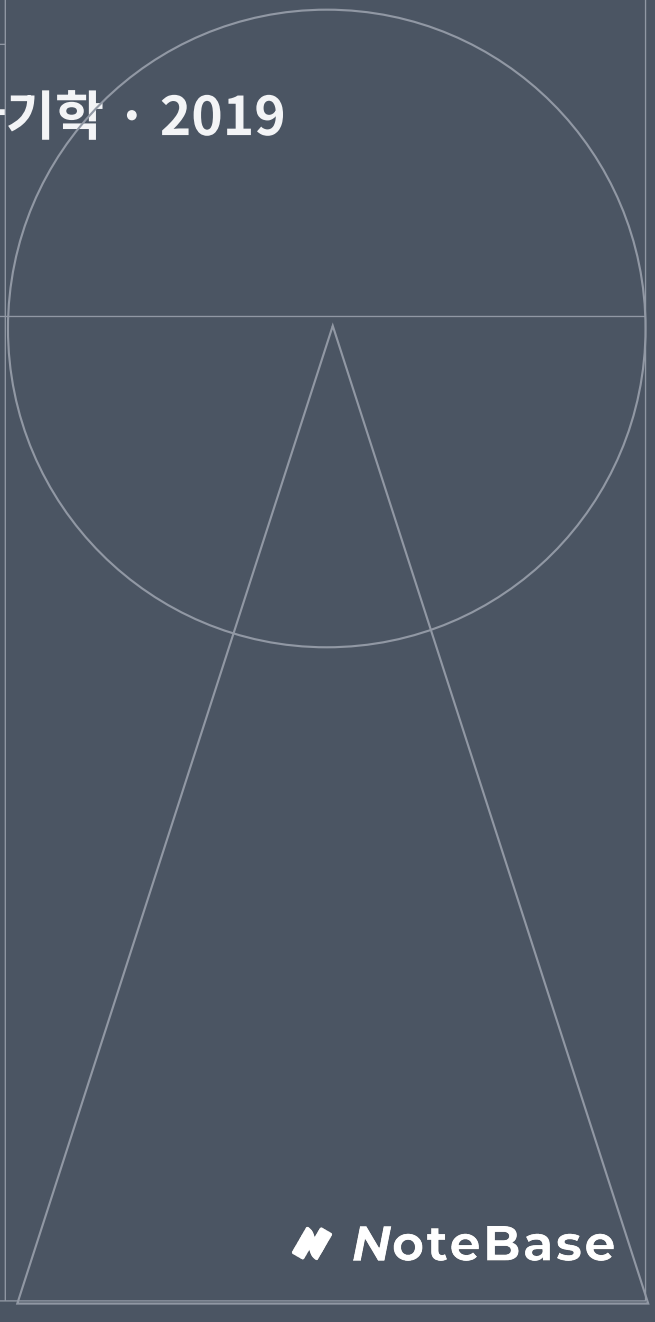
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2019



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2019

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2019

문 1. 세 점 A, B, C는 일직선상에 위치한다. 점 A와 점 B는 $d[m]$만큼 떨어져 있고 각각 전하 $Q[C]$가 놓여 있다. 점 C에 전하 $2Q[C]$를 놓았을 때 점 B에 놓인 전하에 작용하는 힘은 평형상태를 유지한다. 점 C의 위치는?

① 점 A로부터 $\sqrt{2}d$

② 점 A로부터 $2d$

③ 점 B로부터 $\sqrt{2}d$

④ 점 B로부터 $2d$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 쿨롱의 법칙으로 점 B에서 받는 두 전기력의 크기와 방향을 맞춰 평형 위치를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 점 A와 점 B 사이 거리는 d이고, A와 B에는 각각 전하 Q, C에는 전하 $2Q$가 놓인다.
구해야 할 값: 점 C의 위치이다.
주의할 조건: A와 B의 전하는 같은 부호이므로 A가 B에 미치는 힘은 반발력이다. 따라서 이를 상쇄하려면 C는 반드시 B의 반대쪽, 즉 B의 오른쪽에 있어야 한다.

사용할 공식

쿨롱의 법칙은 $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 점 B에 작용하는 힘이 평형이라는 것은 A가 B에 주는 힘과 C가 B에 주는 힘의 크기가 같고 방향이 반대라는 뜻이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

점 A를 기준으로 왼쪽, 점 B를 그 오른쪽에 둔다. 점 C는 평형을 만들기 위해 B의 오른쪽에 있어야 하므로 $BC = x$로 둔다.
점 A가 B에 미치는 힘의 크기는 $F_{AB} = k\frac{Q \cdot Q}{d^2} = k\frac{Q^2}{d^2}$이다.
점 C가 B에 미치는 힘의 크기는 $F_{CB} = k\frac{2Q \cdot Q}{x^2} = 2k\frac{Q^2}{x^2}$이다.
평형 조건에서 $F_{AB} = F_{CB}$이므로 $k\frac{Q^2}{d^2} = 2k\frac{Q^2}{x^2}$이다.
정리하면 $x^2 = 2d^2$, 따라서 $x = \sqrt{2}d$이다.
즉 점 C는 점 B로부터 $\sqrt{2}d$ 떨어진 위치에 있다.

선지 판단

① X: "점 A로부터 $\sqrt{2}d$"가 틀렸다. 이 위치는 B의 오른쪽이기는 하지만 $BC = (\sqrt{2} - 1)d$가 되어 C가 주는 힘이 너무 커진다. 올바르게는 "점 B로부터 $\sqrt{2}d$" 또는 "점 A로부터 $(1 + \sqrt{2})d$"이다.
② X: "점 A로부터 $2d$"가 틀렸다. 이 경우 $BC = d$가 되어 C가 주는 힘은 $2kQ^2/d^2$로 A가 주는 힘보다 2배 크다. 올바르게는 "점 A로부터 $(1 + \sqrt{2})d$"이다.
③ O: "점 B로부터 $\sqrt{2}d$"가 옳다. 평형 조건 $kQ^2/d^2 = 2kQ^2/x^2$를 풀면 $x = \sqrt{2}d$가 된다.
④ X: "점 B로부터 $2d$"가 틀렸다. 이 경우 C가 주는 힘은 $2kQ^2/(2d)^2 = kQ^2/(2d^2)$로 부족하다. 올바르게는 "점 B로부터 $\sqrt{2}d$"이다.

오답 포인트

힘의 방향 확인 없이 거리 비례만 보고 고르면 오답이 된다. 또한 C의 전하가 $2Q$라는 조건을 빠뜨리면 $BC = d$ 또는 $2d$ 같은 값으로 잘못 가기 쉽다. ①은 기준점을 A로 바꾼 함정이고, ②와 ④는 $1/r^2$ 관계를 선형거리처럼 다룬 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

정전기 평형 문제는 먼저 힘의 방향이 서로 반대가 되는 위치를 찾고, 그다음 쿨롱의 법칙으로 크기를 같게 둔다. 기준점이 A인지 B인지도 마지막에 다시 확인하면 기준점 함정을 줄일 수 있다.

암기 포인트

같은 부호 전하의 평형은 먼저 방향을 맞추고, 크기는 $1/r^2$로 맞춘다. 전하가 2배이면 거리는 $\sqrt{2}$배가 된다.

문 2. 자유공간상에 z축을 따라 전하밀도가 $2[C/m]$인 무한한 길이의 선전하가 균일하게 분포해 있고, 점 $(0, 2, 0)[m]$에 $2[C]$의 점전하가 놓여 있다. 이때, 점 $(0, 1, 0)[m]$에서의 전계 $[V/m]$는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)

① $-\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
② $\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
③ $-\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
④ $\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선전하의 전계와 점전하의 전계를 각각 구한 뒤, 방향까지 반영하여 벡터합을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: z축 위 무한 직선전하의 선전하밀도는 $\lambda = 2C/m$이고, 점전하는 $q = 2C$이다.
구해야 할 값: 점 $(0, 1, 0)[m]$에서의 합성 전계이다.
주의할 조건: 직선전하에 의한 전계 방향은 축에서 바깥쪽이고, 양전하 점전하에 의한 전계 방향은 전하에서 관측점 쪽이다.

사용할 공식

무한 직선전하의 전계는 $E_{\text{line}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$이고, 점전하의 전계는 $E_{\text{point}} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 하나는 z축을 따라 무한히 뻗은 선전하이므로 원통대칭 전계식을 써야 하고, 다른 하나는 한 점에 놓인 점전하이므로 쿨롱의 법칙을 그대로 적용해야 한다.

계산 과정

1. 점 $(0, 1, 0)$에서 z축까지의 거리는 $\rho = 1m$이므로, 직선전하에 의한 전계는
$\vec{E}_{\text{line}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}\vec{a}_y = \frac{2}{2\pi\varepsilon_0 \cdot 1}\vec{a}_y = \frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
이다.
2. 점전하 $q = 2C$는 $(0, 2, 0)$에 있고 관측점은 $(0, 1, 0)$이므로 거리는 $r = 1m$이다. 양전하이므로 전계 방향은 전하에서 관측점 쪽인 $-\vec{a}_y$이다. 따라서
$\vec{E}_{\text{point}} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}(-\vec{a}_y) = \frac{2}{4\pi\varepsilon_0 \cdot 1^2}(-\vec{a}_y) = -\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
이다.
3. 두 전계를 더하면
$\vec{E} = \vec{E}_{\text{line}} + \vec{E}_{\text{point}} = \frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y - \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$
이다.

NoteBase

선지 판단

① X

선지의 "$-\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"는 점전하의 전계만 본 값이다. 직선전하가 만드는 $+\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$를 함께 더해야 하므로, 올바르게는 "$+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"이다.

② O

직선전하에 의한 $+\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$와 점전하에 의한 $-\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$를 합하면 $+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$가 된다. 계산값과 방향이 모두 맞다.

③ X

선지의 "$-\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"는 직선전하 전계의 방향도 반대로 잡았고 점전하의 영향도 반영하지 않은 값이다. 올바르게는 "$+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"이다.

④ X

선지의 "$+\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"는 직선전하만 고려한 값이다. 여기에 점전하가 만드는 $-\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$를 더해야 하므로, 올바르게는 "$+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\vec{a}_y$"이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 두 전계의 방향을 같은 방향으로 놓거나, 둘 중 하나의 전계만 계산하는 것이다. 이 문항에서는 직선전하 전계는 +y방향이고 점전하 전계는 −y방향이라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전계 중첩 문제는 각 전하원이 만드는 전계를 따로 구한 뒤, 관측점에서의 방향을 먼저 정하고 마지막에 벡터합으로 합친다고 판단하면 된다.

암기 포인트

무한 직선전하는 $\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$, 점전하는 $\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$이고, 합성 전계는 크기보다 방향 검산이 먼저이다.

NoteBase

문 3. 균일한 전계 $\vec{E}$와 자계 $\vec{H}$가 함께 존재하는 자유공간에서 양전하가 속도 $\vec{v}$로 움직일 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 이 전하가 받는 전기력은 전하의 속도에 무관하다.

② $\vec{v}=0$일 경우, 이 전하는 전기력은 받지만 자기력은 받지 않는다.

③ 전하가 받는 전기력은 전계의 방향과 일치하고, 자기력은 자계의 방향과 일치한다.

④ 전기력은 전하의 운동에너지를 변화시키지만, 자기력은 전하의 운동에너지를 변화시키지 않는다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 양전하가 균일한 전계와 자계에서 받을 때 전기력과 자기력의 방향, 속도 의존성, 일의 유무를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

전기력은 $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$로 주어지며 양전하에서는 전계 방향과 같고 전하의 속도와 무관하다.
자기력은 $\mathbf{F}_m = q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$로 주어지며 속도가 0이면 작용하지 않고, 방향은 속도와 자계에 모두 수직이어서 운동에너지를 바꾸지 않는다.
자유공간에서는 $\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{H}$이므로 자계 $\mathbf{H}$와 자속밀도 $\mathbf{B}$의 방향은 같다.

NoteBase

선지별 해설

① O
전기력의 크기와 방향은 $q\mathbf{E}$로 결정되므로 전하의 속도가 얼마인지와는 무관하다.

② O
$v = 0$이면 자기력 식 $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$가 0이므로 자기력은 받지 않는다. 반면 전기력 $q\mathbf{E}$는 그대로 작용한다.

③ X
틀린 부분은 "자기력은 자계의 방향과 일치한다"는 표현이다.
양전하가 받는 전기력은 전계 방향과 일치하지만, 자기력은 자계 방향이 아니라 속도와 자계에 모두 수직인 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 방향으로 작용한다.
틀린 표현 → 올바르게는 "자기력은 자계의 방향과 일치하지 않고 속도와 자계에 모두 수직인 방향으로 작용한다"이다.

④ O
전기력은 전하의 속도 방향 성분을 바꿀 수 있어 운동에너지를 변화시킬 수 있다. 자기력은 항상 속도에 수직으로 작용하므로 일을 하지 않아 운동에너지를 변화시키지 않는다.

오답 포인트

③처럼 전계의 방향과 자기력의 방향을 같은 방식으로 외우면 틀리기 쉽다. 전기력은 장의 방향을 그대로 따르지만, 자기력은 장의 방향이 아니라 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$의 수직 방향이라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

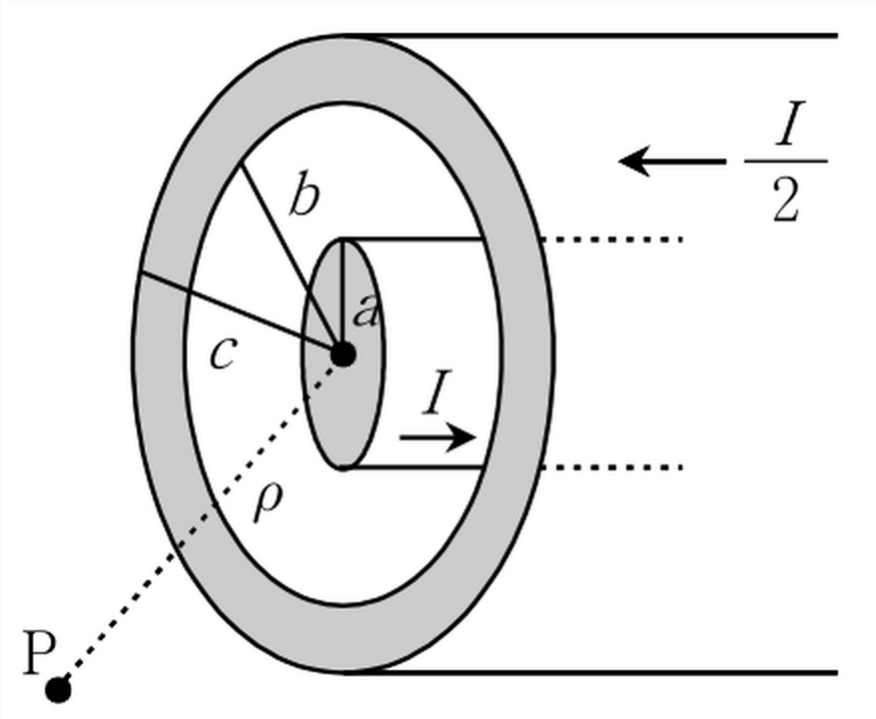
전자기력 문제는 먼저 전기력 $q\mathbf{E}$와 자기력 $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$를 분리해 본다. 그다음 속도 의존성, 힘의 방향, 일의 유무를 차례로 대입하면 선지를 안정적으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

양전하에서 전기력은 E 방향이고 일을 할 수 있으며, 자기력은 $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ 방향이고 일을 하지 않는다.

NoteBase

문 4. 무한 길이 동축 케이블에서 내부 도체의 반지름은 $a[m]$, 외부 도체의 안쪽 반지름과 바깥쪽 반지름은 각각 $b[m]$, $c[m]$이다. 내부 도체에는 전류 $I[A]$가 흐르며, 외부 도체에는 $\frac{I}{2}[A]$의 전류가 반대 방향으로 흐른다. 이때, 중심으로부터 $\rho[m]$만큼 떨어진 케이블 외부 점 P에서 자계의 크기 $[A/m]$는? (단, 전류는 도체 내에서 균일하게 흐른다)



① $\frac{I}{4\pi\rho}$
② $\frac{I}{2\pi\rho}$
③ $\frac{2I}{\pi\rho}$
④ $\frac{4I}{\pi\rho}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 동축 케이블의 외부 점에서 암페어 법칙을 적용하여 순전류를 구하고 자기계의 크기 H를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부 도체 전류가 I, 외부 도체 전류가 반대 방향의 $\frac{I}{2}$라는 점이다.
구해야 할 값은 중심에서 ρ만큼 떨어진 케이블 외부 점 P에서의 자기계 크기 H이다.
점 P는 케이블 외부에 있으므로 $\rho > c$이고, 이때는 반지름 a, b, c의 세부값보다 암페어 고리가 감싸는 순전류가 핵심이다.

NoteBase

사용할 공식

암페어 법칙은 $\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{enc}}$이다.
원통 대칭이므로 중심에서 거리 ρ인 원형 경로에서 H는 일정하여
$H(2\pi\rho) = I_{\text{enc}}, \quad H = \frac{I_{\text{enc}}}{2\pi\rho}$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 무한 길이 동축 케이블이 축대칭 구조이므로 외부 점에서 자기계가 원주 방향으로 같게 분포하기 때문이다.

계산 과정

1. 점 P가 케이블 외부에 있으므로 암페어 고리는 내부 도체와 외부 도체 전류를 모두 포함한다.
2. 외부 도체 전류는 반대 방향이므로 순전류는
$I_{\text{enc}} = I - \frac{I}{2} = \frac{I}{2}$
이다.
3. 따라서 자기계의 크기는
$H = \frac{I_{\text{enc}}}{2\pi\rho} = \frac{\frac{I}{2}}{2\pi\rho} = \frac{I}{4\pi\rho}$
이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과가 바로 $\frac{I}{4\pi\rho}$이므로 옳다.
② X: 틀린 표현은 $\frac{I}{2\pi\rho}$라는 값이다. 이는 외부 도체의 반대 방향 전류 $\frac{I}{2}$를 빼지 않고 내부 도체 전류 I만 감싼 것으로 본 실수에 해당한다. 올바르게는 순전류가 $\frac{I}{2}$이므로 $\frac{I}{4\pi\rho}$이다.
③ X: 틀린 표현은 $\frac{2I}{\pi\rho}$라는 값이다. 이는 순전류를 잘못 잡고 원주 길이 $2\pi\rho$ 처리까지 틀린 값이다. 올바르게는 $H = \frac{I_{\text{enc}}}{2\pi\rho} = \frac{I}{4\pi\rho}$이다.
④ X: 틀린 표현은 $\frac{4I}{\pi\rho}$라는 값이다. 이는 암페어 법칙의 분모 $2\pi\rho$를 무시한 과대 계산이다. 올바르게는 케이블 외부의 자기계가 $\frac{I}{4\pi\rho}$이다.

오답 포인트

외부 점에서는 내부 도체 전류만 보는 것이 아니라 외부 도체의 반대 방향 전류까지 포함한 순전류를 봐야 한다는 점이 함정이다. 반지름 a, b, c가 주어져 있어도 $\rho > c$이면 최종식에는 직접 들어가지 않는다. 또한 $H = \frac{I_{\text{enc}}}{2\pi\rho}$에서 분모의 $2\pi\rho$를 빠뜨리면 ③, ④와 같은 과대값으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

동축 케이블 문제는 먼저 관찰점이 내부 도체 안, 유전체 영역, 외부 도체 안, 케이블 외부 중 어디에 있는지 구분한다. 그다음 해당 암페어 고리가 감싸는 전류를 부호까지 포함해 합산하고, 마지막에 $H = \frac{I_{\text{enc}}}{2\pi\rho}$를 적용하면 된다.

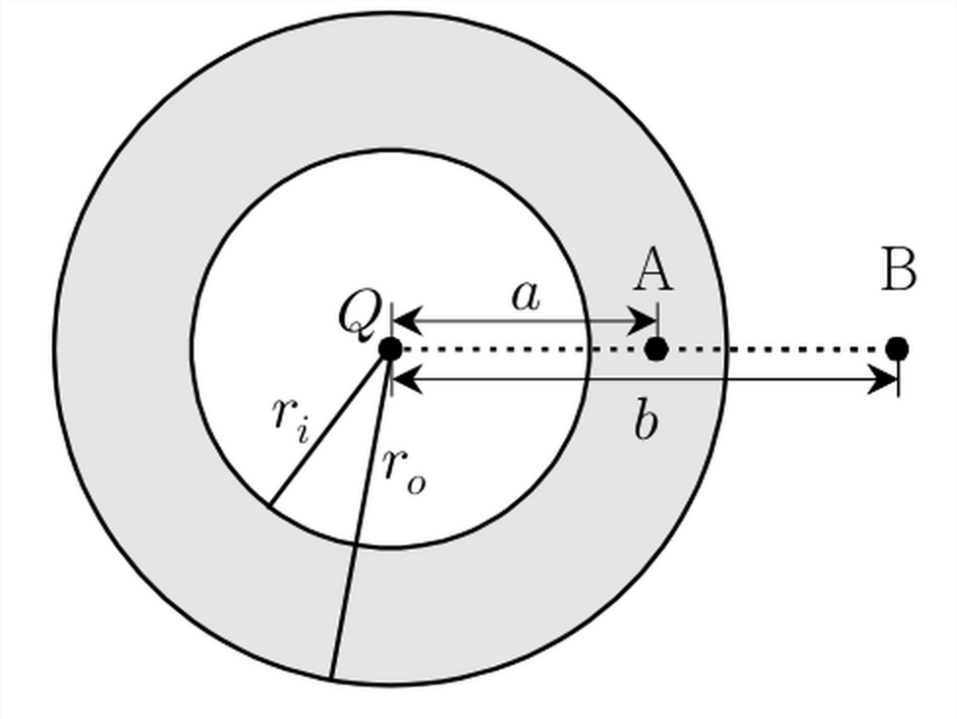
NoteBase

암기 포인트

케이블 외부 자기계는 감싼 순전류만 본다. 이 문항에서는 $I - \frac{I}{2} = \frac{I}{2}$이므로 $H = \frac{I}{4\pi\rho}$이다.

NoteBase

문 5. 안쪽 반지름 r_i[m], 바깥쪽 반지름 r_o[m]인 도체구각(conductor shell)의 중심에 Q[C]의 점전하가 놓여 있다. 중심에서 a[m]만큼 떨어진 점 A와 b[m]만큼 떨어진 점 B 사이의 전위차[V]는? (단, $r_i < a < r_o < b$이고, 도체 이외의 공간은 공기로 채워져 있으며 ε_0는 자유공간의 유전율이다)



① 0
② $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_i}-\frac{1}{b}\right)$
③ $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_o}-\frac{1}{b}\right)$
④ $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

정답 3번

출제 포인트

도체구각에서 도체 내부는 등전위이고 전기장은 0이라는 성질을 이용해 점 A와 점 B의 전위차를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 중심에 점전하 Q가 있고, $r_i < a < r_o < b$이다.
구해야 할 값: 점 A와 점 B 사이의 전위차이다.
주의할 조건: A는 도체 두께 내부에 있으므로 전위가 도체 전체와 같고, 전위차 계산에는 a가 아니라 도체 바깥 경계 r_o가 기준이 된다.

NoteBase

사용할 공식

도체 내부 ($r_i < r < r_o$)에서는 $E = 0$이고, 도체 바깥 ($r > r_o$)에서는 구대칭이므로 $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$이다.
전위차는
$V_A - V_B = \int_B^A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_b^{r_o} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr$
로 계산한다.
이 공식을 쓰는 이유는 A에서 r_o까지는 도체 내부라 전기장이 0이어서 전위 변화가 없고, 실제 전위 변화는 r_o부터 b까지의 외부 공간에서만 생기기 때문이다.

계산 과정

1. A는 도체 내부에 있으므로 $V_A = V(r_o)$이다.
2. 따라서
$V_A - V_B = \int_b^{r_o} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_o} - \frac{1}{b}\right)$
이다.
3. 계산 결과와 일치하는 선지는 3번이다.

선지별 해설

① X: 전위차가 0이 아니다. A는 도체 내부라 도체와 같은 전위이지만 B는 도체 바깥 b에 있으므로 두 점의 전위는 다르다. 틀린 표현은 전위차가 0이라는 부분이고, 올바르게는 $V_A - V_B = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_o} - \frac{1}{b}\right)$이다.
② X: r_i를 넣으면 A의 전위를 안쪽 경계 반지름으로 잘못 처리한 것이다. 도체는 등전위이므로 A의 전위차는 도체 바깥 구간 $r_o \sim b$만 적분한다. 올바르게는 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_o} - \frac{1}{b}\right)$이다.
③ O: A는 도체 내부에 있어 $V_A = V(r_o)$이고, B는 외부점이므로 $V_A - V_B = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_o} - \frac{1}{b}\right)$가 된다.
④ X: a를 넣으면 A를 자유공간 속 점처럼 취급한 실수이다. A는 도체 내부라 a에 따른 전위 변화가 없고, 올바르게는 a 대신 r_o가 들어가야 한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 점 A의 위치가 a로 주어졌다는 이유만으로 a를 식에 넣게 만드는 데 있다. 도체 내부에서는 위치가 달라도 전위가 모두 같으므로 a나 r_i를 넣으면 틀리고, 전위가 실제로 변하는 구간인 도체 바깥 $r_o \sim b$만 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

도체가 끼어 있는 전위차 문제는 먼저 각 구간의 전기장을 나눈다. 도체 내부면 $E = 0$, 외부면 구대칭장 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$을 쓰고, 전위 변화가 있는 구간만 적분하면 된다.

암기 포인트

도체 내부 전위차는 0이고, 도체 속 점의 전위는 위치 a가 아니라 도체 경계 전위로 본다.

NoteBase

문 6. 비자성(nonmagnetic) 무손실 유전체로 채워진 공간에서 전파하는 균일 평면파의 전계가 $\vec{E} = \cos(2\pi \times 10^8 t - 2\pi z)\vec{a}_x[V/m]$이고, 시간평균 전력밀도의 크기가 $\frac{1}{80\pi}[W/m^2]$로 주어질 때, 이 유전체의 비유전율(ε_r)은? (단, 자유공간의 고유임피던스는 $\eta_0 = 120\pi[\Omega]$이다)

① 4

② 9

③ 16

④ 25

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 시간평균 전력밀도와 고유임피던스의 관계를 이용해 비유전율 ε_r를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 전계: $\vec{E} = \cos(2\pi \times 10^8 t - 2\pi z)\vec{a}_x[V/m]$
- 전계의 최대값: $E_0 = 1V/m$
- 시간평균 전력밀도: $P_{av} = \frac{1}{80\pi}[W/m^2]$
- 비자성 매질이므로 $\mu_r = 1$
- 자유공간 고유임피던스: $\eta_0 = 120\pi[\Omega]$
- 구해야 할 값: 비유전율 ε_r

사용할 공식

$P_{av} = \frac{E_0^2}{2\eta}$
$\eta = \frac{\eta_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (\mu_r = 1)$
이 문제는 무손실 유전체에서 전계의 최대값과 시간평균 포인팅벡터가 주어졌으므로 먼저 고유임피던스 η를 구한 뒤, 비자성 조건을 이용해 ε_r로 연결하면 된다.

NoteBase

계산 과정

1. $E_0 = 1V/m$이므로
$\frac{1}{80\pi} = \frac{1^2}{2\eta}$
2. 따라서
$2\eta = 80\pi$
$\eta = 40\pi[\Omega]$
3. 비자성 무손실 유전체에서는
$\eta = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}} = 40\pi$
4. 정리하면
$\sqrt{\varepsilon_r} = 3$
$\varepsilon_r = 9$

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $\varepsilon_r = 9$이므로 4는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비유전율 값 자체이다. 올바르게는 9이다.
- 4는 $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$ 관계를 잘못 적용하거나 제곱을 빠뜨렸을 때 나올 수 있다.

② O
- 시간평균 전력밀도로부터 $\eta = 40\pi[\Omega]$를 구하고, 비자성 조건을 대입하면 $\varepsilon_r = 9$가 된다.
- 계산 결과와 일치하므로 옳다.

③ X
- 계산 결과는 $\varepsilon_r = 9$이므로 16은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비유전율 값 자체이다. 올바르게는 9이다.
- 16은 전력식의 $\frac{1}{2}$를 누락하거나 평균값과 최대값을 혼동할 때 나올 수 있는 오답이다.

④ X
- 계산 결과는 $\varepsilon_r = 9$이므로 25는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비유전율 값 자체이다. 올바르게는 9이다.
- 25는 고유임피던스 비를 과도하게 제곱하거나 중간 계산값을 잘못 읽었을 때 생길 수 있는 오답이다.

오답 포인트

시간평균 전력밀도에서 $P_{av} = \frac{E_0^2}{2\eta}$의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리기 쉽다. 또 전계식의 계수가 1이므로 최대값 $E_0 = 1$인데, 이를 실효값과 혼동하면 임피던스와 비유전율이 모두 어긋난다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 계산형은 먼저 전계의 최대값인지 실효값인지 구분하고, 시간평균 전력밀도로 고유임피던스를 구한 뒤 $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$ 또는 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$로 연결하면 된다.

암기 포인트

비자성 무손실 유전체에서는 $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$, 시간평균 전력밀도는 $P_{av} = E_0^2/(2\eta)$이다.

NoteBase

문 7. 영역1($z < 0$)에는 비유전율이 2, 영역2($z \geq 0$)에는 비유전율이 4인 유전체로 채워져 있다. 영역1에서 전계가 $\vec{E}_1 = -3\vec{a}_x + 8\vec{a}_z[V/m]$일 때, 영역2에서 전계의 크기 $|\vec{E}_2|[V/m]$는?

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 4번

출제 포인트

유전체 경계면에서 접선 성분의 연속성과 법선 방향 전속밀도 연속 조건을 이용해 영역2의 전계 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 영역1의 비유전율은 2, 영역2의 비유전율은 4이다.
주어진 전계: $\vec{E}_1 = -3\mathbf{a}_x + 8\mathbf{a}_z$V/m이다.
구해야 할 값: 영역2 전계의 크기 $|\vec{E}_2|$이다.
주의할 조건: 경계면은 $z = 0$이므로 x성분은 접선 성분, z성분은 법선 성분이다.

사용할 공식

접선 성분은 연속이므로 $E_{2t} = E_{1t}$이다.
자유 표면전하가 없으면 법선 방향 전속밀도는 연속이므로 $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$이다.
따라서 $E_{2n} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_{1n}$이다.
전계의 크기는 $|\vec{E}_2| = \sqrt{E_{2x}^2 + E_{2z}^2}$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유: 서로 다른 유전체의 경계면에서는 전계에 경계조건을 적용해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 접선 성분은 그대로 유지되므로 $E_{2x} = E_{1x} = -3$이다.
2. 법선 성분은 $E_{2z} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_{1z} = \frac{2}{4} \times 8 = 4$이다.
3. 따라서 $\vec{E}_2 = -3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_z$V/m이다.
4. 전계의 크기는 $|\vec{E}_2| = \sqrt{(-3)^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- 값 2는 계산 결과와 다르다. 접선 성분과 법선 성분을 함께 합성한 최종 크기는 2가 아니라 5이다.

② X

- 값 3은 접선 성분의 크기 $|-3|$만 본 값이다. 전계의 크기는 접선 성분과 법선 성분을 함께 합성해야 하므로 3이 아니라 5이다.

③ X

- 값 4는 법선 성분 $E_{2z}=4$만 본 값이다. 이는 영역2 전계의 한 성분일 뿐이므로 전체 크기는 4가 아니라 5이다.

④ O

- 영역2의 전계는 $\vec{E}_2=-3\mathbf{a}_x+4\mathbf{a}_z\text{V/m}$이므로 크기는 5이다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

법선 성분만 비유전율 비로 바뀐다는 점을 놓치고 한 성분만 답으로 고르는 경우가 많다. 경계면 문제는 먼저 접선 성분과 법선 성분을 분리한 뒤 마지막에 벡터 크기를 합성해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

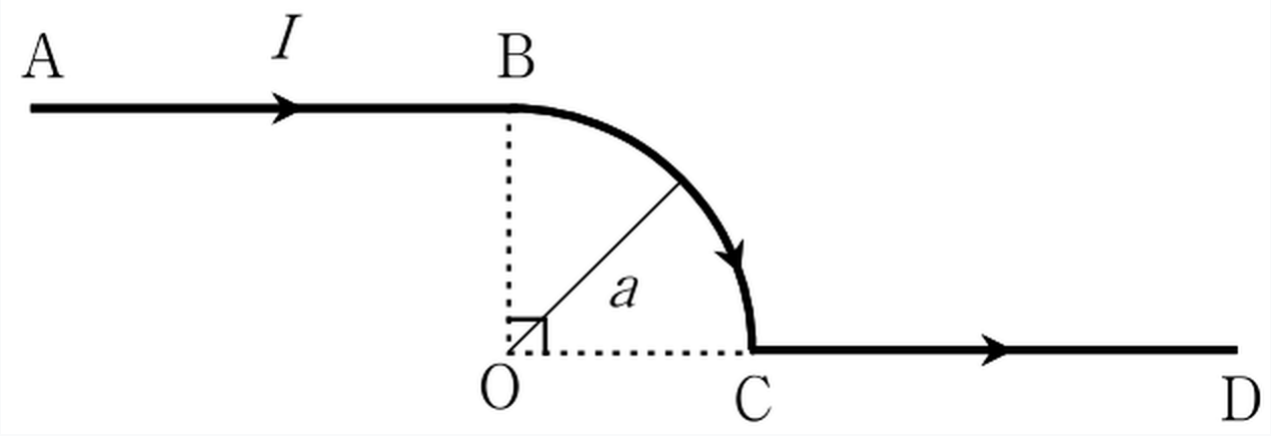
유전체 경계면 문제가 나오면 경계면에 평행한 성분과 수직한 성분을 먼저 나눈다. 그다음 접선 성분은 그대로 두고 법선 성분만 $\varepsilon_1 E_{1n}=\varepsilon_2 E_{2n}$으로 바꾼 뒤 마지막에 벡터 크기를 합성하면 된다.

암기 포인트

유전체 경계면에서는 접선 E는 연속이고 법선 D는 연속이므로 E_n은 비유전율에 반비례한다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 반지름이 $a[m]$인 원의 $\frac{1}{4}$이 되는 BC도선에 반무한(semi-infinite)직선 AB도선과 CD도선이 연결되어 있다. 이 도선에 전류 $I[A]$가 흐를 때, 원의 중심 O에서 자계의 크기 $[A/m]$는?



① $\left(\frac{\pi+2}{8\pi a}\right)I$
② $\left(\frac{\pi+2}{4\pi a}\right)I$
③ $\left(\frac{\pi-2}{8\pi a}\right)I$
④ $\left(\frac{\pi-2}{4\pi a}\right)I$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반무한 직선도선과 $\frac{1}{4}$원호 도선이 만드는 자계를 중심점 O에서 중첩하여 구하는 문제이다.

조건 정리

반지름은 a이고 전류는 $A \to B \to C \to D$ 방향으로 흐른다. 구해야 할 값은 중심 O에서의 자계 크기 $[A/m]$이다. AB는 중심에서 거리 a만큼 떨어진 반무한 직선도선이고, BC는 중심각 $\pi/2$의 원호이며, CD는 중심 O가 도선의 연장선 위에 있으므로 각 미소요소에 대해 $\vec{dl} \times \hat{r} = 0$이 되어 기여가 0이다.

사용할 공식

직선도선의 자계는 $H = \frac{I}{4\pi\rho}(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)$이고, 원호 중심의 자계는 $H = \frac{I\phi}{4\pi a}$이다. 이 문제는 직선 구간과 원호 구간이 분리되어 있으므로 각 구간의 자계를 구한 뒤 벡터 방향을 확인하여 합하면 된다.

NoteBase

계산 과정

AB의 자계는 중심에서 수직거리 a, 각도는 90 °와 0 °이므로 $H_{AB} = \frac{I}{4\pi a}$이다. BC는 중심각 $\phi = \pi/2$인 원호이므로 $H_{BC} = \frac{I(\pi/2)}{4\pi a} = \frac{I}{8a}$이다. CD는 중심 O가 도선의 연장선 위에 있어 $H_{CD} = 0$이다. 또한 AB와 BC의 전류 방향은 모두 O에서 종이 안쪽 방향의 자계를 만들므로 같은 방향으로 더한다. 따라서 $H = H_{AB} + H_{BC} = \frac{I}{4\pi a} + \frac{I}{8a} = \frac{2I + \pi I}{8\pi a} = \frac{\pi + 2}{8\pi a} I$ 이다.

선지 판단

① O: 계산 결과가 정확히 $\frac{\pi + 2}{8\pi a} I$이므로 옳다. ② X: $\frac{\pi + 2}{4\pi a} I$는 정답의 2배로, CD도 AB와 같은 크기로 기여한다고 잘못 더한 값에 해당한다. 틀린 값 $\frac{\pi + 2}{4\pi a} I$ → 올바르게는 CD의 기여는 0이므로 $\frac{\pi + 2}{8\pi a} I$이다. ③ X: $\frac{\pi - 2}{8\pi a} I$는 AB와 BC의 자계 방향을 반대로 보고 뺀 값이다. 틀린 값 $\frac{\pi - 2}{8\pi a} I$ → 올바르게는 두 자계가 같은 방향이므로 더해야 한다. ④ X: $\frac{\pi - 2}{4\pi a} I$는 방향을 잘못 보아 빼고 크기까지 2배로 계산한 값이다. 틀린 값 $\frac{\pi - 2}{4\pi a} I$ → 올바르게는 $\frac{\pi + 2}{8\pi a} I$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 CD도 직선도선이므로 자계가 생긴다고 생각하는 점과, AB와 BC의 자계 방향을 서로 반대로 보는 점이다. 이 문제에서 CD는 중심이 도선의 연장선 위에 있어 외적이 0이고, AB와 BC는 모두 O에서 종이 안쪽 방향이므로 합해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

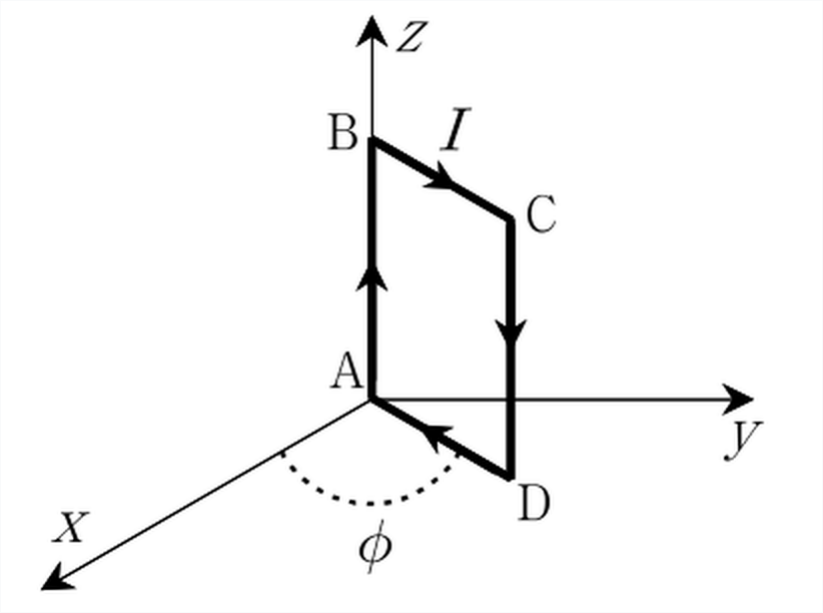
합성도선 자계 문제는 구간을 직선·원호로 나눈 뒤 각 구간의 공식을 따로 적용하고, 마지막에 중심점에서의 방향이 같은지 반대인지 확인하여 더할지 뺄지를 결정하면 된다. 도선의 연장선 위에 있는 점은 직선 구간의 자계가 0인지 먼저 확인한다.

암기 포인트

반무한 직선도선은 $\frac{I}{4\pi a}$, 중심각 ϕ인 원호는 $\frac{I\phi}{4\pi a}$, 도선 연장선 위의 점은 직선구간 자계가 0이라는 세 가지를 함께 기억하면 된다.

NoteBase

문 9. 자속밀도 $\vec{B} = \vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y[\mathrm{Wb/m^2}]$인 자유공간에 놓인 $\overline{AB} = 30[\mathrm{cm}]$, $\overline{BC} = 10[\mathrm{cm}]$이고, 권선수 $N = 20$인 직사각형 루프가 z축에 고정되어 있고, $I = 10[\mathrm{A}]$의 전류가 그림과 같이 흐르고 있다. 이때, 루프에 작용하는 토크 $[\mathrm{N \cdot m}]$는?



① $6(\vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y)$

② $-6(\vec{a}_y + \sqrt{3}\vec{a}_x)$

③ $-6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$

④ $6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$

정답 3번

출제 포인트

직사각형 전류 루프의 자기모멘트 $\vec{m} = NIS\vec{a}_n$을 먼저 구하고, 이어서 $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$로 토크의 방향과 부호를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{B} = \vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y$, $AB = 30cm = 0.3m$, $BC = 10cm = 0.1m$, $N = 20$, $I = 10A$이다.
루프의 면적은 $S = AB \times BC = 0.3 \times 0.1 = 0.03m^2$이다.
전류 방향이 $A \to B \to C \to D \to A$이므로 면의 법선은 오른손법칙에 따라 정해진다.
바닥 변 AD의 방향은 $\cos\phi\vec{a}_x + \sin\phi\vec{a}_y$로 둘 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 $\vec{m} = NIS\vec{a}_n$, $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전류가 흐르는 평면 루프가 균일한 자기장 안에 있을 때 작용 토크가 자기모멘트와 자기장의 외적으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 면적과 자기모멘트의 크기를 구하면 $NIS = 20 \times 10 \times 0.03 = 6$이다.
2. 전류 방향 $A \to B \to C \to D \to A$에서 면의 법선은
$\vec{a}_n = \vec{a}_z \times (\cos\phi\vec{a}_x + \sin\phi\vec{a}_y) = -\sin\phi\vec{a}_x + \cos\phi\vec{a}_y$
가 된다.
3. 따라서 자기모멘트는
$\vec{m} = 6(-\sin\phi\vec{a}_x + \cos\phi\vec{a}_y)$
이다.
4. 토크는
$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B} = 6(-\sin\phi\vec{a}_x + \cos\phi\vec{a}_y) \times (\vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y)$
$= -6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$
가 된다.

선지별 해설

① X
토크를 $\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$ 성분으로 둔 점이 틀리다. $\vec{m}$과 $\vec{B}$가 모두 xy평면에 있으므로 $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$는 반드시 z축 방향이어야 한다. 틀린 표현은 $6(\vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y)$이고, 올바르게는 $-6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$이다.
② X
이 식도 토크 방향을 xy평면으로 둔 점이 틀리다. $-6(\vec{a}_y + \sqrt{3}\vec{a}_x)$는 외적 결과가 아니라 평면 내 성분을 임의로 섞은 형태이다. 틀린 표현은 $-6(\vec{a}_y + \sqrt{3}\vec{a}_x)$이고, 올바르게는 $-6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$이다.
③ O
자기모멘트가 $6(-\sin\phi\vec{a}_x + \cos\phi\vec{a}_y)$이고, 이를 $\vec{B} = \vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y$와 외적하면 $-6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$가 된다. 크기와 방향이 모두 계산 결과와 일치한다.
④ X
크기는 맞지만 부호가 반대이므로 틀리다. 이 값은 면의 법선이나 외적 순서를 반대로 잡았을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 $+6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$이고, 올바르게는 $-6(\sqrt{3}\sin\phi + \cos\phi)\vec{a}_z$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 토크 $\vec{\tau}$와 자기모멘트 $\vec{m}$를 혼동하는 점이다. 루프의 가로방향 AD를 잡은 뒤 바로 토크 방향이라고 착각하면 ①, ②처럼 xy평면 벡터를 고르게 된다. 또 오른손법칙이나 외적 순서를 반대로 잡으면 ④처럼 부호가 뒤집힌다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

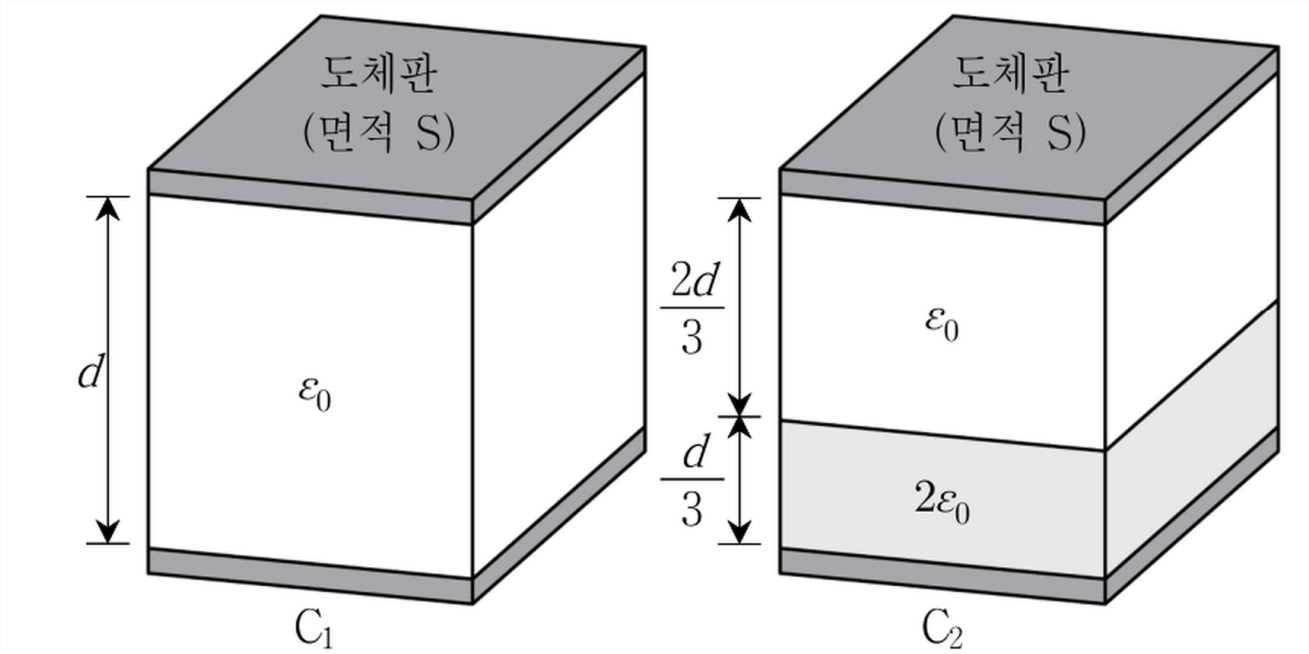
루프 토크 문제는 면적 S 계산, 전류방향으로 법선 $\vec{a}_n$ 결정, $\vec{m} = NIS\vec{a}_n$ 계산, $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$ 외적의 순서로 판단하면 된다. $\vec{m}$과 $\vec{B}$가 같은 평면에 있으면 토크는 그 평면에 수직인 축 방향으로 나온다.

암기 포인트

전류 루프의 토크는 항상 $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$이며, 방향은 자기장 방향이 아니라 자기모멘트와 자기장에 모두 수직인 방향이다. 이 문제에서는 $NIS = 6$과 $\vec{a}_n = \vec{a}_z \times A\vec{D}$만 정확히 잡으면 답이 정해진다.

NoteBase

문 10. 커패시터 C_1은 도체판 면적이 S, 도체판 사이의 거리가 d이고, 공기로 채워진 평행판 커패시터이다. 이 커패시터 C_1에 그림과 같이 두께가 $\frac{d}{3}$, 비유전율이 2인 유전체를 삽입하여 새로운 평행판 커패시터 C_2를 만들었다. 두 커패시터에 동일한 양의 전하를 충전할 경우 C_1과 C_2에 각각 저장되는 정전에너지 크기의 비는? (단, 가장자리 효과는 무시하며, ε_0는 자유공간의 유전율이다)



① 2:3

② 3:2

③ 5:6

④ 6:5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 일부 삽입된 평행판 커패시터의 등가정전용량을 구한 뒤, 같은 전하를 저장할 때의 정전에너지 비를 $U=\frac{Q^2}{2C}$로 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: C_1은 도체판 면적 S, 판간 거리 d, 유전율 ε_0인 공기 평행판 커패시터이다.
C_2는 두께 $\frac{d}{3}$, 유전율 $2\varepsilon_0$인 유전체와 두께 $\frac{2d}{3}$, 유전율 ε_0인 공기층이 전기장 방향으로 직렬로 놓인 구조이다.
구해야 할 값: 같은 전하량 Q를 충전했을 때 C_1과 C_2의 저장 에너지 비이다.
주의할 조건: 같은 전하량 조건에서는 전압이 아니라 정전용량의 역수에 비례해 에너지가 결정된다.

NoteBase

사용할 공식

평행판 커패시터는 $C = \frac{\varepsilon S}{d}$이다.
유전체가 두께 방향으로 나뉘어 있으면 직렬 연결과 같으므로
$\frac{1}{C_2} = \frac{d_1}{\varepsilon_1 S} + \frac{d_2}{\varepsilon_2 S}$
를 쓴다.
또한 같은 전하량 Q를 저장할 때 정전에너지는
$U = \frac{Q^2}{2C}$
이므로 에너지 비는 정전용량의 역비가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 C_2의 유전체와 공기층이 판 사이 두께 방향으로 층을 이루어 직렬 커패시터와 동일하게 동작하기 때문이다.

계산 과정

1. $C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$이다.
2. C_2에 대해
$\frac{1}{C_2} = \frac{\frac{2d}{3}}{\varepsilon_0 S} + \frac{\frac{d}{3}}{2\varepsilon_0 S} = \frac{2d}{3\varepsilon_0 S} + \frac{d}{6\varepsilon_0 S} = \frac{5d}{6\varepsilon_0 S}$
이므로
$C_2 = \frac{6\varepsilon_0 S}{5d} = \frac{6}{5} C_1$
이다.
3. 같은 전하량 Q를 저장하면
$U_1 : U_2 = \frac{Q^2}{2C_1} : \frac{Q^2}{2C_2} = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} = C_2 : C_1 = \frac{6}{5} : 1 = 6 : 5$
이다.

선지 판단

1번 X: 2 : 3은 계산 결과 6 : 5와 다르다. 같은 전하량 조건을 놓치고 단순히 유전율 2만 보고 비를 잡으면 이런 오답이 나온다. 틀린 표현은 2 : 3이고, 올바르게는 6 : 5이다.
2번 X: 3 : 2는 계산 결과 6 : 5보다 크게 잡은 값이다. 층상 유전체를 병렬처럼 처리하거나 공기층 $\frac{2d}{3}$를 무시하면 이런 값으로 흐르기 쉽다. 틀린 표현은 3 : 2이고, 올바르게는 6 : 5이다.
3번 X: 5 : 6은 6 : 5의 역수이다. 같은 전하량에서 $U \propto \frac{1}{C}$임을 놓치고 $U \propto C$로 착각하면 나온다. 틀린 표현은 5 : 6이고, 올바르게는 6 : 5이다.
4번 O: $C_2 = \frac{6}{5} C_1$이고 같은 전하량에서는 $U_1 : U_2 = C_2 : C_1$이므로 6 : 5가 맞다.

오답 포인트

이 문제의 핵심 함정은 두 가지이다. 첫째, 유전체가 두께 방향으로 삽입되었으므로 병렬이 아니라 직렬 등가정전용량으로 계산해야 한다. 둘째, 같은 전하량 조건에서는 정전에너지가 정전용량에 비례하지 않고 그 역수에 비례하므로 마지막 비를 뒤집지 않아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

유전체가 판 사이에서 어느 방향으로 나뉘는지부터 본다. 두께 방향이면 직렬, 면적 방향이면 병렬로 본다. 그다음 문제 조건이 같은 전압인지 같은 전하량인지 확인한 뒤, 같은 전압이면 $U = \frac{1}{2}CV^2$, 같은 전하량이면 $U = \frac{Q^2}{2C}$로 판단한다.

암기 포인트

층으로 쌓인 유전체는 직렬, 같은 전하량에서 에너지는 C의 역비라는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 11. 전계 $\vec{E} = \vec{a}_x[V/m]$와 자속밀도 $\vec{B} = 2\vec{a}_y[Wb/m^2]$인 자유공간에서 단위 양전하가 속도 $\vec{v}[m/s]$로 움직일 때, 단위 양전하가 받는 힘이 0이 되기 위한 속도 $\vec{v}[m/s]$는?

① $-\frac{1}{2}\vec{a}_z$

② $\frac{1}{2}\vec{a}_z$

③ $-2\vec{a}_z$

④ $2\vec{a}_z$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 로런츠 힘 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$에서 전기력과 자기력이 상쇄되도록 속도의 방향과 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{E} = a_x[V/m]$, $\vec{B} = 2a_y[Wb/m^2]$, 단위 양전하 $q = 1$이다.
구해야 할 값: 힘이 0이 되게 하는 속도 $\vec{v}$이다.
주의할 조건: 힘이 0이면 $\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$이어야 하며, 오른손 좌표계에서 $a_z \times a_y = -a_x$이다.

사용할 공식

$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
$\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} \times \vec{B} = -\vec{E}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 전계와 자계가 동시에 있을 때 이동 전하가 받는 힘을 0으로 만드는 속도를 묻고 있으므로 로런츠 힘 식을 그대로 적용하는 상황이다.

계산 과정

1. 단위 양전하이므로 $\vec{F} = 0$ 조건은 $\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$이다.
2. 속도를 $\vec{v} = ka_z$라 두면
$(ka_z) \times (2a_y) = 2k(a_z \times a_y) = -2ka_x$
이다.
3. 따라서
$a_x - 2ka_x = 0$
$1 - 2k = 0 \Rightarrow k = \frac{1}{2}$
가 되어
$\vec{v} = \frac{1}{2}a_z[m/s]$
이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: $-\frac{1}{2}a_z$이면 $\vec{v}\times\vec{B}=+a_x$가 되어 전계 a_x와 같은 방향으로 더해진다. 총힘이 0이 되지 않는다. 틀린 표현은 속도의 방향이 $-a_z$라는 점이며, 올바르게는 $+\frac{1}{2}a_z$이다.
2번 O: $\frac{1}{2}a_z$이면 $\vec{v}\times\vec{B}=-a_x$가 되어 전계 a_x와 정확히 상쇄된다. 따라서 힘이 0이 된다.
3번 X: $-2a_z$이면 $\vec{v}\times\vec{B}=+4a_x$가 되어 총힘이 $5a_x$가 된다. 틀린 표현은 속도의 방향과 크기가 모두 맞지 않는 점이며, 올바르게는 $+\frac{1}{2}a_z$이다.
4번 X: $2a_z$이면 $\vec{v}\times\vec{B}=-4a_x$가 되어 전계와 정확히 상쇄되지 않고 총힘이 $-3a_x$가 된다. 틀린 표현은 속도 크기가 2라는 점이며, 올바르게는 $+\frac{1}{2}a_z$이다.

오답 포인트

①과 ③은 $a_z\times a_y=-a_x$의 부호를 반대로 잡게 만드는 함정이다. ④는 방향은 맞지만 $\vec{B}$의 크기 2를 반영하지 않아 속도 크기를 4배 크게 잡은 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전자기력 상쇄 문제는 먼저 $\vec{v}\times\vec{B}=-\vec{E}$를 세운다. 그 다음 외적의 방향으로 속도 방향을 정하고, 마지막에 $|\vec{E}|$와 $|\vec{B}|$의 비로 속도 크기를 맞추면 된다.

암기 포인트

힘이 0이면 $\vec{v}\times\vec{B}=-\vec{E}$이다. 방향은 외적으로 정하고, 크기는 $|\vec{v}|=|\vec{E}|/|\vec{B}|$로 정한다.

NoteBase

문 12. 강자성체의 자기이력곡선에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 외부자계의 변화에 따라 자성체에 잔류자속이 남는다.

② 자기이력곡선 내부의 면적은 에너지 손실에 비례한다.

③ 소자 혹은 탈자(demagnetization)에 이용되는 비선형 곡선이다.

④ 자속이 포화상태가 된 후 외부자계를 제거하면 잔류자속이 남지 않는다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 강자성체의 자기이력곡선에서 잔류자속과 히스테리시스 손실의 의미를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

자기이력곡선은 외부자계를 증가·감소시킬 때 자속밀도 B 또는 자화가 같은 경로로 돌아오지 않고 이력을 남기는 비선형 곡선이다.
잔류자속은 자성을 띤 상태에서 외부자계를 0으로 줄여도 남아 있는 자속이다.
자기이력곡선의 내부 면적은 1주기 자화 과정에서 열로 소모되는 히스테리시스 손실에 비례한다.

선지별 해설

1번: O. 강자성체는 외부자계를 가했다가 제거해도 자화가 완전히 0으로 돌아오지 않아 잔류자속이 남는다. 자기이력의 대표적 성질을 설명한 문장이다.
2번: O. 자기이력곡선이 둘러싸는 면적은 자화와 소자 과정을 한 번 거치는 동안 잃는 에너지에 비례한다. 면적이 클수록 히스테리시스 손실이 크다.
3번: O. 자기이력곡선은 강자성체의 자화와 탈자 과정을 나타내는 비선형 곡선이다. 선형 자화 특성이 아니라 이력과 포화가 함께 나타나는 곡선이라는 점이 핵심이다.
4번: X. 틀린 부분은 "잔류자속이 남지 않는다"이다. 실제로는 자속이 포화된 뒤 외부자계를 제거하면 일정한 잔류자속이 남는다.

오답 포인트

4번은 외부자계를 제거하면 자속이 즉시 0이 된다고 착각하게 만드는 문장이다. 강자성체는 포화 후에도 잔류자속이 남는다는 점을 잊으면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기이력곡선 문제는 먼저 포화 후 외부자계를 0으로 만들었을 때 잔류자속이 남는지 확인하고, 다음으로 곡선 내부 면적이 손실과 연결되는지 판단하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

강자성체는 포화 후 자계를 제거해도 잔류자속이 남고, 자기이력곡선 면적은 히스테리시스 손실에 비례한다.

NoteBase

문 13. 정자계에서의 암페어법칙 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$는 맥스웰(J. C. Maxwell)에 의해 시변전자계에서 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$라는 관계식으로 수정되었다. 다음 맥스웰의 수정 과정에서 ㉠~㉢에 들어갈 내용을 바르게 연결한 것은?

맥스웰의 수정 과정은 전하량 보존 법칙으로부터 시작된다. 전하량 보존 법칙을 수학적으로 표현하면 연속방정식 (㉠)이다. 정자계에서의 관계식 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$의 양변에 발산 연산(divergence operation)을 취하면, $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{H}) = \nabla \cdot \vec{J}$가 된다. 벡터 항등식으로부터 이 식의 좌변은 항상 0이 되기 때문에 우변도 0이 되어야만 하므로 연속방정식에 위배된다. 이러한 모순을 해소하기 위하여 우변에 (㉡)를 더하면 $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{H}) = \nabla \cdot \vec{J} + \text{¤}$가 된다. 이 식의 우변을 발산 연산자로 묶으면 $\nabla \cdot \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)$가 된다. 따라서 $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{H}) = \nabla \cdot \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)$이 되고 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$로 수정된다. 이 식에서 $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$항은 (㉢)를 의미한다.

① ㉠: $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉡: $\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉢: 변위전류밀도
② ㉠: $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉡: $-\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉢: 변위전류밀도
③ ㉠: $\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉡: $\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉢: 전도전류밀도
④ ㉠: $\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉡: $-\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ㉢: 전도전류밀도

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 연속방정식 $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$와 맥스웰이 추가한 변위전류밀도 $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$의 의미를 연결할 수 있는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

연속방정식은 전하가 줄어드는 만큼 전류가 밖으로 나간다는 전하보존식이다.
변위전류밀도는 시간에 따라 변하는 전속밀도 항으로, $\nabla \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$를 만족하여 $\nabla \cdot (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) = 0$가 되게 한다.
전도전류밀도는 실제 자유전하의 이동에 의한 $\vec{J}$ 자체이고, 변위전류밀도와 다른 개념이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- ¤ $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$는 연속방정식으로 맞다.
- ¤ $\frac{\partial \rho}{\partial t}$를 더하면 $\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$가 되어 좌변의 0과 모순이 없어진다.
- ¤ $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$는 변위전류밀도이므로 맞다.

② X
- 틀린 부분은 ¤ $-\frac{\partial \rho}{\partial t}$이다.
- 실제로는 $\nabla \cdot (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) = \nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t}$가 되어야 하므로 ¤ $\frac{\partial \rho}{\partial t}$가 맞다.

③ X
- 틀린 부분은 ¤ $\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$와 ¤전도전류밀도이다.
- 실제로 연속방정식은 음의 부호가 붙은 $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$이고, $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$는 전도전류밀도가 아니라 변위전류밀도이다.

④ X
- 틀린 부분은 ¤ $\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$, ¤ $-\frac{\partial \rho}{\partial t}$, ¤전도전류밀도이다.
- 실제로는 연속방정식의 부호가 반대이고, 모순을 없애려면 ¤ $\frac{\partial \rho}{\partial t}$가 들어가야 하며, $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$의 의미는 전도전류밀도가 아니라 변위전류밀도이다.

오답 포인트

연속방정식의 부호를 반대로 외우거나, $\vec{J}$와 $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$를 모두 같은 전류항으로 뭉뚱그리면 ③, ④처럼 틀리기 쉽다. 특히 $\nabla \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$에서 플러스 부호가 나온다는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

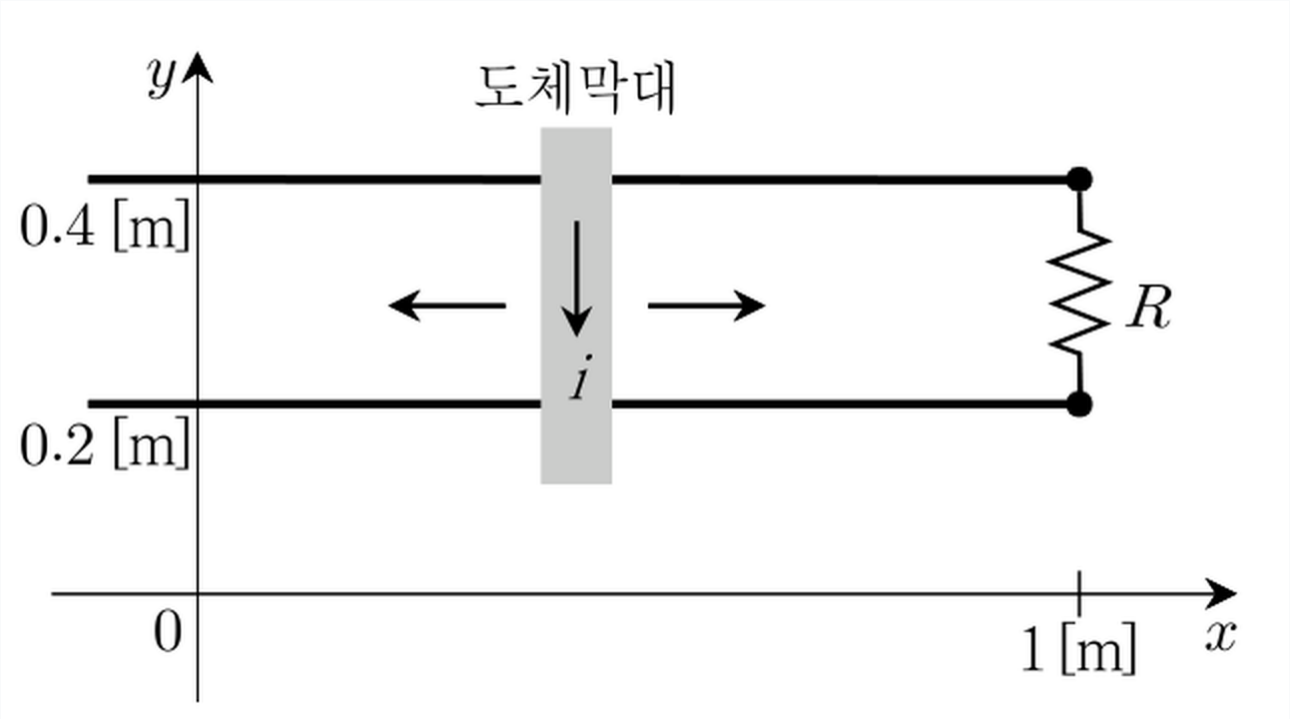
먼저 연속방정식 $\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$의 부호를 확인하고, 그다음 가우스 법칙 $\nabla \cdot \vec{D} = \rho$를 시간 미분해 $\nabla \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$를 만든 뒤 두 식이 상쇄되는지 보면 된다.

암기 포인트

전하보존은 마이너스, 맥스웰 보정은 플러스, $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$는 변위전류밀도이다.

NoteBase

문 14. 자속밀도 $\vec{B} = -10\sin\omega t\vec{a}_z[Wb/m^2]$인 자유공간에 설치된 도체 레일 위를 도체막대가 그림과 같이 주기적으로 왕복운동을 하고 있다. 시간이 t일 때 도체막대의 위치는 $x = 0.5(1 - \sin\omega t)[m]$이며, 레일은 $R = 0.5[\Omega]$으로 종단되어 있다. 이때, 도체막대에 흐르는 전류 $i[A]$는?



① $2\omega\sin\omega t(1 + 2\cos\omega t)$

② $4\omega\cos\omega t(1 + 2\cos\omega t)$

③ $2\omega\cos\omega t(1 + 2\sin\omega t)$

④ $4\omega\sin\omega t(1 + 2\sin\omega t)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자속밀도와 왕복운동하는 도체막대가 함께 만드는 자속 변화를 이용해 유도전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

레일 간격은 $0.4 - 0.2 = 0.2m$이다.
도체막대 위치는 $x = 0.5(1 - \sin\omega t)$이고, 저항은 오른쪽 끝 $x = 1$에 있으므로 회로의 가로 길이는 $1 - x$이다.
따라서 회로 면적은 $A = 0.2(1 - x) = 0.2(1 - 0.5(1 - \sin\omega t)) = 0.1(1 + \sin\omega t)m^2$이다.
자속밀도는 $B = -10\sin\omega t a_z Wb/m^2$, 저항은 $R = 0.5\Omega$이다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 $\mathcal{E}=-\frac{d\Phi}{dt}$, $\Phi=BA$, $i=\frac{\mathcal{E}}{R}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자기장이 시간에 따라 바뀌고, 동시에 도체막대의 위치가 변해 회로 면적도 바뀌므로 자속 Φ 자체를 시간에 대해 미분해야 하기 때문이다.

계산 과정

도체막대의 전류 방향을 그림처럼 아래쪽으로 잡으면 회로의 양의 순환방향은 반시계방향이고, 이에 대응하는 면의 법선은 $+a_z$이다.
따라서 자속은
$\Phi=BA=(-10\sin\omega t)\cdot 0.1(1+\sin\omega t)=-(\sin\omega t+\sin^2\omega t)$
이다.
패러데이 법칙을 적용하면
$\mathcal{E}=-\frac{d\Phi}{dt}=-\frac{d}{dt}[-(\sin\omega t+\sin^2\omega t)]$
$=\omega\cos\omega t+2\omega\sin\omega t\cos\omega t=\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$
이다.
따라서 전류는
$i=\frac{\mathcal{E}}{R}=\frac{\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)}{0.5}=2\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$
이다.

선지 판단

1번 X: 앞의 함수가 $\sin\omega t$인 점이 틀렸고, 괄호 안도 $(1+2\cos\omega t)$가 아니다. 자속을 미분하면 바깥에는 $\cos\omega t$가 나오고, 올바른 식은 $i=2\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$이다.
2번 X: 미분 결과의 기본 형태는 $\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$이므로 괄호 안을 $(1+2\cos\omega t)$로 쓰면 안 된다. 또한 $R=0.5\Omega$로 나누면 계수는 2배가 되어야 하므로 올바른 식은 $i=2\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$이다.
3번 O: $\Phi=-(\sin\omega t+\sin^2\omega t)$를 시간 미분한 뒤 $R=0.5\Omega$로 나누면 정확히 $i=2\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$가 된다.
4번 X: 앞의 함수가 $\sin\omega t$이면 자속 미분을 잘못한 것이다. $\sin\omega t$를 미분하면 $\omega\cos\omega t$가 나오므로 올바르게는 $i=2\omega\cos\omega t(1+2\sin\omega t)$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 운동하는 막대만 보고 속도기전력만 따로 계산하거나, 반대로 시간변화 자기장만 보고 면적 변화를 빼먹는 데 있다. 자속 $\Phi=BA$에서 B와 A가 둘 다 시간함수라는 점을 놓치면 sin과 cos 위치가 뒤바뀌거나 계수가 틀어진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

가동도체 유도 문제는 먼저 회로 면적 $A(t)$를 정확히 잡고, 그다음 자속 $\Phi(t) = B(t)A(t)$를 만든 뒤, 마지막에 $-d\Phi/dt$와 $i = \mathcal{E}/R$ 순서로 계산하면 된다. 자기장 변화와 면적 변화를 따로 보지 말고 자속 전체를 한 번에 미분하는 방식이 안전하다.

암기 포인트

시간변화 자기장과 이동도체가 함께 있으면 $\Phi = B \times A$를 먼저 만들고 전체를 미분한다.

NoteBase

문 15. 자계 $\vec{H} = 0.1\sin(10^3 t + 10^2 y)\vec{a}_z [A/m]$인 자유공간의 원점에서 시간 $t = 0$일 때, 변위전류밀도 $[A/m^2]$는?

① $10\vec{a}_x$

② $10\vec{a}_y$

③ $10\vec{a}_z$

④ 0

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 자유공간에서 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_d$를 이용해 원점, $t = 0$에서의 변위전류밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{H} = 0.1\sin(10^3 t + 10^2 y)\vec{a}_z (\mathrm{A/m})$이다.
구해야 할 값: 원점에서 $t = 0$일 때 변위전류밀도 $\vec{J}_d (\mathrm{A/m^2})$이다.
주의할 조건: 자유공간이므로 도전전류밀도 $\vec{J} = 0$이고, 따라서 $\vec{J}_d = \nabla \times \vec{H}$로 바로 구할 수 있다.

사용할 공식

자유공간에서는 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_d$이다.
이 문제에서 $\vec{H}$는 z성분만 있으므로
$\nabla \times \vec{H} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y}\right)\vec{a}_x$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 H_z가 y에 따라 변하므로 컬의 x성분만 남기 때문이다.

계산 과정

1. $H_z = 0.1\sin(10^3 t + 10^2 y)$이다.
2. 따라서
$\vec{J}_d = \nabla \times \vec{H} = \frac{\partial H_z}{\partial y}\vec{a}_x = 0.1 \cdot 10^2 \cos(10^3 t + 10^2 y)\vec{a}_x = 10\cos(10^3 t + 10^2 y)\vec{a}_x$
이다.
3. 원점과 $t = 0$을 대입하면 $y = 0$, $t = 0$이므로
$\vec{J}_d = 10\cos 0\,\vec{a}_x = 10\vec{a}_x (\mathrm{A/m^2})$
이다.

NoteBase

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $10\vec{a}_x$이므로 옳다.
2번: X. 크기 10은 같아도 방향이 틀리다. 틀린 표현은 $\vec{a}_y$이고, 올바르게는 $10\vec{a}_x$이다.
3번: X. 자기장이 z방향이라고 해서 변위전류밀도도 z방향이 되는 것은 아니다. 컬을 취하면 $\partial H_z/\partial y$가 남아 x방향이 된다. 틀린 표현은 $\vec{a}_z$이고, 올바르게는 $10\vec{a}_x$이다.
4번: X. 원점에서 위상은 0이므로 $\cos 0 = 1$이다. 따라서 변위전류밀도는 0이 아니라 $10\vec{a}_x$이다.

오답 포인트

자기장이 $\vec{a}_z$방향이라는 이유만으로 결과도 z방향이라고 착각하기 쉽다. 이 문제의 함정은 벡터의 방향을 성분 자체로 보지 말고 컬 연산으로 판단해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

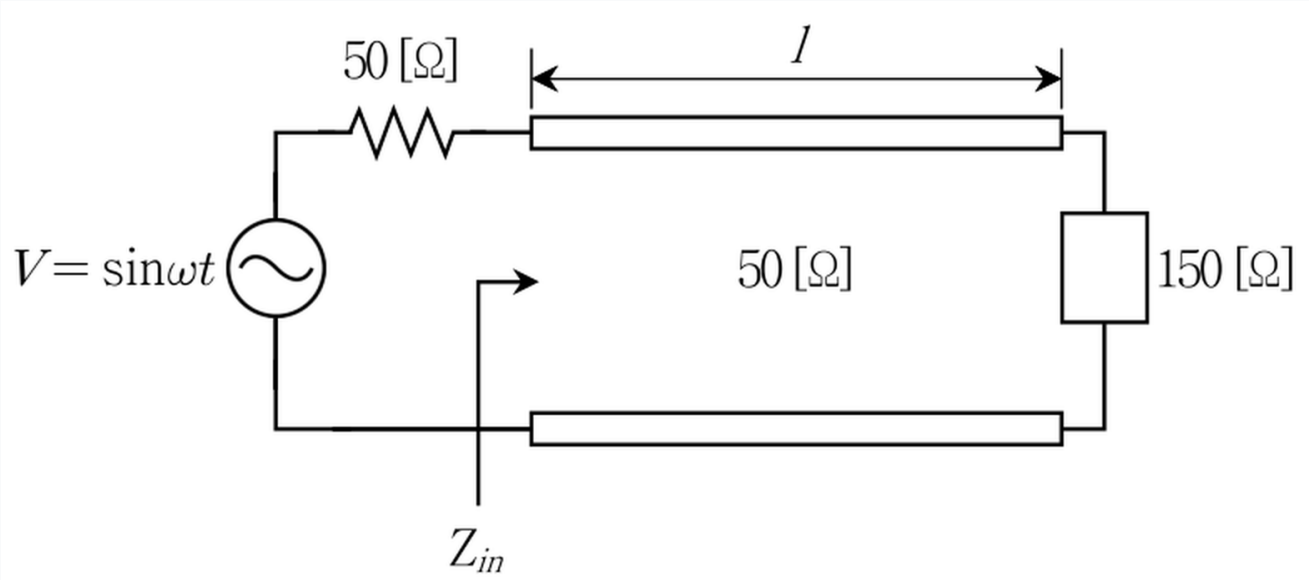
자유공간에서 변위전류밀도를 묻으면 먼저 $\vec{J}_d = \nabla \times \vec{H}$를 쓴다. 그다음 주어진 자기장의 성분과 어느 좌표에 따라 변하는지를 보고 컬의 남는 방향을 정한 뒤 수치를 대입하면 된다.

암기 포인트

$H_z(y)$만 주어지면 $\nabla \times \vec{H} = (\partial H_z/\partial y)\vec{a}_x$가 된다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 주파수 100[MHz]에서 동작하는 신호원에 길이 /인 무손실 전송선로와 부하가 연결되어 있다. 신호원의 임피던스는 50[Ω]이고, 전송선로의 특성임피던스와 부하의 임피던스는 각각 50[Ω]과 150[Ω]이다. 전송선로의 입력단에서 부하를 바라본 입력 임피던스 $Z_{in}(=R+jX)$에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, λ_g는 전송선로에서 전파하는 신호의 한 파장 길이를 의미한다)



① $0<l<0.25\lambda_g$이면 X는 양수이다.

② $0<l<0.25\lambda_g$이면 $0<R<150[\Omega]$이다.

③ $0.25\lambda_g<l<0.5\lambda_g$이면 $R>150[\Omega]$이다.

④ $l=0.25\lambda_g$이면 $R=\frac{1}{150}[\Omega]$이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무손실 전송선로의 입력 임피던스 식을 이용해 $Z_{in}=R+jX$의 실수부와 허수부가 선로 길이에 따라 어떻게 바뀌는지를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 특성임피던스 $Z_0=50\Omega$, 부하임피던스 $Z_L=150\Omega$
구해야 할 값: 전송선로 입력단에서 본 $Z_{in}=R+jX$의 부호와 크기 관계
주의할 조건: 무손실 선로이므로 $\beta l=2\pi l/\lambda_g$이고, $0<l<0.25\lambda_g$이면 $\tan\beta l>0$, $0.25\lambda_g<l<0.5\lambda_g$이면 $\tan\beta l<0$이다.

NoteBase

사용할 공식

$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l}$

이 공식을 쓰는 이유:
부하 Z_L가 특성임피던스 Z_0와 다르므로, 선로 길이에 따라 입력 임피던스가 변환되는 전송선로 공식으로 R과 X를 직접 구해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $t = \tan \beta l$로 두면
$Z_{in} = 50 \frac{150 + j50t}{50 + j150t}$
이다.
2. 분모의 켤레복소수를 곱하면
$Z_{in} = 50 \frac{(150 + j50t)(50 - j150t)}{50^2 + (150t)^2} = 50 \frac{7500(1 + t^2) - j20000t}{2500(1 + 9t^2)}$
이다.
3. 따라서
$Z_{in} = \frac{150(1 + t^2)}{1 + 9t^2} - j \frac{400t}{1 + 9t^2}$
이므로
$R = \frac{150(1 + t^2)}{1 + 9t^2}, \qquad X = -\frac{400t}{1 + 9t^2}$
이다.
4. $0 < l < 0.25\lambda_g$이면 $t > 0$이므로 $X < 0$이고, 또한 $t \neq 0$이어서
$0 < R = \frac{150(1 + t^2)}{1 + 9t^2} < 150$
이다.
5. $0.25\lambda_g < l < 0.5\lambda_g$이면 $t < 0$이므로 $X > 0$이지만, R은 여전히 같은 식이라서 계속 $0 < R < 150\Omega$이다.
6. $l = 0.25\lambda_g$이면 4분의 1파장 변환으로
$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L} = \frac{50^2}{150} = \frac{50}{3}\Omega$
이므로 $R = 50/3\Omega$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $0 < l < 0.25\lambda_g$에서는 $t = \tan\beta l > 0$이므로 $X = -\frac{400t}{1+9t^2} < 0$이다.
- 틀린 표현은 "X는 양수"이다. 올바르게는 "X는 음수"이다.

② O
- $0 < l < 0.25\lambda_g$에서는 $R = \frac{150(1+t^2)}{1+9t^2}$이고 $t > 0$이므로 $1 + 9t^2 > 1 + t^2$이다.
- 따라서 $0 < R < 150\Omega$가 성립하므로 옳다.

③ X
- $0.25\lambda_g < l < 0.5\lambda_g$에서는 $t < 0$이어서 $X > 0$로 바뀌지만, R은 t^2만 포함하므로 여전히 $0 < R < 150\Omega$이다.
- 틀린 표현은 "$R > 150\Omega$"이다. 올바르게는 "$0 < R < 150\Omega$"이다.

④ X
- $l = 0.25\lambda_g$이면 4분의 1파장 변환이므로 $R = Z_0^2/Z_L = 50^2/150 = 50/3\Omega$이다.
- 틀린 표현은 "$R = 1/150\Omega$"이다. 올바르게는 "$R = 50/3\Omega$"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 R과 X를 함께 보지 않고 감으로 판단하는 데 있다. 특히 $0 < l < 0.25\lambda_g$에서 $\tan\beta l > 0$라는 이유만 보고 X도 양수라고 착각하기 쉽지만, 실제 식은 $X = -\frac{400t}{1+9t^2}$라서 부호가 반대이다. 또한 4분의 1파장에서는 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$가 되어 분수 위치를 거꾸로 쓰는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로 계산형은 먼저 $t = \tan\beta l$의 부호를 구하고, 다음에 R과 X를 분리해 본다. 실수부는 t^2가 들어가 부호 영향을 받지 않는지, 허수부는 앞의 마이너스까지 포함해 부호가 뒤집히는지를 확인하면 선지를 빠르게 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

부하가 순저항일 때 무손실 선로의 입력 임피던스는 R은 t^2에, X는 t의 부호에 좌우된다. 4분의 1파장에서는 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$이다.

NoteBase

문 17. 비투자율이 1,000이고 평균자로길이가 $2[m]$이며 단면적이 일정한 토로이드 철심 자기회로에서 $4[mm]$의 공극이 생겼을 때, 전체 자기저항(리럭턴스)은 공극이 없었을 때에 비해 몇 배로 증가하는가? (단, 공극의 간격은 평균자로길이에 비해 충분히 작고, 가장자리 효과는 무시한다)

① 2배

② 3배

③ 4배

④ 5배

정답 2번

출제 포인트

철심과 공극이 직렬로 놓인 자기회로에서 전체 리럭턴스를 합산하고, 공극이 추가되었을 때 자기저항의 증가 배수를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 비투자율 $\mu_r = 1000$, 평균자로길이 $l = 2m$, 공극 길이 $g = 4mm = 0.004m$이다.
- 구해야 할 값: 공극이 생긴 뒤 전체 자기저항이 공극이 없을 때의 몇 배인지이다.
- 주의할 조건: 단면적은 일정하고 가장자리 효과는 무시하므로, 철심 리럭턴스와 공극 리럭턴스를 단순 직렬합으로 본다.

사용할 공식

$\mathcal{R}_0 = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$, $\mathcal{R}_g = \frac{g}{\mu_0 A}$, $\frac{\mathcal{R}_0 + \mathcal{R}_g}{\mathcal{R}_0} = 1 + \frac{g\mu_r}{l}$

철심과 공극은 직렬 자기회로이므로 리럭턴스가 더해진다. 단면적 A와 진공 투자율 μ_0는 비율 계산에서 서로 약분된다.

계산 과정

1. 공극이 없을 때 철심의 자기저항은 $\mathcal{R}_0 = \frac{2}{\mu_0 \cdot 1000 \cdot A}$이다.
2. 공극 $4mm$가 생기면 추가 자기저항은 $\mathcal{R}_g = \frac{0.004}{\mu_0 A}$이다.
3. 증가 배수는 $\frac{\mathcal{R}_0 + \mathcal{R}_g}{\mathcal{R}_0} = 1 + \frac{0.004 \times 1000}{2} = 1 + 2 = 3$이다.
4. 따라서 전체 자기저항은 공극이 없을 때의 3배가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 2배는 공극이 만들어낸 추가분 $\frac{g\mu_r}{l} = 2$만 본 값이다. 전체 자기저항은 기존 1배에 추가 2배가 더해져 3배가 되어야 한다.
② O: 비율식 $1 + \frac{g\mu_r}{l}$에 대입하면 $1 + \frac{0.004 \times 1000}{2} = 3$이므로 3배가 맞다.
③ X: 4배는 계산 결과와 맞지 않는다. 주어진 조건으로는 공극 추가분이 2배이므로 전체는 3배가 맞고, 4배라는 표현은 3배로 고쳐야 한다.
④ X: 5배는 평균자로길이 $2m$로 나누는 과정을 빠뜨려 $1 + 0.004 \times 1000 = 5$처럼 잘못 계산한 경우에 가깝다. 올바른 값은 3배이다.

오답 포인트

공극이 추가한 리럭턴스의 배수와 전체 리럭턴스의 배수를 혼동하기 쉽다. 이 문제에서는 공극 추가분이 2배이고, 여기에 원래 철심의 1배를 합쳐 총 3배가 된다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기회로의 공극 문제는 먼저 철심 리럭턴스와 공극 리럭턴스를 직렬합으로 두고, 이어서 $1 + \frac{g\mu_r}{l}$ 형태로 비율을 정리하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

공극 포함 자기저항 배수는 $1 + \frac{g\mu_r}{l}$로 정리되며, 공극 추가분과 전체 배수는 서로 다르다.

NoteBase

문 18. 무손실 매질에서 전파하는 전자기파의 전계와 자계가 각각 $\vec{E} = 120\pi\cos(6\pi \times 10^8 t - 4\pi z)\vec{a}_x[V/m]$, $\vec{H} = \cos(6\pi \times 10^8 t - 4\pi z)\vec{a}_y[A/m]$로 주어질 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 자유공간의 전파속도 $c = 3 \times 10^8[m/s]$이고, 자유공간의 고유임피던스는 $\eta_0 = 120\pi[\Omega]$이다)

① 이 전자기파의 동작 주파수는 $300[MHz]$이다.

② 매질에서 전자기파의 전파속도는 $1.5 \times 10^8[m/s]$이다.

③ 매질에서 전자기파의 평균전력밀도는 $60\pi[W/m^2]$이다.

④ 매질의 비투자율은 1이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평면 전자기파의 위상식에서 ω, β, 고유임피던스를 읽어 주파수, 전파속도, 평균전력밀도, 비투자율을 연결하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $E_0 = 120\pi[V/m]$, $H_0 = 1[A/m]$, $\omega = 6\pi \times 10^8[rad/s]$, $\beta = 4\pi[rad/m]$이다.
무손실 매질이므로 $\eta = E_0/H_0$, $v = \omega/\beta$, $\overline{S} = E_0H_0/2$를 바로 적용할 수 있다.
또한 자유공간 값은 $c = 3 \times 10^8[m/s]$, $\eta_0 = 120\pi[\Omega]$이다.

사용할 공식

$\omega = 2\pi f$, $v = \omega/\beta$, $\eta = E_0/H_0 = \eta_0\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$, $v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$, $\overline{S} = E_0H_0/2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 전계와 자계의 위상식이 직접 주어졌으므로 ω, β, 파동 임피던스를 바로 읽을 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $f = \omega/(2\pi) = (6\pi \times 10^8)/(2\pi) = 3 \times 10^8[Hz] = 300[MHz]$이다.
2. $v = \omega/\beta = (6\pi \times 10^8)/(4\pi) = 1.5 \times 10^8[m/s]$이다.
3. $\eta = E_0/H_0 = 120\pi[\Omega] = \eta_0$이므로 $\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r} = 1$이고, 따라서 $\mu_r = \varepsilon_r$이다.
4. $v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r} = c/2$이므로 $\sqrt{\mu_r\varepsilon_r} = 2$, 즉 $\mu_r\varepsilon_r = 4$이다.
5. $\mu_r = \varepsilon_r$와 $\mu_r\varepsilon_r = 4$를 함께 쓰면 $\mu_r = \varepsilon_r = 2$이다.
6. 평균전력밀도는 $\overline{S} = E_0H_0/2 = (120\pi \times 1)/2 = 60\pi[W/m^2]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: $f = \omega/(2\pi) = 300[MHz]$이므로 옳다.
② O: 전파속도는 $v = \omega/\beta = 1.5 \times 10^8[m/s]$이므로 옳다.
③ O: 평균전력밀도는 $\overline{S} = E_0 H_0/2 = 60\pi[W/m^2]$이므로 옳다.
④ X: 틀린 표현은 "비투자율은 1"이다. $\eta = \eta_0$이면 $\mu_r/\varepsilon_r = 1$만 알 수 있고, 여기에 $v = c/2$를 함께 써야 $\mu_r\varepsilon_r = 4$가 된다. 따라서 올바르게는 비투자율은 2이고 비유전율도 2이다.

오답 포인트

고유임피던스가 자유공간과 같으면 곧바로 자유공간과 같은 매질이라고 오해하기 쉽다. 이 문항은 $\eta = \eta_0$에서 비율 μ_r/ε_r만 얻고, 전파속도에서 곱 $\mu_r\varepsilon_r$를 추가로 구해야 한다는 점을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

전자기파 식이 보이면 먼저 ω와 β로 f, v를 구하고, 다음에 E_0/H_0로 고유임피던스를 구한다. 그 뒤 μ_r/ε_r와 $\mu_r\varepsilon_r$를 연립해 매질 상수를 정리하면 선지가 빠르게 정리된다.

암기 포인트

$\eta/\eta_0 = \sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$, $c/v = \sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$이다. 임피던스는 비율, 전파속도는 곱을 준다는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 19. 자속밀도가 $10^3\vec{a}_z[Wb/m^2]$인 자유공간에서 반지름 50[cm]인 원형 도선이 $z=0$평면에 놓여 있다. 이 도선에 3[mA]의 전류가 시계 반대방향으로 흐를 때, 원형 도선 전체에 가해지는 힘의 크기[N]는?

① 0

② π

③ 2π

④ 3π

정답 1번

출제 포인트

균일한 자계 속 폐회로에 작용하는 전체 힘은 $\vec{F}=I\oint d\vec{l}\times\vec{B}$로 구하며, $\vec{B}$가 일정하면 폐곡선 적분값이 0이 된다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{B}=10^3\vec{a}_z[Wb/m^2]$, $r=50cm=0.5m$, $I=3mA=3\times10^{-3}A$이다.
구해야 할 값: 원형 도선 전체에 가해지는 힘의 크기이다.
주의할 조건: 도선은 $z=0$ 평면의 폐회로이고, 자계는 크기와 방향이 일정한 균일 자계이다.

사용할 공식

$$d\vec{F}=Id\vec{l}\times\vec{B}$$
$$\vec{F}_{\text{total}}=I\oint d\vec{l}\times\vec{B}=I\left(\oint d\vec{l}\right)\times\vec{B}=\vec{0}$$

이 공식을 쓰는 이유는 각 미소 도선에는 자기력이 작용해도, 폐회로 전체의 힘은 벡터합으로 구해야 하며 균일 자계에서는 서로 마주 보는 구간들의 힘이 상쇄되기 때문이다.

계산 과정

1. 전류와 반지름을 SI 단위로 쓰면 $I=3\times10^{-3}A$, $r=0.5m$이다.
2. 원형 도선의 각 점에서는 $d\vec{F}=Id\vec{l}\times\vec{B}$가 작용하지만, 힘의 방향은 원주를 따라 계속 달라진다.
3. 전체 힘은 $I\oint d\vec{l}\times\vec{B}$인데, 균일 자계에서는 $\oint d\vec{l}=\vec{0}$이므로 합력은 $\vec{0}$이다.
4. 따라서 힘의 크기는 $0N$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
균일 자계 속 원형 폐회로의 전체 힘은 0이다. 각 미소구간에는 힘이 생기지만 원주 전체에서 벡터합이 상쇄되므로 $0N$이 된다.

② X
힘의 크기를 πN으로 보는 판단이 틀렸다. 자기력을 크기만 더한 값으로 보면 안 되고 전체 벡터합을 구해야 한다. 올바르게는 전체 힘은 $0N$이다.

③ X
힘이 $2\pi N$이라는 판단은 폐회로 전체 상쇄를 무시한 오답이다. 원형 도선의 일부 구간만 따로 보면 힘이 남을 수 있지만, 전체 도선에 대해서는 합력이 0이 된다. 올바르게는 $0N$이다.

④ X
$F = BIL$에 원둘레 $L = 2\pi r = \pi m$를 그대로 넣으면 $3\pi N$이 나오지만, 이는 폐회로 전체에 대한 합력 계산이 아니다. 이 문항은 미소힘의 벡터합을 봐야 하므로 올바른 값은 $0N$이다.

오답 포인트

$dF = IBdl$의 크기를 스칼라처럼 전부 더하면 안 된다는 점이 함정이다. 이 문항은 각 부분의 힘이 존재한다는 사실과 전체 합력이 0이라는 사실을 구분하는지를 묻는다. 전류가 시계 반대방향이라는 정보는 자기모멘트 방향을 정하지만, 균일 자계에서 합력 0이라는 결론은 바꾸지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

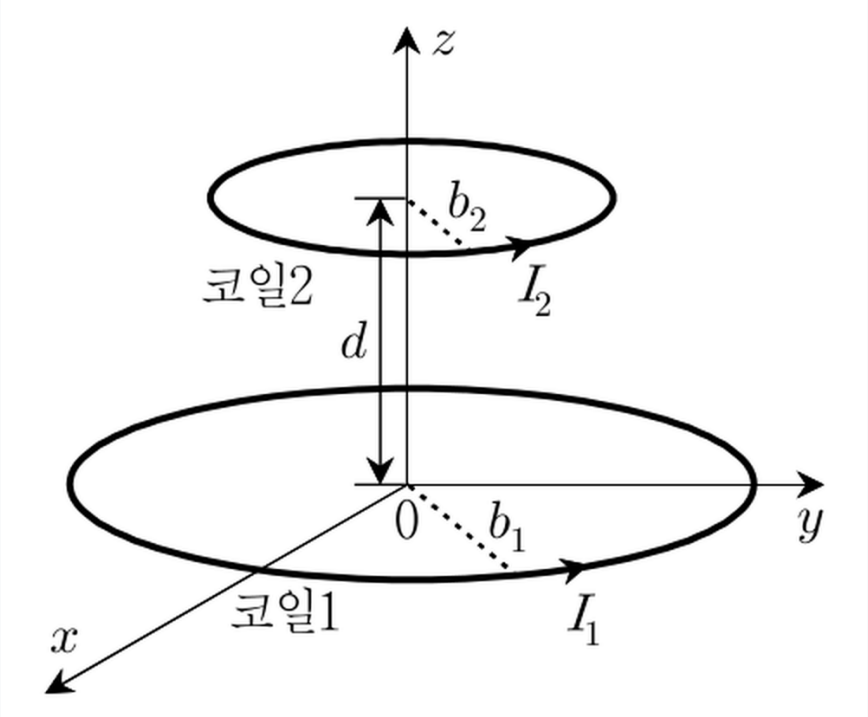
폐회로와 균일 자계가 함께 보이면 먼저 전체 힘과 토크를 분리해서 본다. 전체 힘은 $I\oint d\vec{l} \times \vec{B}$로 판단하고, $\vec{B}$가 일정하면 $\oint d\vec{l} = 0$이므로 합력은 0이라고 정리한다.

암기 포인트

균일 자계 속 폐회로는 합력 0이고, 자기모멘트와 자계가 어긋날 때만 토크가 생긴다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 자유공간에 있는 원형 코일1과 코일2의 반지름, 권선수는 각각 b_1, N_1과 b_2, N_2이다. 두 코일의 중심이 같은 축 위에 있고 거리 d만큼 떨어져 평행하게 놓여 있다. 두 코일에 각각 I_1, I_2의 전류가 흐른다고 가정할 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, $b_1 > b_2$이고, $d \gg b_1, b_2$이다)



① 두 코일 사이의 상호인덕턴스 M_{12}는 두 코일의 권선수 곱에 비례하는 $M_{12} \propto N_1 N_2$로 표현할 수 있다.

② 두 코일 사이의 상호인덕턴스 M_{12}는 두 코일의 반지름 제곱의 곱에 비례하는 $M_{12} \propto (b_1)^2 (b_2)^2$로 표현할 수 있다.

③ 코일1에 흐르는 전류에 의해 코일2에 작용하는 힘의 크기 $\left|\overrightarrow{F_{12}}\right|$는 두 코일에 흐르는 전류의 곱에 비례하는 $\left|\overrightarrow{F_{12}}\right| \propto I_1 I_2$로 표현할 수 있다.

④ 코일1과 코일2에 같은 방향으로 전류가 흐를 경우 코일1에 흐르는 전류에 의해 코일2에 작용하는 힘 $\overrightarrow{F_{12}}$의 방향은 $+z$ 방향이다.

정답 4번

출제 포인트

동축 원형 코일의 축상 자기장, 상호인덕턴스의 비례관계, 같은 방향 전류가 흐를 때의 힘 방향을 함께 판단하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 조건은 반지름이 각각 b_1, b_2, 권선수가 각각 N_1, N_2인 두 원형 코일이 같은 축 위에서 거리 d만큼 떨어져 평행하게 놓여 있다는 점이다.
또 $b_1 > b_2$, $d \gg b_1, b_2$이므로 코일1이 만드는 축상 자기장을 코일2 면적 전체에 거의 일정한 값으로 볼 수 있다.

사용할 공식

코일1이 축상 거리 d에서 만드는 자기장은
$B_1(d) = \frac{\mu_0 N_1 I_1 b_1^2}{2(d^2 + b_1^2)^{3/2}} \approx \frac{\mu_0 N_1 I_1 b_1^2}{2d^3}$
이다.
따라서 코일2를 지나는 자속은
$\Phi_{21} \approx N_2 B_1(d) \pi b_2^2$
이고, 상호인덕턴스는
$M_{12} = \frac{\Phi_{21}}{I_1} \approx \frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 b_1^2 b_2^2}{2d^3}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 $d \gg b_1, b_2$ 조건 때문에 두 코일이 서로 멀리 떨어진 자기쌍극자 근사 영역에 있기 때문이다.

계산 과정

1. 코일1의 축상 자기장은 $B_1 \propto N_1 I_1 b_1^2$이고 거리 의존성은 d^{-3}이다.
2. 코일2의 쇄교자속은 $\Phi_{21} \propto N_2 B_1 b_2^2$이므로 $\Phi_{21} \propto N_1 N_2 I_1 b_1^2 b_2^2$이다.
3. 따라서 $M_{12} = \Phi_{21}/I_1 \propto N_1 N_2 b_1^2 b_2^2$이다.
4. 힘은 에너지 $U = -M_{12} I_1 I_2$ 또는 $F_z \propto I_1 I_2 dM_{12}/dd$로 보면 두 전류의 곱에 비례한다.
5. 같은 방향 전류이면 두 코일은 서로 끌어당기므로 위쪽 코일2에는 아래쪽인 $-z$ 방향 힘이 작용한다.

선지별 해설

① O
상호인덕턴스 식에 N_1N_2가 곱으로 들어가므로 $M_{12} \propto N_1N_2$가 맞다.

② O
$M_{12} \approx \mu_0 \pi N_1 N_2 b_1^2 b_2^2/(2d^3)$이므로 반지름 제곱의 곱에 비례한다.

③ O
힘은 상호작용 에너지의 거리 미분으로 정해지므로 크기는 $|F_{12}| \propto I_1I_2$가 맞다.

④ X
같은 방향 전류가 흐르는 동축 코일은 서로 인력을 받는다. 따라서 아래쪽 코일1이 위쪽 코일2를 끌어당기는 힘의 방향은 $+z$가 아니라 $-z$이다.
틀린 표현은 "$+z$ 방향"이고, 올바르게는 "$-z$ 방향"이다.

오답 포인트

같은 방향 전류이면 축상 자기장 방향이 같으므로 힘도 $+z$라고 오해하기 쉽다. 그러나 힘의 방향은 자기장 화살표가 아니라 두 코일이 서로 끌어당기는지 밀어내는지로 판단해야 하며, 위쪽 코일의 실제 이동 방향은 아래쪽인 $-z$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

$d \gg b_1, b_2$가 보이면 먼저 축상 자기장을 원거리 근사해 $M \propto N_1N_2b_1^2b_2^2/d^3$ 형태를 잡는다. 그다음 힘은 I_1I_2에 비례하고, 같은 방향 전류의 동축 코일은 인력이므로 서로 가까워지는 방향으로 작용한다고 판단할 수 있다.

암기 포인트

멀리 떨어진 동축 원형 코일은 $M \propto N_1N_2b_1^2b_2^2/d^3$이고, 같은 방향 전류이면 인력이라 위 코일 힘은 $-z$이다.

NoteBase