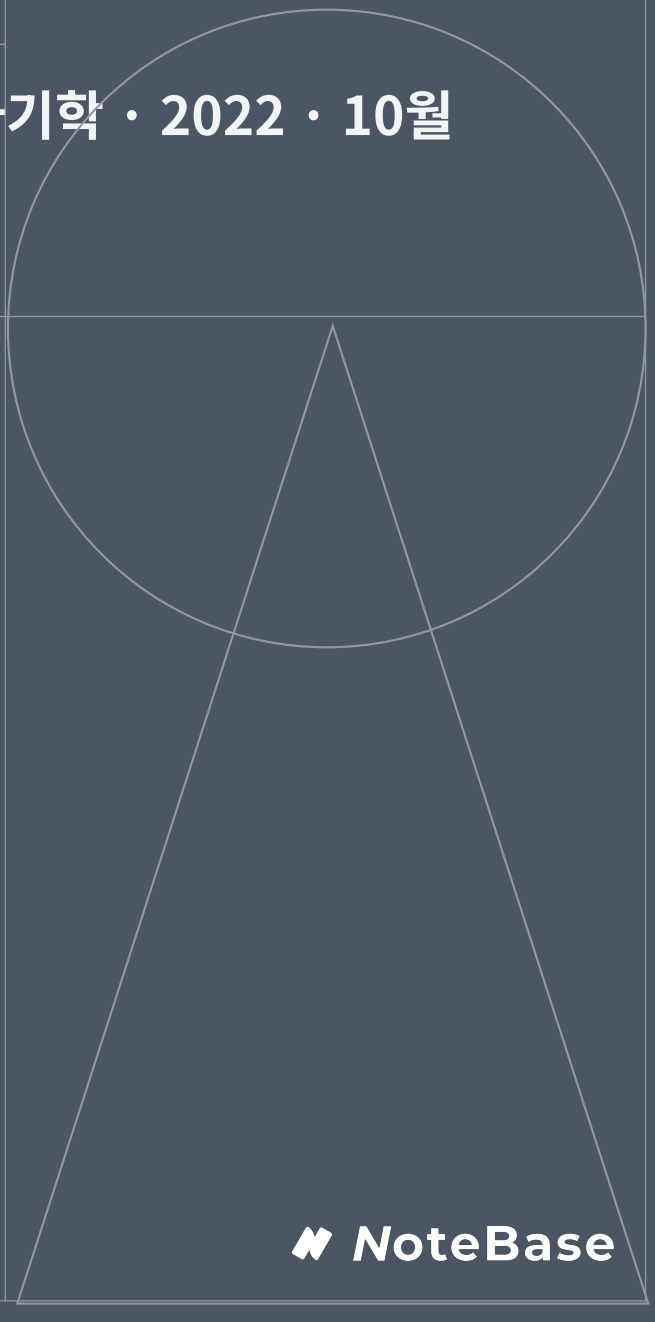
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2022 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2022 · 10월

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2022 · 10월

문 1. 전계가 $\vec{E} = x\hat{i} + 2z\hat{j} + 2y\hat{k}[V/m]$인 자유공간에서 점 $P(1, 1, 1)$에서의 전위가 $\frac{5}{2}[V]$이다. 이때 점 $Q(2, 2, 2)$에서의 전위의 값 V는? (단, $\hat{i}$, $\hat{j}$, $\hat{k}$는 각각 직각좌표계에서의 x, y, z축의 단위 방향 벡터이다.)

① -20

② -15

③ -10

④ -5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전계와 전위의 관계 $\vec{E} = -\nabla V$를 이용해 한 점의 전위로부터 다른 점의 전위를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 전계 $\vec{E} = x\hat{i} + 2z\hat{j} + 2y\hat{k}[V/m]$
- 점 $P(1, 1, 1)$에서의 전위 $V_P = \frac{5}{2}[V]$
- 구할 점 $Q(2, 2, 2)$

구해야 할 값:
- 점 Q에서의 전위 V_Q

주의할 조건:
- 전계는 전위의 음의 기울기이므로 $\vec{E} = -\nabla V$의 부호를 먼저 맞춰야 한다.

사용할 공식

$\vec{E} = -\nabla V$
$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$
이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 전계가 좌표의 함수로 직접 주어졌고, 한 점의 전위값도 함께 주어졌으므로 전계를 적분해 전위함수 V를 만든 뒤 적분상수를 정하면 다른 점의 전위를 바로 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 성분별로 전위와의 관계를 쓴다.
$x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad 2z = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad 2y = -\frac{\partial V}{\partial z}$
2. 이를 적분하면 전위함수는
$V = -\frac{x^2}{2} - 2yz + C$
가 된다.
3. 점 $P(1, 1, 1)$의 전위를 대입해 적분상수 C를 구한다.
$\frac{5}{2} = -\frac{1^2}{2} - 2 \cdot 1 \cdot 1 + C = -\frac{1}{2} - 2 + C$
$C = 5$
4. 점 $Q(2, 2, 2)$의 전위를 계산한다.
$V_Q = -\frac{2^2}{2} - 2 \cdot 2 \cdot 2 + 5 = -2 - 8 + 5 = -5[V]$

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $-5[V]$이므로 $-20[V]$는 틀리다.
- 틀린 표현은 `-20`이다. 올바르게는 점 Q에서의 전위가 `-5`이다.
- -20은 전위함수의 계수나 적분상수를 잘못 처리했을 때 나오는 값이다.

② X
- 계산 결과는 $-5[V]$이므로 $-15[V]$는 틀리다.
- 틀린 표현은 `-15`이다. 올바르게는 점 Q에서의 전위가 `-5`이다.
- -15는 $C = 5$를 반영하지 않거나 중간 합산에서 부호를 잘못 처리했을 때 생기는 오답이다.

③ X
- 계산 결과는 $-5[V]$이므로 $-10[V]$는 틀리다.
- 틀린 표현은 `-10`이다. 올바르게는 점 Q에서의 전위가 `-5`이다.
- -10은 적분상수 C를 빠뜨린 채 $-\frac{x^2}{2} - 2yz$만 계산했을 때 나오는 값이다.

④ O
- $V = -\frac{x^2}{2} - 2yz + 5$에 $(2, 2, 2)$를 대입하면 $-5[V]$가 된다.
- 계산 결과와 일치하므로 ④가 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $\vec{E} = -\nabla V$의 음의 부호를 놓치거나, 적분상수 C를 점 P의 조건으로 정하지 않고 넘어가는 것이다. 특히 ③의 `-10`은 적분상수를 생략했을 때 바로 나오는 대표 오답이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전계에서 전위를 구하는 문제는 먼저 $\vec{E} = -\nabla V$를 써서 전위함수를 만든 뒤, 주어진 기준점의 전위로 적분상수를 정하고, 마지막에 목표점 좌표를 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

전계가 주어지고 전위를 묻으면 `$\vec{E} = -\nabla V$ → 적분 → 기준점으로 $C$ 결정`의 흐름으로 정리된다.

NoteBase

문 2. 한 도체에 단위전위(1 V)를 주고 다른 도체를 영전위로 하였을 때, 두 도체 사이에 축적되는 전하량을 이용하여 정의하는 것은?

① 커패시턴스(Capacitance)

② 레지스턴스(Resistance)

③ 인덕턴스(Inductance)

④ 컨덕턴스(Conductance)

정답 1번

출제 포인트

두 도체 사이의 전위차와 축적 전하의 관계로 정의되는 커패시턴스의 뜻을 묻는 문제이다.

핵심 개념

커패시턴스는 두 도체 사이에 전위차를 주었을 때 저장되는 전하량과 전위차의 비인 $C = Q/V$로 정의되는 값이다.
레지스턴스는 전압과 전류의 비로 나타나는 전류 방해 정도인 $R = V/I$이다.
인덕턴스는 전류가 변할 때 유기기전력이 생기는 성질로 $e = L di/dt$와 관련된다.
컨덕턴스는 저항의 역수로 전류가 얼마나 잘 흐르는지를 나타내는 $G = 1/R$이다.

선지별 해설

① O: 한 도체를 1 V, 다른 도체를 0 V로 두었을 때 축적되는 전하량 Q가 곧 커패시턴스 C의 수치가 되므로 정의에 맞는다.
② X: 틀린 부분은 레지스턴스이다. 레지스턴스는 축적 전하량이 아니라 전압과 전류의 비로 정의된다. 올바르게는 전하를 저장하는 능력은 커패시턴스이다.
③ X: 틀린 부분은 인덕턴스이다. 인덕턴스는 전류 변화에 대한 자기적 성질을 나타내며 두 도체 사이의 전하 축적과는 관계가 없다. 올바르게는 두 도체 사이 전하 축적을 나타내는 값은 커패시턴스이다.
④ X: 틀린 부분은 컨덕턴스이다. 컨덕턴스는 저항의 역수로서 전류가 흐르기 쉬운 정도를 뜻한다. 올바르게는 1 V를 주었을 때 저장 전하량으로 정의되는 것은 커패시턴스이다.

오답 포인트

문장에 1 V, 영전위, 축적 전하량이 함께 나오면 저장 능력을 묻는 것이다. 전류의 흐름을 방해하는 레지스턴스나 그 역수인 컨덕턴스와 혼동하면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

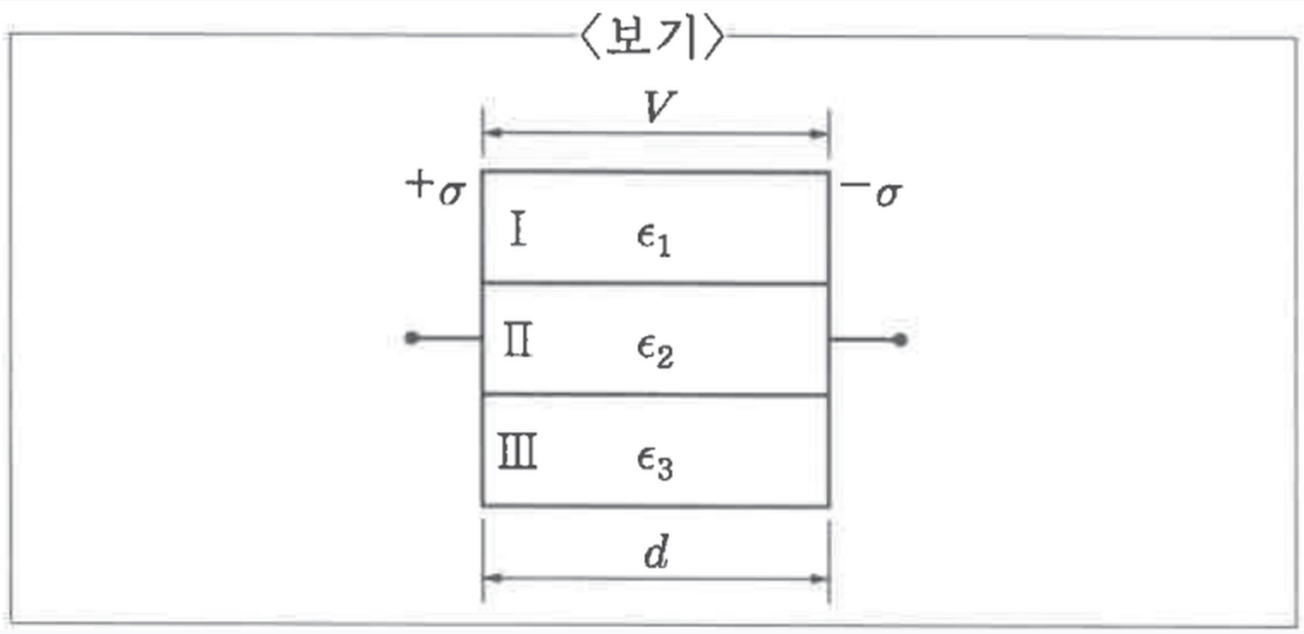
문제에서 두 도체, 전위차, 저장 전하량을 연결하면 먼저 $C = Q/V$를 떠올린다. 전압을 1 V로 고정했으면 저장 전하량 자체가 커패시턴스 수치가 된다고 판단할 수 있다.

암기 포인트

전하 저장은 C, 전류 방해는 R, 전류 변화 유도는 L, 저항의 역수는 G이다.

NoteBase

문 3. <보기>와 같이 내부에 3개의 서로 다른 유전체로 채워져 있고, 전극 사이에 전위차가 V인 병렬 복합유전체가 존재한다. 이때 I, II, III영역의 정전용량이 각각 2[μF], 4[μF], 6[μF]일 경우, 합성 정전용량의 값[μF]은?



① 1/12

② 11/12

③ 12/11

④ 12

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 병렬 복합유전체의 합성 정전용량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: I영역은 $2\mu F$, II영역은 $4\mu F$, III영역은 $6\mu F$이다.
구해야 할 값: 합성 정전용량 C_{eq}이다.
주의할 조건: 세 영역은 같은 두 전극 사이에 나란히 놓여 있어 모두 같은 전위차 V를 공유하므로 직렬이 아니라 병렬 연결이다.

사용할 공식

병렬 연결된 축전기의 합성 정전용량은 $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 세 유전체 영역이 모두 같은 두 전극 사이에 놓여 각 영역의 전위차가 같기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. I, II, III 영역은 같은 두 전극을 공유하므로 병렬 연결이다.
2. 따라서 $C_{eq} = 2 + 4 + 6$ 이다.
3. 계산하면 $C_{eq} = 12\mu F$ 이다.

선지별 해설

① X: $1/12\mu F$는 병렬합 $2 + 4 + 6 = 12$를 다시 역수 처리한 값이다. 틀린 표현은 합성 정전용량을 $1/(2 + 4 + 6)$로 본 점이다. 올바르게는 병렬이므로 $C_{eq} = 12\mu F$이다.
② X: $11/12\mu F$는 직렬식의 중간값 $1/C_{eq} = 1/2 + 1/4 + 1/6 = 11/12$만 적은 값이다. 틀린 표현은 역수를 취해야 할 중간식을 최종값으로 본 점이다. 올바르게는 이 문제는 병렬이며, 직렬로 보더라도 최종값은 11/12가 아니라 그 역수이다.
③ X: $12/11\mu F$는 세 영역을 직렬 연결로 착각했을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 세 유전체 영역이 전계 방향으로 차례로 놓였다고 본 점이다. 올바르게는 세 영역이 전극 면적을 나누어 병렬 배치되어 $C_{eq} = 12\mu F$ 이다.
④ O: 세 영역은 같은 두 전극 사이에 놓여 같은 전위차 V를 가지므로 병렬 연결이다. 따라서 $C_{eq} = 2 + 4 + 6 = 12\mu F$가 되어 옳다.

오답 포인트

도식에서 유전체가 위아래로 나뉘어 있다는 이유만으로 직렬로 판단하기 쉽다. 이 문제는 유전체가 전극 사이 거리 방향으로 층을 이룬 것이 아니라 전극 면적 방향으로 분할되어 있으므로 각 영역의 전위차가 같고, 따라서 병렬로 보아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합유전체 문제는 먼저 각 영역이 같은 두 전극을 공유하는지, 아니면 전계 진행 방향으로 층층이 놓였는지를 본다. 같은 두 전극과 같은 전위차를 공유하면 병렬 합 $C_1 + C_2 + \cdots$를 적용한다.

암기 포인트

전위차가 같으면 병렬, 전하가 같으면 직렬이다. 이 도식은 같은 두 전극을 공유하므로 병렬이다.

NoteBase

문 4. 자유공간에서의 전위 함수가 <보기>와 같이 주어졌을 때, 공간상의 한 점(1, -1, -1)에서의 전기장의 크기[V/m]는?

<보기>

$V(x, y, z) = x^2y - 5z^2 + \frac{y^2z}{x^3}$

① $\sqrt{85}$

② $\sqrt{105}$

③ $\sqrt{113}$

④ $\sqrt{131}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전위 함수 $V(x, y, z)$가 주어졌을 때 전기장 $\mathbf{E} = -\nabla V$를 구하고, 특정 점에서 그 크기를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $V(x, y, z) = x^2y - 5z^2 + \frac{y^2z}{x^3}$
구해야 할 값: 점 $(1, -1, -1)$에서의 전기장 크기
주의할 조건: 전기장은 전위의 기울기에 음수를 붙인 값이므로 편미분 뒤에 반드시 마이너스를 붙인다.

사용할 공식

$\mathbf{E} = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\mathbf{a}_x + \frac{\partial V}{\partial y}\mathbf{a}_y + \frac{\partial V}{\partial z}\mathbf{a}_z\right)$
$|\mathbf{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$
이 공식을 쓰는 이유는 자유공간의 정전계에서 전기장이 전위의 음의 기울기로 정의되기 때문이다.

계산 과정

1. 각 변수로 편미분하면
$\frac{\partial V}{\partial x} = 2xy - \frac{3y^2z}{x^4}, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = x^2 + \frac{2yz}{x^3}, \quad \frac{\partial V}{\partial z} = -10z + \frac{y^2}{x^3}$
2. 점 $(1, -1, -1)$을 대입하면
$\frac{\partial V}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 3, \quad \frac{\partial V}{\partial z} = 11$
3. 따라서 전기장은
$\mathbf{E} = -(1\mathbf{a}_x + 3\mathbf{a}_y + 11\mathbf{a}_z) = -\mathbf{a}_x - 3\mathbf{a}_y - 11\mathbf{a}_z$
4. 크기는
$|\mathbf{E}| = \sqrt{(-1)^2 + (-3)^2 + (-11)^2} = \sqrt{1 + 9 + 121} = \sqrt{131}\,\text{V/m}$

NoteBase

선지 판단

① X
- 틀린 표현은 전기장 크기가 $\sqrt{85}$라는 값이다. 올바르게는 $\sqrt{131}$이다.
- z에 대한 미분값 $\frac{\partial V}{\partial z} = 11$이 가장 크게 반영되므로 제곱합에 121이 들어가야 한다. $\sqrt{85}$는 성분 계산을 잘못한 값이다.

② X
- 틀린 표현은 전기장 크기가 $\sqrt{105}$라는 값이다. 올바르게는 $\sqrt{131}$이다.
- 편미분은 맞게 해도 전기장 성분의 제곱합에서 한 성분을 누락하거나 $\frac{\partial V}{\partial z}$를 잘못 계산하면 이런 오답이 나온다.

③ X
- 틀린 표현은 전기장 크기가 $\sqrt{113}$라는 값이다. 올바르게는 $\sqrt{131}$이다.
- $\frac{\partial V}{\partial z} = -10z + \frac{y^2}{x^3} = 10 + 1 = 11$이어야 한다. 이 값을 10 등으로 잘못 두면 제곱합이 작아진다.

④ O
- 계산 결과 전기장 성분은 $(-1,\ -3,\ -11)$이고, 크기는 $\sqrt{131}\,\mathrm{V/m}$이다.
- 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

전위에서 전기장을 구할 때 편미분만 하고 끝내거나, $\mathbf{E} = -\nabla V$의 마이너스를 빠뜨리는 실수가 잦다. 또한 $\frac{y^2 z}{x^3}$를 x로 미분할 때 x^{-3}의 미분이 $-3x^{-4}$가 된다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위 함수 문제는 먼저 각 변수에 대해 편미분하고, 다음에 $\mathbf{E} = -\nabla V$를 적용한 뒤, 마지막에 성분의 제곱합으로 크기를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

정전계의 기본 연결은 $\mathbf{E} = -\nabla V$이며, 크기는 전기장 성분 제곱합의 제곱근이다.

NoteBase

문 5. 전류밀도 $\vec{J} = (xyz, ay^2z - 4x, \frac{y}{xz^2} + 10z)[A/m^2]$가 정자계 내의 한 점 $(-2, 5, 1)$에서 존재하기 위한 a의 값은?

① -2

② -1

③ 0

④ 1

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정자계에서 전류밀도 $\vec{J}$가 만족해야 하는 연속방정식 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$을 이용해 미정계수 a를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전류밀도는 $\vec{J} = (xyz, ay^2z - 4x, \frac{y}{xz^2} + 10z)$이다.
구해야 할 값은 점 $(-2, 5, 1)$에서 정자계 조건을 만족하게 하는 a이다.
주의할 조건은 정자계에서는 전하 축적이 없으므로 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$이어야 한다는 점이다.

사용할 공식

$\nabla \cdot \vec{J} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} = 0$
이 공식을 쓰는 이유는 정자계에서는 $\frac{\partial \rho_v}{\partial t} = 0$이므로 연속방정식이 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$으로 정리되기 때문이다.

계산 과정

1. 각 성분을 미분하면 $\frac{\partial J_x}{\partial x} = yz, \frac{\partial J_y}{\partial y} = 2ayz, \frac{\partial J_z}{\partial z} = -\frac{2y}{xz^3} + 10$이다.
2. 따라서
$\nabla \cdot \vec{J} = yz + 2ayz - \frac{2y}{xz^3} + 10$
이다.
3. 점 $(-2, 5, 1)$을 대입하면
$\nabla \cdot \vec{J} = 5 + 10a - \frac{2 \cdot 5}{-2 \cdot 1^3} + 10 = 5 + 10a + 5 + 10 = 20 + 10a$
이다.
4. 정자계 조건 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$을 적용하면 $20 + 10a = 0$이므로 $a = -2$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. 계산 결과 $20 + 10a = 0$에서 $a = -2$가 나온다. 정자계 조건을 정확히 적용한 값이다.
2번: X. $a = -1$을 대입하면 $20 + 10(-1) = 10$이므로 발산이 0이 되지 않는다. 틀린 표현은 $a = -1$이라는 값이고, 올바르게는 $a = -2$이다.
3번: X. $a = 0$을 대입하면 $20 + 10(0) = 20$이므로 조건을 만족하지 않는다. 틀린 표현은 $a = 0$이라는 값이고, 올바르게는 $a = -2$이다.
4번: X. $a = 1$을 대입하면 $20 + 10(1) = 30$이므로 조건을 만족하지 않는다. 틀린 표현은 $a = 1$이라는 값이고, 올바르게는 $a = -2$이다.

오답 포인트

세 번째 성분 $\frac{y}{xz^2}$를 z로 미분할 때 부호를 잘못 처리하거나, 정자계 조건을 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$ 대신 다른 식으로 착각하면 오답이 나온다. 특히 $x = -2$가 분모에 들어가므로 부호가 한 번 더 바뀐다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

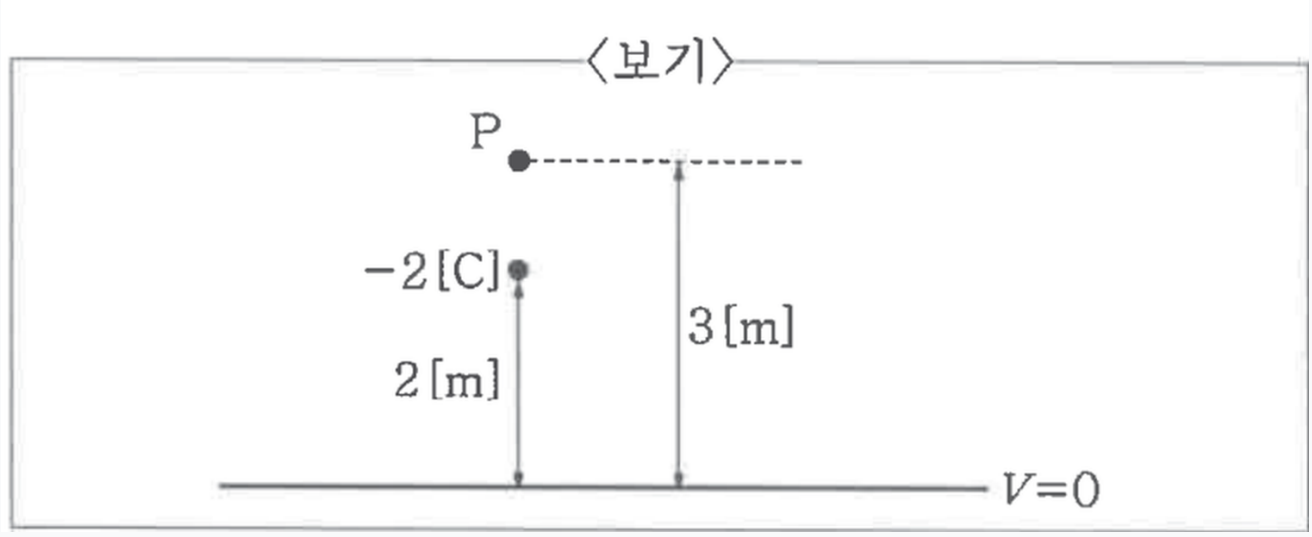
전류밀도와 정자계가 함께 나오면 먼저 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$을 떠올린다. 그다음 각 성분을 해당 변수로만 편미분하고, 마지막에 좌표를 대입해 미정계수를 정리하면 된다.

암기 포인트

정자계의 전류밀도는 연속방정식에 의해 항상 $\nabla \cdot \vec{J} = 0$을 만족한다.

NoteBase

문 6. <보기>와 같이 자유공간상에서 접지된 무한평면 도체로부터 거리 2[m]인 곳에 -2[C]인 점전하가 위치할 때, 도체로부터 3[m] 떨어진 점에서의 전위의 값[V]은? (단, ε_0는 자유공간의 유전율 크기이다.)



① $-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}$
② $-\frac{3}{10\pi\varepsilon_0}$
③ $-\frac{12}{25\pi\varepsilon_0}$
④ $-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 접지된 무한평면 도체에서 영상전하법을 이용해 한 점의 전위를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 도체면 위 2[m] 지점의 점전하 $-2[C]$와 도체면 위 3[m] 지점의 점 P이다.
접지된 평면 도체이므로 도체면 아래 2[m] 지점에 크기가 같고 부호가 반대인 영상전하 $+2[C]$를 둔다.
그림에서 P는 점전하의 바로 위쪽에 있으므로 실제 전하까지 거리는 $1[m]$, 영상전하까지 거리는 $5[m]$이다.

사용할 공식

$+V(P)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r_1}+\frac{q'}{r_2}\right)+$
이 공식을 쓰는 이유는 접지된 무한평면 도체를 영상전하로 치환하면 도체 위쪽 영역의 전위를 실제 전하와 영상전하의 합으로 계산할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 실제 전하는 $q=-2$, 영상전하는 $q'=+2$이다.
2. 점 P에서 실제 전하까지 거리는 $r_1=3-2=1[m]$, 영상전하까지 거리는 $r_2=3-(-2)=5[m]$이다.
3. 따라서
$+V(P)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{-2}{1}+\frac{2}{5}\right)+\ =\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(-\frac{8}{5}\right)+\ =-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}+$
이므로 정답은 1번이다.

선지 판단

① O
- 계산 결과가 $-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}$이므로 옳다.

② X
- $-\frac{3}{10\pi\varepsilon_0}$는 실제 전하와 영상전하의 기여를 잘못 합한 값이다.
- 접지 평면에서는 실제 전하와 부호가 반대인 영상전하를 두고 $\frac{q}{r}$ 형태로 더해야 하므로 올바른 전위는 $-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}$이다.

③ X
- $-\frac{12}{25\pi\varepsilon_0}$는 전위를 구하면서 거리 제곱이나 분모 계산을 혼동했을 때 나오는 값이다.
- 전위는 전계와 달리 $\frac{1}{r^2}$가 아니라 $\frac{1}{r}$로 합하므로 올바른 값은 $-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}$이다.

④ X
- $-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$는 접지 도체의 영향과 실제·영상전하까지의 거리를 제대로 반영하지 못한 값이다.
- 이 문제는 실제 전하만 보는 문제가 아니라 영상전하까지 함께 고려해야 하므로 전위값은 $-\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$가 아니라 $-\frac{2}{5\pi\varepsilon_0}$이다.

오답 포인트

점전하가 도체면에서 2[m], 점 P가 도체면에서 3[m] 떨어졌다는 정보를 그대로 거리 2,3으로 대입하면 오답이 된다.
실제로 필요한 거리는 점 P에서 실제 전하까지의 거리 $1[m]$와 영상전하까지의 거리 $5[m]$이다.
또한 전위는 $\frac{q}{r}$, 전계는 $\frac{q}{r^2}$라는 차이를 혼동하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

접지된 무한평면과 점전하가 보이면 먼저 영상전하를 같은 거리만큼 도체 아래에 둔다.
그다음 물은 점에서 실제 전하와 영상전하까지의 거리를 각각 구한 뒤 $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum\frac{q}{r}$로 계산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

접지 평면의 전위는 영상전하로 계산하고, 전위는 q/r, 전계는 q/r^2이다.

NoteBase

문 7. 두 점전하 사이에 발생되는 쿨롱의 힘에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 두 점전하 간의 거리 제곱에 반비례한다.

② 두 점전하가 위치하는 매질의 유전율에 반비례한다.

③ 두 점전하가 받는 전기력의 크기는 동일하다.

④ 이종전하 사이에는 반발력이 작용한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 쿨롱의 법칙에서 힘의 크기와 방향을 결정하는 요소, 특히 거리 제곱 반비례와 유전율, 그리고 동종전하·이종전하의 작용 방향을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

쿨롱의 힘: 두 점전하 사이에 작용하는 정전기력으로 힘의 크기는 $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$이다.
유전율: 매질이 전기장의 작용을 얼마나 약화시키는지를 나타내는 값으로, 유전율이 클수록 쿨롱의 힘은 작아진다.
전하의 부호: 동종전하는 반발하고 이종전하는 흡인한다.

선지별 해설

① O: 쿨롱의 힘은 두 전하 사이 거리 r의 제곱에 반비례하므로 거리가 2배가 되면 힘은 1/4배가 된다.
② O: 식의 분모에 유전율 ε가 있으므로, 두 점전하가 놓인 매질의 유전율이 커질수록 힘은 작아진다. 따라서 유전율에 반비례한다는 설명은 옳다.
③ O: 두 점전하가 서로 미는 힘과 당기는 힘의 크기는 항상 같다. 방향은 반대이지만 크기는 동일하므로 작용·반작용 관계에 맞다.
④ X: 틀린 부분은 "이종전하 사이에는 반발력이 작용한다"는 표현이다. 이종전하는 서로 끌어당기므로 올바르게는 "이종전하 사이에는 흡인력이 작용한다"이다.

오답 포인트

이 문항은 힘의 크기 공식만 외우고 전하 부호에 따른 방향을 놓치면 ④를 지나치기 쉽다. 특히 동종전하와 이종전하의 작용 방향을 뒤바꾸는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

쿨롱의 법칙 문제는 먼저 힘의 크기 식에서 거리와 유전율의 비례관계를 확인하고, 그다음 전하 부호를 보고 동종전하는 반발, 이종전하는 흡인으로 방향을 판단하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

쿨롱력은 거리 제곱에 반비례하고 유전율에 반비례하며, 동종전하는 반발하고 이종전하는 흡인한다.

NoteBase

문 8. 한 매질 내에서 보존장이 되기 위한 조건을 만족하는 전기장으로 옳은 것은?

① $\vec{E}(x,y,z)=(y,x+z^2,y-2z)$

② $\vec{E}(x,y,z)=(z^2,\ -y^2,3xz)$

③ $\vec{E}(x,y,z)=(4xy-yz,2x^2-zx,\ -3z^2-xy)$

④ $\vec{E}(x,y,z)=(-3x^2,2z,y)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 한 매질 내에서 전기장이 보존장이 되기 위한 조건인 $\nabla\times\vec{E}=\vec{0}$을 이용해 각 벡터장이 보존장인지 판정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 각 선지의 전기장 $\vec{E}(x,y,z)=(E_x,E_y,E_z)$이다.
구해야 할 값: 각 전기장이 보존장 조건을 만족하는지 여부이다.
주의할 조건: 한 매질 내 보존장이려면 $\partial E_z/\partial y=\partial E_y/\partial z$, $\partial E_x/\partial z=\partial E_z/\partial x$, $\partial E_y/\partial x=\partial E_x/\partial y$가 모두 성립해야 한다.

사용할 공식

$\nabla\times\vec{E}=\left(\frac{\partial E_z}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z},\frac{\partial E_x}{\partial z}-\frac{\partial E_z}{\partial x},\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial y}\right)$
이 공식을 쓰는 이유는 한 매질 내의 정전계가 보존장이 되려면 회전이 0이어야 하기 때문이다.

계산 과정

1. ①에 대해 $\partial E_z/\partial y=1$, $\partial E_y/\partial z=2z$이므로 첫 번째 조건부터 일치하지 않는다.
2. ②에 대해 $\partial E_x/\partial z=2z$, $\partial E_z/\partial x=3z$이므로 두 번째 조건이 일치하지 않는다.
3. ③에 대해 $\partial E_z/\partial y=-x$, $\partial E_y/\partial z=-x$, $\partial E_x/\partial z=-y$, $\partial E_z/\partial x=-y$, $\partial E_y/\partial x=4x-z$, $\partial E_x/\partial y=4x-z$가 모두 일치한다.
4. ④에 대해 $\partial E_z/\partial y=1$, $\partial E_y/\partial z=2$이므로 첫 번째 조건이 일치하지 않는다.

따라서 회전이 0인 것은 ③뿐이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$\partial E_z/\partial y = 1$, $\partial E_y/\partial z = 2z$로 서로 같지 않으므로 보존장이 아니다. 틀린 부분은 $y - 2z$와 $x + z^2$에서 나온 편미분 값이 모든 점에서 같아야 하는 조건을 만족하지 못한다는 점이다. 올바르게는 대응하는 혼합편미분이 전부 일치해야 한다.

② X

$\partial E_x/\partial z = 2z$, $\partial E_z/\partial x = 3z$로 서로 같지 않으므로 보존장이 아니다. 틀린 부분은 z^2와 $3xz$의 조합이 두 번째 조건을 깨뜨린다는 점이다. 올바르게는 이 두 편미분이 모든 점에서 같아야 한다.

③ O

$\partial E_z/\partial y = \partial E_y/\partial z = -x$, $\partial E_x/\partial z = \partial E_z/\partial x = -y$, $\partial E_y/\partial x = \partial E_x/\partial y = 4x - z$가 모두 성립한다. 따라서 $\nabla \times \vec{E} = \vec{0}$이고 보존장 조건을 만족한다.

④ X

$\partial E_z/\partial y = 1$, $\partial E_y/\partial z = 2$로 서로 같지 않으므로 보존장이 아니다. 틀린 부분은 $(2z, y)$가 첫 번째 조건을 만족시키지 못한다는 점이다. 올바르게는 E_y와 E_z가 만들어 내는 대응 편미분 값이 같아야 한다.

오답 포인트

보존장 문제에서 일부 편미분 한 쌍만 보고 넘어가면 오답이 된다. 이 문항은 ①, ②, ④가 각각 다른 편미분 조건 하나씩을 어기도록 만들어져 있어, 세 쌍을 모두 확인하지 않으면 헷갈리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

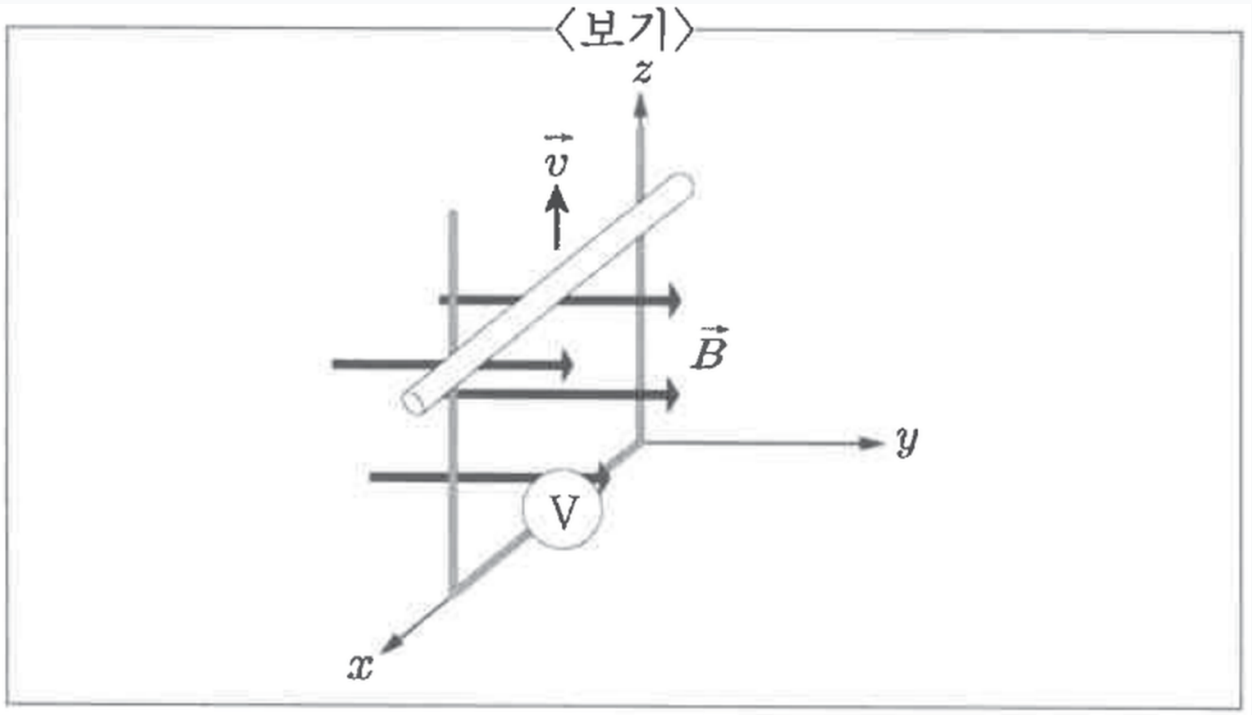
벡터장이 보존장인지 묻는 문제는 $\nabla \times \vec{E}$를 바로 계산하거나 대응하는 혼합편미분 세 쌍을 순서대로 대조하면 된다. 한 쌍이라도 다르면 즉시 탈락이고, 세 쌍이 모두 같을 때만 보존장으로 판단된다.

암기 포인트

보존장 판정은 회전 0 확인이고, 3차원에서는 혼합편미분 세 쌍이 모두 일치해야 한다.

NoteBase

문 9. <보기>와 같이 도체막대가 z축의 레일을 따라 움직인다. 레일의 간격은 1.5[m], 도체 막대의 속도는 $\vec{v} = 5\vec{a}_z[m/s]$, 자속밀도는 $\vec{B} = 75e^{-5t}\vec{a}_y[Wb/m^2]$이다. 도체 막대가 $z = 0$에서 출발하여 0.3초 뒤의 시점에서 도체막대 양단에 유도되는 기전력의 크기와 가장 가까운 값[V]은? (단, $e^{-1.5} = 0.22$로 계산한다.)



① 47

② 52

③ 57

④ 62

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자속밀도와 이동하는 도체막대가 함께 만드는 전체 유도기전력을 자속의 시간미분으로 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

레일 간격은 1.5m이다.

도체막대의 속도는 $v = 5m/s$이므로 $t = 0.3s$일 때 위치는 $z = vt = 1.5m$이다.

자속밀도는 $B(t) = 75e^{-5t}a_y\text{Wb/m}^2$이다.

따라서 루프 면적은 $A = 1.5 \times z = 1.5 \times 1.5 = 2.25\text{m}^2$이다.

NoteBase

사용할 공식

전체 유도기전력은 $\mathcal{E} = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right|$이다.
여기서 자속은 $\Phi = B(t)A(t)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 도체막대의 운동으로 면적이 변하고, 동시에 자기장 B 자체도 시간에 따라 변하는 상황이기 때문이다. 따라서 단순히 $B\ell v$만 쓰면 부족하고 전체 자속의 시간변화를 같이 반영해야 한다.

계산 과정

자속은
$\Phi(t) = B(t)A(t) = 75e^{-5t} \times 1.5 \times 5t = 562.5te^{-5t}$
이다.
따라서 유도기전력의 크기는
$|\mathcal{E}| = \left|\frac{d}{dt}(562.5te^{-5t})\right| = 562.5e^{-5t}|1 - 5t|$
이다.
$t = 0.3s$를 대입하면 $|1 - 5t| = |1 - 1.5| = 0.5$이고, $e^{-1.5} = 0.22$이므로
$|\mathcal{E}| = 562.5 \times 0.22 \times 0.5 = 61.875V$
이다.
따라서 가장 가까운 값은 62 V이다.

선지 판단

① X: 계산 결과는 $61.875V$이므로 47 V는 맞지 않는다. 틀린 수치 47 V → 올바르게는 약 62 V이다.
② X: 계산 결과와 비교하면 52 V도 맞지 않는다. 틀린 수치 52 V → 올바르게는 약 62 V이다.
③ X: 계산 결과와 비교하면 57 V도 맞지 않는다. 틀린 수치 57 V → 올바르게는 약 62 V이다.
④ O: 자속 $\Phi = 562.5te^{-5t}$를 시간미분하면 $|\mathcal{E}| = 61.875V$가 나오므로 가장 가까운 값은 62 V이다.

오답 포인트

가장 흔한 오답은 막대가 움직인다는 이유만 보고 $B\ell v$만 계산하는 경우이다. 이 문제의 자기장은 $75e^{-5t}$로 시간에 따라 감소하므로, 면적 증가에 따른 운동기전력과 자기장 감소에 따른 시간변화 효과를 함께 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

도체가 움직이고 자기장도 시간에 따라 바뀌면 먼저 폐회로의 면적을 잡고 $\Phi = B \cdot A$를 만든 뒤, 마지막에 $\mathcal{E} = |-d\Phi/dt|$로 한 번에 정리하는 방식이 가장 안전하다.

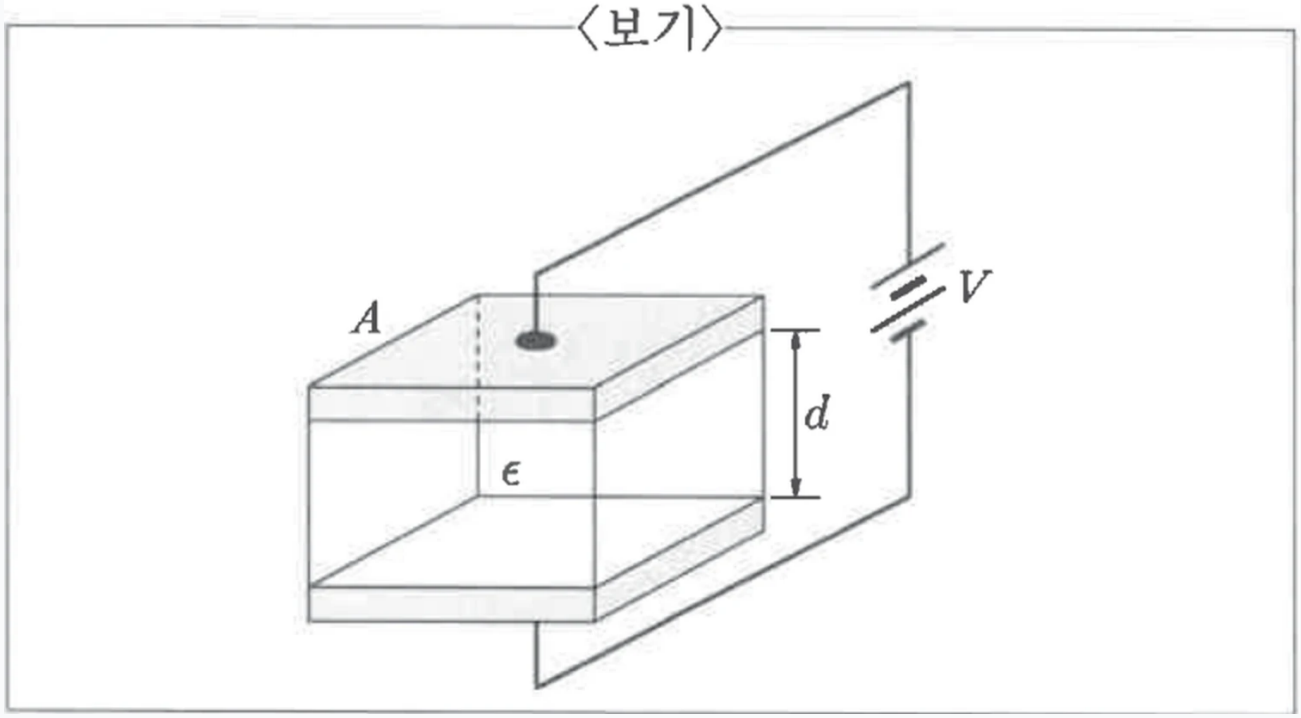
암기 포인트

움직이는 도체와 시간변화 자기장이 함께 나오면 $B\ell v$만 보지 않고 자속 $\Phi = BA$ 전체를 시간미분한다.

NoteBase

문 10. <보기>와 같이 평행평판 커패시터의 전극 사이에 전압 V를 인가했을 때, 전압의 크기에 따른 평행평판 커패시터에 축적되는 정전에너지와 평행평판 커패시터의 정전용량 변화에 대한 설명으로 가장 옳은 것은? (단, 전압 V가 증가하더라도 평행평판 커패시터의 면적 (A), 간격 (d), 유전율 (ε)의 크기 변화는 없다고 가정한다.)

<보기>



① 전압 V가 증가할수록 정전에너지도 V의 크기에 비례하여 증가한다.

② 전압 V가 증가할수록 정전에너지도 V^2의 크기에 비례하여 증가한다.

③ 전압 V가 증가할수록 정전용량도 V의 크기에 비례하여 증가한다.

④ 전압 V가 증가할수록 정전용량도 V^2의 크기에 비례하여 증가한다.

정답 2번

출제 포인트

평행평판 커패시터의 정전용량 $C = \varepsilon A/d$는 전압과 무관하고, 축적 에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$로 전압의 제곱에 비례한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 평행평판 커패시터의 면적 A, 간격 d, 유전율 ε는 일정하다.
구해야 할 판단: 전압 V가 커질 때 정전에너지와 정전용량이 어떻게 변하는지이다.
주의할 조건: 기하 구조와 유전체가 변하지 않으므로 정전용량은 구조식으로 바로 판단한다.

NoteBase

사용할 공식

정전용량은 $C = \varepsilon A/d$이다.
정전에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(\varepsilon A/d)V^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 A, d, ε가 변하지 않는다고 했으므로 C는 상수이고, 전압 변화에 따른 에너지 변화는 W 식으로 직접 판단할 수 있다.

계산 과정

1. $C = \varepsilon A/d$에서 A, d, ε가 일정하므로 정전용량 C는 전압 V와 무관한 상수이다.
2. 정전에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$이므로 C가 일정할 때 W는 V^2에 비례한다.
3. 따라서 에너지는 전압의 제곱에 따라 증가하고, 정전용량은 증가하지 않는다.

선지별 해설

① X: 틀린 표현은 "정전에너지도 V의 크기에 비례"이다. 정전에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$이므로 V가 아니라 V^2에 비례하여 증가한다.
② O: A, d, ε가 일정하면 C는 일정하고, $W = \frac{1}{2}CV^2$이므로 정전에너지는 전압의 제곱에 비례하여 증가한다.
③ X: 틀린 표현은 "정전용량도 V의 크기에 비례하여 증가"이다. 정전용량은 $C = \varepsilon A/d$로 정해지므로 전압이 커져도 변하지 않는다.
④ X: 틀린 표현은 "정전용량도 V^2의 크기에 비례하여 증가"이다. V^2에 비례하는 것은 정전용량이 아니라 정전에너지이고, 정전용량은 일정하다.

오답 포인트

정전에너지 식 $W = \frac{1}{2}CV^2$와 정전용량 식 $C = \varepsilon A/d$를 섞어 보는 함정이 있다. 전압이 커지면 전하량 $Q = CV$와 에너지는 변하지만, 구조와 유전체가 그대로이면 정전용량 자체는 변하지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

커패시터 변화 문제는 먼저 무엇이 구조값인지, 무엇이 상태값인지 구분한다. A, d, ε가 그대로이면 C는 고정이고, 그다음 $Q = CV$, $W = \frac{1}{2}CV^2$로 전압 의존성을 판단한다.

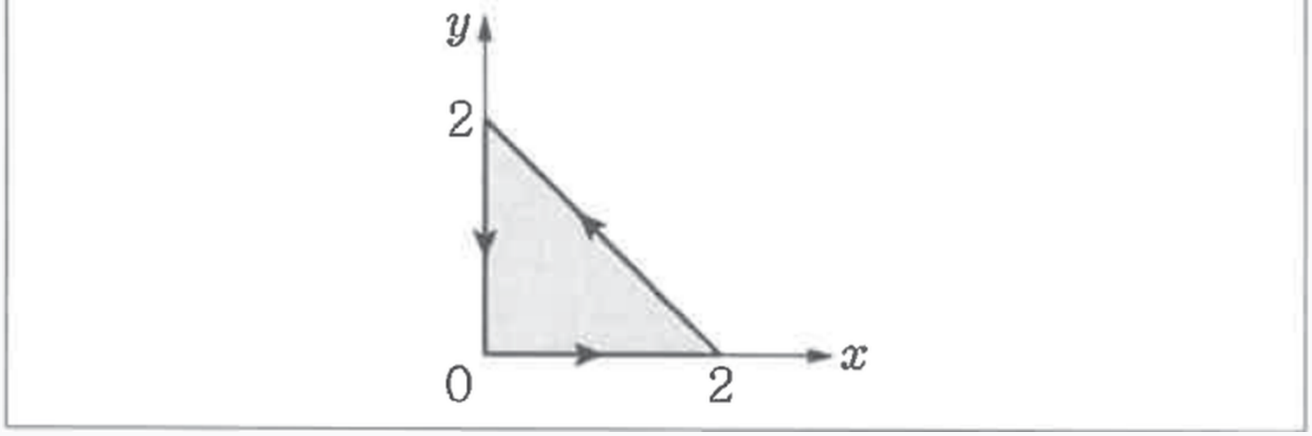
암기 포인트

평행평판 커패시터는 $C = \varepsilon A/d$로 구조가 정하고, 에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$로 전압의 제곱이 정한다.

NoteBase

문 11. 직교 좌표계상에 $\vec{A} = (2x^2 + y^2)\hat{a}_x + (xy - y^2)\hat{a}_y$가 있다. <보기>와 같은 삼각형 폐경로에 대한 벡터 $\vec{A}$의 회전량 $\oint \vec{A} \cdot \vec{dl}$은?

<보기>



① -2

② -4/3

③ 2

④ 8/3

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평면 벡터장의 폐곡선 선적분을 그린 정리로 바꾸어 계산하고, 경로 방향에 따른 부호까지 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 벡터장은 $\vec{A} = (2x^2 + y^2)\hat{a}_x + (xy - y^2)\hat{a}_y$이다.
구해야 할 값은 삼각형 폐경로 C에 대한 $\oint_C \vec{A} \cdot \vec{dl}$이다.
경로는 $(0, 0) \rightarrow (2, 0) \rightarrow (0, 2) \rightarrow (0, 0)$의 반시계방향이며, 영역은 $x \geq 0, y \geq 0, x + y \leq 2$인 삼각형이다.

사용할 공식

$\oint_C \vec{A} \cdot \vec{dl} = \iint_S (\nabla \times \vec{A}) \cdot \hat{a}_z dS = \iint_S \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right) dS$
이 공식은 평면에서 닫힌 곡선의 선적분을 그 곡선이 둘러싼 면적분으로 바꾸는 그린 정리이므로, 삼각형 폐경로의 회전량 계산에 바로 적용된다.

NoteBase

계산 과정

1. $A_x = 2x^2 + y^2$, $A_y = xy - y^2$이므로
$\frac{\partial A_y}{\partial x} = y, \qquad \frac{\partial A_x}{\partial y} = 2y$
이다.

2. 따라서 적분함수는
$\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} = y - 2y = -y$
이다.

3. 삼각형 영역에서 $0 \le y \le 2$, $0 \le x \le 2 - y$로 적분하면
$\oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_0^2 \int_0^{2-y} (-y) dx dy$
$= \int_0^2 -y(2-y) dy = \int_0^2 (-2y + y^2) dy$
$= \left[-y^2 + \frac{y^3}{3}\right]_0^2 = -4 + \frac{8}{3} = -\frac{4}{3}$
이므로 회전량은 $-\frac{4}{3}$이다.

선지별 해설

① X
계산 결과는 $-\frac{4}{3}$이므로 -2는 맞지 않는다. -2는 적분함수 $-y$를 상수처럼 처리하거나 삼각형 내부의 y값 변화를 무시할 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 값이 -2라는 점이고, 올바르게는 $-\frac{4}{3}$이다.

② O
그린 정리로 계산한 폐곡선 선적분 값이 정확히 $-\frac{4}{3}$이므로 옳다.

③ X
적분값은 양수가 아니라 음수 $-\frac{4}{3}$이다. 이 값은 회전량의 부호와 크기를 모두 잘못 판단한 것이다. 틀린 표현은 값이 2라는 점이고, 올바르게는 $-\frac{4}{3}$이다.

④ X
$\frac{8}{3}$은 적분 과정에서 부호를 잃거나 경계 길이만 보고 수치를 조합할 때 나오는 오답이다. 실제 적분값은 $-\frac{4}{3}$이다. 틀린 표현은 값이 $\frac{8}{3}$이라는 점이고, 올바르게는 $-\frac{4}{3}$이다.

오답 포인트

이 문항의 핵심 함정은 두 가지이다. 첫째, 경로가 반시계방향이라는 점을 놓치면 부호 판단이 흔들린다. 둘째, $\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}$가 상수가 아니라 $-y$인데 이를 상수처럼 계산하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 폐곡선 선적분 문제는 먼저 경로 방향이 반시계인지 시계인지 확인하고, 그다음 $\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}$를 구한 뒤 해당 영역에 대해 면적분으로 바꾸어 계산하면 된다.

암기 포인트

그린 정리에서는 $\oint_C P dx + Q dy = \iint_S \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right) dS$이고, 반시계방향이 양의 방향이다.

NoteBase

문 12. 자유공간에서 z축 방향으로 진행하고 있는 전계파동에 대한 평균전력밀도에 가장 가까운 값$[W/m^2]$은? (단, 전계파동의 진폭은 $50[V/m]$이고, 주파수는 $300[MHz]$이다.)

① 0.83

② 1.66

③ 3.32

④ 6.64

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자유공간을 진행하는 평면 전자파의 평균전력밀도 S_{avg}를 전계 진폭으로부터 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전계 진폭 $E_0 = 50[V/m]$, 주파수 $f = 300[MHz]$, 매질은 자유공간이다.
구해야 할 값: 평균전력밀도 S_{avg}이다.
주의할 조건: 문제에서 준 값은 진폭이므로 자유공간 평균전력밀도는 $S_{avg} = \frac{E_0^2}{2\eta_0}$를 사용한다. 주파수는 이 계산에 직접 필요하지 않다.

사용할 공식

$S_{avg} = \frac{E_0^2}{2\eta_0} \quad (\eta_0 = 120\pi \approx 377\Omega)$
이 공식은 자유공간 평면파에서 전계의 진폭 E_0가 주어졌을 때 시간평균 포인팅 벡터의 크기를 구하는 식이기 때문에 사용한다.

계산 과정

1. 자유공간 고유임피던스는 $\eta_0 = 120\pi \approx 377\Omega$이다.
2. 평균전력밀도는 $S_{avg} = \frac{E_0^2}{2\eta_0} = \frac{50^2}{2 \times 377}$이다.
3. 계산하면 $S_{avg} = \frac{2500}{754} \approx 3.32[W/m^2]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.83[W/m^2]는 평균전력밀도를 지나치게 작게 계산한 값이다. 진폭을 절반으로 잘못 처리한 뒤 평균값까지 한 번 더 나누면 비슷한 값이 나온다. 평균전력밀도는 0.83[W/m^2]가 아니라 약 3.32[W/m^2]이다.
② X: 1.66[W/m^2]는 진폭 50[V/m]를 25[V/m]처럼 잘못 바꾸어 제곱했을 때 나올 수 있는 값이다. 진폭의 실효값 변환은 $\sqrt{2}$와 관련되며 단순히 2로 나누지 않는다. 평균전력밀도는 약 3.32[W/m^2]이다.
③ O: $S_{avg} = \frac{50^2}{2 \times 377} \approx 3.32[W/m^2]$이므로 가장 가까운 값은 ③이다.
④ X: 6.64[W/m^2]는 $\frac{E_0^2}{\eta_0}$처럼 $\frac{1}{2}$를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다. 이는 진폭이 아니라 실효값을 바로 사용한 식과 혼동한 경우이다. 평균전력밀도는 6.64[W/m^2]가 아니라 약 3.32[W/m^2]이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 진폭과 실효값 공식을 섞는 데 있다. 전계 진폭 E_0가 주어졌는데 $S = \frac{E^2}{\eta_0}$를 그대로 쓰면 ④가 나오고, 진폭을 임의로 절반 처리하면 ①이나 ②처럼 더 작은 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유공간 전자파 계산 문제는 먼저 주어진 전계가 진폭인지 실효값인지 구분한 뒤, 진폭이면 $S_{avg} = \frac{E_0^2}{2\eta_0}$, 실효값이면 $S_{avg} = \frac{E_{rms}^2}{\eta_0}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

자유공간 평균전력밀도는 진폭 기준 $\frac{E_0^2}{2\eta_0}$, 실효값 기준 $\frac{E_{rms}^2}{\eta_0}$이다.

NoteBase

문 13. 두 유전체 사이의 경계면에서 발생되는 전속 및 전기력선의 굴절에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 전속밀도는 법선 성분의 크기가 같다.

② 전계는 접선 성분의 크기가 같다.

③ 두 경계면에서의 전위는 서로 다르다.

④ 유전율이 큰 쪽이 법선과 이루는 각도가 더 크다.

정답 3번

출제 포인트

두 유전체 경계면에서의 경계조건인 법선 방향 전속밀도, 접선 방향 전계, 전위의 연속성과 전기력선 굴절 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

전속밀도 D: 자유 표면전하가 없으면 경계면의 법선 성분이 연속인 물리량이다.
전계 E: 경계면의 접선 성분이 연속인 물리량이다.
전위 V: 두 유전체의 경계면에서는 끊기지 않고 연속인 스칼라량이다.
굴절 관계: $\tan\theta_1/\tan\theta_2 = \varepsilon_1/\varepsilon_2$이므로 유전율이 큰 매질일수록 법선과 이루는 각이 더 크다.

선지별 해설

① O
전속밀도 D는 자유 표면전하가 없는 두 유전체 경계에서 법선 성분이 같아 $D_{1n} = D_{2n}$이다. 따라서 법선 성분의 크기가 같다는 설명은 옳다.

② O
전계 E는 경계면에서 접선 성분이 연속이므로 $E_{1t} = E_{2t}$이다. 따라서 접선 성분의 크기가 같다는 설명은 옳다.

③ X
틀린 부분은 "두 경계면에서의 전위는 서로 다르다"이다. 정전계에서 전위는 경계면에서 연속이므로 올바르게는 "두 경계면에서의 전위는 서로 같다"이다.

④ O
경계면에서 전기력선은 $\tan\theta_1/\tan\theta_2 = \varepsilon_1/\varepsilon_2$ 관계를 따른다. 따라서 유전율이 큰 쪽이 법선과 이루는 각도가 더 크다는 설명은 옳다.

NoteBase

오답 포인트

전위의 연속성과 전계·전속의 성분 연속 조건을 섞으면 ③에 흔들리기 쉽다. 전위는 경계에서 그대로 이어지고, 벡터량인 E와 D는 각각 연속인 성분이 다르다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 경계 문제는 먼저 무엇이 스칼라량인지, 무엇이 벡터량인지 나눈다. 그다음 전위는 연속, 전계는 접선 성분 연속, 전속밀도는 자유 표면전하가 없을 때 법선 성분 연속으로 대응시키면 선지 판단이 정리된다.

암기 포인트

유전체 경계는 전위는 그대로, E는 접선, D는 법선이다.

NoteBase

문 14. 자유공간 내에 단면적이 10[cm^2]인 원통형 영구자석으로부터 1[cm] 떨어져 있고 동일한 단면적을 가진 원통형 철심에 $2\pi\times10^{-4}$[Wb]의 자속이 통과할 때, 마주하고 있는 철심 표면에 작용하는 힘의 크기[N]는? (단, $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$[H/m]으로 한다.)

① 20π

② 50π

③ 150π

④ 250π

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 공극에서의 자기압 $p = \frac{B^2}{2\mu_0}$를 이용해 철심 표면에 작용하는 흡인력 F를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 단면적 $A = 10cm^2 = 10^{-3}m^2$
- 자속 $\Phi = 2\pi \times 10^{-4}Wb$
- 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}H/m$

구해야 할 값:
- 마주하는 철심 표면에 작용하는 힘 F

주의할 조건:
- 문제에서 자속이 이미 주어졌으므로 공극 길이 $1cm$는 힘 계산에 직접 쓰이지 않는다.

사용할 공식

사용 공식은 $F = \frac{B^2A}{2\mu_0}$이다.
또한 $B = \frac{\Phi}{A}$이므로 $F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0A}$로 바로 계산할 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 자유공간 공극에서 철심이 받는 흡인력이 자기압 $\frac{B^2}{2\mu_0}$에 단면적을 곱한 값으로 정리되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 자속밀도를 구하면 $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2\pi \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 2\pi \times 10^{-1} T = 0.2\pi T$이다.
2. 힘은 $F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$이므로
$F = \frac{(0.2\pi)^2 \times 10^{-3}}{2 \times 4\pi \times 10^{-7}}$
이다.
3. 정리하면
$F = \frac{4 \times 10^{-5} \pi^2}{8\pi \times 10^{-7}} = 50\pi N$
이 된다.

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $50\pi N$이므로 $20\pi N$은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 힘의 크기를 20π로 본 점이다. 올바르게는 $50\pi N$이다.
- 이 값은 단면적을 $10^{-3} m^2$로 바꾸는 과정이나 $\frac{1}{2\mu_0}$ 계수를 잘못 처리하면 나올 수 있는 오답이다.

② O
- $F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A}$에 값을 대입하면 $50\pi N$이 된다.
- 자속이 이미 주어졌으므로 공극 길이 $1cm$에 끌려가지 않고 자기압 공식으로 바로 판단하면 된다.

③ X
- 계산 결과는 $50\pi N$이므로 $150\pi N$은 3배 크게 계산한 값이다.
- 틀린 표현은 힘의 크기를 150π로 본 점이다. 올바르게는 $50\pi N$이다.
- 이 값은 B^2 계산이나 지수 정리를 과대평가했을 때 생기기 쉽다.

④ X
- 계산 결과는 $50\pi N$이므로 $250\pi N$은 5배 크게 계산한 값이다.
- 틀린 표현은 힘의 크기를 250π로 본 점이다. 올바르게는 $50\pi N$이다.
- 이 값은 공극 길이 $1cm$를 억지로 식에 넣거나 단위 변환을 잘못해 수치를 부풀릴 때 생길 수 있다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 공극 길이 $1cm$에 시선을 빼앗기는 점이다. 그러나 자속 Φ가 이미 주어졌다면 먼저 $B = \frac{\Phi}{A}$를 구하고 자기압 공식으로 힘을 계산하면 된다. 또 $10cm^2 = 10^{-3} m^2$ 단위 변환을 놓치면 오답으로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

공극에서 작용하는 힘을 묻고 자속이나 자속밀도가 주어지면 B 또는 Φ를 먼저 정리한 뒤 $F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$ 또는 $F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A}$ 순서로 계산한다. 길이 정보는 자속을 구할 때 필요한지부터 점검한다.

NoteBase

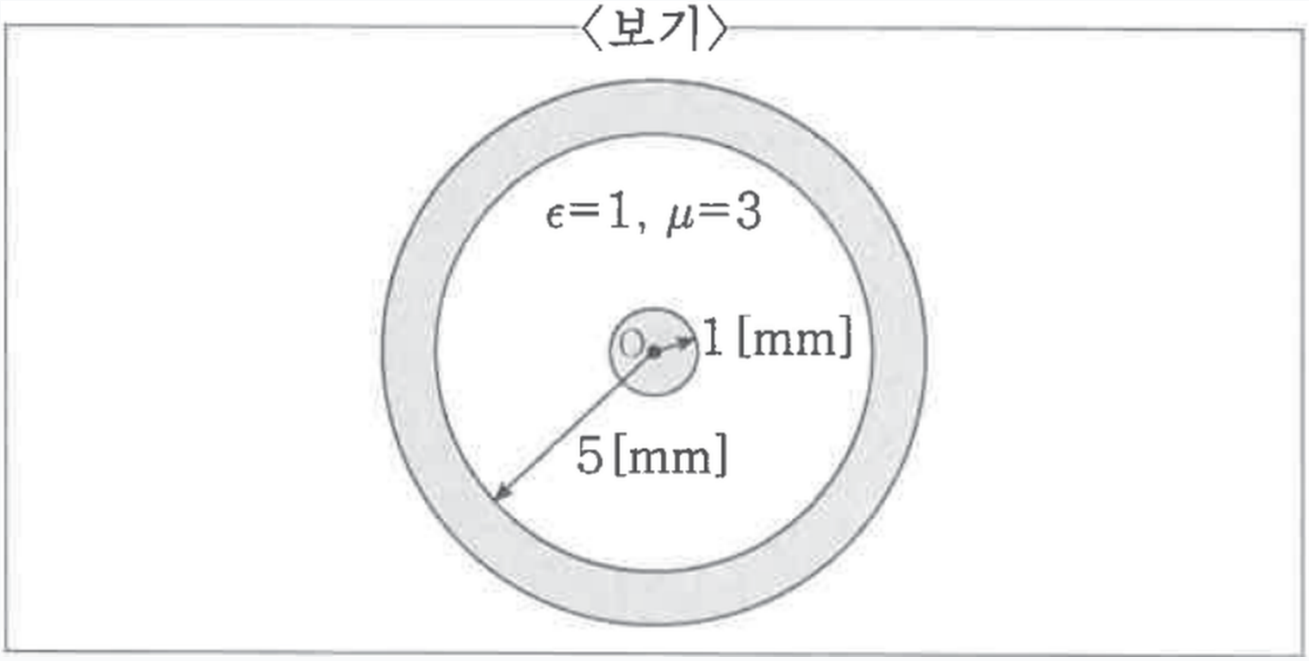
암기 포인트

공극 흡인력은 자기압 × 면적이므로 $F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$, 자속이 주어지면 $F = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 A}$로 바로 바꾼다.

NoteBase

문 15. <보기>와 같은 단면적을 가지고 길이가 2[m]인 동축 케이블 형태의 전송선로에 대한 특성 임피던스의 값[Ω]은? (단, 무손실 전송선로라고 가정한다.)

<보기>



① $\frac{\sqrt{5}}{2\pi}\ln(3)$

② $\frac{1}{\pi}\ln(2)$

③ $2\pi\ln(3)$

④ $\frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln(5)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 무손실 동축 케이블의 특성 임피던스 공식 $Z_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\ln\frac{b}{a}$를 적용해 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부 도체 반지름 $a = 1[mm]$, 외부 도체의 안쪽 반지름 $b = 5[mm]$, ε=1, μ=3이다.
구해야 할 값은 무손실 동축 전송선로의 특성 임피던스이다.
주의할 조건은 길이 2[m]는 특성 임피던스 계산에 직접 들어가지 않고, 반지름의 비 b/a만 들어간다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $Z_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}\ln\frac{b}{a}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 구조가 내부 도체와 외부 도체가 동심원으로 배치된 무손실 동축 케이블이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 매질 비는 $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{3}{1}} = \sqrt{3}$이다.
2. 반지름 비는 $\frac{b}{a} = \frac{5}{1} = 5$이므로 로그항은 $\ln 5$이다.
3. 따라서 특성 임피던스는 $Z_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{3}\ln 5 = \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$이다.

선지별 해설

① X

이 값은 계산 결과와 다르다. 특성 임피던스는 $\frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$이어야 하므로, 틀린 표현은 $\frac{\sqrt{5}}{2\pi}\ln 3$이고 올바르게는 $\frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$이다. 이 선지는 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$와 $\ln(b/a)$를 모두 잘못 대입한 값이다.

② X

이 값은 계수와 로그항이 모두 맞지 않는다. 틀린 표현은 $\frac{1}{\pi}\ln 2$이고 올바르게는 $\frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$이다. 이 선지는 $\sqrt{3}$을 빠뜨리고 반지름 비도 5가 아닌 다른 값으로 읽은 경우에 해당한다.

③ X

이 값은 2π가 분모가 아니라 분자로 올라가 있어 공식 형태 자체가 틀렸다. 틀린 표현은 $2\pi\ln 3$이고 올바르게는 $\frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$이다. 또한 로그항도 $\ln 3$이 아니라 $\ln 5$이다.

④ O

공식에 $\mu = 3$, ε=1, $b/a = 5$를 그대로 대입하면 $Z_0 = \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\ln 5$가 된다. 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 길이 2[m]를 억지로 공식에 넣거나, 반지름 비를 5/1이 아니라 차이값 또는 다른 수로 읽는 데 있다. 또 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$를 빼먹거나 2π의 위치를 뒤집으면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

동축선로 계산형 문제는 먼저 내부 반지름 a와 외부 안쪽 반지름 b를 확인하고, 다음에 b/a를 만든 뒤, 마지막으로 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$와 $1/(2\pi)$ 계수를 붙여 검산하면 된다.

암기 포인트

무손실 동축선로는 $Z_0 \propto \sqrt{\mu/\varepsilon}\ln(b/a)$이고 길이는 특성 임피던스에 직접 영향을 주지 않는다.

NoteBase

문 16. 비유전율이 3이고 한 변의 길이가 1[cm]인 정육면체 유전체 내의 분극의 크기가 $4.0 \times 10^3[C/m^2]$일 때, 유전체 내에 저장된 정전에너지의 값[J]은?

① $\frac{1}{\varepsilon_0}$
② $\frac{4}{\varepsilon_0}$
③ $\frac{6}{\varepsilon_0}$
④ $\frac{10}{\varepsilon_0}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 선형 유전체의 분극 P와 비유전율 ε_r의 관계 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$를 이용해 전기장 E를 구하고, 다시 정전에너지 U를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 비유전율 $\varepsilon_r = 3$, 분극 $P = 4.0 \times 10^3[C/m^2]$, 한 변 길이 $a = 1[cm] = 10^{-2}[m]$
구해야 할 값: 유전체 내부에 저장된 정전에너지 U
주의할 조건: 부피는 $V = a^3 = 10^{-6}[m^3]$이고, 분극식에는 ε_r가 아니라 $(\varepsilon_r - 1)$이 들어간다.

사용할 공식

$P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$
$u = \frac{1}{2}ED = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r E^2$
$U = uV$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 직접 주어진 값은 분극 P이므로 먼저 분극과 전기장의 관계로 E를 구해야 한다. 그다음 선형 유전체의 전기 에너지 밀도 $u = \frac{1}{2}ED$를 이용하면 전체 정전에너지 U를 구할 수 있다.

계산 과정

1. 분극식에서 전기장을 구하면 $E = \frac{P}{\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)} = \frac{4.0 \times 10^3}{\varepsilon_0(3-1)} = \frac{2.0 \times 10^3}{\varepsilon_0}$
2. 에너지 밀도는 $u = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon_r E^2 = \frac{1}{2} \cdot 3\varepsilon_0\left(\frac{2.0 \times 10^3}{\varepsilon_0}\right)^2 = \frac{6.0 \times 10^6}{\varepsilon_0}$
3. 정육면체의 부피는 $V = (10^{-2})^3 = 10^{-6}[m^3]$ 이므로 전체 에너지는 $U = uV = \frac{6.0 \times 10^6}{\varepsilon_0} \times 10^{-6} = \frac{6}{\varepsilon_0}[J]$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① X
계산 결과는 $\frac{1}{\varepsilon_0}$가 아니라 $\frac{6}{\varepsilon_0}$이다. 부피 $10^{-6}[m^3]$를 반영하지 않거나 계수 계산을 잘못하면 이런 작은 값이 나온다. 틀린 표현은 수치 $\frac{1}{\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 $\frac{6}{\varepsilon_0}$이다.

② X
$\frac{4}{\varepsilon_0}$는 총 정전에너지 대신 $\frac{1}{2}PE$만 기계적으로 적용할 때 나오는 값이다. 이 문항은 유전체 내부의 전체 전기 에너지이므로 $u = \frac{1}{2}ED = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$를 써야 한다. 틀린 표현은 수치 $\frac{4}{\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 $\frac{6}{\varepsilon_0}$이다.

③ O
분극으로부터 구한 전기장과 에너지 밀도를 차례로 대입하면 $U = \frac{6}{\varepsilon_0}[J]$가 된다. 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.

④ X
$\frac{10}{\varepsilon_0}$는 분극식의 $(\varepsilon_r - 1) = 2$를 잘못 처리하거나 에너지 밀도의 계수 $\frac{1}{2}$를 놓칠 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 수치 $\frac{10}{\varepsilon_0}$이고, 올바르게는 $\frac{6}{\varepsilon_0}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $P = \varepsilon_0\varepsilon_r E$로 잘못 외워서 $(\varepsilon_r - 1)$를 빼먹는 점이다. 또 한 변이 1cm라는 조건을 바로 부피 $1[m^3]$처럼 취급하거나, 에너지 공식을 $\frac{1}{2}ED$ 대신 다른 형태로 섞어 쓰면 ②나 ④ 같은 오답으로 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 계산형 문제는 먼저 주어진 값이 P, E, D 중 무엇인지 확인하고, 그 값에 맞는 기본 관계식으로 미지수를 하나로 정리한 뒤 에너지 밀도 $u = \frac{1}{2}ED$를 적용하면 된다. 마지막에는 길이 단위를 m로 바꾸고 부피를 세제곱으로 검산하면 된다.

암기 포인트

선형 유전체는 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$, 저장 에너지는 $\frac{1}{2}ED$, 정육면체 부피는 한 변의 세제곱으로 정리된다.

NoteBase

문 17. 전기력선의 성질에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 전기력선의 밀도는 전계의 세기와 같다.

② 전기력선은 등전위면과 직교한다.

③ 전기력선의 수는 유전율에 비례한다.

④ 전기력선은 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 향한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전기력선의 기본 성질과 유전율이 전계에 미치는 영향을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

전기력선은 각 점에서 전계의 방향과 세기를 가상적으로 나타내는 선이다. 선의 접선 방향이 전계 방향이고, 선의 밀도가 전계의 세기를 나타낸다.
등전위면은 전위가 같은 점들의 집합이며 전기력선과 항상 직교한다.
유전율은 매질이 전계를 얼마나 약하게 만드는지를 나타내는 값으로, 같은 전속이라면 전계의 세기는 유전율이 클수록 작아진다.

선지별 해설

1번 O: 전기력선의 밀도는 선이 얼마나 조밀한지를 뜻하며 전계가 강할수록 더 촘촘해진다. 따라서 밀도는 전계의 세기와 대응한다.
2번 O: 전기력선은 전위가 가장 급하게 감소하는 방향으로 향하므로 등전위면과 직교한다.
3번 X: 틀린 부분은 '유전율에 비례한다'이다. 올바르게는 전기력선의 수는 전하량 또는 전속에 비례한다. 유전율은 전기력선의 총수를 정하는 값이 아니라 같은 전속에서 전계의 세기를 바꾸는 값이다.
4번 O: 전기력선은 양전하에서 음전하로 향하므로 전위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 향한다고 볼 수 있다.

오답 포인트

③에서 전기력선의 밀도와 전기력선의 총수를 섞으면 틀리기 쉽다. 유전율은 전계의 크기와 관련된 값이지 전기력선의 수를 직접 비례시키는 값이 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

전기력선 문제는 방향, 밀도, 등전위면과의 관계, 총수의 기준을 나누어 판단한다. 밀도는 전계의 세기와 연결하고, 총수는 전하량 또는 전속과 연결하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

전기력선은 고전위에서 저전위로 향하고, 밀도는 전계 세기, 총수는 전하량 또는 전속과 연결된다.

NoteBase

문 18. 자유공간에서 평면 전자파의 전기장이 $\vec{E} = 50\cos(\omega t - 3x - 4z)\hat{k}[V/m]$로 주어질 때, 이 전자파의 파장의 값[m]은? (단, $\hat{k}$는 z축 방향으로의 단위 벡터로 가정한다.)

① 0.1π

② 0.4π

③ 3π

④ 5π

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평면 전자파의 위상항에서 파수 벡터의 크기 β를 구하고 $\lambda = 2\pi/\beta$로 파장을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전기장: $\vec{E} = 50\cos(\omega t - 3x - 4z)\hat{k}[V/m]$이다.
위상항의 공간계수: x방향 3, z방향 4이다.
구해야 할 값: 파장 λ이다.
주의할 조건: 파장은 3이나 4를 따로 쓰지 않고 파수 벡터의 크기 $\sqrt{3^2 + 4^2}$를 사용한다.

사용할 공식

$\beta = |\vec{\beta}| = \sqrt{\beta_x^2 + \beta_z^2}$, $\lambda = 2\pi/\beta$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 평면파 $\cos(\omega t - \vec{\beta} \cdot \vec{r})$에서 공간항의 계수들은 파수 벡터 성분이고, 파장은 그 크기와의 관계 $\beta = 2\pi/\lambda$로 정해진다.

계산 과정

1. 위상항 $\omega t - 3x - 4z$에서 파수 벡터는 $\vec{\beta} = 3\hat{x} + 4\hat{z}$이다.
2. 그 크기는 $\beta = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$이다.
3. 따라서 $\lambda = 2\pi/\beta = 2\pi/5 = 0.4\pi[m]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과는 $\lambda = 0.4\pi[m]$이므로 0.1π는 맞지 않는다. 틀린 표현은 '파장이 $0.1\pi m$이다'이고, 올바르게는 '파장은 $0.4\pi m$이다'이다.
② O: 파수 벡터의 크기 5를 사용하면 $\lambda = 2\pi/5 = 0.4\pi[m]$가 되므로 맞다.
③ X: 주어진 위상항의 공간계수로 얻는 파수 크기는 5이므로 이에 대응하는 파장은 $0.4\pi[m]$이다. 틀린 표현은 '파장이 $3\pi m$이다'이고, 올바르게는 '파장은 $0.4\pi m$이다'이다.
④ X: $\beta = 2\pi/\lambda$ 관계에 $\lambda = 5\pi[m]$를 넣으면 주어진 파수 크기 5와 맞지 않는다. 틀린 표현은 '파장이 $5\pi m$이다'이고, 올바르게는 '파장은 $0.4\pi m$이다'이다.

오답 포인트

위상항의 3과 4를 각각 따로 쓰거나 단순합으로 보는 실수가 잦다. 평면파의 파장은 공간계수 벡터의 크기 $\sqrt{3^2 + 4^2}$를 먼저 구한 뒤 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 전자파가 $\cos(\omega t - ax - bz)$ 꼴로 주어지면 먼저 공간계수로 파수 벡터를 만들고, 그 크기 $\sqrt{a^2 + b^2}$를 구한 뒤 $\lambda = 2\pi/\beta$를 적용하면 된다.

암기 포인트

평면파의 위상항에서 공간계수는 파수 벡터 성분이고, 파장은 $\lambda = 2\pi/|\vec{\beta}|$이다.

NoteBase

문 19. 거리 d[m]만큼 떨어진 두 개의 평행 도체에 각각 전류가 흐를 경우 도체에 작용하는 힘에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 서로 같은 방향의 전류가 흐르면 도체 사이의 자속은 증가한다.

② 서로 다른 방향의 전류가 흐르면 도체 사이에는 반발력이 발생한다.

③ 두 도체 사이의 거리가 가까울수록 두 도체가 받는 힘은 커진다.

④ 인가되는 전류의 크기가 커질수록 두 도체가 받는 힘은 커진다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 평행 도체 사이에 작용하는 자기력의 방향과 크기 관계를 이해하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

평행 도체 사이의 힘은 각 도체 전류가 만든 자기장 때문에 생긴다. 같은 방향 전류는 인력, 반대 방향 전류는 반발력을 만든다. 힘의 크기는 단위길이당 $F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$에 비례하므로 전류의 곱에 비례하고 거리에는 반비례한다.

선지별 해설

① X: 같은 방향의 전류가 흐르면 두 도체는 서로 끌어당긴다. 이때 두 도체 사이의 자기장은 서로 반대 방향이어서 도체 사이 자계가 약해지고 자속도 감소하는 쪽으로 이해하는 것이 맞다. 틀린 표현은 "도체 사이의 자속은 증가한다"이다. 올바르게는 "도체 사이의 자속은 감소한다"이다.
② O: 서로 다른 방향의 전류가 흐르면 두 도체는 서로 밀어내므로 반발력이 발생한다. 전류 방향이 반대이면 평행 도체 사이 힘의 방향도 반발로 정해진다.
③ O: 힘의 크기는 $F/L \propto 1/d$이므로 두 도체 사이 거리가 가까울수록 힘은 커진다. 거리와 힘은 반비례 관계이다.
④ O: 힘의 크기는 $F/L \propto I_1 I_2$이므로 인가 전류가 커질수록 두 도체가 받는 힘도 커진다. 두 도체 전류의 곱이 커지면 자기력도 함께 커진다.

오답 포인트

같은 방향 전류이면 인력이라는 사실은 기억해도, 도체 사이 자계가 강해지는지 약해지는지를 반대로 외우면 ①에 걸리기 쉽다. 도체 사이에서는 자기장이 서로 상쇄되는 방향이라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 전류 방향이 같은지 반대인지로 인력과 반발력을 판단한다. 그다음 힘의 크기는 $I_1 I_2$에 비례하고 d에 반비례한다는 관계를 대입하면 선지를 빠르게 정리할 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

평행 도체는 동방향 인력, 역방향 반발력, 힘의 크기는 전류에 비례하고 거리에 반비례이다.

NoteBase

문 20. 판 간격이 알려지지 않은 평행평판 전송선로가 있다. 이 전송선로를 채우고 있는 유전체는 손실이 없고 비자성체이며 비유전율 ε_r이 4이다. 오직 TEM(횡전자기파) 모드만을 전파하는 최대 동작주파수가 $15[GHz]$ 일 때, 판 간격의 값$[mm]$은? (단, 진공 중의 전자기파 속도는 $c = 3 \times 10^8[m/s]$이다.)

① 1

② 5

③ 10

④ 15

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평행평판 전송선로에서 TEM파만 전파되도록 하는 조건으로 첫 번째 고차모드의 차단주파수를 이용해 판 간격을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 최대 동작주파수는 15GHz, 비유전율은 4, 비자성체이므로 상대투자율은 1이다.
구해야 할 값: 판 간격은 d이다.
주의할 조건: 오직 TEM모드만 전파되어야 하므로 첫 번째 고차모드의 차단주파수 f_c가 15GHz와 같거나 더 커야 한다.

사용할 공식

평행평판 전송선로의 첫 번째 고차모드 차단주파수는 $f_c = \frac{v}{2d}$ 이고, 유전체 내 파속은 $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: TEM모드는 차단주파수가 0이지만, 그보다 높은 TE/TM 모드는 차단주파수가 생긴다.
따라서 최대 사용주파수에서 아직 고차모드가 발생하지 않도록 $f_c \geq 15\text{GHz}$ 조건을 둔다.

계산 과정

유전체 내 파속은 $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{4}} = 1.5 \times 10^8 \text{m/s}$ 이다.
TEM모드만 전파되는 최대 조건은 첫 번째 고차모드의 차단주파수가 동작주파수와 같아지는 경계이므로
$15 \times 10^9 = \frac{1.5 \times 10^8}{2d}$ 이다.
정리하면 $d = \frac{1.5 \times 10^8}{2 \times 15 \times 10^9} = 5 \times 10^{-3}\text{m} = 5\text{mm}$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
판 간격은 1mm가 아니라 5mm이다. 1mm는 차단주파수를 더 크게 만드는 값이므로 15GHz에서 TEM만 전파되는 최대 간격이 아니다.

② O
계산 결과 판 간격은 5mm이므로 옳다. 비유전율 4이므로 파속이 절반으로 줄어든다는 점을 반영해야 한다.

③ X
판 간격은 10mm가 아니라 5mm이다. 10mm는 유전체 효과를 무시하고 진공 중 속도 c를 그대로 넣으면 나오는 값이다.

④ X
판 간격은 15mm가 아니라 5mm이다. 15mm는 차단주파수 식의 $2d$를 빠뜨리거나 분모를 잘못 처리한 경우의 오답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 TEM모드의 차단주파수 0을 쓰는 것이 아니라, TEM만 전파되게 하는 첫 번째 고차모드의 차단주파수를 써야 한다는 점이다. 또 비유전율 4이면 파속이 $c/2$로 줄어드는데 이를 빼먹으면 10mm 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행평판 전송선로에서 오직 TEM모드만 전파된다고 하면 먼저 첫 고차모드의 차단주파수 조건을 세운다. 그다음 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$로 매질 내 파속을 구하고, 마지막에 $f_c = v/(2d)$에 대입해 간격을 계산한다.

암기 포인트

평행평판 전송선로의 고차모드 차단 조건은 $f_c = v/(2d)$, 유전체가 있으면 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$이다.

NoteBase