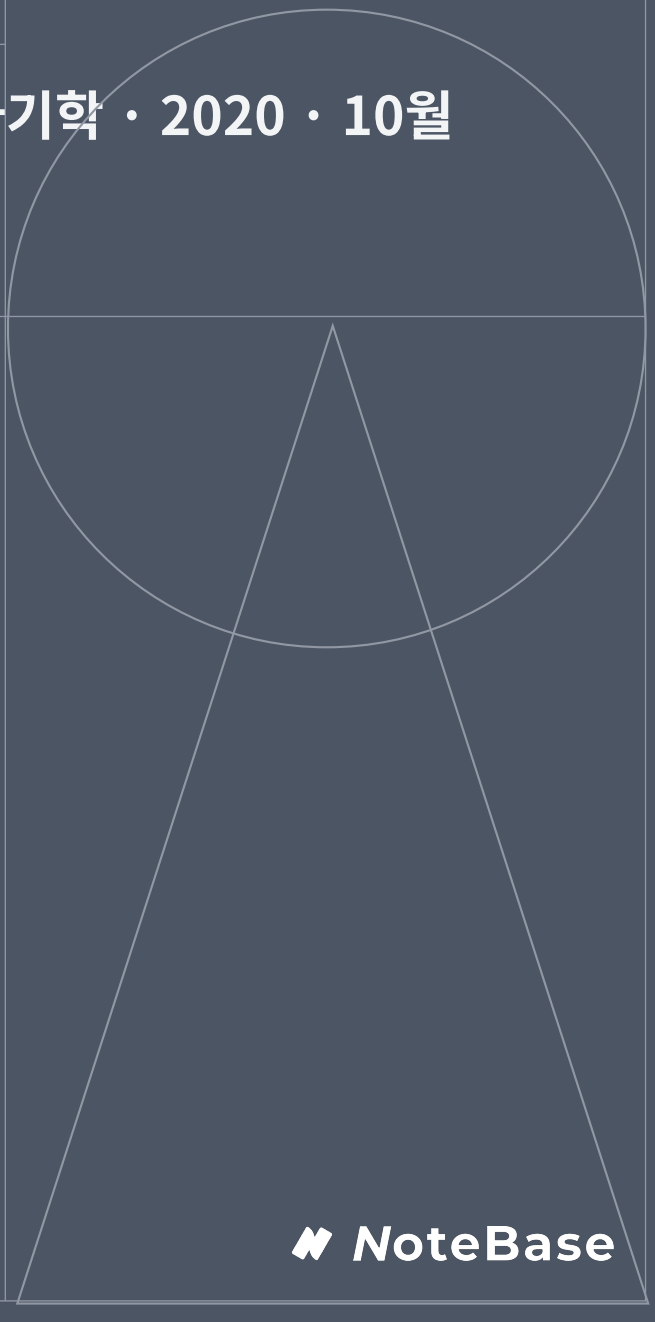
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2020 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2020 · 10월

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2020 · 10월

문 1. 전계 $\vec{E} = 2x\vec{a}_x + (3+y)\vec{a}_y[V/m]$에 대하여 점전자 $Q = -20[\mu C]$을 원점에서 $(2,0,0)[m]$으로 이동하는데 필요한 일 $[\mu J]$은?

① 10

② 20

③ 30

④ 80

정답 4번

출제 포인트

보존장인 정전계에서 전위차를 구한 뒤, 외력이 해야 할 일 $W_{ext} = \Delta U = q\Delta V$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계: $\vec{E} = 2x\vec{a_x} + (3+y)\vec{a_y}[V/m]$
전하: $Q = -20\mu C$
이동: 원점 $(0,0,0)$에서 $(2,0,0)$로 이동
주의할 조건: 이동 경로에서 $y = 0$이고 $dy = 0$이므로 y성분 전계는 일에 기여하지 않는다. 문제의 '필요한 일'은 외력이 공급해야 할 일, 즉 전위에너지 증가량이다.

사용할 공식

$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}, \qquad W_{ext} = \Delta U = q\Delta V$
이 공식을 쓰는 이유: 주어진 전계는 위치에 따라 달라지는 정전계이고, 점전하 이동에 필요한 일은 전위차를 통해 구할 수 있다. 이동이 x축 위에서만 일어나므로 선적분이 $\vec{E} \cdot d\vec{l} = 2xdx$로 단순해진다.

계산 과정

1. $d\vec{l} = dx\vec{a_x}$이므로 $\vec{E} \cdot d\vec{l} = 2xdx$이다.
2. 전위차는 $\Delta V = V_B - V_A = -\int_0^2 2xdx = -[x^2]_0^2 = -4V$이다.
3. 외력이 해야 할 일은 $W_{ext} = q\Delta V = (-20\mu C)(-4V) = 80\mu J$이다.
따라서 필요한 일은 $80\mu J$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
10\,\mu J는 계산값과 다르다. 전위차 $-4V$와 전하량 $-20\mu C$를 모두 반영하면 외력이 해야 할 일은 $80\mu J$가 된다.
올바른 값은 $80\mu J$이다.

② X
20\,\mu J는 전하량의 크기만 보거나 전위차를 잘못 잡은 값이다. 실제로는
$W_{ext} = q\Delta V = (-20)(-4) = 80\mu J$가 된다.
올바른 값은 $80\mu J$이다.

③ X
30\,\mu J는 이동 경로와 무관한 $(3 + y)\vec{a_y}$ 성분까지 잘못 섞어 생각할 때 나올 수 있는 오답이다. 이 문제의 이동은 x축 방향뿐이므로 y 성분은 일에 기여하지 않는다.
올바른 값은 $80\mu J$이다.

④ O
$\Delta V = -4V$, $q = -20\mu C$이므로 $W_{ext} = q\Delta V = 80\mu J$이다. 음전하를 전위가 낮아지는 쪽으로 옮기면 전위에너지가 증가하므로 외력이 $80\mu J$를 공급해야 한다.

오답 포인트

이 문항은 전계의 선적분과 외력이 해야 할 일을 구분하는지를 묻는다. 특히 음전하이므로 전위차의 부호와 전하의 부호를 함께 처리해야 하며, 식에 y 성분이 보여도 실제 이동이 x축이면 그 성분은 계산에서 빠진다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

정전계 이동 문제는 먼저 이동 방향을 보고 $\vec{E} \cdot d\vec{l}$에 남는 성분만 고른다. 그다음 $\Delta V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$을 구하고, 마지막에 $W_{ext} = q\Delta V$로 외력이 한 일인지 전기력이 한 일인지 부호를 정리한다.

암기 포인트

정전계 이동일은 '성분 선택 → 전위차 계산 → $W_{ext} = q\Delta V$ 부호 확인' 순서로 정리된다.

NoteBase

문 2. σ의 도전율과 μ의 투자율을 갖는 양도체 내에서 진행하는 평면파의 진동수가 f일 때, 표피깊이(skin depth)가 δ이다. 진동수 f는 $\frac{1}{2}$배로 감소하고 σ와 μ는 2배로 증가한다면 표피깊이는?

① $\frac{\delta}{2}$
② $\frac{\delta}{2\sqrt{2}}$
③ $\sqrt{2}\delta$
④ $\frac{\delta}{\sqrt{2}}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 양도체의 표피깊이 공식을 이용해 진동수, 도전율, 투자율 변화가 표피깊이에 미치는 비례관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 표피깊이는 처음에 δ이다.
변화 조건: $f \to \frac{f}{2}, \sigma \to 2\sigma, \mu \to 2\mu$이다.
구해야 할 값: 변화 후 표피깊이이다.
주의할 조건: 표피깊이는 f, μ, σ에 각각 반비례가 아니라 그 곱의 제곱근에 반비례한다.

사용할 공식

양도체의 표피깊이는
$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 양도체 내부 평면파의 표피깊이와 f, μ, σ의 변화만 주어졌으므로 표피깊이의 비례관계를 직접 비교하면 되기 때문이다.

계산 과정

1. 초기 표피깊이는 $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$이다.
2. 변화 후 곱은
$f'\mu'\sigma' = \left(\frac{f}{2}\right)(2\mu)(2\sigma) = 2f\mu\sigma$
가 된다.
3. 따라서 변화 후 표피깊이는
$\delta' = \frac{1}{\sqrt{\pi f'\mu'\sigma'}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi f\mu\sigma}} = \frac{\delta}{\sqrt{2}}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{\delta}{2}$가 되려면 $f\mu\sigma$의 곱이 4배가 되어야 한다. 실제로는 2배만 되므로 틀리다. 틀린 표현은 "표피깊이가 $\frac{\delta}{2}$이다"이고, 올바르게는 "표피깊이는 $\frac{\delta}{\sqrt{2}}$이다"이다.
② X: $\frac{\delta}{2\sqrt{2}}$는 표피깊이가 원래보다 $2\sqrt{2}$배 더 얕아진 경우인데, 문제 조건으로는 그 정도까지 줄어들지 않는다. 틀린 표현은 "표피깊이가 $\frac{\delta}{2\sqrt{2}}$이다"이고, 올바르게는 "표피깊이는 $\frac{\delta}{\sqrt{2}}$이다"이다.
③ X: $\sqrt{2}\delta$는 f만 절반으로 줄어들어 표피깊이가 증가한 경우에 해당한다. 그러나 이 문제에서는 μ와 σ가 각각 2배가 되어 전체적으로 $f\mu\sigma$의 곱이 2배가 되므로 오히려 표피깊이는 감소한다. 틀린 표현은 "표피깊이가 $\sqrt{2}\delta$이다"이고, 올바르게는 "표피깊이는 $\frac{\delta}{\sqrt{2}}$이다"이다.
④ O: $f\mu\sigma$의 곱이 2배가 되므로 표피깊이는 그 제곱근에 반비례하여 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다. 따라서 $\frac{\delta}{\sqrt{2}}$가 맞다.

오답 포인트

표피깊이를 각 변수에 선형 반비례한다고 착각하면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 f가 절반으로 줄어드는 효과만 보고 ③처럼 증가한다고 판단하거나, 2σ, 2μ를 보고 ①처럼 단순히 절반으로 줄인다고 판단하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

표피깊이 문제는 먼저 $\delta \propto \frac{1}{\sqrt{f\mu\sigma}}$를 적고, 바뀐 조건을 $f\mu\sigma$의 전체 배수로 묶은 뒤 마지막에 제곱근만 적용해 판단한다.

암기 포인트

표피깊이는 $f\mu\sigma$의 곱의 제곱근에 반비례하므로 곱이 2배이면 표피깊이는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 된다.

NoteBase

문 3. 벡터 $\vec{E} = 2x^2\vec{a}_x + xy\vec{a}_y + 4z\vec{a}_z$의 발산(Divergence)은?

① 5x+y+4

② 5x+4

③ 5y+4z

④ 5y+z

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 직교좌표계에서 벡터장의 발산 $\nabla \cdot \vec{E}$를 성분별 편미분으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 벡터장은 $\vec{E} = 2x^2 a_x + xya_y + 4za_z$이다.
구해야 할 값은 $\nabla \cdot \vec{E}$이다.
직교좌표계 발산은 각 성분을 자기 변수로만 편미분해서 더한 값이다.

사용할 공식

$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$
이 문제는 x, y, z 방향 성분이 각각 주어졌으므로 성분별 편미분 정의를 그대로 적용하면 된다.

계산 과정

1. $E_x = 2x^2, E_y = xy, E_z = 4z$로 둔다.
2. $\frac{\partial E_x}{\partial x} = 4x, \frac{\partial E_y}{\partial y} = x, \frac{\partial E_z}{\partial z} = 4$를 구한다.
3. 따라서 $\nabla \cdot \vec{E} = 4x + x + 4 = 5x + 4$이다.

선지별 해설

① X: xy를 y로 편미분하면 x가 되는데 y가 남는다고 본 값이다. 틀린 표현은 "+y"이고, 올바르게는 "+x" 또는 최종값 $5x + 4$가 된다.
② O: $\frac{\partial}{\partial x}(2x^2) = 4x, \frac{\partial}{\partial y}(xy) = x, \frac{\partial}{\partial z}(4z) = 4$이므로 합은 $5x + 4$이다.
③ X: 각 성분을 미분하지 않고 원래 변수 형태를 남긴 값이다. 틀린 표현은 "5y+4z"이고, 올바르게는 편미분 후 얻는 $5x + 4$이다.
④ X: 미분 변수와 남는 변수를 모두 잘못 본 값이다. 틀린 표현은 "5y+z"이고, 올바르게는 $\frac{\partial}{\partial y}(xy) = x$, $\frac{\partial}{\partial z}(4z) = 4$이므로 $5x + 4$이다.

NoteBase

오답 포인트

발산은 각 성분을 자기 축 변수로 미분한다는 점을 놓치면 xy를 보고 y를 남기거나, $4z$를 보고 z를 그대로 남기는 실수가 나온다. 이 문항은 편미분 뒤에 남는 문자와 사라지는 문자를 구별하는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터 발산 문제는 먼저 E_x, E_y, E_z를 분리한 뒤 x, y, z에 대한 편미분을 각각 한 번씩만 적용하고 마지막에 합하면 된다. 성분에 없는 변수는 상수처럼 취급된다는 점을 같이 확인하면 된다.

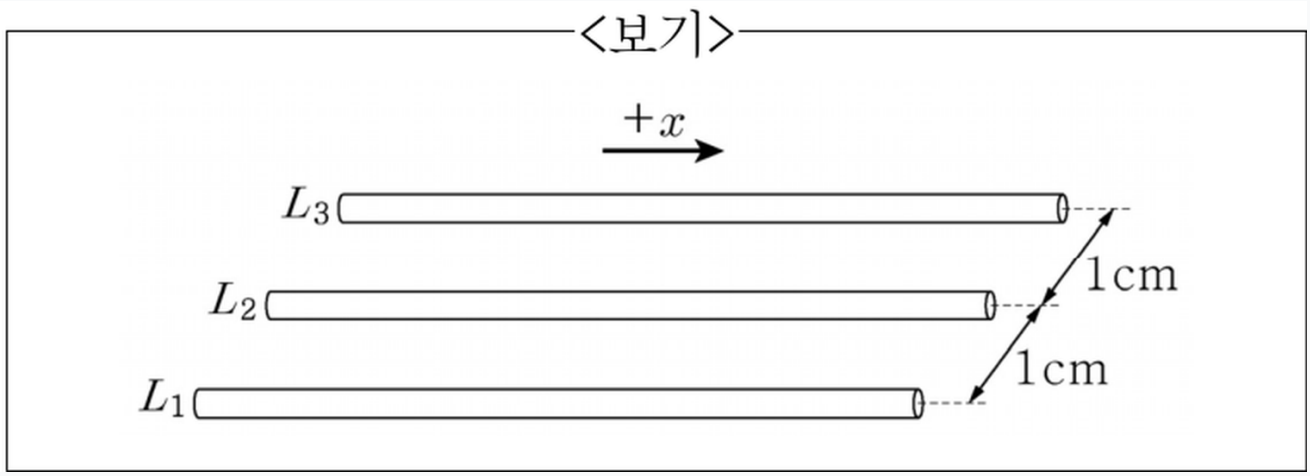
암기 포인트

발산은 성분별 자기 변수 편미분의 합이므로 $\nabla \cdot \vec{E} = \partial E_x/\partial x + \partial E_y/\partial y + \partial E_z/\partial z$이다.

NoteBase

문 4. 자유공간에서 무한한 길이의 직선도선 세 개가 <보기>에서처럼 평면 위에 1[cm] 간격으로 x축 방향과 나란히 놓여 있다. 도선 L_1과 L_3에 각각 1[A]와 0.5[A]의 전류가 $+x$ 방향으로 흐르고 도선 L_3가 다른 도선들로부터 받는 총 힘의 크기가 0일 때, 도선 L_2에 흐르는 전류 방향과 크기[A]는?

<보기>



① 방향: +x, 크기[A]: 0.5

② 방향: -x, 크기[A]: 0.5

③ 방향: +x, 크기[A]: 1

④ 방향: -x, 크기[A]: 1

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평행한 무한 직선도선 사이에 작용하는 자기력의 방향과 거리 반비례 관계를 이용해 L_2의 전류 방향과 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $L_1 = 1\text{A}$, $L_3 = 0.5\text{A}$, 두 도선의 전류 방향은 모두 $+x$이다.
도선 간 거리: L_1과 L_2 사이는 1cm, L_2와 L_3 사이는 1cm이므로 L_1과 L_3 사이는 2cm이다.
구해야 할 값: L_2의 전류 방향과 크기이다.
주의할 조건: L_3가 받는 총힘의 크기가 0이어야 하므로 L_1이 L_3에 주는 힘과 L_2가 L_3에 주는 힘의 크기는 같고 방향은 반대여야 한다.

사용할 공식

평행한 무한 직선도선 사이의 단위길이당 힘은 $\frac{F}{\ell} = \frac{\mu_0 I_a I_b}{2\pi d}$ 이다.
같은 방향 전류이면 인력, 반대 방향 전류이면 척력이 작용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 세 평행 도선 사이의 자기력 평형 조건을 직접 묻고 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. L_1과 L_3의 전류는 모두 $+x$이므로 두 도선 사이에는 인력이 작용한다. 따라서 L_1이 L_3에 주는 힘은 아래쪽이다.
2. L_3의 총힘이 0이 되려면 L_2가 L_3를 위쪽으로 밀어야 한다. 따라서 L_2의 전류 방향은 L_3와 반대인 $-x$이어야 한다.
3. 힘의 크기를 같게 두면 $\frac{\mu_0 I_3 I_2}{2\pi \cdot 0.01} = \frac{\mu_0 I_3 I_1}{2\pi \cdot 0.02}$ 이다.
4. 공통인 μ_0, 2π, I_3를 소거하면 $\frac{I_2}{0.01} = \frac{1}{0.02}$ 이고, 따라서 $I_2 = 0.5\text{A}$ 이다.

선지 판단

1번: X. 크기 0.5A는 맞지만 방향 $+x$가 틀리다. L_2가 $+x$이면 L_3와 같은 방향 전류이므로 L_3를 아래쪽으로 끌어당긴다. 그러면 L_1의 아래쪽 인력과 같은 방향이 되어 총힘이 0이 될 수 없다. 틀린 표현은 '방향 $+x$'이며, 올바르게는 방향이 $-x$이다.
2번: O. L_2는 L_3를 위로 밀어야 하므로 방향이 $-x$이어야 하고, 거리 차이 때문에 L_1의 영향은 2cm, L_2의 영향은 1cm에서 작용한다. 따라서 힘 평형식으로 구한 I_2는 0.5A이다.
3번: X. 방향 $+x$도 틀리고 크기 1A도 틀리다. 방향이 $+x$이면 L_3를 위가 아니라 아래로 당긴다. 또 힘이 거리의 역수에 비례하므로 1cm 떨어진 L_2는 2cm 떨어진 L_1보다 절반 전류만으로 같은 힘을 낼 수 있다. 틀린 표현은 '방향 $+x$, 크기 1A'이며, 올바르게는 '방향 $-x$, 크기 0.5A'이다.
4번: X. 방향 $-x$는 맞지만 크기 1A가 크다. L_2와 L_3 사이 거리는 1cm이고 L_1과 L_3 사이 거리는 2cm이므로 같은 힘을 만들려면 L_2 전류는 L_1의 절반인 0.5A면 충분하다. 틀린 표현은 '크기 1A'이며, 올바르게는 크기 0.5A이다.

오답 포인트

인력과 척력의 방향을 먼저 정하지 않고 수치만 맞추면 1번이나 4번으로 흔들리기 쉽다. 특히 L_1과 L_3의 거리가 2cm라는 점을 놓치면 L_2의 전류도 1A라고 잘못 판단하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행 도선 힘 문제는 먼저 정답 도선이 어느 방향 힘을 받아야 평형이 되는지 정하고, 그다음 같은 방향이면 인력, 반대 방향이면 척력이라는 규칙으로 전류 방향을 결정한다. 마지막에 $F/\ell \propto I/d$ 관계를 써서 크기를 맞추면 된다.

암기 포인트

평행 도선은 같은 방향이면 끌어당기고 반대 방향이면 밀어낸다. 힘의 크기는 I/d에 비례하므로 거리가 두 배이면 같은 힘에 필요한 전류는 절반이다.

NoteBase

문 5. 자유공간에 전하량 $2[C]$의 점전하가 점 $P(x,y,z)=(1,1,2)[m]$에 놓여 있고, 접지된 무한 도체 평면이 $z=0[m]$에 있다. 도체 평면이 점전하로부터 받는 힘의 크기[N]는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다.)

① $\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}$
② $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$
③ $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$
④ $\frac{1}{64\pi\varepsilon_0}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 접지된 무한 도체 평면에 대한 영상전하법으로 도체 평면과 점전하 사이 힘의 크기를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값: 점전하 $q=2C$, 위치 $P(1,1,2)$, 도체 평면 $z=0$이다.
구해야 할 값: 도체 평면이 점전하로부터 받는 힘의 크기이다.
주의할 조건: 무한 접지 평면은 거울 위치의 영상전하 $-q$로 바꾸어 계산하며, 실제 전하와 영상전하의 거리는 $4m$이다. 작용 반작용에 따라 도체 평면이 받는 힘의 크기도 실제 전하가 받는 힘의 크기와 같다. x, y좌표는 힘의 크기에 영향을 주지 않고 높이 $z=2m$만 중요하다.

사용할 공식

영상전하법에 따라 실제 전하 q와 영상전하 $-q$ 사이의 쿨롱힘 크기를 사용한다.
$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q(-q)|}{r^2}$
이 문제에서는 영상전하가 $(1,1,-2)$에 생기므로 전하 사이 거리는 $r=4m$이다. 이 힘은 실제 전하가 받는 힘의 크기이고, 작용 반작용으로 도체 평면이 받는 힘의 크기도 동일하다.

계산 과정

1. 점전하 $2C$의 영상전하는 크기 $-2C$, 위치 $(1,1,-2)$이다.
2. 실제 전하와 영상전하의 거리는 $2-(-2)=4m$이다.
3. 힘의 크기는
$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(2)(2)}{4^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{4}{16}=\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$
이다. 따라서 도체 평면이 받는 힘의 크기도 $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{1}{8\pi\varepsilon_0}$는 전하 사이 거리를 $4m$가 아닌 더 짧게 보거나 분모 제곱 처리를 잘못한 값이다. 올바른 힘의 크기는 $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$이다.
② O: 영상전하와의 거리 $4m$, 전하곱 $2\times 2=4$를 넣으면 $F=\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$가 되어 정답과 일치한다.
③ X: $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$는 전하곱 $2\times 2=4$를 2로 잘못 두는 실수에서 나오는 값이다. 올바른 값은 $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$이다.
④ X: $\frac{1}{64\pi\varepsilon_0}$는 거리 제곱 $4^2=16$만 반영하고 전하곱 4를 사실상 누락한 값이다. 올바른 값은 $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$이다.

오답 포인트

도체 평면까지의 높이 $2m$를 전하 사이 거리로 착각하면 오답이 된다. 영상전하와의 실제 분리는 $2h=4m$이며, 쿨롱힘은 거리의 제곱과 전하곱을 함께 반영해야 한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

접지된 무한 도체 평면 문제가 나오면 먼저 영상전하를 거울 위치에 놓고, 실제 전하와 영상전하 사이 거리를 $2h$로 잡은 뒤 쿨롱힘 $kq^2/(2h)^2$로 계산하면 된다.

암기 포인트

접지 무한 평면의 힘은 영상전하 $-q$와의 인력으로 바꾸고, 전하 사이 거리는 항상 평면까지 높이의 두 배이다.

NoteBase

문 6. $\vec{A} = \vec{a}_x + 2\vec{a}_y - \vec{a}_z,\ \vec{B} = -2\vec{a}_x - 3\vec{a}_y + 2\vec{a}_z$**일 때,** $\vec{A} \cdot \vec{B}$**는?**

① -10

② -20

③ -30

④ -40

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 직교좌표계 벡터의 내적 공식을 이용해 $\vec{A} \cdot \vec{B}$ 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{A} = (1, 2, -1), \vec{B} = (-2, -3, 2)$
구해야 할 값: $\vec{A} \cdot \vec{B}$
주의할 조건: 같은 축 성분끼리 곱해 더하며, z성분의 부호 -1을 끝까지 유지한다.

사용할 공식

$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$
이 공식은 a_x, a_y, a_z 방향 단위벡터가 서로 직교하므로 같은 축의 성분끼리만 곱해서 합하는 상황에 해당하기 때문이다.

계산 과정

1. x성분은 $1 \cdot (-2) = -2$이다.
2. y성분은 $2 \cdot (-3) = -6$이다.
3. z성분은 $(-1) \cdot 2 = -2$이다.
4. 따라서 $\vec{A} \cdot \vec{B} = -2 - 6 - 2 = -10$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
계산 결과가 -10이므로 맞다.

② X
계산 결과가 -10이므로 틀리다. 틀린 표현은 내적값이 -20이라는 수치이며, 올바르게는 내적값이 -10이다. 성분곱을 한 뒤 합산을 과하게 중복하면 이런 오답이 나온다.

③ X
계산 결과가 -10이므로 틀리다. 틀린 표현은 내적값이 -30이라는 수치이며, 올바르게는 내적값이 -10이다. 각 성분의 곱을 구하지 않고 계수를 임의로 한 번 더 곱하면 이런 오답이 나온다.

④ X
계산 결과가 -10이므로 틀리다. 틀린 표현은 내적값이 -40이라는 수치이며, 올바르게는 내적값이 -10이다. 내적을 성분별 곱의 합이 아니라 과도한 누적곱처럼 처리하면 이런 오답이 나온다.

오답 포인트

벡터 내적은 같은 축 성분끼리 곱한 뒤 모두 더하는 계산이다. 특히 z성분 $(-1)\cdot 2 = -2$의 부호를 놓치거나, 성분곱 뒤의 합산을 다시 곱셈처럼 처리하면 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

직교좌표계 벡터가 보이면 먼저 성분을 (x, y, z) 형태로 정리하고, 같은 축끼리 곱한 뒤 마지막에 한 번만 합산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

벡터 내적은 같은 자리끼리 곱해서 더한 값이라는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 7. 도전율(conductivity)에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 도전율은 온도에 따라 변화한다.

② 도전율은 전류밀도와 전계세기에 반비례한다.

③ 도전율의 단위는 [Ω/m]이다.

④ 표류속도와 이동도가 감소하면 도전율은 증가한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 도전율의 정의, 관계식 $J = \sigma E$, 단위 S/m를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

도전율은 물질이 전류를 얼마나 잘 흐르게 하는지를 나타내는 물성치이다.
도전율은 $\sigma = J/E$로 나타내며, 오옴성 매질에서는 전류밀도 J가 클수록 커지고 전계세기 E가 클수록 작아지는 비율로 읽는다.
또한 $\sigma = nq\mu$이므로 자유전하 밀도 n와 이동도 μ가 커질수록 도전율도 커진다.
단위는 $S/m = \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$이다.

선지별 해설

① O: 도전율은 온도의 영향을 받는 물성치이다. 금속은 일반적으로 온도가 오르면 도전율이 감소하고, 반도체는 온도가 오르면 도전율이 증가하는 경향이 있으므로 온도에 따라 변화한다는 진술은 맞다.
② X: 틀린 부분은 "전류밀도와 전계세기에 반비례"라는 표현이다. $\sigma = J/E$이므로 도전율은 전류밀도에는 비례하고 전계세기에는 반비례하는 비율로 나타난다.
③ X: 틀린 부분은 "[Ω/m]"라는 단위이다. 도전율의 단위는 S/m 또는 $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$이며, $\Omega \cdot m$는 비저항의 단위이다.
④ X: 틀린 부분은 "표류속도와 이동도가 감소하면 도전율은 증가한다"는 표현이다. $\sigma = nq\mu$이므로 이동도가 감소하면 도전율도 감소한다. 표류속도도 $v_d = \mu E$이므로 같은 전계에서 이동도와 함께 줄어드는 방향이다. 올바르게는 자유전하 밀도와 이동도가 증가할수록 도전율이 증가한다.

오답 포인트

②는 $J = \sigma E$를 뒤집는 과정에서 비례·반비례 방향을 한 번 더 뒤집어 읽게 만드는 함정이다. ③은 도전율과 비저항의 단위를 바꿔 놓은 전형적 함정이고, ④는 $\sigma = nq\mu$에서 이동도 μ의 영향 방향을 반대로 제시한 선지이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

도전율 문제가 나오면 먼저 $J = \sigma E$, $\sigma = nq\mu$, 단위 S/m를 바로 떠올리면 된다. 이후 선지가 온도 영향, 비례관계, 단위를 서로 뒤섞었는지 확인하면 빠르게 판별된다.

암기 포인트

도전율은 J/E, $nq\mu$, 단위는 S/m이다.

NoteBase

문 8. 전류 3[mA]가 흐르는 이상적인 코일에 저장된 자기 에너지가 27[μJ]일 때, 이 코일의 유도용량 L[H]은?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상적 코일에 저장되는 자기 에너지 공식 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 이용해 유도용량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전류 $I = 3\text{mA} = 3 \times 10^{-3}\text{A}$, 자기 에너지 $W = 27\mu\text{J} = 27 \times 10^{-6}\text{J}$이다.
구해야 할 값: 유도용량 L이다.
주의할 조건: mA와 μJ를 각각 A, J로 바꾼 뒤 계산해야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $W = \frac{1}{2}LI^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상적 코일에 저장된 자기 에너지와 전류, 유도용량의 관계를 직접 주는 공식이기 때문이다.
정리하면 $L = \frac{2W}{I^2}$이다.

계산 과정

1. 전류의 제곱은 $I^2 = (3 \times 10^{-3})^2 = 9 \times 10^{-6}$이다.
2. 유도용량은 $L = \frac{2W}{I^2} = \frac{2 \times 27 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-6}}$이다.
3. 따라서 $L = \frac{54 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-6}} = 6\text{H}$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 6H이므로 2는 맞지 않는다. 틀린 표현은 유도용량을 2 H로 본 부분이며, 올바르게는 유도용량은 6H이다.
② X: 계산 결과는 6H이므로 4는 맞지 않는다. 틀린 표현은 유도용량을 4 H로 본 부분이며, 올바르게는 유도용량은 6H이다.
③ O: $L = \frac{2W}{I^2}$에 값을 대입하면 6H가 되므로 맞는 선지이다.
④ X: 계산 결과는 6H이므로 8은 맞지 않는다. 틀린 표현은 유도용량을 8 H로 본 부분이며, 올바르게는 유도용량은 6H이다.

NoteBase

오답 포인트

자기 에너지 공식의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리거나, 3mA를 그대로 3으로 넣으면 오답이 된다. 이 문제는 공식 자체보다 단위 환산과 식 정리가 정확한지를 묻는 함정이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

코일의 에너지 문제가 나오면 먼저 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 떠올리고, 주어진 전류와 에너지를 SI 단위로 바꾼 뒤 $L = \frac{2W}{I^2}$로 정리해 계산하면 된다.

암기 포인트

코일 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$, 유도용량 역산은 $L = \frac{2W}{I^2}$이다.

NoteBase

문 9. 진공에서 평면파의 전계가 $\vec{E}(z,t)=10\cos(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_x[V/m]$일 때, 이 전계와 전자기파를 이루는 자계세기 $\vec{H}[A/m]$으로 가장 옳은 것은?

① $\frac{10}{377}\cos(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_y$
② $\frac{10}{377}\sin(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_y$
③ $\frac{30}{377}\cos(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_y$
④ $\frac{30}{377}\sin(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_y$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 진공 중 평면파에서 $\vec{H}=\frac{1}{\eta_0}(\vec{a}_z\times\vec{E})$와 $\eta_0=377\Omega$를 이용해 자계의 방향, 위상, 진폭을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E}(z,t)=10\cos(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_x[V/m]$이다.
파수항이 $\omega t-\beta z$ 꼴이므로 진행 방향은 $+z$이다.
진공이므로 고유 임피던스는 $\eta_0=377\Omega$이다.
구해야 할 값은 이 전계와 함께 진행하는 자계 $\vec{H}$이다.

사용할 공식

평면파에서 $\vec{H}=\frac{1}{\eta_0}(\vec{a}_z\times\vec{E})$이고, 진폭 관계는 $H_0=\frac{E_0}{\eta_0}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 진공의 균일 평면파에서는 전계와 자계가 서로 수직이고, 진행 방향이 $\vec{E}\times\vec{H}$로 정해지며, 두 장의 위상도 같기 때문이다.

계산 과정

1. $\omega t-\beta z$ 꼴이므로 파는 $+z$ 방향으로 진행한다.
2. 전계 방향이 $\vec{a}_x$이므로 $\vec{E}\times\vec{H}=\vec{a}_z$가 되려면 자계 방향은 $\vec{a}_y$이어야 한다. 실제로 $\vec{a}_x\times\vec{a}_y=\vec{a}_z$이다.
3. 자계 진폭은 $H_0=\frac{E_0}{\eta_0}=\frac{10}{377}[A/m]$이다.
4. 진공의 손실 없는 평면파이므로 $\vec{E}$와 $\vec{H}$는 동상이다. 따라서
$\vec{H}(z,t)=\frac{10}{377}\cos(3\pi\times10^8t-\pi z)\vec{a}_y[A/m]$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 방향이 $\vec{a}_y$, 진폭이 $\frac{10}{377}$, 위상이 $\cos(3\pi \times 10^8 t - \pi z)$로 전계와 동일하므로 옳다.
② X: $\sin(3\pi \times 10^8 t - \pi z)$가 틀린 표현이다. 진공의 균일 평면파에서 전계와 자계는 동상이므로 올바르게는 $\cos(3\pi \times 10^8 t - \pi z)\vec{a}_y$가 되어야 한다.
③ X: $\frac{30}{377}$이 틀린 표현이다. 자계 진폭은 $H_0 = \frac{E_0}{\eta_0} = \frac{10}{377}$이므로 올바르게는 $\frac{10}{377}\cos(3\pi \times 10^8 t - \pi z)\vec{a}_y$이다.
④ X: $\frac{30}{377}$와 $\sin(3\pi \times 10^8 t - \pi z)$가 모두 틀린 표현이다. 올바르게는 진폭이 $\frac{10}{377}$이고 위상은 전계와 같은 $\cos(3\pi \times 10^8 t - \pi z)$이다.

오답 포인트

$3\pi \times 10^8$의 계수 3을 자계 진폭에 잘못 반영해 $\frac{30}{377}$로 쓰기 쉽고, 사인으로 바꾸어 전계와 자계가 90도 위상차라고 오해하기 쉽다. 그러나 진공의 손실 없는 평면파에서는 진폭만 377로 나뉘고 위상은 바뀌지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 문제는 먼저 $\omega t \mp \beta z$로 진행 방향을 확인하고, 다음에 $\vec{E} \times \vec{H}$가 진행 방향이 되도록 자계 방향을 정한 뒤, 마지막에 $H_0 = \frac{E_0}{\eta}$와 동상 여부를 대입해 판단한다.

암기 포인트

진공 평면파는 $H_0 = \frac{E_0}{377}$, 방향은 $\vec{E} \times \vec{H} =$ 진행 방향, 전계와 자계는 서로 수직이며 동상이다.

NoteBase

문 10. 자유공간에 위치한 반지름 10 [cm]인 원형회로에 시계 방향으로 1 [A]의 전류가 흐른다. 원형회로 중심에서의 자계세기 H[A/m]의 크기는?

① 0.5

② 1

③ 5

④ 10

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자유공간의 단일 원형회로 중심에서 자기세기 H를 구하는 공식을 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반지름 10cm, 전류 1 A
구해야 할 값: 원형회로 중심에서의 자기세기 H
주의할 조건: 반지름은 10cm이므로 $0.1m$로 단위 변환해야 한다.

사용할 공식

원형회로 중심의 자기세기는 $H = \frac{I}{2r}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제 상황이 자유공간에 놓인 단일 원형도선의 중심점 자기세기를 묻고 있으므로 원형회로 중심 공식이 바로 적용된다.

계산 과정

반지름을 미터로 바꾸면 $r = 10cm = 0.1m$이다.
따라서
$H = \frac{I}{2r} = \frac{1}{2 \times 0.1} = \frac{1}{0.2} = 5A/m$
계산 결과 자기세기는 5A/m이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 5A/m이므로 0.5A/m는 틀리다. 틀린 표현은 값이 0.5라는 점이며, 올바르게는 5A/m이다. 이 값은 반지름 10cm를 1m로 잘못 보거나 10배를 한 번 더 나눈 경우에 나올 수 있다.
2번 X: 계산 결과는 5A/m이므로 1A/m는 틀리다. 틀린 표현은 값이 1이라는 점이며, 올바르게는 5A/m이다. 이 값은 $2r$ 계산을 잘못 처리해 분모를 1로 둔 경우에 가까운 오답이다.
3번 O: $H = \frac{1}{2 \times 0.1} = 5A/m$이므로 5가 맞다.
4번 X: 계산 결과는 5A/m이므로 10A/m는 틀리다. 틀린 표현은 값이 10이라는 점이며, 올바르게는 5A/m이다. 이 값은 공식 $H = \frac{I}{2r}$에서 분모의 2를 빠뜨리고 $H = \frac{I}{r}$로 계산할 때 나온다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 반지름 10cm를 그대로 대입하거나, 원형회로 중심 공식에서 분모의 2를 빠뜨리는 데 있다. 4번은 $H = \frac{I}{r}$로 착각한 전형적인 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원형회로 자기장 계산 문제는 먼저 도선 형태를 확인하고, 반지름을 SI 단위로 바꾼 뒤, 중심점이면 $H = \frac{I}{2r}$를 적용해 분모의 2가 있는지까지 검산하면 된다.

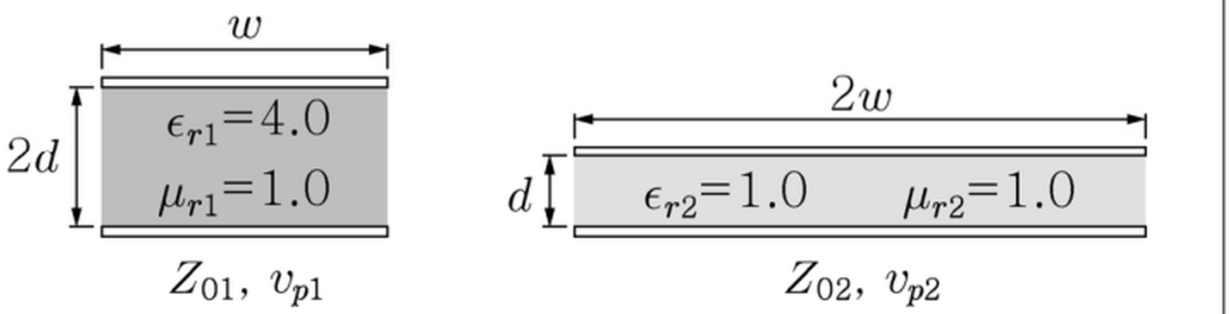
암기 포인트

단일 원형회로 중심의 자기세기는 $H = \frac{I}{2r}$이며, 반지름 단위는 반드시 m로 맞춘다.

NoteBase

문 11. <보기>와 같은 단면을 갖는 2개의 평행판 무손실 전송선로에서 TEM 모드에 대한 특성 임피던스 (Z_{01}, Z_{02})와 전파속도 (v_{p1}, v_{p2})의 크기 비교가 옳은 것은? (단, 프린징 효과는 무시한다.)

<보기>



① 특성 임피던스: $Z_{01} > Z_{02}$, 전파속도: $v_{p1} > v_{p2}$

② 특성 임피던스: $Z_{01} < Z_{02}$, 전파속도: $v_{p1} > v_{p2}$

③ 특성 임피던스: $Z_{01} > Z_{02}$, 전파속도: $v_{p1} < v_{p2}$

④ 특성 임피던스: $Z_{01} < Z_{02}$, 전파속도: $v_{p1} < v_{p2}$

정답 3번

출제 포인트

평행판 무손실 TEM 전송선로에서 $Z_0 = \sqrt{L/C} = \sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot h/w$, $v_p = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ 관계를 이용해 도식의 치수와 매질 상수를 각각 비교하는 문제이다.

핵심 개념

프린징 효과를 무시한 평행판 선로에서는 $C = \varepsilon w/h$, $L = \mu h/w$이다.
따라서 $Z_0 = \sqrt{L/C} = \sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot h/w$이고, 전파속도는 $v_p = 1/\sqrt{\mu\varepsilon} = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$이다.
즉 전파속도는 매질 상수로만 결정되고, 특성 임피던스는 매질 상수와 형상비 h/w가 함께 결정한다.

NoteBase

선지별 해설

① X

Z_{01}은 $\sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \cdot 2d/w = (\eta_0/2) \cdot 2d/w = \eta_0 d/w$이고, Z_{02}는 $\sqrt{\mu_2/\varepsilon_2} \cdot d/2w = \eta_0 d/2w$이므로 $Z_{01} > Z_{02}$는 맞다.

그러나 $v_{p1} = c/\sqrt{4} = c/2$, $v_{p2} = c/\sqrt{1} = c$이므로 $v_{p1} > v_{p2}$는 틀리다. 틀린 표현은 "$v_{p1} > v_{p2}$"이고, 올바르게는 "$v_{p1} < v_{p2}$"이다.

② X

$Z_{01} > Z_{02}$이므로 "$Z_{01} < Z_{02}$"가 틀리다.

또한 $v_{p1} = c/2$, $v_{p2} = c$이므로 "$v_{p1} > v_{p2}$"도 틀리다. 올바르게는 "$Z_{01} > Z_{02}$, $v_{p1} < v_{p2}$"이다.

③ O

$\varepsilon_{r1} = 4$라서 1번 선로의 전파속도는 2번 선로보다 느려 $v_{p1} < v_{p2}$이다.

동시에 1번 선로는 유전율이 커져 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$ 항은 작아지지만, 판 간격이 $2d$이고 폭이 w라서 형상비 h/w가 2번 선로의 $d/2w$보다 4배 크다. 따라서 전체적으로 $Z_{01} > Z_{02}$가 된다.

④ X

전파속도 비교인 "$v_{p1} < v_{p2}$"는 맞다.

그러나 특성 임피던스는 $Z_{01} = \eta_0 d/w$, $Z_{02} = \eta_0 d/2w$이므로 "$Z_{01} < Z_{02}$"가 틀리다. 올바르게는 "$Z_{01} > Z_{02}$"이다.

오답 포인트

유전율 ε_r가 큰 1번 선로에서 속도와 임피던스가 모두 작아질 것처럼 단순화하면 함정에 걸린다. 전파속도는 매질만 보지만, 특성 임피던스는 h/w까지 함께 보아야 하므로 1번 선로의 큰 간격 효과가 임피던스를 오히려 더 크게 만든다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $v_p = c/\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$로 속도를 비교해 형상과 무관하다는 점을 분리한다. 그다음 $Z_0 \propto \sqrt{\mu_r/\varepsilon_r} \cdot h/w$로 매질 항과 형상비 항을 따로 비교하면 선지 판단이 바로 정리된다.

암기 포인트

TEM 평행판 선로에서 전파속도는 매질만으로, 특성 임피던스는 매질과 h/w 형상비로 결정된다.

NoteBase

문 12. 비투자율 $\mu_r = 25$인 자성체 내의 자속밀도가 $\vec{B} = \pi z\vec{a}_y + 3\pi y\vec{a}_z[\mu Wb/m^2]$일 경우, 자유전자에 의한 전류밀도 $\vec{J}[A/m^2]$의 근사값은?

① $2\vec{a}_x$

② $0.2\vec{a}_x$

③ $0.02\vec{a}_x$

④ $0.002\vec{a}_x$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자속밀도 $\vec{B}$로부터 $\vec{H} = \vec{B}/\mu$를 구한 뒤, $\vec{J} = \nabla \times \vec{H}$를 적용하여 자유전류밀도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 비투자율 $\mu_r = 25$, 자속밀도 $\vec{B} = \pi z a_y + 3\pi y a_z[\mu Wb/m^2]$
구해야 할 값: 자유전류밀도 $\vec{J}[A/m^2]$
주의할 조건: $\mu Wb/m^2 = 10^{-6}T$로 바꾸고, 자성체 내부이므로 $\mu = \mu_0\mu_r$를 사용해야 한다.

사용할 공식

$\vec{B} = \mu\vec{H}, \quad \mu = \mu_0\mu_r$
$\vec{J} = \nabla \times \vec{H}$
이 공식을 쓰는 이유는 자유전류밀도는 $\vec{H}$의 컬로 정해지므로, 먼저 $\vec{B}$를 $\vec{H}$로 환산해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $\mu = \mu_0\mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 25$이다.
2. $\vec{B}$를 테슬라로 바꾸면 $\vec{B} = 10^{-6}(\pi z a_y + 3\pi y a_z)$이다.
3. 따라서
$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} = \frac{10^{-6}}{25 \cdot 4\pi \times 10^{-7}}(\pi z a_y + 3\pi y a_z) = 0.1 z a_y + 0.3 y a_z$
4. 컬을 구하면
$\vec{J} = \nabla \times \vec{H} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right)a_x = (0.3 - 0.1)a_x = 0.2 a_x[A/m^2]$
5. 계산 결과는 $0.2 a_x[A/m^2]$이므로 정답은 2번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 계산 결과는 $0.2a_x$인데 ①은 $2a_x$이므로 10배 크게 잡은 값이다. 틀린 표현은 '2'이고, 올바르게는 '0.2'이다.
② O. $\vec{H} = 0.1za_y + 0.3ya_z$에서 $\vec{J} = (\partial H_z/\partial y - \partial H_y/\partial z)a_x = (0.3 - 0.1)a_x = 0.2a_x$가 되어 맞다.
③ X. ③의 $0.02a_x$는 정답보다 10분의 1로 작다. 틀린 표현은 '0.02'이고, 올바르게는 '0.2'이다. 투자율 환산 뒤 미분값 차이를 한 번 더 10으로 나누면 이런 오답이 나온다.
④ X. ④의 $0.002a_x$는 정답보다 100분의 1로 작다. 틀린 표현은 '0.002'이고, 올바르게는 '0.2'이다. μ 환산과 단위 μ 처리를 중복으로 나누면 이런 값이 나온다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 자속밀도 $\vec{B}$를 바로 컬해서 $\vec{J}$를 구하려 하거나, $\mu Wb/m^2$를 테슬라로 바꾸는 과정을 놓치는 데 있다. 또 $\mu_r = 25$를 빠뜨리면 전체 크기가 달라진다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기장 계산형은 먼저 $\vec{B}$와 $\vec{H}$ 중 무엇이 주어졌는지 확인하고, $\vec{B}$가 주어지면 $\vec{H} = \vec{B}/\mu$로 바꾼 뒤 $\nabla \times \vec{H}$를 적용하는 순서로 판단한다.

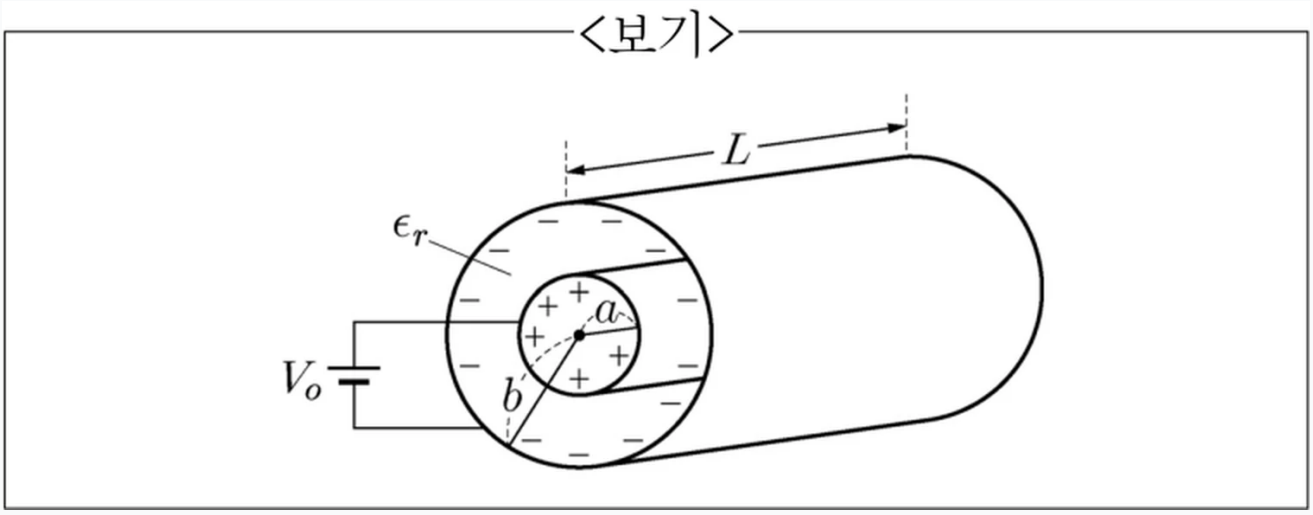
암기 포인트

자유전류밀도는 $\nabla \times \vec{H}$로 구하고, 자성체에서는 항상 $\vec{H} = \vec{B}/(\mu_0\mu_r)$를 먼저 적용한다.

NoteBase

문 13. <보기>와 같이 내부 반지름이 a[m]이고 외부 반지름이 $b(>a)$[m]인 길이 L[m]의 원통형 커패시터의 내부가 비유전율 ε_r인 유전체로 채워져 있다. 커패시터 양극 사이에 V_o[V]의 전압이 가해졌을 때 가장 옳은 설명은? (단, 프린징 효과는 무시하며, ε_r은 상수이다.)

<보기>



① a가 감소하면 커패시터의 정전용량 C도 감소한다.

② b가 증가하면 커패시터의 정전용량 C도 증가한다.

③ ε_r이 증가하면 커패시터의 정전용량 C는 감소한다.

④ a와 b가 모두 두 배가 되면 커패시터의 정전용량 C는 $\frac{1}{2}$배가 된다.

정답 1번

출제 포인트

원통형 커패시터의 정전용량 C가 a, b, ε_r, L에 어떻게 비례하는지를 식으로 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 구조는 내부 반지름이 a, 외부 반지름이 b인 원통형 커패시터이다.
유전체의 비유전율은 ε_r이고 길이는 L이다.
프린징 효과는 무시하므로 이상적인 동축 원통형 커패시터 식을 그대로 적용한다.
인가 전압 V_o는 저장 전하량에는 영향을 주지만, 이 문제에서 묻는 정전용량 식 자체는 기하구조와 유전율로 결정된다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2020 · 10월

사용할 공식

원통형 커패시터의 정전용량은

$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r L}{\ln(b/a)}$

이다.

이 공식을 쓰는 이유는 도식이 내부 도체와 외부 도체가 동축으로 놓인 원통형 커패시터 구조를 나타내기 때문이다.

계산 과정

식에서 C는 분자에서 ε_r와 L에 비례하고, 분모에서 $\ln(b/a)$에 반비례한다.

a가 감소하면 b/a가 커지므로 $\ln(b/a)$가 증가한다.

b가 증가해도 b/a가 커지므로 $\ln(b/a)$가 증가한다.

a와 b를 같은 비율로 바꾸면 비 b/a는 변하지 않으므로 C도 변하지 않는다.

선지별 해설

① O

a가 감소하면 b/a가 증가하고 $\ln(b/a)$가 커져 분모가 증가한다. 따라서 정전용량 C는 감소한다.

② X

b가 증가하면 b/a가 증가하여 $\ln(b/a)$가 커지므로 C는 감소한다. 틀린 표현은 "증가한다"이고, 올바르게는 "감소한다"이다.

③ X

ε_r는 분자에 직접 곱해지므로 ε_r이 증가하면 C는 증가한다. 틀린 표현은 "감소한다"이고, 올바르게는 "증가한다"이다.

④ X

a와 b가 모두 두 배가 되면 b/a는 그대로이므로 $\ln(b/a)$도 변하지 않는다. 따라서 C는 변하지 않는다. 틀린 표현은 "1/2배가 된다"이고, 올바르게는 "변화가 없다"이다.

오답 포인트

원통형 커패시터에서는 a와 b가 각각 직접 들어가는 것이 아니라 비 b/a가 로그 형태로 들어간다는 점이 핵심 함정이다. ②는 b가 커지면 단순히 면적이 커진다고 오해하기 쉽고, ④는 두 반지름을 함께 키우면 용량도 함께 바뀐다고 착각하기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 커패시터가 나오면 먼저 $C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r L}{\ln(b/a)}$를 떠올리고, 각 변수 변화가 분자에 들어가는지 분모의 $\ln(b/a)$에 들어가는지부터 나누어 판단하면 된다.

암기 포인트

동축 원통형 커패시터는 $C \propto \varepsilon_r L$, $C \propto 1/\ln(b/a)$이다.

NoteBase

문 14. 면적이 $5[mm] \times 5[mm]$인 평행한 금속판이 거리 $0.1[mm]$를 두고 배치되어 있다. 두 금속판 사이에 비유전율 $\varepsilon_r = 1{,}000$인 유전체가 있을 때, 이 커패시터의 정전용량[F]의 근사값은? (단, 프린징 효과는 무시한다.)

① 22×10^{-9}

② 2.2×10^{-9}

③ 44×10^{-9}

④ 4.4×10^{-9}

정답 2번

출제 포인트

평행판 커패시터의 정전용량 공식 $C = \varepsilon A/d$를 적용하고, mm 단위를 m 단위로 정확히 환산하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 면적 $5mm \times 5mm$, 판간 거리 $0.1mm$, 비유전율 $\varepsilon_r = 1000$
- 구해야 할 값: 정전용량 C
- 주의할 조건: 프린징 효과를 무시하고, 유전율은 $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$로 둔다.

사용할 공식

$C = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$

이 공식을 쓰는 이유는 두 금속판이 평행판 커패시터이고 프린징 효과를 무시하므로 정전용량이 유전율, 면적, 판간 거리로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 면적을 m^2로 바꾸면

$A = (5 \times 10^{-3})(5 \times 10^{-3}) = 25 \times 10^{-6} = 2.5 \times 10^{-5} m^2$

2. 거리와 유전율을 정리하면

$d = 0.1 \times 10^{-3} = 1.0 \times 10^{-4} m, \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = (8.854 \times 10^{-12}) \times 1000 = 8.854 \times 10^{-9}$

3. 공식을 대입하면

$C = 8.854 \times 10^{-9} \times \frac{2.5 \times 10^{-5}}{1.0 \times 10^{-4}} = 8.854 \times 10^{-9} \times 0.25 \approx 2.21 \times 10^{-9} F$

따라서 근사값은 $2.2 \times 10^{-9} F$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산값은 $2.2 \times 10^{-9} F$이므로 $22 \times 10^{-9} F$는 10배 큰 값이다.
- 틀린 표현은 정전용량 수치이다. 올바르게는 $2.2 \times 10^{-9} F$이다.
- $0.1mm$를 $10^{-5} m$로 잘못 환산하면 이런 값이 나온다.

② O
- 계산값 $2.21 \times 10^{-9} F$를 근사하면 $2.2 \times 10^{-9} F$가 된다.
- 평행판 공식과 단위 환산이 모두 맞게 적용된 값이다.

③ X
- 계산값보다 20배 큰 값이므로 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 정전용량 수치이다. 올바르게는 $2.2 \times 10^{-9} F$이다.
- $5mm \times 5mm$를 $50mm^2$처럼 잘못 처리하거나 거리 환산까지 함께 틀리면 이런 과대값이 나온다.

④ X
- 계산값보다 2배 큰 값이므로 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 정전용량 수치이다. 올바르게는 $2.2 \times 10^{-9} F$이다.
- $5 \times 5 = 25$를 급하게 보다가 50으로 오독하면 이 값에 가까워진다.

오답 포인트

길이 단위 $mm \rightarrow m$ 환산과 면적 단위 $mm^2 \rightarrow m^2$ 환산을 섞어 틀리기 쉽다. 또한 $5 \times 5 = 25$를 급하게 읽어 50처럼 처리하면 ④와 같은 2배 오차가 생긴다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행판 커패시터 문제는 먼저 A와 d를 SI 단위로 바꾸고, 다음에 $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r A/d$를 대입한 뒤 마지막에 지수와 배수를 검산하면 된다.

암기 포인트

평행판 커패시터는 $C \propto \varepsilon A$, $C \propto 1/d$이다.

NoteBase

문 15. 원통 좌표계 (ρ, ϕ, z)로 정의된 점 $P_1(2, 90^\circ, 0)$과 구 좌표계 (r, θ, ϕ)로 정의된 점 $P_2(3\sqrt{2}, 90^\circ, 45^\circ)$ 사이의 직선 거리는?

① 1

② $\sqrt{5}$

③ $\sqrt{10}$

④ $\sqrt{14}$

정답 3번

출제 포인트

원통 좌표와 구 좌표를 직교좌표로 바꾼 뒤 두 점 사이 거리 공식을 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P_1 = (\rho, \phi, z) = (2, 90^\circ, 0)$, $P_2 = (r, \theta, \phi) = (3\sqrt{2}, 90^\circ, 45^\circ)$이다.
구해야 할 값: 두 점 사이의 직선거리이다.
주의할 조건: 원통 좌표의 ϕ는 xy평면 방위각이고, 구 좌표의 $\theta = 90^\circ$이므로 P_2는 xy평면 위에 놓인다.

사용할 공식

원통 좌표는 $x = \rho\cos\phi$, $y = \rho\sin\phi$, $z = z$로 바꾸고, 구 좌표는 $x = r\sin\theta\cos\phi$, $y = r\sin\theta\sin\phi$, $z = r\cos\theta$로 바꾼다. 두 점 사이 거리는 $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 서로 다른 좌표계로 주어진 두 점의 거리는 같은 직교좌표계로 통일한 뒤 계산해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. $P_1 = (2, 90^\circ, 0)$을 직교좌표로 바꾸면 $x_1 = 2\cos 90^\circ = 0$, $y_1 = 2\sin 90^\circ = 2$, $z_1 = 0$이므로 $P_1 = (0, 2, 0)$이다.
2. $P_2 = (3\sqrt{2}, 90^\circ, 45^\circ)$을 직교좌표로 바꾸면 $x_2 = 3\sqrt{2}\sin 90^\circ\cos 45^\circ = 3$, $y_2 = 3\sqrt{2}\sin 90^\circ\sin 45^\circ = 3$, $z_2 = 3\sqrt{2}\cos 90^\circ = 0$이므로 $P_2 = (3, 3, 0)$이다.
3. 따라서 $d = \sqrt{(3-0)^2 + (3-2)^2 + (0-0)^2} = \sqrt{9+1} = \sqrt{10}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $\sqrt{10}$이므로 1이 아니다. 틀린 표현은 거리를 1로 본 점이며, 올바르게는 두 점 사이 거리가 $\sqrt{10}$이다.
② X: 계산 결과는 $\sqrt{10}$이므로 $\sqrt{5}$가 아니다. 틀린 표현은 좌표차 제곱합을 5로 본 점이며, 올바르게는 $(3-0)^2+(3-2)^2=10$이다.
③ O: 두 점을 직교좌표로 바꾸면 $P_1=(0,2,0)$, $P_2=(3,3,0)$이 되고, 거리 공식으로 $\sqrt{10}$이 나온다.
④ X: 계산 결과는 $\sqrt{10}$이므로 $\sqrt{14}$가 아니다. 틀린 표현은 좌표차 제곱합을 14로 본 점이며, 올바르게는 z좌표차가 0이어서 제곱합이 10이다.

오답 포인트

구 좌표의 $\theta=90^\circ$를 보고 $z=0$임을 놓치거나, 45°의 삼각함수 값을 정확히 넣지 않으면 오답이 나온다. 특히 P_2의 x, y 성분을 각각 3으로 만들지 못하면 $\sqrt{5}$나 $\sqrt{14}$ 같은 값으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

서로 다른 좌표계가 섞인 거리 문제는 각 점을 먼저 직교좌표로 통일한 뒤 거리 공식을 적용하면 된다. 구좌표에서는 θ로 z성분을, ϕ로 xy평면 방향을 먼저 판단하면 계산이 정리된다.

암기 포인트

원통좌표와 구좌표의 거리 비교는 직교좌표 변환 후 $d=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$로 정리된다.

NoteBase

문 16. $B = 2[T]$**인 자기장에 놓인 가로가** $0.1[m]$**, 세로가** $0.3[m]$**인 사각 코일이 턴(turn) 수가** $N = 200$**이고,** $2[A]$**의 전류가 흐를 때, 코일이 얻을 수 있는 최대 토크값**$[N \cdot m]$**은?**

① 12

② 24

③ 36

④ 48

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자기장 속 사각 코일의 최대 토크를 구하는 공식 $\tau_{max} = NBIA$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $B = 2T$, $N = 200$, $I = 2A$, 가로 $0.1m$, 세로 $0.3m$이다.
구해야 할 값: 코일이 얻는 최대 토크이다.
주의할 조건: 최대 토크이므로 $\sin\theta = 1$인 경우를 쓴다.

사용할 공식

사용 공식은 $\tau = NBIA\sin\theta$이다.
사각 코일의 면적은 $A = 0.1 \times 0.3 = 0.03m^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전류가 흐르는 코일이 균일한 자기장 안에서 받는 회전력이 토크 공식으로 바로 주어지기 때문이다.

계산 과정

1. 코일의 면적을 구하면 $A = 0.1 \times 0.3 = 0.03m^2$이다.
2. 최대 토크이므로 $\sin\theta = 1$을 대입한다.
3. $\tau_{max} = NBIA = 200 \times 2 \times 2 \times 0.03 = 24N \cdot m$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 12는 계산값과 다르다. 틀린 표현은 '12 $N \cdot m$'이고, 올바르게는 '24 $N \cdot m$'이다.
- 이 값은 $B = 2$ 또는 $I = 2$ 중 한 인자를 하나 빠뜨리면 나올 수 있는 오답이다.

② O
- $\tau_{max} = 200 \times 2 \times 2 \times 0.03 = 24 N \cdot m$이므로 맞다.

③ X
- 36은 계산값과 다르다. 틀린 표현은 '36 $N \cdot m$'이고, 올바르게는 '24 $N \cdot m$'이다.
- 이 값은 곱셈 과정에서 $200 \times 0.03 = 6$ 이후의 수치 계산을 잘못 처리한 오산이다.

④ X
- 48은 계산값과 다르다. 틀린 표현은 '48 $N \cdot m$'이고, 올바르게는 '24 $N \cdot m$'이다.
- 이 값은 최대 토크 식의 결과를 불필요하게 한 번 더 2배 하여 생기는 오답이다.

오답 포인트

턴수 N, 자기장 B, 전류 I, 면적 A 중 하나를 빠뜨리거나 최대조건 $\sin\theta = 1$을 놓치면 오답이 된다. 특히 면적을 먼저 구하지 않고 숫자를 바로 곱하면 인자 누락이 자주 생긴다.

다시 나오면 이렇게 판단

코일 토크 문제는 먼저 면적 A를 구한 뒤 $\tau = NBIA\sin\theta$에 대입하고, 발문에 '최대'가 있으면 $\sin\theta = 1$을 적용해 판단한다.

암기 포인트

최대 코일 토크는 $\tau_{max} = NBIA$이고, 사각 코일 면적은 가로×세로이다.

NoteBase

문 17. 자유공간의 점 $P(x,y,z)=(1,0,0)$[m]에 전하량 2[nC]의 점전하가 있고, z축에 수직인 무한한 넓이의 평면 전하 S_1, S_2가 각각 차례로 점 $Q_1(x,y,z)=(0,0,1.5)$[m], 점 $Q_2(x,y,z)=(0,0,3)$[m]을 지난다. S_1, S_2의 면전하밀도는 각각 균일하며 차례로 $\rho_{s1}=5[\mathrm{nC/m^2}]$, $\rho_{s2}=-5[\mathrm{nC/m^2}]$의 값을 가질 때, 점 $R(x,y,z)=(1,0,4)$[m]에서 전계 [nV/m]의 크기는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다.)

① $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}-\frac{5}{\varepsilon_0}$
② $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}+\frac{5}{\varepsilon_0}$
③ $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$
④ $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 점전하의 전계와 무한 평면전하의 전계를 벡터로 합성하여 점 R에서의 전체 전계를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 점전하: $q=2\mathrm{nC}$, 위치는 P(1,0,0)이다.
- 관찰점: R(1,0,4)이다.
- 무한 평면전하: S1은 $z=1.5$에서 $\rho_{s1}=5\mathrm{nC/m^2}$, S2는 $z=3$에서 $\rho_{s2}=-5\mathrm{nC/m^2}$이다.
- P와 R의 x, y좌표가 같으므로 점전하 전계도 z축 방향만 가진다.
- 무한 평면전하의 전계는 각 평면마다 크기가 $\sigma/(2\varepsilon_0)$이고, 양전하는 평면에서 바깥쪽, 음전하는 평면 쪽을 향한다.

사용할 공식

점전하 전계는
$E_q=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$
무한 평면전하의 전계는
$E_s=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 하나는 점전하이고, 나머지 둘은 넓이가 무한한 균일 평면전하이므로 각 전하분포에 맞는 기본 전계식을 각각 적용한 뒤 벡터합을 구해야 하기 때문이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2020 · 10월

계산 과정

1. 점전하 P(1,0,0)에서 R(1,0,4)까지의 거리는 $r = 4\text{m}$이다. 따라서
$E_q = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2}{4^2} = \frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$
이고 방향은 $+z$이다.
2. S1은 양전하 평면이므로 R점에서 전계가 평면에서 멀어지는 $+z$방향이다. 따라서
$E_{S_1} = \frac{5}{2\varepsilon_0}$
이다.
3. S2는 음전하 평면이므로 R점에서 전계가 평면 쪽인 $-z$방향이다. 따라서
$E_{S_2} = -\frac{5}{2\varepsilon_0}$
이다.
4. 평면전하 두 장의 합은
$E_{S_1} + E_{S_2} = \frac{5}{2\varepsilon_0} - \frac{5}{2\varepsilon_0} = 0$
이다.
5. 전체 전계는
$E_R = E_q + E_{S_1} + E_{S_2} = \frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$
이다.

선지별 해설

① X: $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0} - \frac{5}{\varepsilon_0}$는 두 평면전하의 효과를 음의 방향으로 남긴 값이다. 그러나 무한 평면전하 한 장의 전계 크기는 $\sigma/(2\varepsilon_0)$이고, R점에서는 S1이 $+z$, S2가 $-z$ 방향이어서 서로 정확히 상쇄된다. 틀린 표현은 $-\frac{5}{\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 평면전하 성분이 0이어서 전체 전계는 $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$이다.
② X: $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0} + \frac{5}{\varepsilon_0}$는 두 평면전하를 같은 방향으로 더한 값이다. S1은 양전하이므로 위쪽에서 $+z$, S2는 음전하이므로 위쪽에서 $-z$ 방향 전계를 만든다. 틀린 표현은 $+\frac{5}{\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 두 평면전하의 합이 0이어서 $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$만 남는다.
③ O: 점전하 성분은 $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$이고, 두 평면전하 성분은 서로 상쇄되어 0이다. 따라서 전체 전계의 크기는 $\frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$가 된다.
④ X: $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$는 점전하 전계를 계산할 때 거리 제곱 $r^2 = 16$을 잘못 처리한 값이다. 틀린 표현은 $\frac{1}{16\pi\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 $E_q = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{2}{16} = \frac{1}{32\pi\varepsilon_0}$이다.

오답 포인트

무한 평면전하의 전계를 σ/ε_0로 쓰거나, 양전하 평면과 음전하 평면의 방향을 같은 쪽으로 처리하면 ①, ② 같은 오답이 나온다. 또 점전하 전계에서 거리 r가 아니라 r^2를 써야 한다는 점을 놓치면 ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전계 합성 문제는 먼저 각 전하분포의 전계 방향을 축 방향으로 표시한 뒤, 점전하는 $1/r^2$, 무한 평면전하는 $\sigma/(2\varepsilon_0)$를 적용하여 마지막에 부호까지 포함해 벡터합을 계산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

무한 평면전하 한 장의 전계는 항상 $\sigma/(2\varepsilon_0)$이고, 양전하는 바깥쪽, 음전하는 평면 쪽을 향한다.

NoteBase

문 18. 비유전율이 1.5인 매질에서의 전위 V[V]가 <보기>와 같이 주어졌을 때, 매질 내의 한 점 $(0, 1, 1)$ [m]에서의 체적전하밀도 [C/m^3]의 값으로 옳은 것은? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다.)

<보기>

$V(x, y, z) = \frac{zx^2}{y^2} + 2xy - z^3$

① $-6\varepsilon_0$

② $-3\varepsilon_0$

③ $3\varepsilon_0$

④ $6\varepsilon_0$

정답 4번

출제 포인트

포아송 방정식 $\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V$를 이용해 전위로부터 체적전하밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전위는 $V(x, y, z) = \frac{zx^2}{y^2} + 2xy - z^3$이다.
구해야 할 값은 점 $(0, 1, 1)$에서의 체적전하밀도 ρ_v이다.
매질의 유전율은 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0 = 1.5\varepsilon_0$이다.

사용할 공식

$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}, \qquad \rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V$

전위가 주어졌고 매질 내부의 체적전하밀도를 묻고 있으므로 전기장의 발산형이 아니라 포아송 방정식을 직접 적용하는 상황이다.

계산 과정

$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{2z}{y^2}, \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = \frac{6zx^2}{y^4}, \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -6z$

따라서

$\nabla^2 V = \frac{2z}{y^2} + \frac{6zx^2}{y^4} - 6z$

점 $(0, 1, 1)$을 대입하면

$\nabla^2 V(0, 1, 1) = 2 + 0 - 6 = -4$

그러므로

$\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V = -(1.5\varepsilon_0)(-4) = 6\varepsilon_0$

NoteBase

선지별 해설

① X: $-6\varepsilon_0$는 부호가 반대이다. 포아송 방정식의 마이너스 부호를 빼먹으면 이런 값이 나오지만, 올바른 값은 $6\varepsilon_0$이다.
② X: $-3\varepsilon_0$는 크기와 부호가 모두 맞지 않는다. $\nabla^2 V(0,1,1) = -4$, $\varepsilon = 1.5\varepsilon_0$이므로 이 값은 나올 수 없고, 올바른 값은 $6\varepsilon_0$이다.
③ X: $3\varepsilon_0$는 유전율 $1.5\varepsilon_0$와 라플라시안 -4를 반영한 결과와 맞지 않는다. 절반 크기로 계산한 오답이며, 올바른 값은 $6\varepsilon_0$이다.
④ O: $\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V = -(1.5\varepsilon_0)(-4) = 6\varepsilon_0$이므로 옳다.

오답 포인트

포아송 방정식의 부호 $\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V$를 반대로 쓰기 쉽고, $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$에서 비유전율 1.5를 빠뜨리기 쉽다. 또한 $\frac{zx^2}{y^2}$의 y에 대한 이계미분을 놓치면 크기가 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위가 주어지면 먼저 라플라시안 $\nabla^2 V$를 구하고, 점을 대입해 수치를 확정한 뒤, 마지막에 $\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V$와 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$를 함께 적용해 부호와 계수를 검산한다.

암기 포인트

체적전하밀도는 $\rho_v = -\varepsilon\nabla^2 V$, 매질 유전율은 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$이다.

NoteBase

문 19. 두 도체판 사이에 유전체를 채우고, 전압을 인가한 커패시터에서 도체판에 작용하는 힘의 크기가 F [N]이다. 유전율이 기존 유전체의 절반인 유전체로 교체하고, 대전전하량을 2배 증가시키면 도체판에 작용하는 힘의 크기는 어떻게 변하는가? (단, 모든 유전체는 단순 매질(simple medium)이다.)

① $\frac{1}{2}$배로 감소한다.

② 변화없다.

③ 2배 증가한다.

④ 8배 증가한다.

정답 4번

출제 포인트

단순 매질에서 도체판에 작용하는 전기압력과 힘이 $F = \frac{Q^2}{2\varepsilon A}$로 정리되므로, 힘이 자유전하량의 제곱에 비례하고 유전율에 반비례한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기 힘이 F라는 점, 유전율이 $\varepsilon \to \frac{\varepsilon}{2}$로 바뀐다는 점, 대전전하량이 $Q \to 2Q$로 바뀐다는 점이다.
구해야 할 값은 변화 후 도체판에 작용하는 힘의 배수이다.
평행판의 면적 A는 같으므로 비례관계만 비교하면 된다.

사용할 공식

도체판에 작용하는 힘은 전기압력으로부터 $F = pA = \frac{1}{2}EDA = \frac{Q^2}{2\varepsilon A}$로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 단순 매질이라고 했으므로 $D = \varepsilon E$가 성립하고, 도체판 사이 힘이 자유전하량 Q와 유전율 ε의 함수로 바로 정리되기 때문이다.

계산 과정

초기 상태에서
$F = \frac{Q^2}{2\varepsilon A}$
이다.
변경 후에는
$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{2}, \quad Q' = 2Q$
이므로
$F' = \frac{Q'^2}{2\varepsilon' A} = \frac{(2Q)^2}{2(\varepsilon/2)A} = \frac{4Q^2}{\varepsilon A} = 8 \cdot \frac{Q^2}{2\varepsilon A} = 8F$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
힘은 $\frac{1}{2}F$가 아니라 $8F$가 된다. 틀린 표현은 '1/2배로 감소한다'이고, 올바르게는 '8배 증가한다'이다.

② X
힘은 변화가 없는 것이 아니라 유전율 감소와 전하량 증가가 함께 작용해 크게 증가한다. 틀린 표현은 '변화없다'이고, 올바르게는 '8배 증가한다'이다.

③ X
힘은 2배가 아니라 8배이다. 전하량만 2배로 보면 Q^2 효과를 놓치고, 유전율이 절반이 되는 효과도 빠뜨리게 된다. 틀린 표현은 '2배 증가한다'이고, 올바르게는 '8배 증가한다'이다.

④ O
$F \propto \frac{Q^2}{\varepsilon}$이므로 전하량을 2배 하면 힘은 4배가 되고, 유전율을 절반으로 하면 다시 2배가 되어 전체적으로 8배가 된다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

전하량을 2배로 바꾸면 힘도 단순히 2배가 된다고 생각하기 쉽다. 그러나 힘은 Q가 아니라 Q^2에 비례하므로 먼저 4배가 되고, 여기에 유전율이 절반이 되는 효과까지 곱해져 최종적으로 8배가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

커패시터 판 사이 힘 문제는 먼저 $F \propto \frac{Q^2}{\varepsilon}$ 또는 $F \propto \varepsilon E^2$ 중 어떤 조건이 유지되는지 확인하고, 그다음 전하량과 유전율 변화가 각각 몇 배 효과를 내는지 따로 계산해 곱하면 된다.

암기 포인트

자유전하가 주어지면 도체판 힘은 Q^2에 비례하고 ε에 반비례한다.

NoteBase

문 20. 비투자율이 μ_r인 철심이 삽입된 길이가 d, 권선수 N인 솔레노이드 중심의 자속밀도로 가장 옳은 것은? (단, 전류는 I가 인가되었으며, 길이 d는 솔레노이드의 반경에 비해 매우 길다. μ_0는 자유공간의 투자율이고, μ_r는 상수이다.)

① $\mu_0\mu_r\frac{N}{d}I$

② $\mu_0\mu_r\frac{d}{N}I$

③ $\mu_0\mu_r NdI$

④ $\mu_0\frac{Nd}{\mu_r}I$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 긴 솔레노이드 내부의 자속밀도 공식을 이용해 중심의 자속밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 철심의 비투자율 μ_r, 솔레노이드 길이 d, 권선수 N, 전류 I
구해야 할 값: 솔레노이드 중심의 자속밀도 B
주의할 조건: 길이 d가 반경보다 매우 길므로 긴 솔레노이드 근사를 적용한다.

사용할 공식

긴 솔레노이드 내부의 자속밀도는 $B = \mu nI$이다. 철심이 있으므로 $\mu = \mu_0\mu_r$, 권선밀도는 $n = \frac{N}{d}$이어서 $B = \mu_0\mu_r\frac{N}{d}I$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 솔레노이드가 충분히 길다고 했으므로 내부 자기장이 거의 균일한 긴 솔레노이드 공식에 그대로 해당한다.

계산 과정

1. 긴 솔레노이드에서 권선밀도는 $n = \frac{N}{d}$이다.
2. 철심이 있으면 투자율은 $\mu_0\mu_r$가 된다.
3. 따라서 중심의 자속밀도는 $B = \mu_0\mu_r nI = \mu_0\mu_r\frac{N}{d}I$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: $B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{d} I$와 정확히 일치하므로 옳다.
② X: $\frac{d}{N}$로 되어 있어 권선밀도 $\frac{N}{d}$를 거꾸로 썼다. 틀린 표현은 $\frac{d}{N}$이고, 올바르게는 $\frac{N}{d}$이다.
③ X: Nd를 곱하면 권선밀도가 아니라 길이와 권선수를 단순 곱한 형태가 된다. 틀린 표현은 Nd이고, 올바르게는 $\frac{N}{d}$이다.
④ X: μ_r가 분모에 있고 d도 분자로 가 있어 투자율 효과와 권선밀도를 모두 반대로 썼다. 틀린 표현은 $\frac{Nd}{\mu_r}$이고, 올바르게는 $\mu_r \frac{N}{d}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 권선밀도 n를 $\frac{N}{d}$가 아니라 $\frac{d}{N}$로 뒤집는 실수와, 철심이 있으면 μ_r가 곱해진다는 점을 분모로 착각하는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

솔레노이드 계산형 문제는 먼저 긴 솔레노이드인지 확인하고, 다음에 $n = \frac{N}{\ell}$을 세운 뒤, 매질이 공기인지 철심인지에 따라 μ가 μ_0인지 $\mu_0 \mu_r$인지 순서대로 판단한다.

암기 포인트

긴 솔레노이드의 자속밀도는 $B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{d} I$이며, 핵심은 투자율은 곱하고 권선수는 길이로 나눈다는 점이다.

NoteBase