 $\vec{H}$의 각 성분을 분리하고, 다음에 $abla \times \vec{H}$의 필요한 성분만 계산한 뒤, 마지막에 좌표를 대입하여 주어진 전류밀도와 비교하면 된다.

암기 포인트

정자계에서는 $\vec{J} = abla \times \vec{H}$이고, 회전은 성분별 편미분 순서를 정확히 지키는 것이 핵심이다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 자유공간에서 $z=0$ 평면에 균일한 면전류밀도 $\vec{K}=-K_0\vec{a}_y[A/m]$를 가지는 무한 면전류가 흐르고 있으며, $+z$축 방향으로 $h[m]$ 떨어진 지점에 $z=0$ 평면과 평행하게 놓인 한 변의 길이가 $a[m]$인 정사각형 도체 루프에 전류 $I[A]$가 흐르고 있다. 이 도체 루프에 작용하는 회전력(torque) $\vec{T}[N\cdot m]$는? (단, K_0는 0이 아닌 상수이고, μ_0는 자유공간의 투자율이다)



① $\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_x$
② $-\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_x$
③ $\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$
④ $-\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 무한 면전류가 만드는 자기장 방향과 정사각형 전류루프의 자기쌍극자모멘트를 이용해 회전력 $\vec{T}$의 방향과 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{K}=-K_0\vec{a}_y$, 루프 한 변의 길이 a, 전류 I, 루프 위치 $z=h$이다. 구해야 할 값은 도체 루프에 작용하는 회전력 $\vec{T}$이다. 루프는 $z=0$ 평면과 평행하므로 면적벡터는 $\pm\vec{a}_z$ 중 하나이며, 그림의 전류 방향에 오른손법칙을 적용해 $+\vec{a}_z$로 확정한다(구체적 판독은 계산 과정 참조). 무한 면전류가 만드는 위쪽 자기장은 균일하므로 h는 토크 크기에 직접 들어가지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

$\vec{B}_{z>0} = \frac{\mu_0}{2}(\vec{K} \times \vec{a}_z), \quad \vec{m} = IS\vec{a}_n = Ia^2\vec{a}_z, \quad \vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$
이 공식을 쓰는 이유는 무한 면전류 위쪽의 자기장이 일정하고, 평면 전류루프에 작용하는 회전력은 자기쌍극자모멘트와 자기장의 벡터곱으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 면전류가 $\vec{K} = -K_0\vec{a}_y$이므로 위쪽 자기장은 $\vec{B} = \frac{\mu_0}{2}(\vec{K} \times \vec{a}_z) = \frac{\mu_0}{2}(-K_0\vec{a}_y \times \vec{a}_z) = -\frac{\mu_0 K_0}{2}\vec{a}_x$이다.
2. 자기쌍극자모멘트 방향은 오른손법칙으로 정한다. 그림에서 위쪽 변(루프의 뒤쪽 변)을 따라 전류 I가 $-\vec{a}_x$ 방향으로 흐르고 있으므로, 루프를 $+\vec{a}_z$ 쪽(위)에서 내려다보면 전류가 반시계방향으로 순환한다. 오른손의 네 손가락을 전류의 순환방향(반시계)으로 감으면 엄지가 $+\vec{a}_z$를 가리키므로, 면적벡터(법선)는 $+\vec{a}_z$이고 자기쌍극자모멘트는 $\vec{m} = IS\vec{a}_n = Ia^2\vec{a}_z$이다.
3. 따라서 회전력은 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} = Ia^2\vec{a}_z \times \left(-\frac{\mu_0 K_0}{2}\vec{a}_x\right) = -\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$이다.

선지별 해설

① X: 크기는 같아도 방향이 틀렸다. 토크는 $\vec{a}_x$ 방향이 아니라 $-\vec{a}_y$ 방향이다. 올바르게는 $-\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$이다.
② X: 이 값은 면전류가 만드는 자기장 $\vec{B}$의 방향인 $-\vec{a}_x$를 토크 방향으로 잘못 옮긴 경우이다. 토크는 $\vec{m} \times \vec{B}$를 계산해야 하므로 올바르게는 $-\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$이다.
③ X: 축은 $\vec{a}_y$로 맞지만 부호가 반대이다. $\vec{a}_z \times (-\vec{a}_x) = -\vec{a}_y$이므로 올바르게는 $-\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$이다.
④ O: $\vec{B} = -\frac{\mu_0 K_0}{2}\vec{a}_x$, $\vec{m} = Ia^2\vec{a}_z$이므로 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} = -\frac{\mu_0}{2}Ia^2K_0\vec{a}_y$가 되어 옳다.

오답 포인트

②처럼 자기장 방향과 토크 방향을 같은 것으로 오해하거나, ③처럼 외적의 부호를 뒤집는 경우가 많다. 또한 루프가 평면과 평행하다는 조건에서 면적벡터가 $\vec{a}_z$ 방향임을 놓치면 전체 부호가 바뀐다.

다시 나오면 이렇게 판단

무한 면전류 문제는 먼저 $\vec{K}$로 자기장 $\vec{B}$의 방향을 구하고, 다음에 루프 전류로 자기쌍극자모멘트 $\vec{m}$ 방향을 정한 뒤, 마지막에 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

무한 면전류 위쪽 자기장은 $\frac{\mu_0}{2}(\vec{K} \times \vec{a}_z)$이고, 전류루프의 토크는 $\vec{m} \times \vec{B}$로 정해진다.

NoteBase

문 7. 균일한 자속밀도 B[T]가 있는 공간에, 질량이 m[kg]이고 전하량이 q[C]인 한 개의 입자가 자속밀도의 방향과 수직한 평면에서 v[m/s]의 속력으로 등속원운동하고 있다. 입자의 닫힌 궤도가 형성하는 영역을 지나는 자속 Φ[Wb]는?

① $\frac{\pi m^2 v^2}{4q^2 B}$
② $\frac{\pi m^2 v^2}{2q^2 B}$
③ $\frac{\pi m^2 v^2}{q^2 B}$
④ $\frac{2\pi m^2 v^2}{q^2 B}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 로런츠힘이 구심력이 되는 조건에서 원운동 반지름을 구한 뒤, ϕ=B×면적으로 자속을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자속밀도 B, 질량 m, 전하량 q, 속력 v이다.
구해야 할 값은 입자의 닫힌 궤도 내부를 지나는 자속 ϕ이다.
주의할 조건은 입자 속도가 자속밀도 방향과 수직이므로 원운동이 되고, 자속은 자속밀도에 수직인 원면적에 B를 곱해 구한다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, $\phi = B\pi r^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자기력 qvB가 속도에 수직으로 작용하여 등속원운동의 구심력 $\frac{mv^2}{r}$이 되기 때문이다.

계산 과정

1. 원운동 반지름은 $qvB = \frac{mv^2}{r}$에서 $r = \frac{mv}{qB}$이다.
2. 닫힌 궤도의 면적은 $\pi r^2 = \pi\left(\frac{mv}{qB}\right)^2 = \frac{\pi m^2 v^2}{q^2 B^2}$이다.
3. 자속은 $\phi = B\pi r^2 = B \cdot \frac{\pi m^2 v^2}{q^2 B^2} = \frac{\pi m^2 v^2}{q^2 B}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- 계산 결과는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이므로 $\frac{\pi m^2v^2}{4q^2B}$는 맞지 않는다.
- 이 값은 반지름을 절반으로 잘못 두었을 때 나오는 식이다. 틀린 식 → 올바르게는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이다.

② X
- 계산 결과는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이므로 $\frac{\pi m^2v^2}{2q^2B}$는 맞지 않는다.
- 이 값은 원면적에 불필요하게 $\frac{1}{2}$를 곱해 반원처럼 처리했을 때의 오답이다. 틀린 식 → 올바르게는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이다.

③ O
- 자속은 $\phi = B\pi r^2$, 반지름은 $r = \frac{mv}{qB}$이므로 $\phi = \frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$가 된다.
- 계산 결과와 선지 ③이 일치하므로 옳다.

④ X
- 계산 결과는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이므로 $\frac{2\pi m^2v^2}{q^2B}$는 2배 크게 계산한 오답이다.
- 이 값은 자속을 같은 원면적에 두 번 곱한 것과 같은 형태이다. 틀린 식 → 올바르게는 $\frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이다.

계산 결과 $\phi = \frac{\pi m^2v^2}{q^2B}$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

자기력으로 반지름을 구한 뒤 자속을 B ×면적으로 연결하지 못하면 분모의 B 개수나 면적 계수를 틀리기 쉽다. 특히 원면적 πr^2를 반원이나 2배 면적으로 착각하면 ①, ②, ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

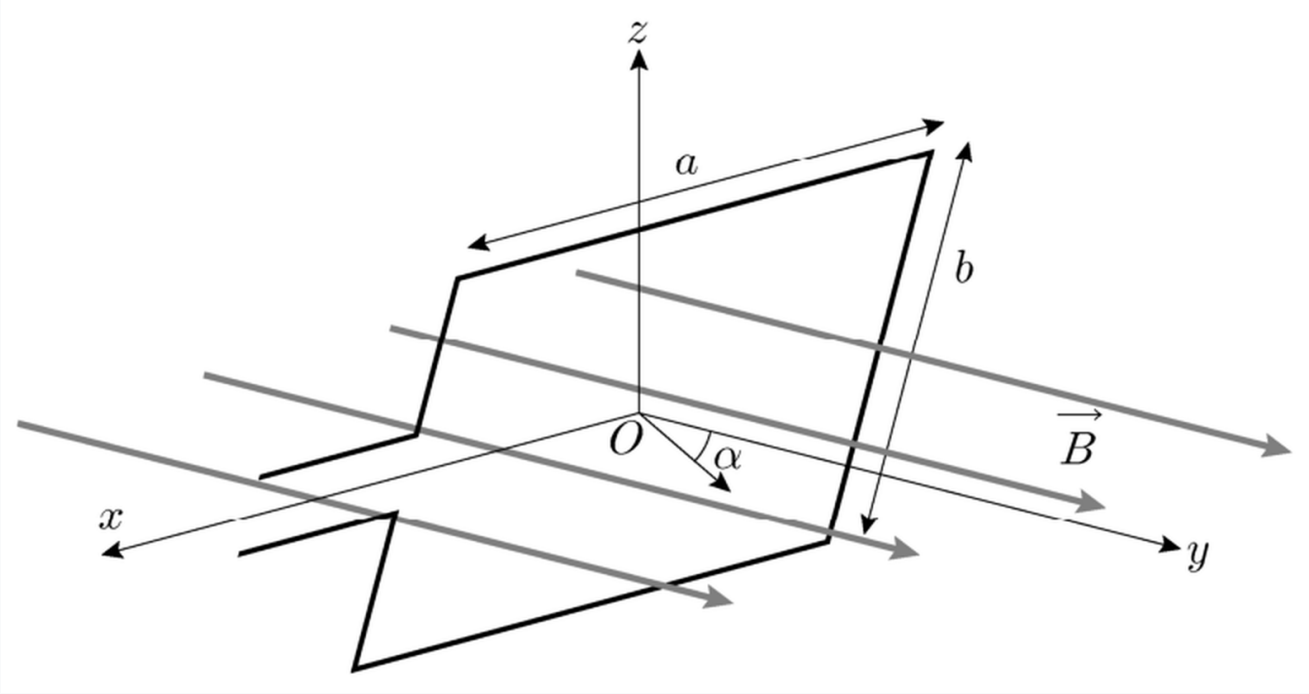
하전입자가 자기장에 수직으로 들어가면 먼저 $qvB = \frac{mv^2}{r}$로 반지름을 구하고, 그다음 닫힌 궤도 면적 πr^2에 B를 곱해 자속을 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

자기장 수직 입자 원운동은 $r = \frac{mv}{qB}$, 궤도 자속은 $\phi = B\pi r^2$이다.

NoteBase

문 8. 자속밀도 $\vec{B} = \sin \omega t \vec{a}_y$ [T]가 인가된 공간에서 넓이 $a \times b$인 직사각형 도체 루프가 x축을 회전축으로 회전한다. 이 도체 루프의 면벡터가 자속밀도와 이루는 각 α[rad]의 각주파수가 ω[rad/s]일 때, 유도되는 기전력의 주파수 f[Hz]는? (단, $t = 0$ [sec]에서 $\alpha = 0$ [rad]이다)



① $\frac{\omega}{4\pi}$

② $\frac{\omega}{3\pi}$

③ $\frac{\omega}{2\pi}$

④ $\frac{\omega}{\pi}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자속밀도 $\sin \omega t$와 같은 각주파수로 회전하는 루프의 면벡터가 함께 만들어 내는 자속의 시간변화를 이용해 유도기전력의 주파수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자속밀도 $\vec{B} = \sin \omega t \vec{a}_y$ 이고, 루프의 면적은 ab이다.
구해야 할 값은 유도기전력의 주파수 f이다.
주의할 조건은 면벡터와 자속밀도의 사이각 α의 각주파수도 ω이고, $t = 0$에서 $\alpha = 0$이므로 $\alpha = \omega t$로 둘 수 있다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

자속은 $\Phi = BS\cos\alpha$, 유도기전력은 $e = -\frac{d\Phi}{dt}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자속밀도와 면벡터의 사이각이 시간에 따라 변하므로 루프를 지나는 자속 Φ를 먼저 구한 뒤 이를 미분해야 유도기전력을 얻을 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 자속은 $\Phi = ab\sin\omega t\cos\alpha$ 이다.
2. $\alpha = \omega t$ 이므로 $\Phi = ab\sin\omega t\cos\omega t$ 이다.
3. 삼각함수 공식 $\sin x\cos x = \frac{1}{2}\sin 2x$를 쓰면 $\Phi = \frac{ab}{2}\sin 2\omega t$ 이다.
4. 따라서 $e = -\frac{d\Phi}{dt} = -ab\omega\cos 2\omega t$ 이다.
5. 유도기전력은 각주파수 2ω의 정현파이므로 주파수는 $f = \frac{2\omega}{2\pi} = \frac{\omega}{\pi}$ 이다.

선지별 해설

① X. 틀린 표현은 주파수가 $\frac{\omega}{4\pi}$라는 부분이다. 자속이 $\sin 2\omega t$ 꼴이므로 유도기전력도 각주파수 2ω를 가지며, 올바르게는 $f = \frac{\omega}{\pi}$이다.
② X. 틀린 표현은 주파수가 $\frac{\omega}{3\pi}$라는 부분이다. 계산 결과 분모에 3π가 나올 근거는 없고, 올바르게는 $f = \frac{\omega}{\pi}$이다.
③ X. 틀린 표현은 주파수가 $\frac{\omega}{2\pi}$라는 부분이다. 이는 자속밀도 $\sin\omega t$의 변화만 보고 루프 회전에 따른 $\cos\omega t$를 반영하지 않은 값이며, 올바르게는 두 효과가 곱해져 2ω가 되므로 $f = \frac{\omega}{\pi}$이다.
④ O. 자속이 $\Phi = \frac{ab}{2}\sin 2\omega t$ 이고 유도기전력은 이를 미분한 $e = -ab\omega\cos 2\omega t$ 이므로 주파수는 $f = \frac{\omega}{\pi}$가 된다.

오답 포인트

자속밀도 자체가 ω로 변하고 면벡터도 ω로 회전하므로 자속이 $\sin\omega t\cos\omega t$ 꼴이 된다는 점이 함정이다. 둘 중 하나만 반영하면 ③처럼 $\frac{\omega}{2\pi}$로 잘못 판단하기 쉽고, 미분해도 주파수는 바뀌지 않는다는 점도 자주 놓친다.

다시 나오면 이렇게 판단

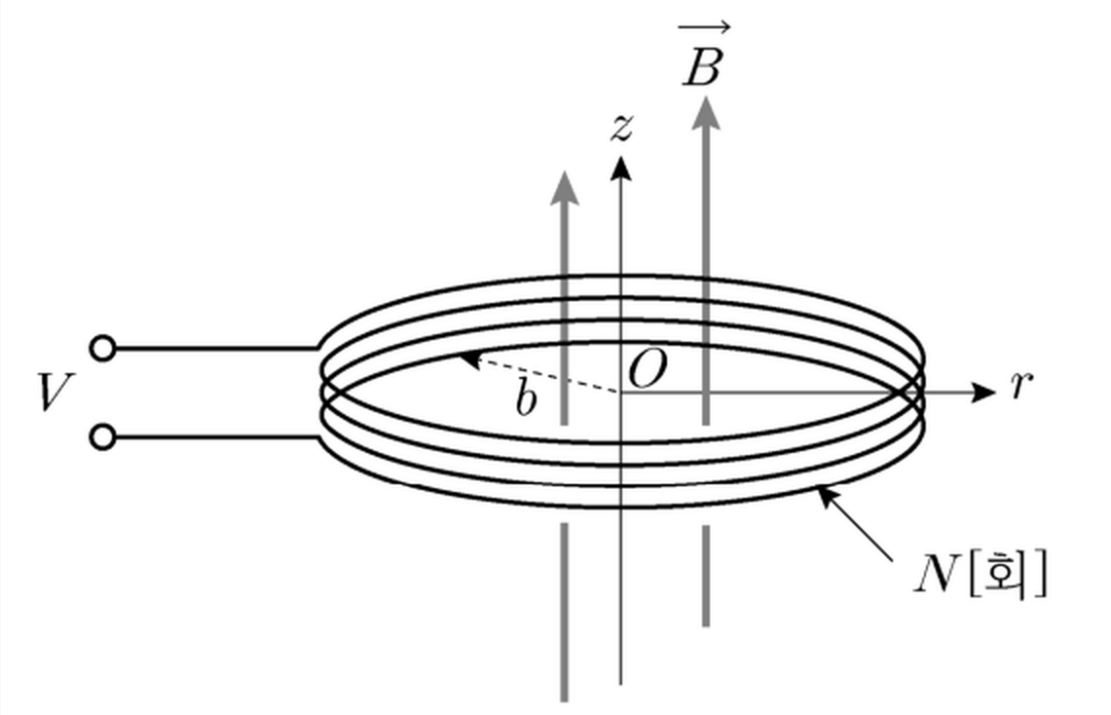
시간에 따라 변하는 자기장과 회전하는 루프가 함께 나오면 먼저 $\Phi = BS\cos\alpha$로 자속을 세우고, $B(t)$와 $\alpha(t)$를 모두 대입한 뒤 삼각함수 정리로 최종 파형의 각주파수를 확인하면 된다.

암기 포인트

$\sin\omega t$와 $\cos\omega t$가 곱해지면 $\frac{1}{2}\sin 2\omega t$가 되어 주파수가 두 배가 된다.

NoteBase

문 9. 권선수 N[회], 반지름 $b[m]$의 원형 도체 루프가 $z=0$ 평면상에 놓여 있고, 이 원형 도체 루프의 중심은 각주파수 $\omega[rad/s]$인 자속밀도 $\vec{B}=B_0\cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right)\sin\omega t\vec{a}_z[T]$의 자기장 원점에 놓여 있다. 이 도체 루프에 유도되는 기전력 $V[V]$는? (단, B_0는 0이 아닌 상수이다.)



① $-4N\omega^2B_0b\left(1-\frac{2}{\pi}\right)\cos\omega t$

② $-4N\omega^2B_0b\left(1-\frac{2}{\pi}\right)\sin\omega t$

③ $-4N\omega B_0b^2\left(1-\frac{2}{\pi}\right)\cos\omega t$

④ $-4N\omega B_0b^2\left(1-\frac{2}{\pi}\right)\sin\omega t$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자속을 면적분한 뒤 패러데이 법칙 $V=-N\frac{d\Phi}{dt}$로 유도기전력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 권선수 N, 반지름 b, 자기장 $\vec{B}=B_0\cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right)\sin\omega t\vec{a}_z$이다.

구해야 할 값: 루프에 유도되는 기전력 V이다.

주의할 조건: 자기장은 r에 따라 달라지므로 πb^2B로 두면 안 되고, 원판 전체에 대해 면적분해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 공식은 $\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$, $V = -N\frac{d\Phi}{dt}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 원형 루프가 시간에 따라 변하는 축방향 자기장을 받으므로 먼저 원판을 지나는 자속을 구하고, 그 시간변화를 패러데이 법칙에 대입해야 하기 때문이다.

계산 과정

원판의 미소면적은 $dS = 2\pi r dr$이다.
따라서 1회 권선의 자속은
$\Phi_1 = \int_0^b B_0 \cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right) \sin \omega t \cdot 2\pi r dr$
이다.
핵심 적분 $\int_0^b r\cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right) dr$는 치환 $u = \frac{\pi r}{2b}$로 푼다. 그러면 $r = \frac{2b}{\pi}u$, $dr = \frac{2b}{\pi}du$이고, 적분 구간은 $r : 0 \to b$일 때 $u : 0 \to \frac{\pi}{2}$이므로
$\int_0^b r\cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right) dr = \left(\frac{2b}{\pi}\right)^2 \int_0^{\pi/2} u\cos u\, du$
이다.
남은 $\int u\cos u\, du$는 부분적분으로 구한다. $f = u,\ dg = \cos u\, du$로 두면 $df = du,\ g = \sin u$이므로
$\int u\cos u\, du = u\sin u - \int \sin u\, du = u\sin u + \cos u$
이고, 구간 0부터 $\frac{\pi}{2}$까지 대입하면
$[u\sin u + \cos u]_0^{\pi/2} = \left(\frac{\pi}{2} \cdot 1 + 0\right) - (0 + 1) = \frac{\pi}{2} - 1$
이다.
따라서
$\int_0^b r\cos\left(\frac{\pi r}{2b}\right) dr = \frac{4b^2}{\pi^2}\left(\frac{\pi}{2} - 1\right) = \frac{2b^2}{\pi}\left(1 - \frac{2}{\pi}\right)$
이므로
$\Phi_1 = 2\pi B_0 \sin \omega t \cdot \frac{2b^2}{\pi}\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) = 4B_0 b^2\left(1 - \frac{2}{\pi}\right)\sin \omega t$
이다.
따라서 전체 자속연계는 $N\Phi_1$이고,
$V = -N\frac{d\Phi_1}{dt} = -4N\omega B_0 b^2\left(1 - \frac{2}{\pi}\right)\cos \omega t$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 식에 ω^2가 들어가 있는데 패러데이 법칙에서는 $\sin \omega t$를 한 번만 미분하므로 ω만 한 번 나온다. 또 b가 아니라 면적분 결과 때문에 b^2가 남아야 한다. 틀린 표현은 `$\omega^2 b$` 부분이고, 올바르게는 `$\omega b^2$`이다.
② X: ①과 같은 차원 오류가 있다. ω^2와 b는 잘못이고, 시간미분 뒤의 함수도 $\cos \omega t$가 되어야 한다. 올바르게는 `$-4N\omega B_0 b^2(1-2/\pi)\cos \omega t$`이다.
③ O: 자속을 면적분하면 `$4B_0 b^2(1-2/\pi)\sin \omega t$`가 되고, 이를 시간미분하면 `$-4N\omega B_0 b^2(1-2/\pi)\cos \omega t$`가 된다. 계산 결과와 정확히 일치한다.
④ X: b^2와 ω까지는 맞지만, 이것은 자속의 시간형을 그대로 둔 형태에 가깝다. 유도기전력은 $\sin \omega t$를 미분한 결과이므로 $\cos \omega t$가 되어야 한다. 틀린 표현은 `$\sin \omega t$` 부분이고, 올바르게는 `$\cos \omega t$`이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 자기장이 반지름 r에 따라 달라지는데도 $B \times \pi b^2$로 단순화하면 $1-2/\pi$ 계수를 놓치게 된다. 둘째, 자속과 유도기전력을 구분하지 않으면 $\sin \omega t$를 그대로 두거나 ω의 개수를 잘못 세기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

축방향 자기장과 평면 루프가 주어지면 먼저 dS를 써서 자속을 면적분하고, 마지막에만 $V=-N\frac{d\Phi}{dt}$를 적용하는 순서로 판단하면 된다. 공간함수 r와 시간함수 t를 분리해서 처리하면 오차가 줄어든다.

암기 포인트

비균일 자기장은 면적분 후 시간미분이고, 자속은 sin, 기전력은 cos 형태로 한 번 이동한다.

NoteBase

문 10. 무손실 비자성의 어떤 유전체 매질에서 전파하는 균일 평면파의 전기장이 $\vec{E}(z,t)=5\cos(6\times10^7t-0.4z)\vec{a}_x[V/m]$일 때, 이 평면파의 주파수 f[Hz]와 이 매질의 비유전율 ε_r을 바르게 연결한 것은? (단, 자유공간에서 광속은 $3\times10^8[m/s]$이다)

① f: $\frac{6\times10^7}{\pi}$, ε_r: 2
② f: $\frac{6\times10^7}{\pi}$, ε_r: 4
③ f: $\frac{3\times10^7}{\pi}$, ε_r: 2
④ f: $\frac{3\times10^7}{\pi}$, ε_r: 4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 균일 평면파 식 $E(z,t)=E_0\cos(\omega t-\beta z)$에서 각주파수 ω와 위상정수 β를 읽어 주파수와 비유전율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\omega=6\times10^7\text{rad/s}$, $\beta=0.4\text{rad/m}$, 자유공간 광속 $c=3\times10^8\text{m/s}$이다.
구해야 할 값은 주파수 f와 비유전율 ε_r이다.
문제의 매질은 무손실 비자성이므로 $\mu_r=1$이고 파속은 $v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$를 따른다.

사용할 공식

주파수는 $f=\frac{\omega}{2\pi}$이다.
위상속도는 $v=\frac{\omega}{\beta}$이다.
비유전율은 $v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\Rightarrow\varepsilon_r=(\frac{c}{v})^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 전기장 식이 진행파의 표준형이라서 ω와 β를 직접 읽을 수 있고, 무손실 비자성 유전체에서는 파속과 비유전율이 바로 연결되기 때문이다.

계산 과정

1. 주파수는 $f=\frac{6\times10^7}{2\pi}=\frac{3\times10^7}{\pi}\text{Hz}$이다.
2. 위상속도는 $v=\frac{\omega}{\beta}=\frac{6\times10^7}{0.4}=1.5\times10^8\text{m/s}$이다.
3. 비유전율은 $\varepsilon_r=\left(\frac{3\times10^8}{1.5\times10^8}\right)^2=2^2=4$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 주파수를 $\frac{\omega}{\pi}$처럼 계산해 $\frac{6\times10^7}{\pi}$로 본 점이 틀렸고, 비유전율도 2로 본 점이 틀렸다. 올바르게는 $f=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{3\times10^7}{\pi}$Hz, $\varepsilon_r=4$이다.
② X: 비유전율 4는 맞지만 주파수를 $\frac{6\times10^7}{\pi}$로 둔 점이 틀렸다. 올바르게는 각주파수를 주파수로 바꿀 때 반드시 2π로 나누어 $f=\frac{3\times10^7}{\pi}$Hz가 된다.
③ X: 주파수 $\frac{3\times10^7}{\pi}$Hz는 맞지만 비유전율을 2로 본 점이 틀렸다. 올바르게는 $v=1.5\times10^8$m/s이므로 $\varepsilon_r=(c/v)^2=4$이다.
④ O: $f=\frac{6\times10^7}{2\pi}=\frac{3\times10^7}{\pi}$Hz, $\varepsilon_r=\left(\frac{3\times10^8}{1.5\times10^8}\right)^2=4$이므로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 ω를 그대로 주파수로 착각하는 점과, ε_r를 c/v로만 보고 제곱을 빠뜨리는 점이다. 이 문항에서는 ②가 첫 번째 함정, ③이 두 번째 함정을 노린 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

진행파 식이 보이면 먼저 ω와 β를 읽고, $f=\omega/(2\pi)$, $v=\omega/\beta$, $\varepsilon_r=(c/v)^2$ 순서로 연결하면 된다. 무손실 비자성 유전체라는 조건이 보이면 $\mu_r=1$을 즉시 적용하는 구조이다.

암기 포인트

평면파 식 $\cos(\omega t-\beta z)$에서는 $f=\omega/(2\pi)$, 비자성 유전체에서는 $\varepsilon_r=(c/v)^2$이다.

NoteBase

문 11. 인덕턴스가 0.5[mH]인 솔레노이드에 200[mA]의 전류를 인가할 경우, 축적된 자기에너지[J]는?

① 10×10^{-12}

② 10×10^{-6}

③ 10×10^{-3}

④ 10

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 인덕터에 축적되는 자기에너지 공식 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 이용해 에너지 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 인덕턴스 $L = 0.5[mH]$, 전류 $I = 200[mA]$이다.
구해야 할 값은 축적된 자기에너지 W이다.
주의할 조건은 $mH \rightarrow H$, $mA \rightarrow A$ 단위 변환을 먼저 해야 한다는 점이다.

사용할 공식

$W = \frac{1}{2}LI^2$
이 공식은 인덕터에 전류가 흐를 때 자기장 형태로 저장되는 에너지를 구하는 공식이므로 이 문제 조건에 그대로 해당한다.

계산 과정

1. 인덕턴스를 SI 단위로 바꾸면 $0.5[mH] = 0.5 \times 10^{-3}[H] = 5 \times 10^{-4}[H]$이다.
2. 전류를 SI 단위로 바꾸면 $200[mA] = 200 \times 10^{-3}[A] = 2 \times 10^{-1}[A]$이다.
3. 공식에 대입하면 $W = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-4} \times (2 \times 10^{-1})^2$이다.
4. $(2 \times 10^{-1})^2 = 4 \times 10^{-2}$이므로 $W = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-2} = 10 \times 10^{-6}[J]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- 계산 결과는 $10 \times 10^{-6}[J]$이므로 10×10^{-12}는 지나치게 작다.
- 틀린 표현은 값의 자릿수이다. 올바르게는 10×10^{-6}이다.
- 이 오답은 $200[mA]$를 $2 \times 10^{-4}[A]$처럼 잘못 바꾸는 실수에서 나오는 값이다.

② O
- 계산 결과가 $10 \times 10^{-6}[J]$이므로 일치한다.

③ X
- 계산 결과는 $10 \times 10^{-6}[J]$이므로 10×10^{-3}는 1000배 크다.
- 틀린 표현은 인덕턴스 단위 처리이다. 올바르게는 $0.5[mH] = 5 \times 10^{-4}[H]$로 바꾸어 계산해야 한다.
- 이 오답은 $0.5[mH]$를 $0.5[H]$로 놓고 계산할 때 나온다.

④ X
- 계산 결과는 $10 \times 10^{-6}[J]$이므로 10은 매우 큰 값이다.
- 틀린 표현은 전류 단위 처리이다. 올바르게는 $200[mA] = 0.2[A]$이다.
- 이 오답은 전류를 $200[A]$로 두고 계산할 때 나온다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 공식 자체보다 단위 변환에 있다. 특히 mH를 H로, mA를 A로 바꾸지 않으면 ③이나 ④ 같은 큰 오답이 나오고, 전류를 지나치게 작게 바꾸면 ① 같은 작은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 문제는 주어진 물리량을 모두 SI 단위로 먼저 통일한 뒤 $W = \frac{1}{2}LI^2$에 대입하고, 마지막에 지수와 자릿수를 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

인덕터 자기에너지는 $\frac{1}{2}LI^2$이고, milli는 10^{-3}이다.

NoteBase

문 12. 자기회로 구성을 위해 철심을 사용하고자 할 때, 막대 철심의 단면적이 $200[cm^2]$이고, 길이가 $0.5[m]$, 비투자율 $\mu_r = 500$이다. 이때, 철심의 자기저항 $R_m[A \cdot t/Wb]$은? (단, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)

① $\frac{10^6}{4\pi}$
② $\frac{10^6}{8\pi}$
③ $\frac{10^4}{4\pi}$
④ $\frac{10^4}{8\pi}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자기저항의 정의식 $R_m = \frac{l}{\mu A}$를 이용해 철심의 자기저항을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 길이 $l = 0.5m$, 단면적 $A = 200cm^2 = 0.02m^2$, 비투자율 $\mu_r = 500$, 자유공간 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$이다.
구해야 할 값: 철심의 자기저항 R_m이다.
주의할 조건: cm^2를 m^2로 바꾸는 단위 환산이 핵심이다.

사용할 공식

자기저항은 $R_m = \frac{l}{\mu A} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 막대 철심의 길이, 단면적, 투자율이 모두 주어졌으므로 자기회로의 자기저항 정의식을 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 단면적을 환산하면 $200cm^2 = 200 \times 10^{-4} = 0.02m^2$이다.
2. 철심의 투자율은 $\mu = \mu_0 \mu_r = (4\pi \times 10^{-7}) \times 500 = 2\pi \times 10^{-4}$이다.
3. 따라서 $R_m = \frac{0.5}{(2\pi \times 10^{-4}) \times 0.02} = \frac{0.5}{4\pi \times 10^{-6}} = \frac{10^6}{8\pi}$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 계산 결과는 $\frac{10^6}{8\pi}$이므로 $\frac{10^6}{4\pi}$는 틀린 값이다. 올바르게는 $\frac{10^6}{8\pi}$이다. 이 값은 길이를 크게 잡거나 단면적을 작게 잡은 경우처럼 분모를 절반으로 잘못 계산할 때 나오는 오답값이다.
② O. $R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$에 값을 대입하면 $\frac{10^6}{8\pi}$가 되므로 옳다.
③ X. $\frac{10^4}{4\pi}$는 정답보다 50배 작은 값이므로 틀리다. 올바르게는 $\frac{10^6}{8\pi}$이다. 이 값은 $200cm^2$를 $2m^2$처럼 잘못 환산하고 다른 항도 함께 잘못 대입할 때 생기는 전형적인 오답값이다.
④ X. $\frac{10^4}{8\pi}$도 정답보다 100배 작은 값이므로 틀리다. 올바르게는 $\frac{10^6}{8\pi}$이다. 이 값은 $200cm^2$를 $0.02m^2$가 아니라 $2m^2$로 잘못 바꾼 경우에 해당한다.

오답 포인트

가장 큰 함정은 $200cm^2$를 $0.02m^2$로 바꾸지 못하는 것이다. 자기저항은 A가 분모에 있으므로 단면적을 100배 크게 잘못 바꾸면 정답도 100배 작아진다. 또한 $\mu = \mu_0 \mu_r$에서 비투자율 μ_r를 빠뜨리면 전혀 다른 값이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기저항 계산형 문제는 주어진 길이와 단면적의 단위를 먼저 SI 단위로 통일한 뒤, $R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$에 대입해 분모와 지수 자리를 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

자기저항은 $R_m = \frac{l}{\mu A}$이며, 길이에 비례하고 단면적과 투자율에 반비례한다.

NoteBase

문 13. 균일 평면파가 공기 중에서 비유전율 $\varepsilon_r = 9$인 무손실 비자성 매질에 수직으로 입사하고 있을 때, 반사계수 R과 투과계수 T를 바르게 연결한 것은? (단, 공기의 유전율은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다)

① 반사계수 R: -0.5, 투과계수 T: 0.5

② 반사계수 R: -0.4, 투과계수 T: 0.6

③ 반사계수 R: 0.4, 투과계수 T: 0.6

④ 반사계수 R: 0.5, 투과계수 T: 0.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 공기와 유전체 경계면에 수직 입사하는 평면파의 반사계수와 투과계수를 파동 임피던스로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 공기 중 입사, 무손실 비자성 매질, 상대유전율 $\varepsilon_r = 9$이다. 구해야 할 값은 반사계수 R와 투과계수 T이다. 비자성 매질이므로 $\mu_r = 1$이고, 수직 입사이므로 파동 임피던도만으로 바로 계산된다.

사용할 공식

수직 입사에서 전계 기준 반사계수와 투과계수는 $R = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$, $T = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} = 1 + R$ 이다. 비자성 매질의 고유 임피던스는 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon} = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}}$ 이다. 이 문제는 공기에서 유전율이 더 큰 무손실 비자성 매질로 수직 입사하므로 이 공식을 그대로 적용한다.

계산 과정

1. 공기의 고유 임피던스는 $\eta_1 = 120\pi$이다.
2. 매질 2의 고유 임피던스는 $\eta_2 = \frac{120\pi}{\sqrt{9}} = 40\pi$이다.
3. 반사계수는 $R = \frac{40\pi - 120\pi}{40\pi + 120\pi} = \frac{-80\pi}{160\pi} = -0.5$ 이다.
4. 투과계수는 $T = 1 + R = 1 - 0.5 = 0.5$ 이고, 같은 값으로 $\frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2}$를 써도 0.5가 된다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과가 $R = -0.5$, $T = 0.5$이므로 옳다.
② X: 틀린 표현은 투과계수를 0.6으로 둔 점이다. 올바르게는 $T = 0.5$이다. 0.6은 분자에 $2\eta_1$ 같은 잘못된 값을 넣거나 $1 - R$처럼 부호를 잘못 다룰 때 나올 수 있다.
③ X: 틀린 표현은 반사계수를 $+0.4$로 둔 점과 투과계수를 0.6으로 둔 점이다. 올바르게는 $R = -0.5$, $T = 0.5$이다. 유전율이 큰 매질로 들어가면 $\eta_2 < \eta_1$이므로 반사계수는 음수가 된다.
④ X: 틀린 표현은 반사계수를 $+0.5$로 둔 점이다. 올바르게는 $R = -0.5$이다. 크기만 보고 부호를 빠뜨리면 이 값이 된다. 투과계수 0.5는 맞지만 반사계수의 부호가 틀려서 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 반사계수의 크기만 계산하고 부호를 놓치는 점이다. 공기에서 더 큰 유전율의 매질로 들어가면 $\eta_2 < \eta_1$이므로 전계 반사계수는 반드시 음수가 된다. 투과계수도 전력비가 아니라 전계비라는 점을 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

수직 입사 문제는 먼저 두 매질의 고유 임피던스 크기를 비교한다. 그다음 $R = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$로 부호를 확인하고, 마지막에 $T = 1 + R$로 검산하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

유전율이 커지면 임피던스는 작아지고, 공기에서 그 매질로 들어갈 때 전계 반사계수는 음수가 된다.

NoteBase

문 14. 자유공간에서 전위가 $V=\frac{2}{x}+3xy^2[V]$일 때, 점 $P(\frac{1}{2},\ -1,\ 0)$에서 체적 전하밀도 $\rho_v[\mathrm{C/m^3}]$는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)

① $-35\varepsilon_0$

② $-32\varepsilon_0$

③ $-30\varepsilon_0$

④ $-26\varepsilon_0$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 포아송 방정식 $\rho_v=-\varepsilon_0 abla^2 V$를 이용해 전위로부터 체적 전하밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전위는 $V=\frac{2}{x}+3xy^2$이다.
구해야 할 값은 점 $P(\frac{1}{2},\ -1,\ 0)$에서의 체적 전하밀도 ρ_v이다.
자유공간에서는 $abla^2 V=-\rho_v/\varepsilon_0$이므로 $\rho_v=-\varepsilon_0 abla^2 V$를 적용한다.

사용할 공식

$\rho_v=-\varepsilon_0 abla^2 V=-\varepsilon_0\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right)$
전위가 주어졌고 체적 전하밀도를 묻고 있으므로 전위의 라플라시안을 구하는 포아송 방정식을 쓰는 상황이다.

계산 과정

1. x에 대해 두 번 미분하면 $\frac{\partial V}{\partial x}=-\frac{2}{x^2}+3y^2, \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}=\frac{4}{x^3}$이다.
2. y에 대해 두 번 미분하면 $\frac{\partial V}{\partial y}=6xy, \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}=6x$이다. z항은 없으므로 $\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}=0$이다.
3. 점 $P(\frac{1}{2},\ -1,\ 0)$에서 $abla^2 V=\frac{4}{(1/2)^3}+6\cdot\frac{1}{2}=32+3=35$이다. 따라서 $\rho_v=-\varepsilon_0\cdot 35=-35\varepsilon_0$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과 $abla^2 V = 35$이므로 $\rho_v = -35\varepsilon_0$이다.

② X
- $-32\varepsilon_0$는 $\frac{\partial^2(3xy^2)}{\partial y^2} = 6x = 3$ 항을 빠뜨리고 x방향 이계미분 값 32만 사용한 오답이다.
- 틀린 표현은 '라플라시안이 32이다'이고, 올바르게는 '라플라시안은 32 + 3 = 35이다'이다.

③ X
- $-30\varepsilon_0$는 계산 결과와 일치하지 않는다. x방향 이계미분은 32, y방향 이계미분은 3이므로 합은 반드시 35가 된다.
- 틀린 표현은 '라플라시안이 30이다'이고, 올바르게는 '라플라시안은 35이므로 체적 전하밀도는 $-35\varepsilon_0$ 이다'이다.

④ X
- $-26\varepsilon_0$는 $3xy^2$를 y로 두 번 미분할 때 $6x$ 대신 $6y$로 잘못 미분하여 점 P에서 -6을 넣은 경우의 오답이다.
- 틀린 표현은 '$\frac{\partial^2(3xy^2)}{\partial y^2} = 6y$'이고, 올바르게는 '$\frac{\partial^2(3xy^2)}{\partial y^2} = 6x$'이다.

오답 포인트

전위에서 바로 체적 전하밀도를 구할 때 $\rho_v = -\varepsilon_0 abla^2 V$의 음수를 빠뜨리기 쉽고, $3xy^2$를 y로 두 번 미분하면 $6x$가 된다는 점에서 변수를 잘못 남기기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위가 주어지고 전하밀도를 물으면 먼저 라플라시안 $abla^2 V$를 만들고, 각 항의 이계미분을 따로 계산한 뒤 마지막에 $\rho_v = -\varepsilon_0 abla^2 V$의 부호까지 붙여 판단한다.

암기 포인트

전위에서 체적 전하밀도는 $\rho_v = -\varepsilon_0 abla^2 V$이고, $3xy^2$의 y방향 이계미분은 $6x$이다.

NoteBase

문 15. 균일한 전기장 $\vec{E} = \vec{a}_x + 3\vec{a}_y + 2\vec{a}_z[V/m]$와 균일한 자속밀도 $\vec{B} = \vec{a}_x - 2\vec{a}_y + 2\vec{a}_z[T]$가 존재하는 공간에서 전하량 $2[C]$의 전하가 운동하고 있다. 전하의 속도가 $\vec{v} = 2\vec{a}_x - \vec{a}_y + \vec{a}_z[m/s]$일 때, 전하에 작용하는 전자기력 $\vec{F}$[N]는?

① $-3\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$

② $2\vec{a}_x - 2\vec{a}_z$

③ $2\vec{a}_x + 6\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$

④ $12\vec{a}_x + 36\vec{a}_y + 24\vec{a}_z$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 로런츠 힘 $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$를 이용해 전하에 작용하는 전체 전자기력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전기장 $\mathbf{E} = \mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z[V/m]$, 자속밀도 $\mathbf{B} = \mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z[T]$, 전하량 $q = 2[C]$, 속도 $\mathbf{v} = 2\mathbf{a}_x - \mathbf{a}_y + \mathbf{a}_z[m/s]$이다. 구해야 할 값: 전체 힘 $\mathbf{F}$이다. 주의할 조건: 자기력은 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$의 벡터곱으로 구하고, 마지막에 전하량 q를 곱해야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 이동하는 전하가 전기장과 자기장 안에 동시에 있으므로 전기력 $q\mathbf{E}$와 자기력 $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$를 벡터로 합해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 벡터곱을 계산하면 $\mathbf{v} \times \mathbf{B} = |\mathbf{a}_x, \mathbf{a}_y, \mathbf{a}_z; 2, -1, 1; 1, -2, 2| = 0\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y - 3\mathbf{a}_z$이다.
2. 전기장과 자기장에 의한 항을 더하면 $\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B} = (\mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z) + (0\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y - 3\mathbf{a}_z) = \mathbf{a}_x - \mathbf{a}_z$이다.
3. 전하량을 곱하면 $\mathbf{F} = 2(\mathbf{a}_x - \mathbf{a}_z) = 2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z[N]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $-3\mathbf{a}_y - 3\mathbf{a}_z$는 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$만 계산한 값으로, 전기장 항 $\mathbf{E}$와 전하량 $q = 2$를 반영하지 못했다. 올바르게는 $\mathbf{F} = 2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z$이다.
② O: $\mathbf{v} \times \mathbf{B} = -3\mathbf{a}_y - 3\mathbf{a}_z$이므로 $\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B} = \mathbf{a}_x - \mathbf{a}_z$가 되고, 여기에 $q = 2$를 곱하면 $2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z$가 된다.
③ X: $2\mathbf{a}_x + 6\mathbf{a}_y + 4\mathbf{a}_z$는 전기력 $q\mathbf{E}$만 구한 값으로 자기력 $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$를 누락했다. 올바르게는 $\mathbf{F} = 2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z$이다.
④ X: 자기력은 내적이 아니라 벡터곱으로 구해야 하므로 $\mathbf{v} \cdot \mathbf{B}$ 같은 스칼라를 사용해 만든 값은 전체 힘이 될 수 없다. 올바르게는 $\mathbf{F} = 2\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_z$이다.

오답 포인트

전기장과 자기장이 함께 주어지면 $q\mathbf{E}$만 보거나 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$만 보는 실수가 자주 나온다. 또 자기력은 반드시 벡터곱인데 이를 내적이나 성분별 곱으로 처리하면 ④ 같은 엉뚱한 벡터가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전자기력 문제는 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$를 먼저 계산한 뒤 $\mathbf{E}$를 더하고, 마지막에 전하량 q를 곱하는 순서로 판단한다. 성분 계산 후에는 각 축의 부호까지 다시 확인하면 된다.

암기 포인트

로런츠 힘은 $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$이며, 자기력은 내적이 아니라 벡터곱이라는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 16. 균일한 선형 비자성 등방성 매질에서 전파하는 균일 평면파에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 전기장과 자기장의 위상은 항상 같다.

② 전기장과 자기장은 항상 서로 수직이다.

③ 전기장과 자기장은 항상 진행 방향과 수직한 방향이다.

④ 전기장의 크기와 자기장의 크기의 비는 모든 지점에서 항상 일정하다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 균일 평면파에서 전기장, 자기장, 진행 방향의 관계와 파동임피던스의 의미를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

균일 평면파는 전기장과 자기장이 진행 방향에 모두 수직인 횡파이다. 등방성 균일 매질에서는 $|E|/|H|$가 파동임피던스의 크기로 일정하지만, 손실 매질에서는 파동임피던스가 복소수가 될 수 있어 전기장과 자기장의 위상이 반드시 같지는 않다.

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 \"항상\"이다. 손실이 없는 매질에서는 전기장과 자기장이 동상이지만, 도전율이 있는 손실 매질에서는 파동임피던스가 복소수가 되어 위상차가 생길 수 있다. 올바르게는 \"전기장과 자기장의 위상은 손실이 없는 매질에서는 같고, 손실 매질에서는 달라질 수 있다\"이다.
② O: 균일 평면파에서는 전기장 E와 자기장 H가 서로 직교한다. 두 벡터의 외적 방향이 진행 방향이 된다.
③ O: 균일 평면파는 TEM 성질을 가지므로 전기장과 자기장은 모두 진행 방향에 수직이다. 즉 E, H, 진행 방향은 서로 직교하는 관계이다.
④ O: 같은 균일 매질을 전파하는 균일 평면파에서는 $|E|/|H| = |\eta|$가 되어 모든 지점에서 일정하다. 이는 위치에 따라 파동임피던스가 바뀌지 않기 때문이다.

오답 포인트

전기장과 자기장이 서로 수직이라는 사실과 위상까지 항상 같다는 사실을 같은 것으로 섞으면 틀린다. 수직 관계는 유지되지만 위상 관계는 매질의 손실 유무에 따라 달라진다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 문제에서는 먼저 진행 방향과 전기장, 자기장이 서로 직교하는지를 확인하고, 그다음 \"항상 동상\" 같은 표현이 나오면 손실 매질까지 포함하는지 따져 본다. 위상은 파동임피던스가 실수일 때만 같다고 판단하면 된다.

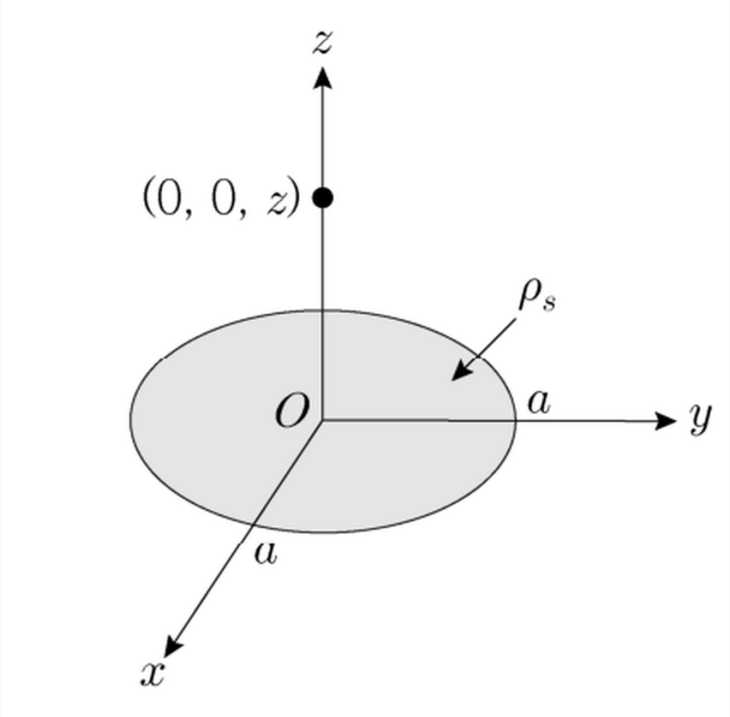
NoteBase

암기 포인트

평면파는 $E \perp H \perp$ 진행 방향, 크기비는 일정, 위상은 손실이 없을 때만 동상이다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 자유공간에서 $z=0$ 평면에 있는 균일한 표면전하밀도 $\rho_s[C/m^2]$를 가지는 반지름이 $a[m]$인 원판에 의해 발생하는 z축 위의 임의의 지점에서의 전위 $V[V]$는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)



① $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left[\sqrt{a^2+z^2}+|z|\right]$
② $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left[\sqrt{a^2+z^2}-|z|\right]$
③ $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left[-\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}}+1\right]$
④ $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left[-\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}}-1\right]$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 균일한 원판 전하가 만드는 축상 전위를 dq/R 적분으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $z=0$ 평면의 반지름 a인 원판, 표면전하밀도 ρ_s, 관측점 $(0,0,z)$이다.
구해야 할 값은 z축 위 임의의 지점에서의 전위 $V(z)$이다.
주의할 조건은 전위는 스칼라이므로 z의 부호에 직접 따라가지 않고, 임의의 지점을 다루려면 $|z|$가 들어가야 한다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

미소 고리전하 $dq = \rho_s 2\pi r dr$를 쓰면
$dV = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{\sqrt{r^2+z^2}}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 원판을 반지름 r의 동심원 고리들로 나누면 각 고리에서 관측점까지의 거리가 $\sqrt{r^2+z^2}$로 같아져 전위를 바로 적분할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 원판을 고리로 분해하면
$V(z) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^a \frac{\rho_s 2\pi r dr}{\sqrt{r^2+z^2}} = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\int_0^a \frac{r dr}{\sqrt{r^2+z^2}}$
이다.
2. 적분하면
$\int \frac{r dr}{\sqrt{r^2+z^2}} = \sqrt{r^2+z^2}$
이므로
$V(z) = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}[\sqrt{r^2+z^2}]_0^a = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{a^2+z^2} - \sqrt{z^2}\right)$
이다.
3.
$\sqrt{z^2} = |z|$
이므로 최종식은
$V(z) = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{a^2+z^2} - |z|\right)$
이다.

선지별 해설

① X. $\sqrt{a^2+z^2} + |z|$는 부호가 반대이다. 이렇게 두면 $|z| \to \infty$에서 전위가 0으로 가지지 않고 커지므로 축상 전위식이 아니다. 틀린 표현은 $+|z|$이고, 올바르게는 $-|z|$이다.
② O. 적분 결과가 정확히 $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{a^2+z^2} - |z|\right)$이므로 옳다. 임의의 z축 점을 다루기 위해 $|z|$가 들어간 점도 맞다.
③ X. 이 식은 $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(1 - \frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}}\right)$ 형태로, 전위가 아니라 축상 전계 E_z에 해당하는 형태이다. 틀린 표현은 물리량을 전위로 본 점이고, 올바르게는 전위는 $\sqrt{a^2+z^2} - |z|$ 꼴이다.
④ X. 이 식도 전위식이 아니라 전계 형태이며, 전위처럼 써 놓은 것이 틀렸다. 특히 양의 표면전하가 만드는 전위를 $V(\infty) = 0$ 기준으로 잡으면 전위는 음수가 되지 않는데 이 식은 그런 성질도 맞지 않는다. 올바르게는 $\frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{a^2+z^2} - |z|\right)$이다.

오답 포인트

전위와 전계를 혼동하면 ③, ④ 같은 식을 고르게 된다. 또 z축 위의 임의의 지점이라는 문구를 놓치면 $|z|$ 대신 z를 써서 부호를 틀리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

축상 전위 문제는 먼저 원판을 고리전하로 분해해 dq/R 적분을 세운다. 계산 끝에 $\sqrt{z^2}$가 나오면 임의의 위치 조건 때문에 반드시 $|z|$로 바꾼다. 보기 중 $1-z/\sqrt{a^2+z^2}$ 꼴은 전계 후보로 보고 전위와 구분한다.

암기 포인트

원판 축상 전위는 $\sqrt{a^2+z^2}-|z|$ 꼴이고, 원판 축상 전계는 $1-z/\sqrt{a^2+z^2}$ 꼴이다.

NoteBase

문 18. 무손실 비자성 매질에서 전파하는 균일 평면파의 전기장이 $\vec{E}(x,t) = 20\cos(\omega t - kx)\vec{a}_y + 20\sin(\omega t - kx)\vec{a}_z[V/m]$일 때, 이 균일 평면파의 전파 방향과 편파 종류를 바르게 연결한 것은? (단, ω는 각주파수[rad/s], k는 파수[rad/m]이고, 이 균일 평면파는 이 문제지의 지면을 뚫고 나오는 방향으로 전파한다)

① 전파 방향: $-x$, 편파 종류: 오른손 원형

② 전파 방향: $-x$, 편파 종류: 왼손 원형

③ 전파 방향: $+x$, 편파 종류: 오른손 원형

④ 전파 방향: $+x$, 편파 종류: 왼손 원형

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 $\omega t - kx$ 꼴에서 전파 방향을 판별하고, 직교 두 성분의 위상차로 원형 편파의 손잡이를 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전기장은 $\vec{E}(x,t) = 20\cos(\omega t - kx)\vec{a}_y + 20\sin(\omega t - kx)\vec{a}_z$이다.
두 성분의 크기는 모두 20V/m이므로 편파 궤적은 원이다.
위상 인자가 $\omega t - kx$이므로 파는 $+x$ 방향으로 진행한다.

사용할 공식

진행파가 $f(\omega t - kx)$ 꼴이면 $+x$ 방향, $f(\omega t + kx)$ 꼴이면 $-x$ 방향으로 전파한다.
또한 직교 성분의 크기가 같고 위상차가 90°이면 원형 편파가 된다.
이 문제에서는 $E_z = 20\sin(\omega t - kx) = 20\cos(\omega t - kx - \pi/2)$이므로 E_z는 E_y보다 90° 늦다.

계산 과정

1. 위상 $\omega t - kx$를 일정하게 두면 x=(ω/k)t-상수이므로 시간이 지날수록 x가 증가한다. 따라서 전파 방향은 $+x$이다.
2. 고정된 점에서 $t = 0$이면 $\vec{E} = 20\vec{a}_y$이다.
3. 시간이 조금 지나면 $\sin(\omega t - kx)$가 양수가 되어 전기장은 $+y$축에서 $+z$축 쪽으로 회전한다.
4. 오른손 엄지를 $+x$ 방향으로 두었을 때 손가락이 $+y \rightarrow +z$로 감기므로 오른손 원형 편파이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 전파 방향이 틀리다. 위상 인자가 $\omega t - kx$이므로 파는 $-x$가 아니라 $+x$ 방향으로 진행한다. 틀린 표현은 "−x"이고, 올바르게는 "+x"이다.
② X: 전파 방향과 편파 종류가 모두 틀리다. 전파 방향은 $-x$가 아니라 $+x$이고, 편파도 원손 원형이 아니라 오른손 원형이다. 틀린 표현은 "−x, 왼손 원형"이고, 올바르게는 "+x, 오른손 원형"이다.
③ O: $\omega t - kx$이므로 $+x$ 진행파이고, 전계가 $+y \rightarrow +z$로 회전하므로 오른손 원형 편파이다.
④ X: 전파 방향은 $+x$로 맞지만 편파 종류가 틀리다. 이 전계는 왼손 원형이 아니라 오른손 원형이다. 틀린 표현은 "왼손 원형"이고, 올바르게는 "오른손 원형"이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $\omega t - kx$의 부호를 거꾸로 읽어 전파 방향을 $-x$로 판단하는 실수와, 회전 방향을 볼 때 진행축 기준이 아니라 관찰자 시점만으로 손잡이를 뒤집는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

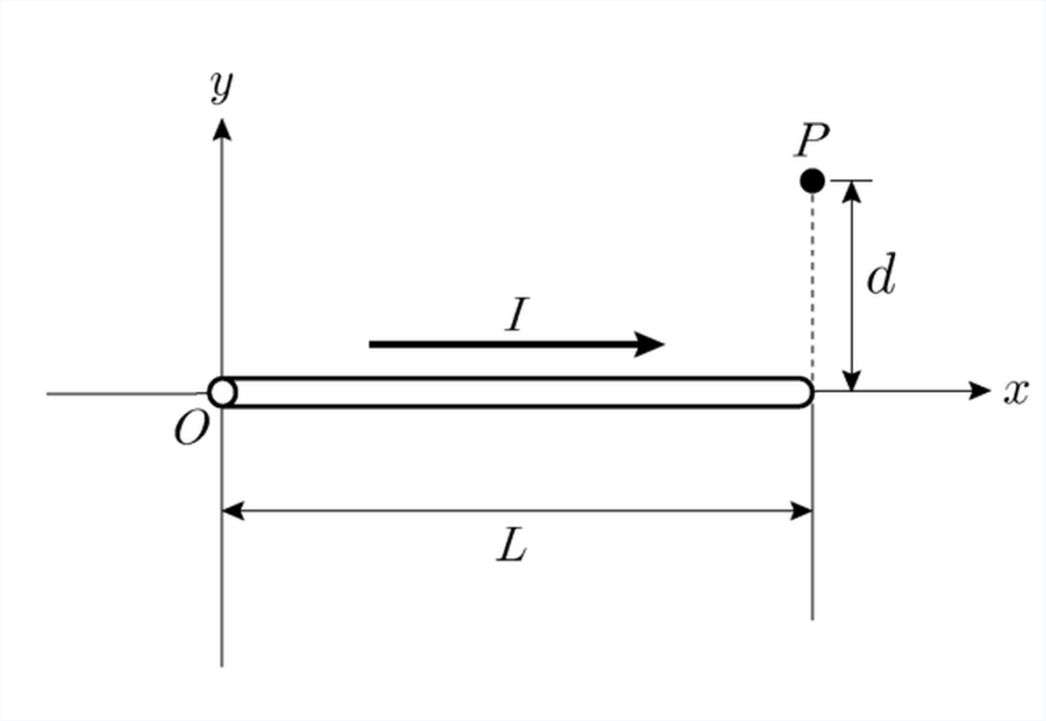
평면파 문제는 먼저 위상 인자의 kx 부호로 전파 방향을 정하고, 다음에 두 직교 성분의 크기와 위상차를 본 뒤, 마지막으로 진행축을 엄지 방향으로 두는 오른손 규칙으로 편파 손잡이를 판별한다.

암기 포인트

$\omega t - kx$는 $+x$ 진행파이고, 같은 크기의 직교 성분이 90° 차이면 원형 편파이다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 자유공간에서 길이가 $L[m]$인 직선 도선이 x축 위에 놓여 있다. 도선의 한 끝은 원점에, 다른 한 끝은 $x = L$인 지점에 있다. 이 도선에 정상전류 $I[A]$가 흐르고 있을 때, 도선의 끝에서 $d[m]$만큼 떨어진 점 P에서 자속밀도의 크기 $|\vec{B}|[T]$는? (단, μ_0는 자유공간의 투자율이다)



① $\frac{\mu_0 I}{2\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$
② $\frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$
③ $\frac{\mu_0 I}{2\pi d}\frac{\sqrt{L^2+d^2}}{L}$
④ $\frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{\sqrt{L^2+d^2}}{L}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 유한 길이 직선 도선에 대한 비오-사바르 법칙을 적분하여 점 P에서의 자속밀도 크기 $|\vec{B}|$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 도선은 $x = 0$부터 $x = L$까지 놓여 있고 전류 I는 $+x$ 방향으로 흐른다. 점 P는 도선의 오른쪽 끝 ($x = L$)에서 수직으로 d만큼 떨어져 있다.
구해야 할 값: 점 P에서의 자속밀도 크기 $|\vec{B}|$이다.
주의할 조건: 무한 직선 도선 공식 $\mu_0 I/(2\pi d)$를 그대로 쓰면 안 되고, 유한 길이 도선에 대해 끝점 기준으로 적분해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 비오-사바르 법칙이다.

$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{|d\vec{\ell}\times\vec{r}|}{r^3}$

이 공식을 쓰는 이유: 도선의 길이가 유한하고, 관측점이 도선의 연장선 위가 아니라 끝점 위쪽에 있으므로 각 미소 전류요소가 만드는 자기장을 적분해야 정확한 값을 구할 수 있다.

계산 과정

도선 위의 한 점을 $(x, 0)$라 두면 $d\vec{\ell} = dx\hat{x}$, 점 P까지의 벡터는 $\vec{r} = (L-x)\hat{x} + d\hat{y}$이다.

$|d\vec{\ell}\times\vec{r}| = ddx$, $r = \sqrt{(L-x)^2 + d^2}$이므로

$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{ddx}{((L-x)^2+d^2)^{3/2}}$

전체 자기장은

$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_0^L \frac{ddx}{((L-x)^2+d^2)^{3/2}}$

여기서 $u = L - x$로 치환하면

$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_0^L \frac{ddu}{(u^2+d^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\left[\frac{u}{d\sqrt{u^2+d^2}}\right]_0^L = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$

따라서 $|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$이다.

선지별 해설

① X: $\frac{\mu_0 I}{2\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$는 정답식과 형태는 같지만 계수가 2배 크다. 유한 도선 적분 결과의 계수는 $\frac{\mu_0 I}{4\pi}$에서 시작하므로 올바르게는 $\frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$이다. 이 값은 무한 직선 도선 공식의 2π를 잘못 끌어온 경우에 나온다.

② O: 비오-사바르 법칙을 끝점 기준으로 적분하면 $|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$가 되어 선지와 정확히 일치한다.

③ X: $\frac{\sqrt{L^2+d^2}}{L}$는 정답의 비율이 거꾸로 된 식이고 계수도 2배 크다. 올바르게는 $\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$가 되어야 하며, 계수도 $\frac{1}{4\pi d}$이어야 한다. 이는 적분 결과 $u/(d\sqrt{u^2+d^2})$를 뒤집거나 $\sin\theta$와 $\csc\theta$를 혼동할 때 나오는 식이다.

④ X: 계수 $\frac{1}{4\pi d}$는 맞지만 비율이 $\frac{\sqrt{L^2+d^2}}{L}$로 뒤집혀 있다. 올바르게는 $\frac{L}{\sqrt{L^2+d^2}}$이므로 적분 뒤에 나오는 무차원 비율의 분자·분모를 바르게 정리해야 한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 유한 길이 도선인데도 무한 직선 도선 공식 $\mu_0 I/(2\pi d)$를 그대로 대입하면 ①처럼 계수가 2배 커진다. 둘째, 적분 결과의 기하학적 비율은 반드시 $L/\sqrt{L^2+d^2}$처럼 1보다 작은 값이어야 하는데, 이를 뒤집으면 ③·④처럼 물리적으로도 부자연스러운 식이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

유한 직선 도선의 자기장 문제는 먼저 관측점이 도선의 어디에 있는지 좌표로 잡고, 다음에 비오-사바르 법칙에서 $|d\vec{\ell}\times\vec{r}|$와 r를 정확히 쓴 뒤, 마지막에 결과 비율이 1 이하인지 점검하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

유한 도선 자기장은 무한 도선 공식을 바로 쓰지 않고, 비오-사바르 적분 결과가 $\frac{\mu_0 I}{4\pi d}$ × 기하학적 비율 꼴로 나온다는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 20. 비유전율 $\varepsilon_r = 9$인 무손실 비자성 매질에서 전파하는 균일 평면파의 전기장이 $\vec{E}(z,t) = 5\cos(\omega t - 10z)\vec{a}_y[V/m]$일 때, 자속밀도 $\vec{B}[T]$는? (단, ω는 각주파수$[rad/s]$이고, 자유공간에서 광속은 $3 \times 10^8[m/s]$이다)

① $-5 \times 10^{-8}\cos(10^8 t - 10z)\vec{a}_x$

② $5 \times 10^{-8}\cos(10^8 t - 10z)\vec{a}_x$

③ $-5 \times 10^{-8}\cos(10^9 t - 10z)\vec{a}_x$

④ $5 \times 10^{-8}\cos(10^9 t - 10z)\vec{a}_x$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무손실 비자성 유전체에서의 파속도와 평면파 관계식으로 자속밀도의 크기, 방향, 각주파수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 비유전율 $\varepsilon_r = 9$, 비투자율 $\mu_r = 1$, 전기장 $\vec{E}(z,t) = 5\cos(\omega t - 10z)\vec{a}_y[V/m]$이다. 구해야 할 값은 자속밀도 $\vec{B}$이다. 파동은 $\omega t - \beta z$ 꼴이므로 $+z$ 방향으로 진행하고, 위상상수는 $\beta = 10[rad/m]$이다.

사용할 공식

사용 공식은 $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$, $\omega = v\beta$, $\vec{B} = \frac{1}{v}\hat{a}_z \times \vec{E}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 무손실 비자성 매질의 균일 평면파에서는 파속도로 각주파수를 정하고, 진행방향과 전기장의 외적으로 자속밀도의 방향과 크기를 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

먼저 파속도는 $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 \cdot 9}} = 10^8[m/s]$이다. 따라서 $\omega = v\beta = 10^8 \times 10 = 10^9[rad/s]$이다. 또 $\hat{a}_z \times \hat{a}_y = -\hat{a}_x$이므로 자속밀도의 방향은 $-\hat{a}_x$이다. 크기는 $|\vec{B}| = \frac{|\vec{E}|}{v} = \frac{5}{10^8} = 5 \times 10^{-8}[T]$이다. 따라서 $\vec{B}(z,t) = -5 \times 10^{-8}\cos(10^9 t - 10z)\vec{a}_x[T]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 방향과 크기는 맞지만 10^8t가 틀렸다. 틀린 표현은 각주파수를 $10^8[rad/s]$로 둔 부분이고, 올바르게는 $\omega = 10^9[rad/s]$이므로 $-5 \times 10^{-8}\cos(10^9t - 10z)\vec{a}_x$가 되어야 한다.
② X: 부호와 각주파수가 모두 틀렸다. $+\vec{a}_x$로 두면 $\vec{E} \times \vec{H}$의 진행방향이 $-z$가 되어 문제의 파형과 맞지 않고, 10^8t도 잘못이다. 올바르게는 $-5 \times 10^{-8}\cos(10^9t - 10z)\vec{a}_x$이다.
③ O: $\omega = 10^9[rad/s]$, 크기 $5 \times 10^{-8}[T]$, 방향 $-\vec{a}_x$가 모두 계산 결과와 일치한다.
④ X: 크기와 각주파수는 맞지만 방향 부호가 틀렸다. 틀린 표현은 $+\vec{a}_x$이고, 올바르게는 $-\vec{a}_x$이므로 $-5 \times 10^{-8}\cos(10^9t - 10z)\vec{a}_x$가 된다.

오답 포인트

비유전율이 9이면 파속도가 자유공간의 1/3로 줄어든다는 점을 놓치면 ω를 10^8로 잘못 적기 쉽다. 또 진행방향이 $+z$, 전기장이 $+y$이면 자속밀도는 외적 때문에 반드시 $-x$ 방향이라는 부호 판단을 빼먹기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

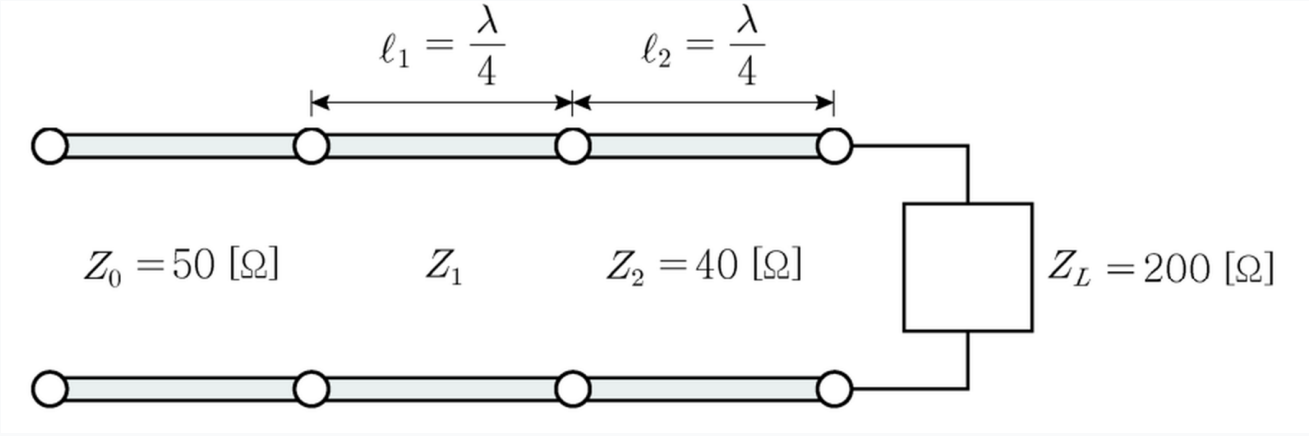
평면파 계산형은 먼저 $\omega t - \beta z$에서 진행방향과 β를 읽고, 다음에 $v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$로 파속도를 구한 뒤, 마지막에 $\vec{B} = (1/v)\hat{k} \times \vec{E}$로 크기와 방향을 한 번에 정하면 된다.

암기 포인트

$v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$, $\omega = v\beta$, $+z \times\ +y = -x$이면 $\vec{B}$는 $-x$ 방향이다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 $Z_L = 200[\Omega]$ 부하저항을 특성 임피던스 $Z_0 = 50[\Omega]$ 무손실 전송선로에 연결하기 위해 두 개의 $\frac{\lambda}{4}$ 변환기를 사용하였다. 특성 임피던스 $Z_2 = 40[\Omega]$인 전송선로를 사용한 경우, 특성 임피던스 $Z_1[\Omega]$은?



① 20

② 25

③ 30

④ 40

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 $\lambda/4$ 변환기의 입력 임피던스 $Z_{in} = \frac{Z_t^2}{Z_L}$를 두 번 적용해 중간 정합 임피던스를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $Z_0 = 50\Omega, Z_L = 200\Omega, Z_2 = 40\Omega, l_1 = l_2 = \lambda/4$이다.
- 구해야 할 값: 첫 번째 $\lambda/4$ 변환기의 특성 임피던스 Z_1이다.
- 주의할 조건: $\lambda/4$ 선로는 부하 임피던스를 Z_t^2/Z_L로 변환한다.

사용할 공식

$Z_{in} = \frac{Z_t^2}{Z_L}$

이 공식을 쓰는 이유: 각 구간의 길이가 모두 $\lambda/4$인 무손실 전송선로이므로 각 구간에서 입력 임피던스가 위 식으로 변환된다.

NoteBase

계산 과정

1. 부하 $Z_L = 200\Omega$에 $Z_2 = 40\Omega$인 $\lambda/4$ 선로를 붙이면 그 왼쪽에서 보이는 임피던스는
$Z' = \frac{40^2}{200} = \frac{1600}{200} = 8\Omega$
이다.
2. 이제 Z_1인 $\lambda/4$ 선로가 이 8Ω를 $Z_0 = 50\Omega$로 보이게 해야 하므로
$50 = \frac{Z_1^2}{8}$
이다.
3. 따라서
$Z_1^2 = 400, \quad Z_1 = 20\Omega$
이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과 $Z_1 = 20\Omega$이므로 맞다.
② X: $Z_1 = 25\Omega$를 대입하면 입력 임피던스가 $\frac{25^2}{8} = 78.125\Omega$가 되어 50Ω 정합이 되지 않는다. 틀린 수치는 25Ω이고 올바르게는 20Ω이다.
③ X: $Z_1 = 30\Omega$를 대입하면 입력 임피던스가 $\frac{30^2}{8} = 112.5\Omega$가 된다. 틀린 수치는 30Ω이고 올바르게는 20Ω이다.
④ X: $Z_1 = 40\Omega$를 대입하면 입력 임피던스가 $\frac{40^2}{8} = 200\Omega$가 되어 처음 부하값으로 되돌아갈 뿐 50Ω 정합이 아니다. 틀린 수치는 40Ω이고 올바르게는 20Ω이다.

오답 포인트

두 개의 $\lambda/4$ 구간을 한 번에 보지 않고, 마지막 Z_2 구간에서 먼저 $200\Omega \to 8\Omega$로 바뀐다는 점을 놓치면 오답이 된다. 특히 Z_0와 Z_L만 보고 한 번의 정합처럼 처리하면 중간 임피던스를 빠뜨리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

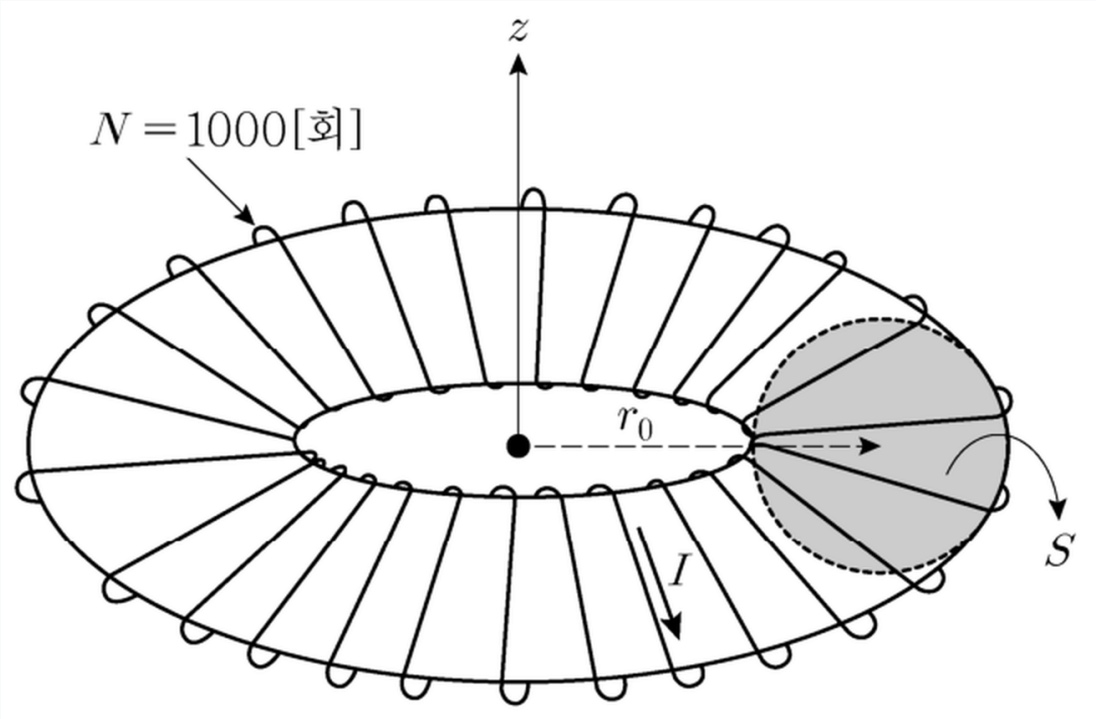
연속된 $\lambda/4$ 변환기 문제는 부하 쪽 구간부터 한 구간씩 거꾸로 입력 임피던스를 변환해 간다. 각 단계마다 $Z_{in} = Z_t^2/Z_L$를 적용해 다음 구간의 부하를 새로 잡으면 된다.

암기 포인트

$\lambda/4$ 변환기는 해당 구간 특성 임피던스의 제곱을 부하 임피던스로 나눈 값으로 바뀌며, 여러 개가 직렬이면 부하 쪽부터 차례대로 적용한다.

NoteBase

문 22. 그림과 같이 단면적 $S = 2[cm^2]$, 평균 반지름 $r_0 = 16[cm]$인 공심(air-core) 토로이드에 권선이 1000[회] 감겨 있고 2.4[A]의 전류가 흐를 경우, 토로이드 내의 자속밀도 B[mT]는? (단, 공기의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이고, 누설자속은 없다고 가정한다)



① 0.5

② 1

③ 2

④ 3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 공심 토로이드의 자기장 공식을 이용해 자속밀도 B를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 단면적 $S = 2cm^2$, 평균 반지름 $r_0 = 16cm = 0.16m$, 권선수 $N = 1000$, 전류 $I = 2.4A$이다. 구해야 할 값은 토로이드 내부 자속밀도 $B[mT]$이다. 공심이고 누설자속이 없으므로 $\mu = \mu_0$를 사용한다.

NoteBase

사용할 공식

$H = \frac{NI}{2\pi r_0}, \quad B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_0}$

토로이드는 자기력선이 평균 반지름 r_0의 원형 경로를 따라 닫히므로 원주 길이 $2\pi r_0$를 쓰는 앙페르 법칙 공식을 적용한다.

계산 과정

1. 평균 반지름을 미터로 바꾸면 $r_0 = 16cm = 0.16m$이다.
2. 자기장 세기는 $H = \frac{1000 \times 2.4}{2\pi \times 0.16} = \frac{2400}{0.32\pi} \approx 2387.3 A/m$이다.
3. 자속밀도는 $B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 2387.3 \approx 3.0 \times 10^{-3} T = 3mT$이다.

선지별 해설

① X

계산 결과는 $3mT$이므로 $0.5mT$는 아니다. $0.5mT$라는 표현이 틀렸고, 올바르게는 자속밀도는 $3mT$이다.

② X

계산 결과는 $3mT$이므로 $1mT$는 아니다. $1mT$라는 표현이 틀렸고, 올바르게는 자속밀도는 $3mT$이다.

③ X

계산 결과는 $3mT$이므로 $2mT$는 아니다. $2mT$라는 표현이 틀렸고, 올바르게는 자속밀도는 $3mT$이다.

④ O

계산 결과와 일치한다. 공심 토로이드에서 $B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_0}$를 적용하면 자속밀도는 $3mT$가 된다.

오답 포인트

단면적 S가 주어져 있지만 이 문제에서는 직접 쓰이지 않는 값이라는 점이 함정이다. 공심 토로이드의 자속밀도는 $B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r_0}$로 정해지므로 평균 반지름, 권선수, 전류만 바로 대입하면 된다. $16cm \rightarrow 0.16m$ 변환을 빼먹거나 원주 길이 $2\pi r_0$ 대신 r_0만 넣으면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

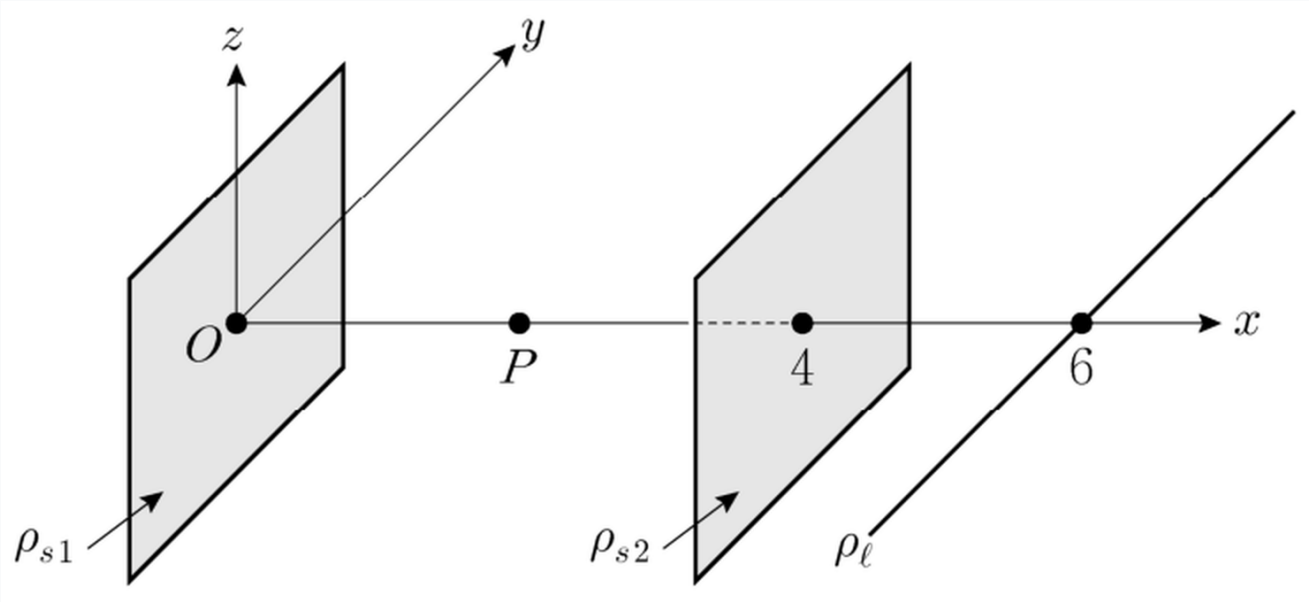
토로이드 계산 문제는 먼저 공심인지 철심인지 확인하고, 공심이면 $B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$를 적용한다. 그다음 반지름 단위를 미터로 바꾸고 최종값을 $T \rightarrow mT$로 환산해 선지와 대조한다.

암기 포인트

공심 토로이드는 $B \propto \frac{NI}{r}$이고 기본식은 $B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$이다.

NoteBase

문 23. 그림과 같이 자유공간에서 $x=0[m]$에 균일한 면전하밀도 $\rho_{s1}=\frac{1}{3\pi}[nC/m^2]$를 가지는 무한 면전하, $x=4[m]$에 균일한 면전하밀도 $\rho_{s2}=-\frac{1}{3\pi}[nC/m^2]$를 가지는 무한 면전하, 그리고 $x=6[m],\ z=0[m]$에 균일한 선전하밀도 $\rho_\ell=-2[nC/m]$를 가지는 무한 선전하에 의해 점 $P(2,\ 0,\ 0)$에서 발생하는 전기장의 크기 $|\vec{E}|[V/m]$는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0=\frac{1}{36\pi}\times10^{-9}[F/m]$이다)



① 6

② 9

③ 21

④ 27

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무한 면전하의 전기장 $E=\sigma/(2\varepsilon_0)$와 무한 선전하의 전기장 $E=\lambda/(2\pi\varepsilon_0 r)$를 방향까지 따져 합성하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $x=0$에서 $\rho_{s1}=\frac{1}{3\pi}\text{nC/m}^2$, $x=4$에서 $\rho_{s2}=-\frac{1}{3\pi}\text{nC/m}^2$, $x=6,\ z=0$에서 $\rho_\ell=-2\text{nC/m}$, 점 $P=(2,0,0)$이다.
구해야 할 값은 점 P에서의 전기장 크기 $|\vec{E}|$이다.
주의할 조건은 면전하는 양전하면 바깥쪽, 음전하면 면 쪽으로 전기장이 생기고, 음의 선전하도 전하 쪽으로 전기장이 생긴다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

무한 면전하의 전기장 크기는 $E = \sigma/(2\varepsilon_0)$이고, 무한 선전하의 전기장 크기는 $E = |\rho_\ell|/(2\pi\varepsilon_0 r)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 면전하가 모두 무한 평면이고 마지막 전하가 무한 직선 형태이므로 대칭성에 따른 표준 전기장 공식을 그대로 적용할 수 있기 때문이다.

계산 과정

첫 번째 면전하가 만드는 전기장은
$E_{s1} = \frac{\rho_{s1}}{2\varepsilon_0} = \frac{\frac{1}{3\pi} \times 10^{-9}}{2 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}} = 6\text{V/m}$
이다. 점 P는 $x = 0$ 오른쪽에 있으므로 방향은 $+x$이다.

두 번째 면전하가 만드는 전기장은
$E_{s2} = \frac{|\rho_{s2}|}{2\varepsilon_0} = 6\text{V/m}$
이다. 점 P는 음의 면전하 $x = 4$의 왼쪽에 있으므로 전기장은 면 쪽인 $+x$ 방향이다.

선전하와 점 P의 수직거리는 $r = |6 - 2| = 4\text{m}$이므로 선전하가 만드는 전기장은
$E_\ell = \frac{|\rho_\ell|}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{2 \times 10^{-9}}{2\pi \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \times 4} = 9\text{V/m}$
이다. 선전하가 음전하이므로 방향은 역시 선전하 쪽인 $+x$이다.

세 전기장이 모두 $+x$ 방향이므로
$|\vec{E}| = E_{s1} + E_{s2} + E_\ell = 6 + 6 + 9 = 21\text{V/m}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
6은 첫 번째 면전하 하나만 고려한 값이다. 실제 전체 전기장은 두 번째 면전하의 6V/m와 선전하의 9V/m까지 더해야 한다.
틀린 표현은 전체 전기장의 크기가 6이라는 판단이다. 올바르게는 첫 번째 면전하의 기여만 6이다.

② X
9는 선전하 하나가 만드는 전기장 크기이다. 전체 전기장은 면전하 두 개가 만드는 12V/m까지 합쳐져야 한다.
틀린 표현은 전체 전기장의 크기가 9이라는 판단이다. 올바르게는 선전하의 기여만 9이다.

③ O
두 면전하가 각각 $+x$ 방향으로 6V/m, 선전하가 $+x$ 방향으로 9V/m를 만든다. 따라서 합은 21V/m가 되어 정답이 된다.

④ X
27은 존재하지 않는 추가 전기장을 더했거나 이미 계산한 기여를 중복 합산한 값이다. 이 문제에서 합산할 항은 세 개뿐이고 총합은 21V/m이다.
틀린 표현은 전체 전기장의 크기가 27이라는 판단이다. 올바르게는 전체 전기장의 크기는 21이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 방향 판단이다. 음의 면전하를 보면 바로 왼쪽 방향으로 착각하기 쉽지만, 점 P는 $x = 4$의 왼쪽에 있으므로 전기장은 면 쪽인 $+x$ 방향이다. 음의 선전하도 점 P에서 전하 쪽인 $+x$ 방향이므로 세 전기장이 상쇄되지 않고 모두 더해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

무한 전하분포 문제는 각 전하분포의 공식 선택, 점과의 상대 위치로 방향 결정, 같은 축 성분 합산의 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

무한 면전하는 $\sigma/(2\varepsilon_0)$, 무한 선전하는 $\lambda/(2\pi\varepsilon_0 r)$, 음전하의 전기장 방향은 항상 전하 쪽이다.

NoteBase

문 24. 비유전율 $\varepsilon_r = 144$인 유전체로 채워진 간격 $d = \frac{1}{\sqrt{\pi}}[\mathrm{mm}]$인 두 개의 평행 도체판 사이에 전압 $V = 100[\mathrm{V}]$를 인가하였을 때, 도체판에 작용하는 단위 면적당 전기력의 크기 $|\vec{F'}|[\mathrm{N/m^2}]$는? (단, 자유공간의 유전율은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[\mathrm{F/m}]$이다)

① 1

② 5

③ 10

④ 20

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 채워진 평행판 콘덴서에서 전계 $E = V/d$를 구하고 전기압 $p = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$로 단위 면적당 전기력을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 비유전율 $\varepsilon_r = 144$, 간격 $d = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\mathrm{mm} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\pi}}\mathrm{m}$, 전압 $V = 100\mathrm{V}$, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\mathrm{F/m}$이다. 구해야 할 값은 도체판에 작용하는 단위 면적당 전기력의 크기이다. 유전체가 채워져 있으므로 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$를 사용해야 한다.

사용할 공식

사용할 공식은 $E = \frac{V}{d}$, $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$, $\frac{F}{A} = p = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평행판 사이 전계가 균일하고, 도체판이 받는 단위 면적당 힘은 전기압으로 계산되기 때문이다.

계산 과정

1. 유전율은 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0 = 144 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} = \frac{4}{\pi} \times 10^{-9}\mathrm{F/m}$ 이다.
2. 전계는 $E = \frac{V}{d} = \frac{100}{10^{-3}/\sqrt{\pi}} = 10^5\sqrt{\pi}\mathrm{V/m}$ 이므로 $E^2 = 10^{10}\pi$ 이다.
3. 따라서 단위 면적당 전기력은 $\frac{F}{A} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2} \times \frac{4}{\pi} \times 10^{-9} \times 10^{10}\pi = 20\mathrm{N/m^2}$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 20N/m^{2}이므로 1은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 단위 면적당 전기력을 1로 본 점이다. 올바르게는 단위 면적당 전기력의 크기는 20N/m^{2}이다.

② X
- 계산 결과는 20N/m^{2}이므로 5는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 단위 면적당 전기력을 5로 본 점이다. 올바르게는 단위 면적당 전기력의 크기는 20N/m^{2}이다.

③ X
- 계산 결과는 20N/m^{2}이므로 10은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 단위 면적당 전기력을 10으로 본 점이다. 올바르게는 단위 면적당 전기력의 크기는 20N/m^{2}이다.

④ O
- $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$와 $\frac{F}{A} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$를 적용하면 20N/m^{2}가 나온다.
- 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

함정은 밀도 힘을 묻는 문제에서 $E = V/d$까지만 구하고 끝내거나, 유전체가 채워졌는데도 ε_0만 넣는 실수에 있다. 또 d를 mm 그대로 두면 지수 계산이 틀어져 전체 값이 크게 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

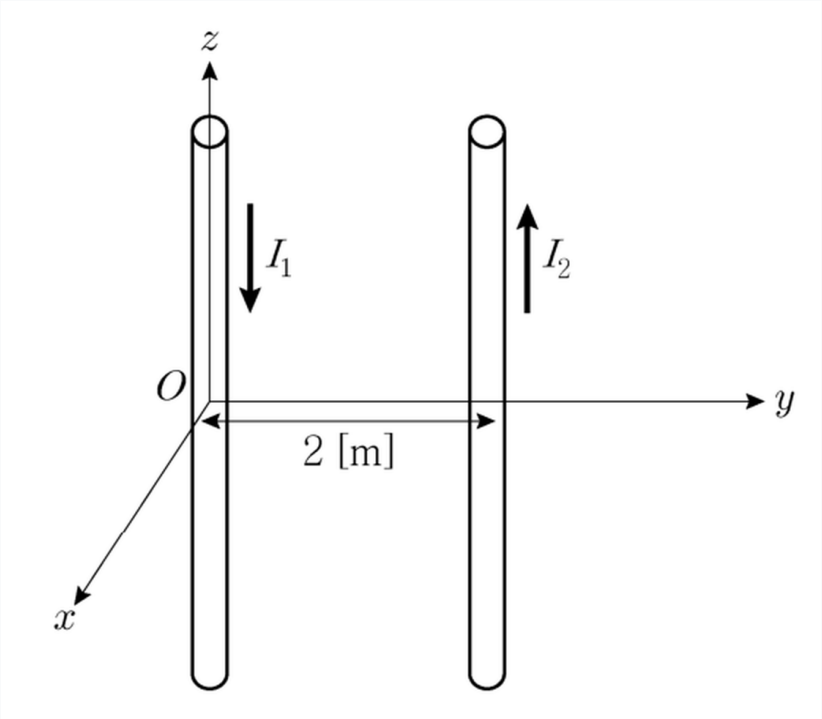
평행판 계산형은 먼저 d를 m로 바꾸고, 다음에 $E = V/d$를 구한 뒤, 유전체가 있으면 $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$를 넣어 $\frac{1}{2}\varepsilon E^2$로 압력을 계산하면 된다.

암기 포인트

평행판 도체판의 단위 면적당 전기력은 전기압 $p = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$로 정리된다.

NoteBase

문 25. 그림과 같이 자유공간에 있는 두 개의 무한히 긴 직선 도선이 평행하게 2 [m] 거리를 두고 놓여 있고, 전류가 각각 $I_1 = 100[A]$와 $I_2 = 200[A]$ 크기로 그림에 표시된 방향과 같이 흐른다. I_2 전류가 흐르는 도선에 작용하는 단위 길이당 자기력 $\vec{F}_2'$ [mN/m]은? (단, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)



① $-4\vec{a}_y$

② $-\vec{a}_y$

③ $2\vec{a}_y$

④ $3\vec{a}_y$

정답 3번

출제 포인트

평행한 두 무한 직선 도선 사이에 작용하는 단위 길이당 자기력의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

두 도선 사이의 거리는 $d = 2\text{m}$이다. 전류는 $I_1 = 100\text{A}$, $I_2 = 200\text{A}$이고 서로 반대 방향으로 흐른다. 구해야 할 값은 I_2 전류가 흐르는 오른쪽 도선에 작용하는 단위 길이당 자기력 $\vec{F}_2'$이다.

사용할 공식

평행한 두 긴 직선 도선 사이의 단위 길이당 힘의 크기는 $F' = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$이다. 같은 방향 전류는 서로 끌어당기고, 반대 방향 전류는 서로 밀어낸다.

NoteBase

계산 과정

크기는 $F' = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(100)(200)}{2\pi(2)}$이다. 분자는 $4\pi \times 10^{-7} \times 20000 = 8\pi \times 10^{-3}$이고, 분모는 4π이므로 $F' = 2 \times 10^{-3}$N/m = 2mN/m이다. 두 전류 방향은 서로 반대이므로 도선들은 서로 밀어낸다. 오른쪽 도선 I_2는 왼쪽 도선에서 멀어지는 $+\vec{a}_y$ 방향 힘을 받는다.

선지 판단

① X: 크기도 4가 아니고 방향도 $-\vec{a}_y$가 아니다.
② X: 방향은 $-\vec{a}_y$가 아니라 $+\vec{a}_y$이고, 크기도 1이 아니다.
③ O: 계산된 힘은 2mN/m이고 방향은 $+\vec{a}_y$이므로 맞다.
④ X: 방향은 맞지만 크기 3은 공식 대입 결과와 다르다.

오답 포인트

전류 방향이 반대이면 흡인이 아니라 반발이다. 오른쪽 도선에 작용하는 힘은 왼쪽 도선에서 멀어지는 방향이므로 $+\vec{a}_y$이다. 또한 최종 단위가mN/m이므로 2×10^{-3}N/m을 2mN/m로 바꾸어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $F' = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$로 크기를 구하고, 그 다음 전류 방향이 같은지 반대인지로 인력과 반발력을 판단한다. 마지막에 어느 도선에 작용하는 힘인지 보아 좌표축 방향을 정한다.

암기 포인트

평행 도선은 같은 방향이면 끌어당기고, 반대 방향이면 밀어내며, 단위 길이당 힘은 $\mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$이다.

NoteBase