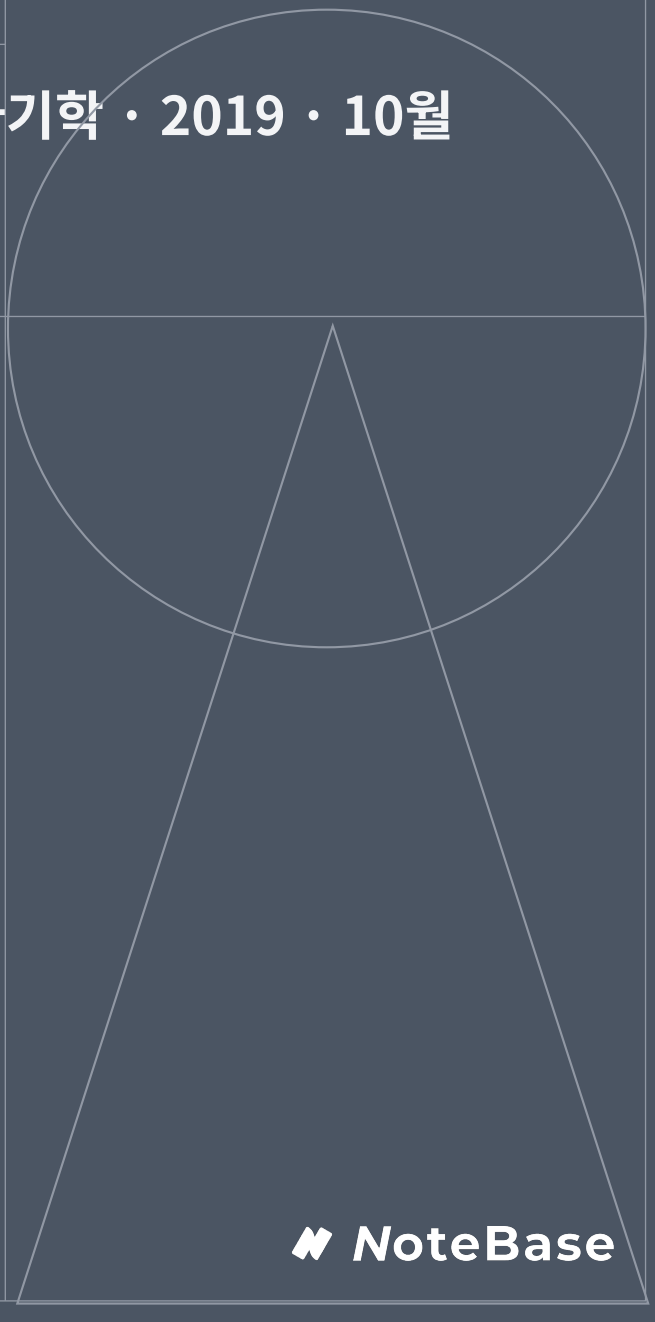
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2019 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2019 · 10월

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2019 · 10월

문 1. [Ω·s]와 등가 단위인 것은?

① [H/m]

② [F/m]

③ [H]

④ [F]

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유도성 리액턴스 $X_L = \omega L$의 단위 관계로부터 $[\Omega \cdot s] = [H]$임을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 단위는 $[\Omega \cdot s]$이다.
구해야 할 값은 이와 등가인 SI 유도단위이다.
주의할 점은 각주파수 ω의 단위가 s^{-1}라는 점이다.

사용할 공식

유도성 리액턴스는 $X_L = \omega L$이다.
따라서 $L = X_L/\omega = \Omega/(s^{-1}) = \Omega \cdot s$이므로 인덕턴스의 단위 H와 같다.
이 공식을 쓰는 이유는 $[\Omega \cdot s]$를 직접 인덕턴스의 차원으로 바꿀 수 있기 때문이다.

선지 판단

1번 X: $[H/m]$는 투자율 또는 단위 길이당 인덕턴스의 단위이다. 문제의 $[\Omega \cdot s]$에는 길이 차원이 없으므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 $[H/m]$이고 올바르게는 $[H]$이다.
2번 X: $[F/m]$는 유전율의 단위이다. $[\Omega \cdot s]$는 인덕턴스 차원이고, $[F/m]$는 길이당 정전용량 차원이므로 다르다. 틀린 표현은 $[F/m]$이고 올바르게는 $[H]$이다.
3번 O: $X_L = \omega L$에서 $L = \Omega/(s^{-1}) = \Omega \cdot s$이므로 $[\Omega \cdot s]$는 헨리 $[H]$와 등가이다.
4번 X: $[F]$는 정전용량의 단위이다. $F = s/\Omega$이므로 $[\Omega \cdot s]$와는 역의 형태로 다르다. 틀린 표현은 $[F]$이고 올바르게는 $[H]$이다.

NoteBase

오답 포인트

헨리 [H]와 헨리 퍼 미터 [H/m]를 같은 차원으로 보는 실수, 패럿 [F]에 시간 s가 들어간다는 이유만으로 비슷하다고 판단하는 실수가 자주 나온다. 각주파수 ω의 단위가 s^{-1}라는 점을 놓치면 [$\Omega \cdot s$]를 바로 [H]로 연결하지 못한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단위 문제는 대표 관계식 하나를 잡아 차원만 정리하면 된다. 리액턴스는 Ω, 각주파수는 s^{-1}, 인덕턴스는 $\Omega \cdot s$, 정전용량은 s/Ω로 구분하면 빠르게 판단할 수 있다.

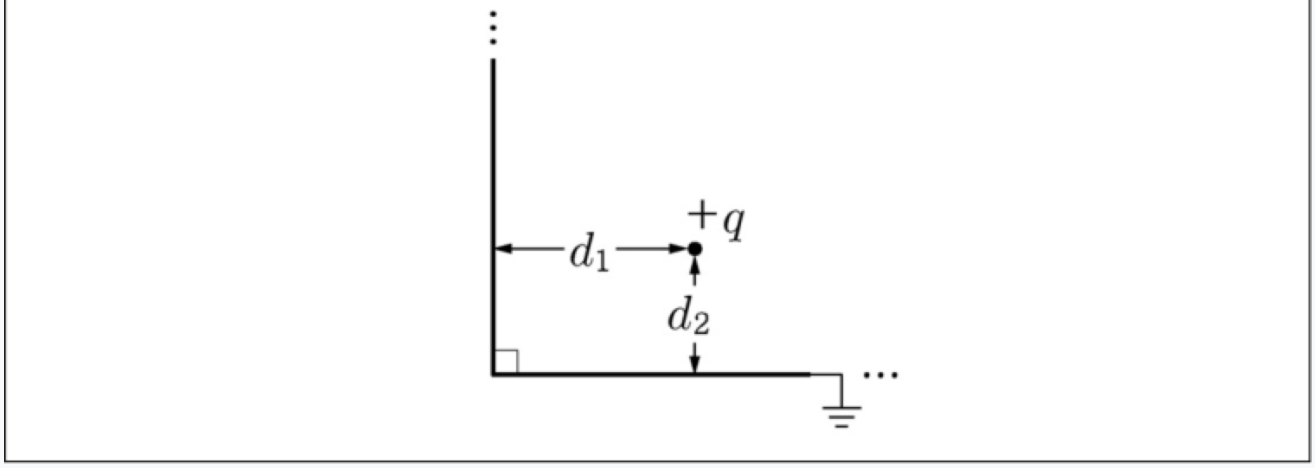
암기 포인트

인덕턴스는 $H = \Omega \cdot s$, 정전용량은 $F = s/\Omega$, 투자율은 H/m이다.

NoteBase

문 2. <보기>의 수직한 무한평면 도체 근처에 점전하 +q가 있다. 이 구조를 등가화할 때 필요한 영상 전하의 개수는?

<보기>



① 4개

② 3개

③ 2개

④ 1개

정답 2번

출제 포인트

서로 수직인 접지 무한도체 평면 두 개에서 영상법을 적용할 때 실제 전하 하나를 경계면들에 대해 각각 반사한 영상전하 2개와, 두 번 반사된 영상전하 1개가 더해져 총 3개의 영상전하가 필요하다는 점을 묻는 문제이다.

선지별 해설

① X: 영상전하를 4개로 보면 실제 전하까지 함께 센 셈이 된다. 이 구조에서 필요한 영상전하는 3개이며, 실제 전하 1개를 더하면 전체 전하 배치는 4개가 된다.
② O: 수직한 접지 평면이 2개이면 각 평면에 대한 반사 영상전하 2개와 두 평면에 대해 모두 반사된 영상전하 1개가 필요하다. 따라서 필요한 영상전하의 개수는 3개이다.
③ X: 영상전하를 2개만 두면 각 평면에 대한 경계조건은 일부 만족해도 두 평면을 동시에 만족시키는 마지막 반사 전하가 빠진다. 올바르게는 3개가 필요하다.
④ X: 영상전하를 1개만 두면 한 평면에 대한 반사만 고려한 경우이다. 서로 직교하는 두 접지 평면의 경계조건을 동시에 맞추려면 총 3개가 필요하다.

NoteBase

오답 포인트

실제 전하까지 포함한 전체 전하 개수 4개와 새로 두어야 하는 영상전하 개수 3개를 혼동하기 쉽다. 또한 평면이 두 개이므로 반사도 두 번 일어나 대각 위치의 마지막 영상전하 1개가 더 필요하다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

접지 평면이 서로 직교하는 n개이면 영상전하는 각 경계에 대한 반사 조합만큼 생겨 $2^n - 1$개가 된다. 이 문항은 $n = 2$이므로 $2^2 - 1 = 3$개로 판단된다.

암기 포인트

직교 접지평면 2개이면 영상전하는 3개이고, 실제 전하까지 포함한 전체 전하 배치는 4개이다.

NoteBase

문 3. 0.5[C]의 점전하가 전계 $\vec{E} = 10\vec{a}_y[V/m]$, 자속밀도 $\vec{B} = 5\vec{a}_x[Wb/m^2]$가 작용하는 공간에서 속도 $\vec{v} = 2\vec{a}_x[m/s]$로 이동할 때 점전하에 작용되는 힘[N]은?

① 0

② $5\vec{a}_x$

③ $5\vec{a}_y$

④ $5\vec{a}_x + 5\vec{a}_y$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이동하는 점전하에 작용하는 로런츠 힘 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$를 적용해 힘의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전하량 $q = 0.5\text{C}$, 전계 $\vec{E} = 10\vec{a_y}\text{V/m}$, 자속밀도 $\vec{B} = 5\vec{a_x}\text{Wb/m}^2$, 속도 $\vec{v} = 2\vec{a_x}\text{m/s}$이다.
구해야 할 값은 점전하에 작용하는 힘 $\vec{F}$이다.
주의할 조건은 $\vec{v}$와 $\vec{B}$의 방향이 둘 다 $\vec{a_x}$이므로 서로 평행하다는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전하가 전계와 자계가 동시에 존재하는 공간에서 운동하고 있으므로 전기력과 자기력을 함께 판단해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 자기력 항을 먼저 본다. $\vec{v} \parallel \vec{B}$이므로 $\vec{v} \times \vec{B} = 0$이다.
2. 따라서 전체 힘은 $\vec{F} = q\vec{E}$만 남는다.
3. 계산하면 $\vec{F} = 0.5 \times 10\vec{a_y} = 5\vec{a_y}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 힘을 0으로 본 값이다. 전기장 $\vec{E}$가 존재하므로 전기력 $q\vec{E}$는 남는다. 틀린 값은 0이고, 올바르게는 $5\vec{a_y}$이다.
② X: 자기력만 크기식처럼 대입하거나 방향을 $\vec{a_x}$로 착각한 값이다. $\vec{v} \times \vec{B} = 0$이므로 $\vec{a_x}$방향 힘은 생기지 않는다. 틀린 값은 $5\vec{a_x}$이고, 올바르게는 $5\vec{a_y}$이다.
③ O: $\vec{v} \times \vec{B} = 0$이므로 힘은 $q\vec{E}$만 작용한다. 따라서 $\vec{F} = 0.5 \times 10\vec{a_y} = 5\vec{a_y}$가 되어 옳다.
④ X: 전기력과 자기력을 단순히 벡터 합으로 오해한 값이다. 이 문제에서는 자기력 성분이 0이므로 $\vec{a_x}$성분을 더할 수 없다. 틀린 값은 $5\vec{a_x} + 5\vec{a_y}$이고, 올바르게는 $5\vec{a_y}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 자기력의 크기식 qvB만 기억하고 $\vec{v}$와 $\vec{B}$가 평행이면 외적이 0이라는 조건을 놓치는 점이다. 이 문항은 계산보다 방향 관계를 먼저 보는지가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전자기력 문제는 먼저 $\vec{E}$, $\vec{v}$, $\vec{B}$의 방향 관계를 본 뒤 $\vec{v} \times \vec{B}$가 0인지부터 판단하면 된다. 자기력 항이 0이면 곧바로 $q\vec{E}$만 계산하면 된다.

암기 포인트

$\vec{v} \parallel \vec{B}$이면 $\vec{v} \times \vec{B} = 0$이므로 자기력은 0이고, 힘은 전기력만 남는다.

NoteBase

문 4. 자유공간에서 한 변의 길이가 a[m]인 정삼각형의 각 꼭짓점에 각각 Q[C]의 전하를 놓았을 때, 정삼각형 중심점의 전위[V]는? (단, 영전위 기준점은 무한 원점이다.)

① $\frac{3Q}{2\pi\varepsilon_0 a}$
② $\frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$
③ $\frac{3\sqrt{3}Q}{2\pi\varepsilon_0 a}$
④ $\frac{3\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정삼각형 중심에서 각 꼭짓점까지의 거리를 구한 뒤, 전위의 중첩 원리로 총전위를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 한 변의 길이 a인 정삼각형의 세 꼭짓점에 각각 전하 Q가 놓여 있다.
구해야 할 값: 정삼각형 중심의 전위 V이다.
주의할 조건: 전위는 스칼라량이므로 방향을 따지지 않고 각 전하가 만드는 전위를 그대로 더한다. 중심에서 꼭짓점까지 거리는 a가 아니라 $a/\sqrt{3}$이다.

사용할 공식

점전하 1개가 거리 r인 점에 만드는 전위는 $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 자유공간의 점전하 전위를 묻는 문제이고, 중심에서는 세 전하까지의 거리가 모두 같으므로 한 전하의 전위를 구해 3배하면 된다.

계산 과정

1. 정삼각형의 중심에서 각 꼭짓점까지의 거리는 외접반지름이므로 $r = \frac{a}{\sqrt{3}}$이다.
2. 전하 1개가 중심에 만드는 전위는
$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{a/\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$
이다.
3. 같은 전하가 3개 있으므로 전체 전위는
$V = 3V_1 = 3 \cdot \frac{\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a} = \frac{3\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$
이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. $\frac{3Q}{2\pi\varepsilon_0 a}$는 중심까지의 거리 $a/\sqrt{3}$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 표현은 계수와 분모가 모두 맞지 않는 점이며, 올바르게는 $\frac{3\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$이다.
2번: X. $\frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$는 세 전하를 단순히 $3\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{a}$로 처리한 값이다. 틀린 표현은 거리 r를 a로 본 점이며, 올바르게는 $r=\frac{a}{\sqrt{3}}$를 넣어 $\frac{3\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$가 된다.
3번: X. $\frac{3\sqrt{3}Q}{2\pi\varepsilon_0 a}$는 정답보다 2배 큰 값이다. 틀린 표현은 분모의 $2\pi\varepsilon_0 a$ 부분이며, 올바르게는 $4\pi\varepsilon_0 a$가 되어야 한다.
4번: O. 세 꼭짓점 전하가 만드는 전위를 중첩하면 $V=\frac{3\sqrt{3}Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$이므로 맞는 식이다.

오답 포인트

정삼각형 중심에서 꼭짓점까지의 거리를 한 변 a로 착각하면 2번처럼 되고, 전위 공식을 전기장 공식과 섞어 분모 계수를 잘못 쓰면 1번이나 3번처럼 된다. 이 문제의 핵심 함정은 거리와 $4\pi\varepsilon_0$ 계수를 동시에 정확히 잡는지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

대칭 배치 전하의 전위를 묻는 문제는 먼저 중심과 전하 사이 거리부터 구하고, 그다음 점전하 전위 $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$를 적용한 뒤, 전위가 스칼라량이라는 점을 이용해 그대로 합산하면 된다.

암기 포인트

정삼각형 중심까지 거리는 $a/\sqrt{3}$, 전위는 스칼라 중첩이므로 $3\times\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{a/\sqrt{3}}$ 형태로 바로 계산된다.

NoteBase

문 5. 직교 좌표계 (x, y, z)상에서 정의된 스칼라 함수 $V(x, y) = e^{-2x}\sin 2y$일 때, $(0, \pi/8, 0)$에서 V의 $\vec{l} = \vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y$ 방향으로의 미분값 $\left(\frac{dV}{dl}\right)$은?

① $\frac{-1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$
② $\sqrt{2}(-1+\sqrt{3})$
③ $\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$
④ $\sqrt{2}(1+\sqrt{3})$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 스칼라 함수의 기울기 ∇V와 방향의 단위벡터를 이용해 한 점에서의 방향미분값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 함수: $V(x, y) = e^{-2x}\sin 2y$이다.
구하는 값: 점 $(0, \pi/8, 0)$에서 방향 $\vec{l} = \vec{a}_x + \sqrt{3}\vec{a}_y$로의 방향미분값이다.
주의할 조건: 방향미분은 방향벡터 자체가 아니라 그 방향의 단위벡터를 써서 계산한다.

사용할 공식

방향미분 공식은 $\frac{dV}{dl} = \nabla V \cdot \hat{l}$이다.
여기서 $\hat{l}$은 주어진 방향벡터 $\vec{l}$의 단위벡터이다.
이 공식을 쓰는 이유는 스칼라 함수의 한 방향 변화율이 기울기와 그 방향의 단위벡터의 내적으로 주어지기 때문이다.

계산 과정

1. 기울기를 구하면 $\nabla V = \left(\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z}\right) = (-2e^{-2x}\sin 2y, 2e^{-2x}\cos 2y, 0)$이다.
2. 점 $(0, \pi/8, 0)$에서 $e^0 = 1$, $\sin(\pi/4) = \cos(\pi/4) = \frac{\sqrt{2}}{2}$이므로 $\nabla V(0, \pi/8, 0) = (-\sqrt{2}, \sqrt{2}, 0)$이다.
3. 방향벡터의 크기는 $|\vec{l}| = \sqrt{1^2 + (\sqrt{3})^2} = 2$이므로 단위벡터는 $\hat{l} = \frac{1}{2}(1, \sqrt{3}, 0)$이다.
4. 따라서 (dV)/(dl)=(-√(2),√(2),0)·≤ft(12,(3)/(2),0)=(2)/(2)(-1+3)=(-1+3)/(2)이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 (-1+3)/(2)이므로 옳다.

② X
- ②의 값 2(-1+3)는 정답의 2배이다.
- 방향벡터 (1,3,0)를 단위벡터로 바꾸지 않고 그대로 내적하면 나오는 값이다.
- 틀린 표현은 방향의 크기 정규화를 빠뜨린 값이라는 점이고, 올바르게는 (-1+3)/(2)이다.

③ X
- ③의 값 (1+3)/(2)는 x성분의 부호를 잘못 잡은 값이다.
- $\frac{\partial V}{\partial x} = -2e^{-2x}\sin 2y$이므로 점 $(0, \pi/8, 0)$에서 x성분은 -2가 되어야 한다.
- 틀린 표현은 첫 항의 부호가 +로 바뀐 점이고, 올바르게는 (-1+3)/(2)이다.

④ X
- ④의 값 2(1+3)는 ③의 부호 오류에 더해 ②처럼 단위벡터 정규화도 빠뜨린 값이다.
- 즉 x성분 부호를 잘못 두고 방향벡터 크기 2로 한 번 더 과대평가한 결과이다.
- 틀린 표현은 부호와 정규화가 모두 어긋난 값이고, 올바르게는 (-1+3)/(2)이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 방향미분에서 주어진 방향벡터를 그대로 쓰는 실수와 $\frac{\partial V}{\partial x}$의 음수 부호를 놓치는 실수이다. ②는 정규화 누락, ③은 부호 오류, ④는 두 실수가 동시에 들어간 경우이다.

다시 나오면 이렇게 판단

방향미분 문제는 먼저 ∇V를 구하고, 다음으로 방향벡터를 단위벡터로 바꾼 뒤, 마지막에 두 벡터를 내적하는 순서로 판단한다. 계산 중에는 편미분 부호와 sin, cos의 점값을 함께 검산하면 된다.

암기 포인트

방향미분은 $\nabla V \cdot \hat{l}$이고, 핵심 함정은 방향벡터의 단위화와 편미분 부호이다.

NoteBase

문 6. 전하량이 5[C]인 양전하를 10[V/m]의 정전계 내의 정삼각형 경로를 따라 한 바퀴 일주시킬 때 필요한 에너지[J]는? (단, 정삼각형 한 변의 길이는 5[cm]로 가정한다.)

① 0

② 50

③ 75

④ 150

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정전계가 보존장이라는 성질과 폐경로에서의 전위차가 0이라는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전하량 5C, 전기장 10V/m, 정사각형 한 변 5cm이다.
구해야 할 값: 정사각형 경로를 따라 한 바퀴 이동시킬 때 필요한 에너지이다.
주의할 조건: 한 바퀴 이동은 출발점으로 되돌아오는 폐경로이므로 전체 전위차를 먼저 본다.

사용할 공식

사용 공식은 $W = q\Delta V = q\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$이다.
정전계에서는 전위가 점의 상태량이므로 폐경로 한 바퀴 후에는 $\Delta V = 0$이 된다. 따라서 전체 일은 각 변의 길이를 모두 더해 구하는 문제가 아니라 시작점과 끝점의 전위차를 보는 문제이다.

계산 과정

1. 정사각형 경로를 한 바퀴 돌면 출발점으로 다시 돌아오므로 전체 경로는 폐경로이다.
2. 정전계의 폐경로에서는 $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$이고, 같은 뜻으로 전체 전위차도 $\Delta V = 0$이다.
3. 따라서 필요한 에너지는 $W = q\Delta V = 5 \times 0 = 0$J이다.
4. 한 변의 길이 5cm는 각 구간의 개별 일을 따질 때는 쓸 수 있지만, 전체 폐경로의 총일은 결국 0이므로 최종값에는 영향을 주지 않는다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 정전계의 폐경로 이동에서는 전체 전위차가 0이므로 필요한 에너지도 0 J이다.
2번 X: 50 J라는 판단은 이동거리에 비례해 일을 단순 누적하는 오해이다. 정전계에서는 경로 전체가 아니라 시작점과 끝점의 전위차를 보며, 이 문항은 폐경로이므로 올바르게는 0 J이다.
3번 X: 75 J라는 판단도 일부 구간의 일을 임의로 더한 값일 뿐이다. 정사각형의 서로 마주 보는 평행 구간에서는 일이 크기가 같고 부호가 반대가 되어 상쇄되므로 올바르게는 0 J이다.
4번 X: 150 J라는 판단은 폐경로에서도 전기장이 계속 같은 방향의 일을 한다고 본 오해이다. 수직으로 움직이는 두 변에서는 $\mathbf{E}\cdot d\mathbf{l}=0$이고, 평행한 두 변의 일은 서로 상쇄되므로 올바르게는 0 J이다.

오답 포인트

전기장 세기와 이동거리가 보이면 곧바로 qEl을 적용하기 쉽지만, 먼저 경로가 폐경로인지 확인해야 한다. 이 문항의 함정은 수치 5C, 10V/m, 5cm에 끌려 보존장 성질을 놓치는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

정전계에서 이동 일 문제는 먼저 시작점과 끝점이 같은지 확인한다. 같으면 폐경로이므로 전체 전위차가 0이고 총일도 0으로 판단한다. 시작점과 끝점이 다를 때만 $q\Delta V$ 또는 경로 성분별 일을 계산한다.

암기 포인트

정전계는 보존장이므로 폐경로 총일은 0, 즉 $\oint \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l}=0$이다.

NoteBase

문 7. 면적 $A[m^2]$, 간격 $d[m]$인 평행 평판 도체판에 유전율 ε, 도전율 σ인 균일한 매질을 채웠을 때, 정전용량 C와 누설 저항 R의 관계를 옳게 표시한 것은?

① $RC = \varepsilon\sigma$

② $RC = \frac{1}{\varepsilon\sigma}$

③ $RC = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

④ $RC = \frac{\varepsilon}{\sigma}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 도전율을 가진 유전체가 채워진 평행 평판 도체판에서 정전용량 C와 누설 저항 R의 기본식을 곱해 RC를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 면적 A, 판 간격 d, 유전율 ε, 도전율 σ이다.
구해야 할 값은 RC의 관계식이다.
주의할 조건은 정전용량은 유전율로 정해지고, 누설 저항은 도전율의 역수 관계로 정해진다는 점이다.

사용할 공식

정전용량은 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$ 이고, 누설 저항은 $R = \frac{d}{\sigma A}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평행 평판 구조에서는 전기장 방향으로 유전체가 커패시터를 이루고, 같은 방향의 도전 전류 경로가 누설 저항으로 모델링되기 때문이다.

계산 과정

1. 평행 평판의 정전용량을 $C = \varepsilon A/d$로 둔다.
2. 유전체의 도전율이 σ이므로 누설 저항은 $R = d/(\sigma A)$로 둔다.
3. 두 식을 곱하면 $RC = \frac{d}{\sigma A} \cdot \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{\varepsilon}{\sigma}$ 가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: RC는 ε와 σ의 곱이 아니다. $R = d/(\sigma A)$, $C = \varepsilon A/d$를 곱하면 σ는 분모에 남으므로 올바르게는 $RC = \varepsilon/\sigma$이다.
② X: $1/(\varepsilon\sigma)$는 A와 d를 소거한 뒤에도 ε를 분모로 잘못 보낸 식이다. 올바른 식은 ε가 분자, σ가 분모에 오는 $RC = \varepsilon/\sigma$이다.
③ X: σ/ε는 정답 식을 뒤집은 값이다. 이는 RC가 아니라 $1/RC$에 해당하는 꼴이므로 올바르게는 $RC = \varepsilon/\sigma$이다.
④ O: $C = \varepsilon A/d$, $R = d/(\sigma A)$이므로 곱은 $RC = \varepsilon/\sigma$가 된다. 면적 A와 간격 d가 서로 소거된다는 점이 핵심이다.

오답 포인트

누설 저항에서 도전율 σ가 분모로 들어간다는 점을 놓치면 ①처럼 곱으로 쓰거나 ③처럼 역수로 뒤집기 쉽다. 또한 R과 도전도 G를 혼동하면 ②, ③ 같은 식이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

손실 유전체가 들어간 평행 평판 문제는 먼저 $C = \varepsilon A/d$, $R = d/(\sigma A)$를 적고 곱한 뒤 A와 d가 소거되는지 확인하면 된다. 최종적으로 ε는 분자, σ는 분모에 남는다.

암기 포인트

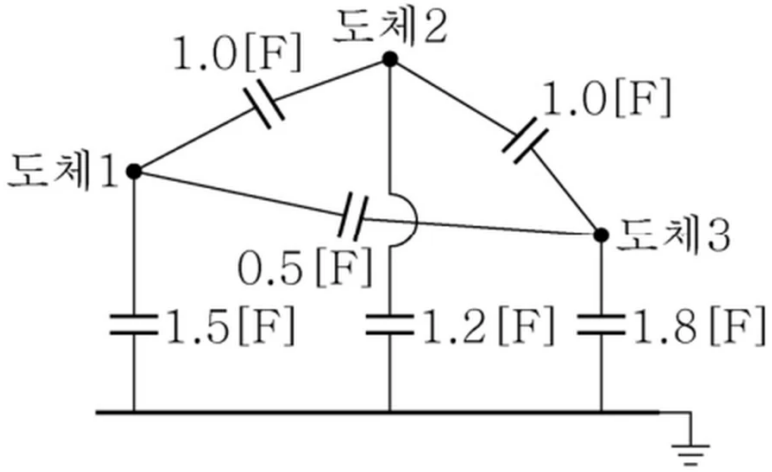
평행 평판 손실 유전체의 시간상수는 $RC = \varepsilon/\sigma$이다.

NoteBase

문 8. 커패시턴스가 <보기>와 같이 주어졌을 때, 도체 1의 전하량 Q_1과 세 도체의 전위 V_1, V_2, V_3에 관한 아래 관계식에서 상수 a, b, c의 값은?

<보기>

$$Q_1 = aV_1 + bV_2 + cV_3$$



① a: +3.0, b: -1.0, c: -0.5

② a: +3.0, b: +1.0, c: +0.5

③ a: +1.5, b: -1.0, c: -0.5

④ a: +1.5, b: +1.0, c: +0.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 다도체 커패시턴스에서 도체 1의 전하식을 세워 a, b, c의 계수를 구하는 문제이다.

조건 정리

도체 1과 직접 연결된 정전용량은 접지와의 1.5F, 도체 2와의 1.0F, 도체 3과의 0.5F이다.
도체 2와 접지 사이의 1.2F, 도체 2와 도체 3 사이의 1.0F, 도체 3과 접지 사이의 1.8F는 도체 1에 직접 붙은 용량이 아니므로 Q_1 식의 계수를 직접 만들지 않는다.
그림의 교차 부분은 점퍼 표시이므로 0.5F 가지와 1.2F 가지가 전기적으로 접속된 것이 아니다.

NoteBase

사용할 공식

도체 1의 전하는 도체 1에 연결된 각 커패시터의 전하를 합해
$Q_1 = C_{10}V_1 + C_{12}(V_1 - V_2) + C_{13}(V_1 - V_3)$
로 둔다.
정리하면
$Q_1 = (C_{10} + C_{12} + C_{13})V_1 - C_{12}V_2 - C_{13}V_3$
가 된다.
도체 1에 직접 연결된 용량은 V_1의 계수에 더해지고, 다른 도체 전위 V_2, V_3 앞에는 전위차 항 때문에 음수로 붙는다.

계산 과정

주어진 값은 $C_{10} = 1.5, C_{12} = 1.0, C_{13} = 0.5$이다.
따라서
$a = C_{10} + C_{12} + C_{13} = 1.5 + 1.0 + 0.5 = 3.0$
$b = -C_{12} = -1.0$
$c = -C_{13} = -0.5$
이다.
결국
$Q_1 = 3.0V_1 - 1.0V_2 - 0.5V_3$
가 된다.

선지 판단

1번: O. $a = 3.0, b = -1.0, c = -0.5$이므로 계산 결과와 일치한다.
2번: X. $b = +1.0, c = +0.5$로 두었는데 상호 정전용량 항은 $(V_1 - V_2)$, $(V_1 - V_3)$에서 나오므로 부호가 음수여야 한다. 틀린 표현은 $b = +1.0, c = +0.5$이고, 올바르게는 $b = -1.0, c = -0.5$이다.
3번: X. $a = 1.5$는 접지와의 1.5F만 센 값이다. 도체 1에 직접 연결된 1.0F와 0.5F도 V_1의 계수에 더해져야 하므로 올바르게는 $a = 3.0$이다.
4번: X. a를 1.5로 잘못 두었고 b, c의 부호도 반대로 잡았다. 올바르게는 $a = 3.0, b = -1.0, c = -0.5$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, a를 접지 용량 1.5F만으로 보고 도체 1에 직접 연결된 상호 정전용량 1.0F와 0.5F를 빼먹기 쉽다. 둘째, 상호 정전용량 항을 $(V_1 - V_2)$, $(V_1 - V_3)$가 아니라 단순 합처럼 보고 b, c 부호를 양수로 잘못 적기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

다도체 커패시턴스 문제는 먼저 해당 도체에 직접 연결된 커패시터만 모은다. 그다음 자기 전위 V_1의 계수에는 그 용량들을 모두 더하고, 다른 도체 전위의 계수에는 서로 연결된 용량을 음수로 붙이면 된다.

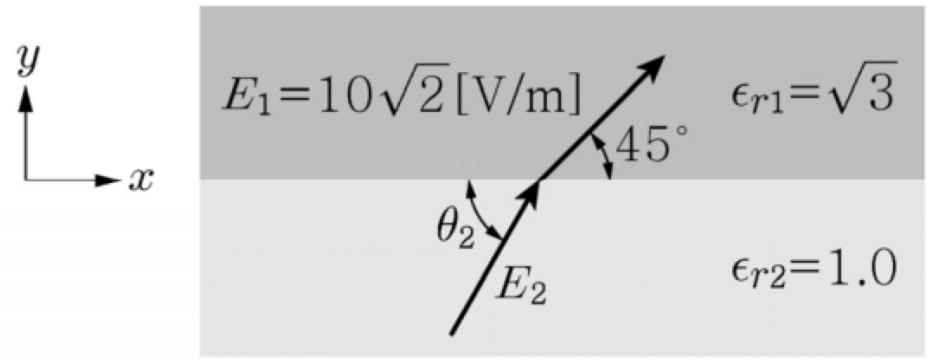
암기 포인트

한 도체의 전하식은 직접 연결 용량 합이 자기 계수, 상호 용량은 상대 도체 전위 앞에 음수 계수로 들어간다.

NoteBase

문 9. 완전 유전체 ($y > 0$)와 진공 ($y < 0$)의 경계에서 전계 $\vec{E_1}$의 크기와 각도가 <보기>와 같이 주어졌을 때, 전계 $\vec{E_2}$의 크기 E_2[V/m] 및 경계면과 이루는 각도 θ_2의 값은? (단, $\vec{E_1}$은 xy평면과 평행하고, ε_{r1}, ε_{r2}는 각각 유전체와 진공의 비유전율이다.)

<보기>



① E_2: $10\sqrt{6}$, θ_2: 45°

② E_2: 20, θ_2: 45°

③ E_2: $10\sqrt{6}$, θ_2: 60°

④ E_2: 20, θ_2: 60°

정답 4번

출제 포인트

경계면에서 전계의 접선 성분은 연속이고 전속밀도의 법선 성분은 연속이라는 조건을 이용해 E_2와 θ_2를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $E_1 = 10\sqrt{2}$V/m, $\varepsilon_{r1} = \sqrt{3}$, $\varepsilon_{r2} = 1$, $\theta_1 = 45°$
- 구해야 할 값: E_2의 크기와 경계면과 이루는 각 θ_2
- 주의할 조건: 각도는 경계면 기준이므로 접선 성분은 $E\cos\theta$, 법선 성분은 $E\sin\theta$로 나눈다.

사용할 공식

$E_{1t} = E_{2t}$

$\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$

$E_2 = \sqrt{E_{2t}^2 + E_{2n}^2}$, $\tan\theta_2 = \frac{E_{2n}}{E_{2t}}$

이 문제는 자유 표면전하가 없는 유전체-진공 경계 문제이므로 접선 방향은 전계가 그대로 이어지고, 법선 방향은 전속밀도 $D = \varepsilon E$가 이어진다.

NoteBase

계산 과정

1. E_1을 경계면 기준으로 분해하면

$E_{1t} = 10\sqrt{2}\cos 45^\circ = 10$

$E_{1n} = 10\sqrt{2}\sin 45^\circ = 10$

2. 접선 성분 연속에서

$E_{2t} = E_{1t} = 10$

3. 법선 성분은 $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$이므로

$(\sqrt{3}\varepsilon_0)\cdot 10 = (1\cdot\varepsilon_0)\cdot E_{2n}$

$E_{2n} = 10\sqrt{3}$

4. 따라서

$E_2 = \sqrt{10^2 + (10\sqrt{3})^2} = \sqrt{100+300} = 20$

$\tan\theta_2 = \frac{10\sqrt{3}}{10} = \sqrt{3} \Rightarrow \theta_2 = 60^\circ$

선지별 해설

① X: $E_2 = 10\sqrt{6}$은 크기 계산을 $\sqrt{10^2 + (10\sqrt{2})^2}$처럼 잘못 처리한 값이다. 법선 성분은 $10\sqrt{3}$이므로 크기는 20이어야 한다. 또한 θ_2는 $\tan\theta_2 = \sqrt{3}$이어서 60°이다. 틀린 표현은 "$E_2 = 10\sqrt{6},\ \theta_2 = 45^\circ$"이고, 올바르게는 "$E_2 = 20,\ \theta_2 = 60^\circ$"이다.

② X: $E_2 = 20$은 맞지만 $\theta_2 = 45^\circ$는 틀리다. 법선 성분이 접선 성분보다 $\sqrt{3}$배 크므로 경계면 기준 각은 45°가 아니라 60°가 된다. 틀린 표현은 "$\theta_2 = 45^\circ$"이고, 올바르게는 "$\theta_2 = 60^\circ$"이다.

③ X: $\theta_2 = 60^\circ$는 맞지만 $E_2 = 10\sqrt{6}$은 틀리다. $E_{2t} = 10$, $E_{2n} = 10\sqrt{3}$이므로 벡터 크기는 $\sqrt{100+300} = 20$이다. 틀린 표현은 "$E_2 = 10\sqrt{6}$"이고, 올바르게는 "$E_2 = 20$"이다.

④ O: 접선 성분은 10으로 유지되고 법선 성분은 유전율 비에 따라 $10\sqrt{3}$이 되므로 $E_2 = 20, \theta_2 = 60^\circ$가 된다.

오답 포인트

각도를 경계면에 대한 각도로 주었는데 이를 법선에 대한 각도로 착각하면 sin과 cos를 뒤집게 된다. 또 경계조건에서 법선 방향은 전계 E가 아니라 전속밀도 D가 연속이라는 점을 놓치면 $E_{2n} = E_{1n}$으로 잘못 두게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 경계 문제는 먼저 각도가 경계면 기준인지 법선 기준인지 확인하고, 그다음 E_t와 E_n으로 분해한다. 이후 접선은 E 연속, 법선은 εE 연속을 적용한 뒤 최종적으로 크기와 각을 다시 합성해 판단한다.

암기 포인트

경계면에서는 "접선은 E, 법선은 εE"가 이어진다고 정리하면 된다.

NoteBase

문 10. $V = x^2 + y^2$[V]인 전위분포를 가진 전위계에서 점 $P(1, 1, 0)$를 통과하는 전기력선의 방정식으로 가장 옳은 것은?

① $y = x$

② $y = x^2$

③ $xy = 1$

④ $x + y = 1$

정답 1번

출제 포인트

전위 V가 주어졌을 때 전기장을 $\mathbf{E} = -\nabla V$로 구하고, 전기력선은 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$를 만족한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 전위는 $V = x^2 + y^2$이다.
통과점은 $P(1, 1, 0)$이다.
전기력선은 각 점에서 전기장의 방향과 접선 방향이 일치한다.

사용할 공식

전기장은 $\mathbf{E} = -\nabla V$이다.
이 문제에서는
$\mathbf{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\mathbf{a}_x + \frac{\partial V}{\partial y}\mathbf{a}_y\right) = -(2x\mathbf{a}_x + 2y\mathbf{a}_y)$
이다.
따라서 $E_x = -2x$, $E_y = -2y$이고, 전기력선은 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$를 이용해 구한다.

계산 과정

1. $V = x^2 + y^2$를 미분하면 $\frac{\partial V}{\partial x} = 2x$, $\frac{\partial V}{\partial y} = 2y$이다.
2. 따라서 전기장은 $\mathbf{E} = -(2x\mathbf{a}_x + 2y\mathbf{a}_y)$이다.
3. 전기력선의 기울기는 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x} = \frac{-2y}{-2x} = \frac{y}{x}$이다.
4. 이를 풀면 $\frac{dy}{y} = \frac{dx}{x}$이므로 $\ln y = \ln x + C$, 따라서 $y = Cx$이다.
5. 점 $(1, 1)$을 대입하면 $1 = C \cdot 1$이므로 $C = 1$이고, 전기력선은 $y = x$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 O: 전기력선의 일반형이 $y = Cx$이고, $(1, 1)$을 지나면 $C = 1$이므로 $y = x$가 된다.
2번 X: $y = x^2$이면 기울기가 $\frac{dy}{dx} = 2x$인데, 전기력선은 $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{x}$를 만족해야 한다. 틀린 표현은 $y = x^2$이고, 올바르게는 $y = Cx$이며 이 점을 지나는 식은 $y = x$이다.
3번 X: $xy = 1$은 $y = \frac{1}{x}$와 같고 기울기가 $\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{x^2}$가 된다. 이는 전기력선 조건 $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{x} = \frac{1}{x^2}$와 부호가 맞지 않는다. 틀린 표현은 $xy = 1$이고, 올바르게는 $y = Cx$, 이 점에서는 $y = x$이다.
4번 X: $x + y = 1$은 점 $(1, 1)$을 대입하면 $2 = 1$이 되어 애초에 주어진 점을 지나지 못한다. 틀린 표현은 $x + y = 1$이고, 올바르게는 점 $(1, 1)$을 지나면서 전기장 방향을 따르는 $y = x$이다.

오답 포인트

전위식 $V = x^2 + y^2$의 모양만 보고 $y = x^2$ 같은 곡선을 고르거나, 점을 지난다는 조건만 대충 보고 $x + y = 1$을 놓치는 실수가 자주 나온다. 이 문제는 전위 자체가 아니라 전기장 방향을 따라가는 전기력선을 구하는 문제이므로, 반드시 $\mathbf{E} = -\nabla V$를 먼저 만든 뒤 기울기 방정식으로 넘어가야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위가 주어지면 먼저 $\mathbf{E} = -\nabla V$를 구하고, 다음에 $\frac{dy}{dx} = \frac{E_y}{E_x}$로 전기력선 방정식을 세운 뒤, 마지막에 통과점을 대입해 상수를 정하는 순서로 판단한다.

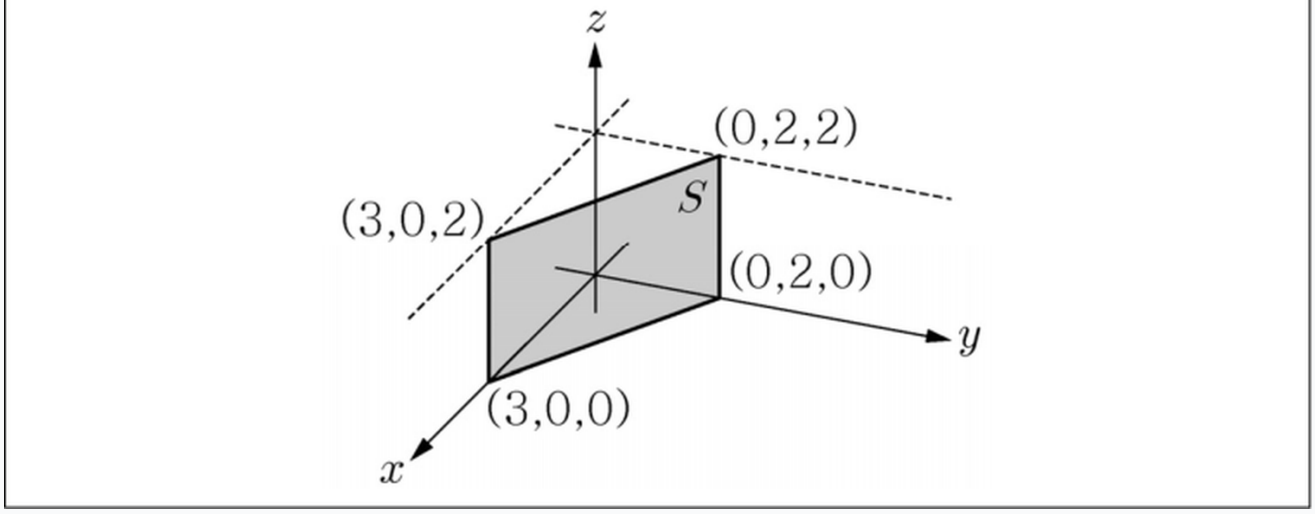
암기 포인트

등전위선은 V=상수이고, 전기력선은 $-\nabla V$ 방향이며 서로 직교한다.

NoteBase

문 11. 직교 좌표계 (x, y, z)에서 정의된 자기 벡터 포텐셜 $\vec{A} = (3x^2 + 2xy + 7y^2)\vec{a}_z$ [Wb/m]일 때, <보기>의 면 S[m^2]를 통과하는 자속의 크기[Wb]는? (단, 좌표계의 단위는 [m]이다.)

<보기>



① 1.0

② 2.0

③ 3.0

④ 4.0

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자기 벡터 포텐셜 $\vec{A}$가 주어졌을 때 스토크스 정리 $\Phi = \iint_S (\nabla \times \vec{A}) \cdot d\vec{S} = \oint_{\partial S} \vec{A} \cdot d\vec{l}$로 자속을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $\vec{A} = (3x^2 + 2xy + 7y^2)\vec{a}_z [Wb/m]$이다.
- 면 S의 경계는 (3, 0, 0), (0, 2, 0), (0, 2, 2), (3, 0, 2)를 잇는 폐곡선이다.
- 구해야 할 값: 면 S를 지나는 자속 Φ의 크기이다.
- 주의할 조건: $\vec{A}$가 $\vec{a}_z$ 방향만 가지므로 dz가 있는 수직 변만 선적분에 기여한다.

NoteBase

사용할 공식

$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint_{\partial S} \vec{A} \cdot d\vec{l}$

이 공식을 쓰는 이유는 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$이고, 문제에서 $\vec{A}$와 면의 경계점들이 직접 주어져 있어 면적분보다 경계선 적분이 더 바로 계산되기 때문이다.

계산 과정

1. 바닥선과 윗변은 각각 $z = 0, z = 2$에서 xy평면에 평행하므로 $d\vec{l}$에 dz 성분이 없다. 따라서 $\vec{A} \cdot d\vec{l} = 0$이다.
2. 수직 변 $(3, 0, 0) \rightarrow (3, 0, 2)$에서는 $A_z = 3 \cdot 3^2 + 2 \cdot 3 \cdot 0 + 7 \cdot 0^2 = 27$이므로 적분값은 $\int_0^2 27dz = 54$이다.
3. 다른 수직 변 $(0, 2, 2) \rightarrow (0, 2, 0)$에서는 폐곡선 방향이 반대가 되어 $A_z = 3 \cdot 0^2 + 2 \cdot 0 \cdot 2 + 7 \cdot 2^2 = 28$, 적분값은 $\int_2^0 28dz = -56$이다.
4. 따라서 $\oint_{\partial S} \vec{A} \cdot d\vec{l} = 54 - 56 = -2$이고, 자속의 크기는 $|-2| = 2[Wb]$이다.

선지별 해설

① X

- A_z 값의 차이는 $28 - 27 = 1[Wb/m]$이지만, 자속은 선적분값이므로 수직 변 길이 $2m$까지 반영해야 한다. 1.0이 아니라 2.0이다.

② O

- 두 수직 변의 기여를 폐곡선 방향까지 포함해 계산하면 $|54 - 56| = 2[Wb]$이다. 따라서 2.0이 맞다.

③ X

- 3.0은 경계선 적분에서 나올 수 없는 값이다. x방향 길이 3을 적분 길이처럼 잘못 넣은 계산에 해당한다. 자속은 3.0이 아니라 2.0이다.

④ X

- 4.0은 두 수직 변의 기여를 같은 부호로 더하는 식의 오류에 가깝다. 폐곡선 적분에서는 두 변의 진행 방향이 반대이므로 합이 아니라 차로 계산한다. 자속은 4.0이 아니라 2.0이다.

오답 포인트

이 문항은 $\vec{A}$가 주어졌을 때 바로 $\vec{B}$를 구해 면적분하려 하거나, 더 간단한 스토크스 정리를 떠올리지 못하면 시간이 길어지는 함정이 있다. 또 $28 - 27 = 1$만 보고 수직 길이 2를 빠뜨리거나, 두 수직 변의 방향이 반대라는 점을 놓치면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터 포텐셜과 면의 경계가 함께 주어지면 먼저 $\Phi = \oint \vec{A} \cdot d\vec{l}$를 검토한다. 그다음 $\vec{A}$의 방향과 같은 성분을 가진 변만 남기고, 폐곡선의 진행 방향까지 포함해 부호를 판단한다.

NoteBase

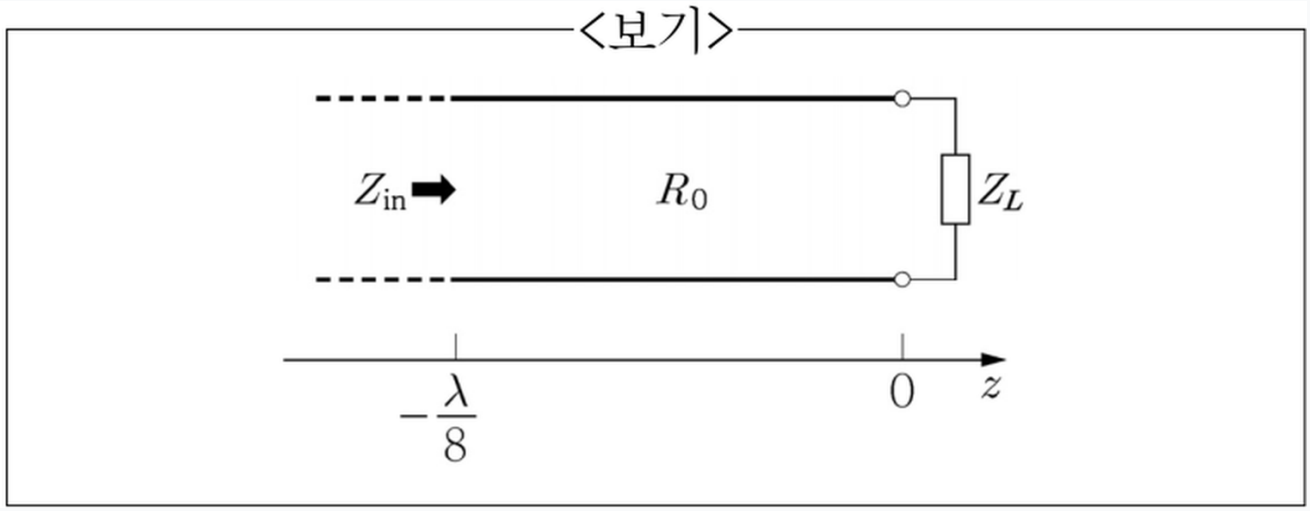
암기 포인트

자속은 $\Phi = \oint \vec{A} \cdot d\vec{l}$로 바로 구할 수 있고, $\vec{A} \parallel \vec{a}_z$이면 dz가 있는 변만 기여한다.

NoteBase

문 12. <보기>와 같이 손실이 없는 전송선로상의 종단 부하 Z_L로부터 $\lambda/8$만큼 떨어진 지점에서의 입력 임피던스 $Z_{in}[\Omega]$이 무한대(개방회로)일 때, 부하 임피던스 $Z_L[\Omega]$은? (단, $R_0[\Omega]$은 전송선로의 특성 임피던스, λ는 파장이다.)

<보기>



① 0 (단락회로)

② ∞ (개방회로)

③ $-jR_0$

④ jR_0

정답 4번

출제 포인트

무손실 전송선로의 입력 임피던스 변환식에서 $\ell = \lambda/8$이면 $\tan(\beta\ell) = 1$이 되므로, 입력 임피던스가 개방회로가 되게 하는 부하 임피던스를 분모 조건으로 찾는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 특성 임피던스는 R_0, 부하로부터 $\lambda/8$ 떨어진 지점의 입력 임피던스는 $Z_{in} = \infty$이다.
구해야 할 값: 부하 임피던스 Z_L이다.
주의할 조건: 무손실 선로이므로 표준 입력 임피던스 변환식을 그대로 적용할 수 있다.

사용할 공식

$$Z_{in} = R_0 \frac{Z_L + jR_0\tan(\beta\ell)}{R_0 + jZ_L\tan(\beta\ell)}$$

이 공식을 쓰는 이유는 무손실 전송선로에서 부하 Z_L가 거리 ℓ만큼 떨어진 지점에서 어떤 입력 임피던스로 보이는지를 직접 연결하는 식이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. $\beta = 2\pi/\lambda$, $\ell = \lambda/8$이므로 $\beta\ell = 2\pi/\lambda \cdot \lambda/8 = \pi/4$이고, 따라서 $\tan(\beta\ell) = 1$이다.
2. 식에 대입하면
$Z_{in} = R_0\frac{Z_L + jR_0}{R_0 + jZ_L}$
이다.
3. $Z_{in} = \infty$가 되려면 분모가 0이어야 하므로
$R_0 + jZ_L = 0$
이다.
4. 따라서
$jZ_L = -R_0, \quad Z_L = -\frac{R_0}{j} = jR_0$
이다.

선지별 해설

① X: $Z_L = 0$이면
$Z_{in} = R_0\frac{0 + jR_0}{R_0 + 0} = jR_0$
가 되어 유한한 순허수 임피던스가 된다. 틀린 표현은 개방 입력을 만들 수 있다는 전제이며, 올바르게는 $Z_L = 0$일 때 $Z_{in} = jR_0$이다.
② X: $Z_L = \infty$이면 분자와 분모의 지배항을 비교할 때
$Z_{in} \to R_0\frac{Z_L}{jZ_L} = -jR_0$
가 된다. 틀린 표현은 부하 개방이 그대로 입력 개방이 된다는 점이며, 올바르게는 $\lambda/8$ 떨어진 지점에서는 $Z_{in} = -jR_0$이다.
③ X: $Z_L = -jR_0$이면
$Z_{in} = R_0\frac{-jR_0 + jR_0}{R_0 + j(-jR_0)} = 0$
이므로 입력은 단락회로가 된다. 틀린 표현은 부호가 반대라는 점이며, 올바르게는 $Z_L = -jR_0$일 때 $Z_{in} = 0$이다.
④ O: $Z_L = jR_0$이면 분모가
$R_0 + j(jR_0) = R_0 - R_0 = 0$
이 되어 $Z_{in} = \infty$가 된다. 문제 조건을 만족하는 유일한 선지이다.

오답 포인트

부하에서 보이는 개방·단락 상태가 선로를 따라 그대로 유지된다고 생각하면 ①이나 ②로 오인하기 쉽다. 이 문제의 핵심은 $\lambda/8$ 이동 시 임피던스가 순저항이 아니라 순리액턴스로 변환된다는 점과, 입력이 개방회로가 되려면 변환식의 분모가 0이 되어야 한다는 점이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로 계산형은 먼저 거리 ℓ를 위상 $\beta\ell$로 바꾸고, 다음에 $\tan(\beta\ell)$ 값을 정리한 뒤, 개방·단락 조건이면 변환식의 분자 0인지 분모 0인지를 확인하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

$\lambda/8$에서는 $\tan(\pi/4)=1$이므로 정규화하면 $z_{in}=(z_L+j)/(1+jz_L)$가 되고, 입력 개방 조건은 $1+jz_L=0$, 즉 $z_L=j$이다.

NoteBase

문 13. $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 9$**이고, 손실이 없는 매질 내에 최대 전계의 크기** $E = 10[V/m]$**인 균일 평면파가 전파되고 있다. 자계 세기의 크기** $H[mA/m]$**의 최댓값에 가장 가까운 것은?**

① 377

② 106

③ 79.6

④ 53.1

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 손실이 없는 매질의 고유 임피던스와 E/H 관계를 이용해 자계의 최대값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 9$, $E_{\max} = 10[V/m]$
구해야 할 값: $H_{\max}[mA/m]$
주의할 조건: 손실이 없는 매질이므로 평면파의 고유 임피던스 $\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$를 사용한다.

사용할 공식

사용 공식은 $\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$, $H_{\max} = E_{\max}/\eta$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 손실이 없는 매질에서 균일 평면파의 전계와 자계 최대값이 고유 임피던스로 직접 연결되기 때문이다.

계산 과정

1. 고유 임피던스를 구하면 $\eta = 120\pi\sqrt{1/9} = 120\pi/3 = 40\pi[\Omega]$이다.
2. 따라서 $H_{\max} = \frac{10}{40\pi}[A/m]$이다.
3. 수치로 계산하면 $H_{\max} \approx 0.0796[A/m] = 79.6[mA/m]$이다.

선지별 해설

① X: 377mA/m는 자유공간 고유 임피던스 $120\pi \approx 377[\Omega]$를 값만 보고 혼동한 경우에 가깝다. 이 문제의 매질은 $\varepsilon_r = 9$이므로 자계 최대값은 377mA/m가 아니다. 자계 최대값을 79.6mA/m로 고치면 옳다.
② X: 106mA/m는 $\sqrt{\varepsilon_r} = 3$ 처리를 잘못하거나 나눗셈을 부정확하게 한 값에 가깝다. 계산 결과와 일치하지 않는다. 자계 최대값을 79.6mA/m로 고치면 옳다.
③ O: $H_{\max} = 10/(40\pi) \approx 0.0796[A/m]$이므로 79.6mA/m가 맞다.
④ X: 53.1mA/m는 임피던스를 한 번 더 크게 잡거나 환산 과정에서 오차를 낸 값에 가깝다. 계산 결과와 다르다. 자계 최대값을 79.6mA/m로 고치면 옳다.

NoteBase

오답 포인트

자유공간의 120π를 그대로 쓰거나, $\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$에서 루트를 빼먹으면 오답이 나온다. 또 A/m를 mA/m로 바꾸면서 1000배 환산을 놓치면 수치가 쉽게 흔들린다.

다시 나오면 이렇게 판단

손실이 없는 매질의 평면파 문제가 나오면 먼저 $\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$를 구한 뒤, 전계가 주어졌으면 $H = E/\eta$, 자계가 주어졌으면 $E = \eta H$ 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

손실 없는 평면파는 $E/H = \eta$, 그리고 $\eta = 120\pi\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$이다.

NoteBase

문 14. 전기 쌍극자에 의해 형성된 전계의 크기에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 쌍극자 선분벡터와 수직인 지점에서 최대이다.

② 쌍극자 중심으로부터의 거리의 세제곱에 반비례한다.

③ 쌍극자 모멘트의 크기에 비례한다.

④ 쌍극자 사이의 거리가 가까울수록 감소한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 전기 쌍극자의 축 방향 전계와 수직이등분면 전계의 크기 관계, 그리고 전계가 p에 비례하고 r^3에 반비례하는 성질을 묻는다.

핵심 개념

전기 쌍극자는 크기가 같은 $+q$, $-q$가 짧은 거리 d만큼 떨어진 계이며, 쌍극자 모멘트는 $p = qd$이다.
먼거리에서 전계 크기는 축 방향이 E_축=(1)/(4π)(2p)/(r^3), 수직이등분면 방향이
E_수직=(1)/(4π)(p)/(r^3)이므로 같은 거리에서는 축 방향 전계가 더 크다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "수직인 지점에서 최대"라는 표현이다. 같은 거리에서 전기 쌍극자의 전계는
수직이등분면보다 축선 방향에서 더 크므로, 올바르게는 "축선 방향에서 더 크고 최대이다"이다.
2번: O. 쌍극자 전계의 먼거리 크기는 $E \propto p/r^3$이므로 중심으로부터 거리의 세제곱에 반비례한다.
3번: O. 전계 크기는 쌍극자 모멘트 p에 비례하므로 모멘트가 커질수록 전계도 커진다.
4번: O. 전하량이 같다면 쌍극자 사이 거리 d가 줄어들수록 $p = qd$가 작아지므로 전계도 감소한다.

오답 포인트

발문이 "옳지 않은 것"인데도 2번의 r^{-3} 관계와 3번의 모멘트 비례만 확인하고 1번의 방향 비교를 놓치기 쉽다.
이 문제의 함정은 축 방향과 수직이등분면 방향의 전계 크기를 서로 바꿔 제시한 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

쌍극자 전계 문제는 먼저 방향을 축 방향과 수직이등분면으로 나눈다. 그다음 E_축:E_수직=2:1과 $E \propto p/r^3$를 적용해 방향, 거리, 모멘트에 관한 선지인지 차례로 확인한다.

암기 포인트

쌍극자 전계는 축 방향이 더 크고, 전계 크기는 p에 비례하며 r^3에 반비례한다.

NoteBase

문 15. 파장이 4[m]인 전자파가 무한평면도체에 수직으로 입사되고 있다. 이때 전계의 크기가 항상 0이 되는 지점과 최대가 되는 지점의 도체로부터의 거리[m]를 순서대로 바르게 나열한 것은?

① 1, 1.5

② 1, 2

③ 2, 3

④ 2, 4

정답 3번

출제 포인트

무한평면도체에 전자파가 수직 입사할 때 생기는 정재파에서 전계의 마디와 배 위치를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 파장 $\lambda = 4m$이다.
구해야 할 값: 도체로부터 전계가 항상 0인 지점과 최대인 지점의 거리이다.
주의할 조건: 완전도체면에서는 반사파가 생겨 정재파가 형성되고, 도체 표면에서는 접선 전계가 0이 된다.

사용할 공식

입사파와 반사파를 합치면 전계는
$E = E_i + E_r = 2E_0\sin(\beta z)\sin(\omega t)$
가 된다.
따라서 전계가 항상 0인 지점은 $\sin(\beta z) = 0$이므로 $z = n\lambda/2$이고, 전계가 최대인 지점은 $|\sin(\beta z)| = 1$이므로 $z = (2n + 1)\lambda/4$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 무한평면도체에 수직 입사한 전자파는 완전반사되어 전계가 정재파 분포를 이루기 때문이다.

계산 과정

1. 전계 영점 위치는 $z = n\lambda/2$이다.
2. $\lambda = 4m$를 대입하면 영점은 $z = 0, 2, 4, \ldots m$이다.
3. 전계 최대 위치는 $z = (2n + 1)\lambda/4$이다.
4. $\lambda = 4m$를 대입하면 최대점은 $z = 1, 3, 5, \ldots m$이다.
5. 보기에서 제시된 조합 중 영점과 최대점을 순서대로 만족하는 것은 $2m$, $3m$이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2019 · 10월

선지별 해설

① X
- 1m는 전계 최대점이지 영점이 아니다. 틀린 표현은 '항상 0이 되는 지점이 1m'라는 부분이다.
- 올바르게는 항상 0이 되는 지점은 $z = n\lambda/2$이므로 2m, 4m와 같은 위치이다.

② X
- 1m는 최대점이지만 첫 번째 값이 영점이 아니므로 조합 전체가 틀리다. 틀린 표현은 '0 지점이 1m'라는 부분이다.
- 올바르게는 영점은 2m이고, 최대점은 1m 또는 3m이다.

③ O
- 2m는 $\lambda/2$이므로 전계가 항상 0인 마디이고, 3m는 $3\lambda/4$이므로 전계가 최대인 배이다.
- 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.

④ X
- 2m는 영점이 맞지만 4m도 λ이므로 다시 영점이다. 틀린 표현은 '최대가 되는 지점이 4m'라는 부분이다.
- 올바르게는 4m는 최대가 아니라 영점이며, 최대점은 3m 또는 5m이다.

오답 포인트

도체 표면 $z = 0$에서도 전계는 0이 되므로 영점 간격과 최대점 간격을 함께 떠올려야 한다. 수험생은 $\lambda/4$ 간격만 기억하고 1m를 영점으로 착각하거나, 4m를 한 주기 뒤 최대점으로 오해하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

도체 정재파 문제는 먼저 전계 영점이 $n\lambda/2$, 최대점이 $(2n + 1)\lambda/4$라는 두 줄만 세운 뒤 보기에 대입하면 된다. 영점은 반파장 간격, 최대점은 그 사이의 사분의 일 파장 위치라는 순서로 판단한다.

암기 포인트

완전도체 앞 전계 정재파는 마디 $n\lambda/2$, 배 $(2n + 1)\lambda/4$이다.

NoteBase

문 16. 자유공간에서 전계 $\vec{E}=\frac{1}{\rho}\vec{a}_\rho+2z\vec{a}_z[V/m]$일 때, 원통좌표계 $P(1,3,2)$에서의 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$로 가장 옳은 것은?

① $\frac{1}{\sqrt{10}}\varepsilon_0$

② $\sqrt{10}\varepsilon_0$

③ $2\varepsilon_0$

④ $4\varepsilon_0$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자유공간에서 $\rho_v=\nabla\cdot\vec{D}=\varepsilon_0\nabla\cdot\vec{E}$를 이용해 체적전하밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E}=\frac{1}{\rho}\vec{a}_\rho+2z\vec{a}_z$이다.
구해야 할 값은 점 $P(1,3,2)$에서의 체적전하밀도 ρ_v이다.
자유공간이므로 $\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}$이고, 원통좌표계에서는 발산 공식을 그대로 써야 한다.

사용할 공식

원통좌표계에서
$\nabla\cdot\vec{E}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\rho E_\rho)}{\partial\rho}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial E_\phi}{\partial\phi}+\frac{\partial E_z}{\partial z}$
또한 자유공간에서는
$\rho_v=\nabla\cdot\vec{D}=\varepsilon_0\nabla\cdot\vec{E}$
이 공식을 쓰는 이유는 체적전하밀도가 전계의 크기 자체가 아니라 전계의 발산으로 결정되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 성분을 읽으면 $E_\rho = \frac{1}{\rho}, E_\phi = 0, E_z = 2z$이다.
2. 첫째 항은 $\rho E_\rho = \rho \cdot \frac{1}{\rho} = 1$이므로
$\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\rho E_\rho)}{\partial \rho} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial 1}{\partial \rho} = 0$
이다.
3. 둘째 항은 $E_\phi = 0$이므로 0이다.
4. 셋째 항은
$\frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\partial(2z)}{\partial z} = 2$
이다.
5. 따라서
$\nabla \cdot \vec{E} = 0 + 0 + 2 = 2$
이므로
$\rho_v = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E} = 2\varepsilon_0$
이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $2\varepsilon_0$이므로 $\frac{1}{\sqrt{10}}\varepsilon_0$는 틀리다. 틀린 표현은 점의 위치에서 얻은 반지름값이나 전계 성분을 곧바로 전하밀도로 보는 해석이다. 올바르게는 발산을 구한 뒤 $\rho_v = 2\varepsilon_0$로 판단한다.
② X: 계산 결과는 $2\varepsilon_0$이므로 $\sqrt{10}\varepsilon_0$는 틀리다. 틀린 표현은 전계의 크기 비슷한 값을 전하밀도로 바꾸는 해석이다. 올바르게는 전계의 크기가 아니라 $\nabla \cdot \vec{E}$를 계산해야 하며 결과는 2이다.
③ O: 원통좌표계 발산식을 적용하면 $\nabla \cdot \vec{E} = 2$이므로 $\rho_v = 2\varepsilon_0$가 된다. 따라서 3번이 옳다.
④ X: $4\varepsilon_0$는 $E_z = 2z$에 점의 $z = 2$를 대입해 4를 얻은 뒤 그것을 그대로 발산처럼 취급한 경우의 오답이다. 올바르게는 $2z$의 값이 아니라 $\frac{\partial(2z)}{\partial z} = 2$를 써야 하므로 $\rho_v = 2\varepsilon_0$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 전계 성분값과 발산값을 혼동하는 점이다. 특히 $2z$는 점에서 4가 되지만, 체적전하밀도에는 $2z$ 자체가 아니라 그 미분값 2가 들어간다. 또 좌표 $P(1, 3, 2)$를 보고 거리나 전계 크기를 먼저 계산하면 발산 문제를 크기 문제로 잘못 바꾸게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

체적전하밀도를 묻는 문제는 먼저 좌표계를 확인하고, 그 좌표계에 맞는 발산 공식을 쓴다. 그다음 각 성분을 미분해 $\nabla \cdot \vec{E}$를 구하고 마지막에 ε_0를 곱하면 된다.

암기 포인트

자유공간 체적전하밀도는 $\rho_v = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$이다. 원통좌표에서는 ρE_ρ를 먼저 만든 뒤 $\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \rho}$를 적용한다.

NoteBase

문 17. 선형, 균질, 등방성 특성을 갖는 단순 유전체 매질(simple dielectric medium)에서 전계[V/m]와 전속밀도[C/m^2]의 특성으로 가장 옳지 않은 것은?

① 전계의 방향과 전속밀도의 방향이 같다.

② 교류 전계와 교류 전속밀도의 위상이 같다.

③ 전속밀도의 크기는 전계의 크기에 비례한다.

④ 전속밀도의 발산은 전계의 발산에 비례한다.

정답 2번

출제 포인트

선형·균질·등방성 유전체에서 전계 E와 전속밀도 D의 기본 관계 $D = \varepsilon E$가 직접 보장하는 성질과, 추가 조건이 있어야 하는 성질을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

전계는 단위 전하가 받는 힘의 세기를 나타내는 장이고, 전속밀도는 유전체 내부의 전기적 변위를 나타내는 장이다.
단순 유전체에서는 $D = \varepsilon E$가 성립하므로 ε가 상수이면 방향이 같고 크기가 비례하며 발산도 $\nabla \cdot D = \varepsilon \nabla \cdot E$로 연결된다.
반면 교류에서의 위상 관계는 손실이 없는 이상 유전체라는 추가 조건이 붙어야 단정할 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① O
전계와 전속밀도는 $D = \varepsilon E$로 묶이므로 $\varepsilon > 0$인 단순 유전체에서는 두 벡터의 방향이 같다.

② X
'교류 전계와 교류 전속밀도의 위상이 같다'는 단정이 틀린 부분이다.
단순 유전체의 기본 성질로 바로 확정되는 것은 $D = \varepsilon E$라는 비례 관계이고, 교류 위상 동일은 무손실이라는 추가 조건까지 있어야 성립한다고 보는 것이 타당하다.
틀린 표현 → 위상이 항상 같다.
올바르게는 → 단순 유전체의 핵심 성질은 $D = \varepsilon E$이며, 위상 동일은 무손실 조건에서만 성립한다.

③ O
전속밀도의 크기는 $|D| = \varepsilon |E|$이므로 전계의 크기에 비례한다. 선형 유전체라는 조건이 바로 이 비례성을 뜻한다.

④ O
균질 유전체에서 ε가 공간적으로 일정하면 $\nabla \cdot D = \varepsilon \nabla \cdot E$가 되어 전속밀도의 발산은 전계의 발산에 비례한다.

오답 포인트

②는 $D = \varepsilon E$를 보고 곧바로 위상도 항상 같다고 확장하면 틀리기 쉽다. 이 문항은 방향·크기·발산처럼 식에서 바로 나오는 성질과, 교류 위상처럼 추가 가정이 필요한 성질을 섞어 놓은 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

단순 유전체 문제에서는 먼저 $D = \varepsilon E$를 적고, 그 식에서 즉시 따라오는 방향 동일·크기 비례·발산 비례만 기본 성질로 잡으면 된다. 위상, 손실, 지연 같은 표현이 나오면 무손실 조건이나 복소 유전율 가정이 추가되었는지를 따로 확인한다.

암기 포인트

단순 유전체는 $D = \varepsilon E$가 기본이고, 방향·크기·발산은 바로 따라오지만 위상은 조건을 더 본다.

NoteBase

문 18. $10[MHz]$ **평면 전자기파가 도전율** $4\times10^{6}[℧/m]$**, 투자율** $4\pi\times10^{-7}[H/m]$**인 물체를 통과할 때, 표피 효과에 의한 표면 저항** $[m\Omega]$**으로 가장 옳은 것은?**

① $\frac{\pi}{10}$
② $\frac{\pi}{4}$
③ $\frac{\pi}{2}$
④ π

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 좋은 도체의 표피 효과에서 표면 저항 R_s를 $R_s=\frac{1}{\sigma\delta}=\sqrt{\frac{\pi f\mu}{\sigma}}$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 주파수 $f=10\text{MHz}=10^{7}\text{Hz}$
- 도전율 $\sigma=4\times10^{6}\text{S/m}$
- 투자율 $\mu=4\pi\times10^{-7}\text{H/m}$

구해야 할 값:
- 표피 효과에 의한 표면 저항

주의할 조건:
- MHz를 Hz로 바꾼 뒤 계산해야 한다.
- 마지막 단위는 Ω에서 mΩ로 바꿔야 한다.

사용할 공식

$R_s=\frac{1}{\sigma\delta}=\sqrt{\frac{\pi f\mu}{\sigma}}$
이 공식을 쓰는 이유:
좋은 도체에서 표피 깊이는 $\delta=\frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$이고, 표면 저항은 단위 면적당 전류가 흐를 때의 등가 저항이라서 $R_s=\frac{1}{\sigma\delta}$로 정리된다.

NoteBase

계산 과정

1. 주어진 값을 공식에 대입한다.
$R_s = \sqrt{\frac{\pi \cdot 10^7 \cdot 4\pi \times 10^{-7}}{4 \times 10^6}}$
2. 지수와 계수를 정리한다.
$R_s = \sqrt{\frac{4\pi^2}{4 \times 10^6}} = \sqrt{\frac{\pi^2}{10^6}}$
3. 제곱근을 취하면
$R_s = \frac{\pi}{10^3}\Omega = \pi \times 10^{-3}\Omega = \pi\text{m}\Omega$
따라서 계산 결과는 πmΩ이다.

선지별 해설

1번(X): 틀린 표현은 "π/10mΩ"라는 수치이다. 계산 결과는 πmΩ이므로 1번은 10배 작은 오답이다.
올바르게는 표면 저항이 πmΩ이다.
2번(X): 틀린 표현은 "π/4mΩ"라는 수치이다. 공식에 값을 넣으면 π/4mΩ가 아니라 πmΩ가 나온다.
올바르게는 표면 저항이 πmΩ이다.
3번(X): 틀린 표현은 "π/2mΩ"라는 수치이다. $10\text{MHz} = 10^7\text{Hz}$를 포함해 계산하면 결과는 π/2mΩ가 아니라 πmΩ이다. 올바르게는 표면 저항이 πmΩ이다.
4번(O): $R_s = \sqrt{\pi f \mu/\sigma}$에 주어진 값을 대입하면 πmΩ가 되므로 옳다.

오답 포인트

이 문항은 표피 깊이 δ와 표면 저항 R_s 공식을 섞어 쓰거나, $10\text{MHz} = 10^7\text{Hz}$ 변환을 빠뜨리면 오답이 나온다. 또 $\sqrt{\pi^2/10^6} = \pi/10^3$에서 제곱근 처리를 잘못하면 보기에 있는 작은 값들로 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

좋은 도체의 표면 저항 문제는 먼저 $R_s = \sqrt{\pi f \mu/\sigma}$를 적고, 주파수 단위를 Hz로 통일한 뒤, 제곱근 계산까지 끝낸 다음 마지막에 Ω를 mΩ로 바꿔 판단한다.

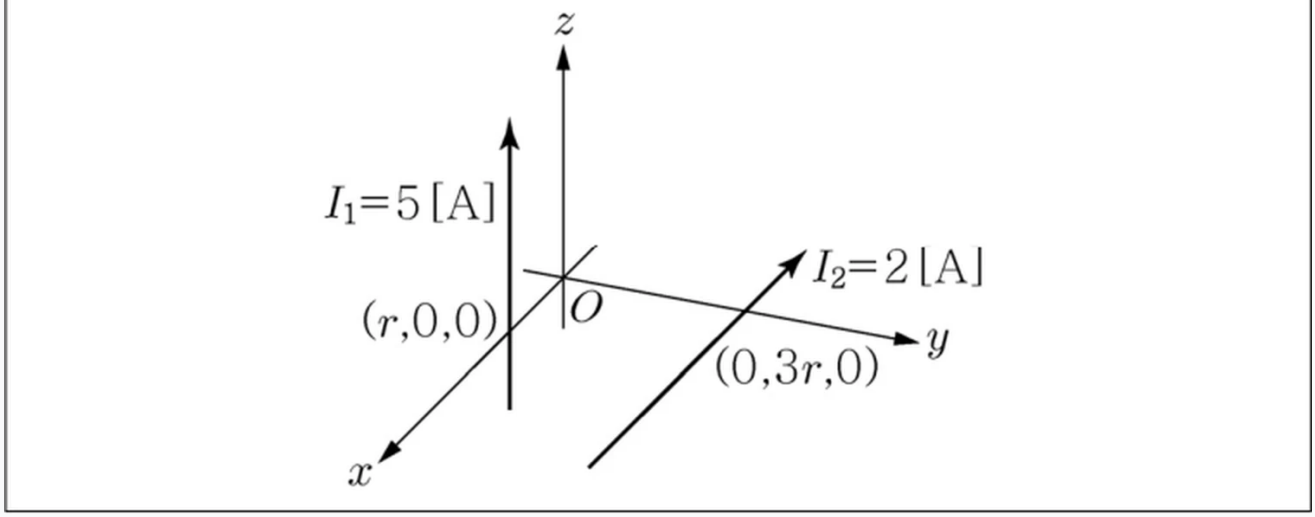
암기 포인트

좋은 도체의 표면 저항은 $R_s = \sqrt{\pi f \mu/\sigma}$이며, 주파수와 투자율이 클수록 커지고 도전율이 클수록 작아진다.

NoteBase

문 19. <보기>에서 투자율 μ_0인 매질의 3차원 공간에서, 각각 x축과 z축에 평행한 무한히 긴 2개의 도선에 정전류가 흐르고 있다. 원점 O에서의 자계세기의 크기[A/m]로 가장 옳은 것은? (단, 좌표계의 단위는 [m]이다.)

<보기>



① $\frac{\sqrt{289}}{6\pi r}$
② $\frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$
③ $\frac{\mu_0\sqrt{289}}{6\pi r}$
④ $\frac{\mu_0\sqrt{229}}{6\pi r}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선도선의 자기장 세기 $H = \frac{I}{2\pi\rho}$를 적용하고, 원점에서 서로 직교하는 두 자기장을 벡터합으로 합성해 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

도선 1은 점 $(r, 0, 0)$을 지나며 z축 방향으로 전류 $I_1 = 5A$가 흐른다.
도선 2는 점 $(0, 3r, 0)$을 지나며 x축에 평행하고 전류 $I_2 = 2A$가 흐른다.
구해야 할 값은 원점 O에서의 자기장 세기 H의 크기이다.
문제에서 묻는 값은 자기속밀도 B가 아니라 자기장 세기 H이므로 μ_0를 곱하지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

무한 직선도선에서 거리 ρ만큼 떨어진 점의 자기장 세기는 $H = \frac{I}{2\pi\rho}$이다.
자기속밀도는 $B = \mu H$이지만, 이 문제는 단위를 A/m로 주고 있어 H를 직접 구하면 된다.
두 도선이 만드는 자기장 방향은 오른손법칙으로 정하고, 서로 직교하면 $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$로 합성한다.

계산 과정

1. 도선 1까지의 최단거리는 r이므로 $H_1 = \frac{5}{2\pi r}$이다. 방향은 오른손법칙에 따라 원점에서 $-y$방향이다.
2. 도선 2까지의 최단거리는 $3r$이므로 $H_2 = \frac{2}{2\pi \cdot 3r} = \frac{1}{3\pi r}$이다. 방향은 원점에서 z축 방향이다.
3. 두 자기장은 y축과 z축 방향으로 서로 직교하므로
$H = \sqrt{\left(\frac{5}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{1}{3\pi r}\right)^2} = \sqrt{\frac{25}{4\pi^2 r^2} + \frac{1}{9\pi^2 r^2}} = \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$
이다.

선지별 해설

① X: $\frac{\sqrt{289}}{6\pi r} = \frac{17}{6\pi r}$는 두 자기장의 크기를 같은 방향처럼 단순합 $\frac{5}{2\pi r} + \frac{1}{3\pi r}$으로 더한 값이다. 틀린 표현은 두 자기장을 스칼라합으로 본 점이다. 올바르게는 서로 직교하므로 $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$이다.
② O: 도선 1과 도선 2의 자기장 세기를 각각 $\frac{5}{2\pi r}$, $\frac{1}{3\pi r}$로 구한 뒤 직교 벡터합을 취하면 $H = \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$가 된다.
③ X: $\mu_0 \frac{\sqrt{289}}{6\pi r}$는 ①의 스칼라합 오류에 더해 H 대신 $B = \mu_0 H$를 적은 값이다. 틀린 표현은 μ_0를 곱한 점과 합성 방식을 잘못 잡은 점이다. 올바르게는 자기장 세기 $H = \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$이다.
④ X: $\mu_0 \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$는 크기 합성은 맞지만 문제에서 요구한 물리량이 아니다. 틀린 표현은 자기장 세기 H에 μ_0를 곱해 자기속밀도 B로 바꾼 점이다. 올바르게는 $H = \frac{\sqrt{229}}{6\pi r}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 두 자기장이 서로 수직인데도 같은 방향처럼 단순히 더하는 실수이다. 또 문제에서 단위를 A/m로 주었는데도 μ_0를 곱해 B를 구하는 실수가 함께 나오기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

직선도선 자기장 문제는 먼저 각 도선까지의 최단거리부터 잡고, 다음으로 오른손법칙으로 방향을 정한 뒤, 마지막에 평행이면 대수합을 하고 수직이면 제곱합의 제곱근으로 합성하면 된다.

암기 포인트

직선도선은 $H = \frac{I}{2\pi\rho}$, 문제 단위가 A/m이면 H, T이면 $B = \mu H$를 떠올리면 된다.

NoteBase

문 20. 직교 좌표계 (x, y, z)에서 페이저로 표현된 전기 스칼라 포텐셜 $V = \frac{k}{\mu\varepsilon\omega} e^{-jkz}\cos(\beta x)$ [V], 자기 벡터 포텐셜 $\vec{A} = e^{-jkz}\cos(\beta x)\vec{a}_z$ [Wb/m]일 때, 점 $(0, 0, 0)$에서 전계 $\vec{E}$ [V/m]는? (단, k, μ, ε, ω, β는 상수이다.)

① $\frac{k\beta}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_x + j\frac{k^2 - \varepsilon\mu\omega^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$
② $\frac{k\beta}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_x$
③ $j\frac{k^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$
④ $j\frac{k^2 - \varepsilon\mu\omega^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 페이저 전위 V, $\vec{A}$로부터 $\vec{E} = -\nabla V - j\omega\vec{A}$를 적용해 원점의 전계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $V = \frac{k}{\mu\varepsilon\omega} e^{-jkz}\cos(\beta x)$, $\vec{A} = e^{-jkz}\cos(\beta x)\vec{a}_z$
구해야 할 값: 점 $(0, 0, 0)$에서의 $\vec{E}$
주의할 조건: 원점에서는 $\cos 0 = 1$, $\sin 0 = 0$이므로 x방향 미분값이 0이 된다.

사용할 공식

$\vec{E} = -\nabla V - j\omega\vec{A}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 전기 스칼라 포텐셜과 자기 벡터 포텐셜이 함께 주어졌으므로, 전계는 스칼라 포텐셜의 기울기 항과 벡터 포텐셜의 시간미분 항을 함께 반영해야 한다.

계산 과정

1. 스칼라 포텐셜의 기울기를 구하면
$\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x}\vec{a}_x + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{a}_z$
$\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{k}{\mu\varepsilon\omega} e^{-jkz}(-\beta\sin(\beta x))$
$\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{k}{\mu\varepsilon\omega}(-jk)e^{-jkz}\cos(\beta x)$
2. 원점에서는 $\sin 0 = 0$, $\cos 0 = 1$이므로
$-\nabla V|_{(0, 0, 0)} = 0 \cdot \vec{a}_x + j\frac{k^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$
3. 벡터 포텐셜 항은
$-j\omega\vec{A}|_{(0, 0, 0)} = -j\omega\vec{a}_z$
4. 두 항을 더하면
$\vec{E}(0, 0, 0) = j\frac{k^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z - j\omega\vec{a}_z = j\frac{k^2 - \mu\varepsilon\omega^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$

NoteBase

선지별 해설

① X: x성분 $\frac{k\beta}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_x$가 포함되어 있으나, 원점에서는 $-\frac{\partial V}{\partial x}=\frac{k\beta}{\mu\varepsilon\omega}e^{-jkz}\sin(\beta x)\vec{a}_x=0$이다. 틀린 표현은 x성분이 남는다는 부분이며, 올바르게는 원점에서 x성분은 0이다.
② X: ①과 같은 이유로 x성분만 남는다는 판단이 틀리다. 틀린 표현은 $\vec{E}$가 $\vec{a}_x$ 방향이라는 부분이며, 올바르게는 원점에서 x성분은 사라지고 z성분만 남는다.
③ X: $j\frac{k^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$는 $-\nabla V$ 항만 반영한 값이다. 틀린 표현은 벡터 포텐셜 항이 빠진 부분이며, 올바르게는 여기에 $-j\omega\vec{A}$를 더해 $j\frac{k^2-\mu\varepsilon\omega^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$가 된다.
④ O: $-\nabla V$의 z성분과 $-j\omega\vec{A}$를 함께 더하면 $\vec{E}(0,0,0)=j\frac{k^2-\mu\varepsilon\omega^2}{\mu\varepsilon\omega}\vec{a}_z$가 되어 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $\cos(\beta x)$를 x로 미분한 뒤 원점 대입을 하지 않아 x성분을 남기는 경우와, $-j\omega\vec{A}$ 항을 누락하는 경우이다. 이 문제는 두 포텐셜을 모두 써야 한다는 점을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

포텐셜이 둘 다 주어지면 먼저 $\vec{E}=-\nabla V-j\omega\vec{A}$를 세우고, 그다음 좌표별 미분 후 평가점의 sin, cos 값을 대입해 어느 성분이 0이 되는지 확인하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

전계는 V만으로 끝나지 않고 $\vec{A}$가 주어지면 항상 $-j\omega\vec{A}$ 항까지 함께 본다.

NoteBase