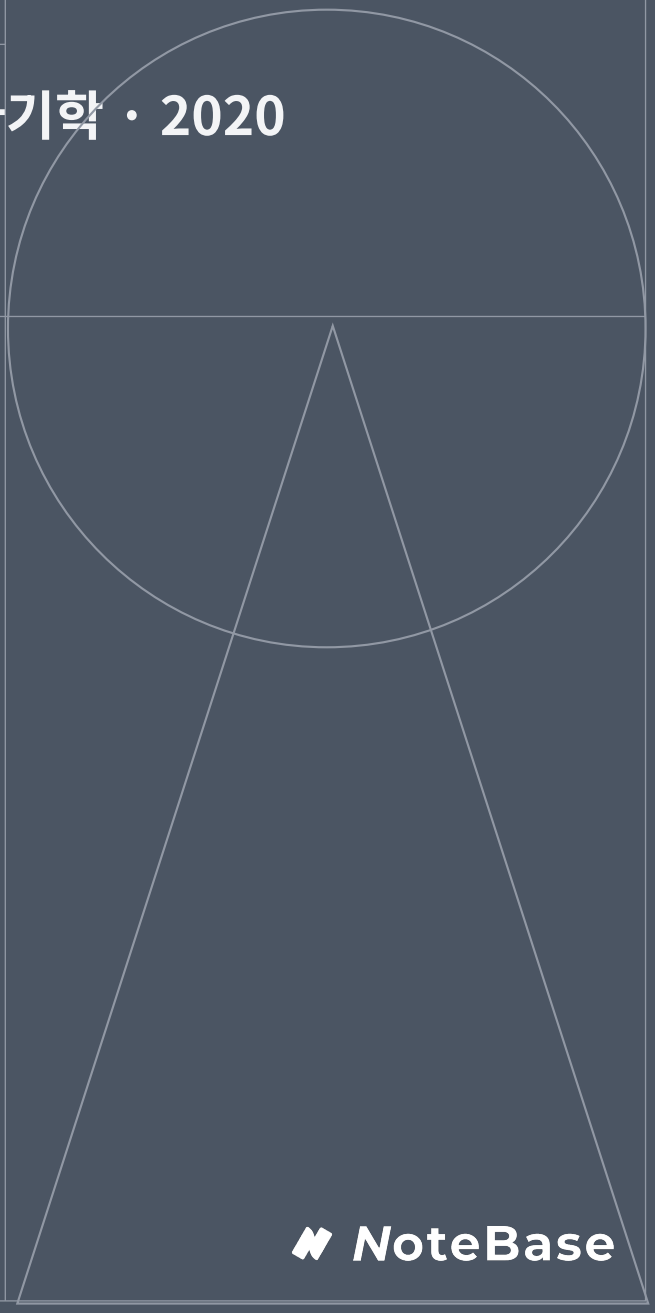
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2020



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2020

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2020

문 1. 전계 $\vec{E} = 2(x^2 + y^2)\vec{a}_x[V/m]$인 자유공간에서 점 $(3, 2, 1)[m]$에서의 전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$는? (단, 자유공간의 유전율은 ε_0이다)

① $12\,\varepsilon_0$

② $24\,\varepsilon_0$

③ $36\,\varepsilon_0$

④ $48\,\varepsilon_0$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 가우스 발산 법칙의 미분형 $\nabla \cdot \vec{E} = \rho_v/\varepsilon_0$를 이용해 전하밀도 ρ_v를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = 2(x^2 + y^2)\vec{a}_x$이다.
구해야 할 값은 점 $(3, 2, 1)$에서의 전하밀도 ρ_v이다.
자유공간이므로 유전율은 ε_0이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\rho_v = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$이다.
발산은 전계의 각 성분을 자기 좌표로 미분한 합이므로, 이 문제처럼 전계가 x방향 성분만 주어진 경우에는 E_x를 x에 대해 미분하면 된다.

계산 과정

$\vec{E} = 2(x^2 + y^2)\vec{a}_x, \quad E_x = 2(x^2 + y^2), \quad E_y = 0, \quad E_z = 0$
$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} 2(x^2 + y^2) = 4x$
$\rho_v = \varepsilon_0(4x)$
점 $(3, 2, 1)$에서는 $x = 3$이므로 $\rho_v = 4\varepsilon_0 \times 3 = 12\varepsilon_0$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 $12\varepsilon_0$이므로 옳다.
2번 X: $24\varepsilon_0$는 계산값보다 두 배 크다. 틀린 표현은 전하밀도를 $24\varepsilon_0$로 본 부분이며, 올바르게는 $12\varepsilon_0$이다.
3번 X: $36\varepsilon_0$는 $x=3$을 대입한 뒤 다시 3을 한 번 더 곱한 것처럼 계산한 값이다. 틀린 표현은 전하밀도를 $36\varepsilon_0$로 본 부분이며, 올바르게는 $12\varepsilon_0$이다.
4번 X: $48\varepsilon_0$는 발산을 잘못 구하거나 계수를 중복 반영했을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 전하밀도를 $48\varepsilon_0$로 본 부분이며, 올바르게는 $12\varepsilon_0$이다.

오답 포인트

$E_x = 2(x^2 + y^2)$에서 y^2가 들어 있어도 발산에서는 x에 대한 미분만 살아남는다는 점을 놓치기 쉽다.
$\partial y^2/\partial x = 0$인데 이를 함께 미분하거나, 미분 후 점의 좌표를 중복 대입하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

전하밀도를 묻는 전계 문제는 먼저 $\rho_v = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$를 떠올린다. 그다음 전계의 방향 성분을 확인하고 해당 좌표에 대해서만 미분한 뒤, 마지막에 점의 좌표를 한 번만 대입하면 된다.

암기 포인트

직교좌표계 전하밀도는 전계의 발산에 ε_0를 곱한 값이며, 성분이 하나면 그 성분만 자기 변수로 미분한다.

NoteBase

문 2. 라디오방송 신호가 주파수 800 [kHz]인 균일 평면파라고 할 때, 이 평면파가 비유전율 $\varepsilon_r = 6$, 비투자율 $\mu_r = 1.5$인 선형, 균질, 무손실 매질 내를 전파할 때의 속도 $[m/s]$는? (단, 공기 중에서의 전파속도는 $3.0 \times 10^8 [m/s]$이다)

① 0.5×10^8

② 1.0×10^8

③ 2.0×10^8

④ 3.0×10^8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 비유전율과 비투자율이 주어진 무손실 매질에서 평면파의 전파속도 v를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 주파수 $800kHz$, 비유전율 $\varepsilon_r = 6$, 비투자율 $\mu_r = 1.5$, 공기 중 전파속도 $c = 3.0 \times 10^8 m/s$이다.
구해야 할 값: 매질 내 전파속도 v이다.
주의할 조건: 무손실 매질의 전파속도는 주파수와 무관하고, ε_r와 μ_r의 곱의 제곱근으로 나누어 계산한다.

사용할 공식

사용 공식은 $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 선형, 균질, 무손실 매질에서 평면파의 전파속도가 매질의 투자율과 유전율에 의해 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. $\mu_r \varepsilon_r = 1.5 \times 6 = 9$ 이다.
2. $\sqrt{\mu_r \varepsilon_r} = \sqrt{9} = 3$ 이다.
3. $v = \frac{3.0 \times 10^8}{3} = 1.0 \times 10^8 m/s$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $0.5 \times 10^8 m/s$는 계산 결과와 다르다. 틀린 값 → 올바르게는 $1.0 \times 10^8 m/s$이다. 이 값은 제곱근을 취한 뒤 한 번 더 2로 나누는 식의 불필요한 추가 계산을 했을 때 나올 수 있는 오답이다.
② O: 계산 결과가 $1.0 \times 10^8 m/s$이므로 옳다.
③ X: $2.0 \times 10^8 m/s$는 계산 결과와 다르다. 틀린 값 → 올바르게는 $1.0 \times 10^8 m/s$이다. 이 값은 $\mu_r \varepsilon_r = 9$를 잘못 보고 과소하게 나눈 경우의 오답이다.
④ X: $3.0 \times 10^8 m/s$는 공기 중 전파속도 그대로이므로 매질의 영향을 반영하지 못한 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 $1.0 \times 10^8 m/s$이다.

오답 포인트

주파수 $800kHz$가 주어져 있어도 이 문제에서 속도 계산에는 쓰이지 않는다. 출제자가 노린 함정은 주파수에 시선을 빼앗기거나, $\mu_r \varepsilon_r$를 구해 놓고 제곱근을 빠뜨리는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

무손실 매질의 전파속도 문제는 먼저 $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$ 공식을 떠올리고, 다음에 $\mu_r \varepsilon_r$를 곱한 뒤 반드시 제곱근까지 취해 계산하면 된다.

암기 포인트

전파속도는 c를 $\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$로 나눈 값이며, 주파수가 아니라 매질 상수로 결정된다.

NoteBase

문 3. $z<0$**에서 매질1(**$\mu_1=4\mu_0$**)과** $z\geq 0$**에서 매질2(**$\mu_2=2\mu_0$**)가** xy**평면을 경계로 접해 있다. 매질1에 자계** $\vec{H}_1=3\vec{a}_x+4\vec{a}_y+6\vec{a}_z[A/m]$**가 존재할 때, 매질2에서 자계** $\vec{H}_2[A/m]$**는? (단, 자유공간의 투자율은** μ_0 **이다)**

① $3\vec{a}_x+4\vec{a}_y+6\vec{a}_z$

② $3\vec{a}_x+4\vec{a}_y+12\vec{a}_z$

③ $6\vec{a}_x+4\vec{a}_y+6\vec{a}_z$

④ $6\vec{a}_x+8\vec{a}_y+12\vec{a}_z$

정답 2번

출제 포인트

자기장의 경계조건에서 접선 성분의 H는 연속이고, 법선 성분의 $B=\mu H$는 연속이라는 점을 이용해 $\vec{H}_2$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\mu_1=4\mu_0, \mu_2=2\mu_0, \vec{H}_1=3\vec{a}_x+4\vec{a}_y+6\vec{a}_z[A/m]$이다.
구해야 할 값: 매질2의 자기장 $\vec{H}_2$이다.
주의할 조건: 경계면은 xy평면이므로 x, y 성분은 접선 성분이고 z 성분은 법선 성분이다.

사용할 공식

접선 성분은 자유 표면전류가 없으면 연속이므로 $\vec{H}_{2t}=\vec{H}_{1t}$이다.
법선 성분은 $\vec{B}$가 연속이므로 $\mu_1 H_{1n}=\mu_2 H_{2n}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 서로 다른 투자율을 가진 두 매질의 경계면에서 주어진 것은 $\vec{H}_1$이고, 구해야 할 것은 반대편 매질의 $\vec{H}_2$이므로 경계조건을 성분별로 적용해야 한다.

계산 과정

1. 접선 성분은 $\vec{H}_{1t}=3\vec{a}_x+4\vec{a}_y$이므로 $\vec{H}_{2t}=3\vec{a}_x+4\vec{a}_y$이다.
2. 법선 성분은 $H_{1n}=6\vec{a}_z$이다.
3. $\mu_1 H_{1n}=\mu_2 H_{2n}$에서
$H_{2n}=\frac{\mu_1}{\mu_2}H_{1n}=\frac{4\mu_0}{2\mu_0}\cdot 6\vec{a}_z=12\vec{a}_z$
4. 따라서 $\vec{H}_2=3\vec{a}_x+4\vec{a}_y+12\vec{a}_z[A/m]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $3\vec{a}_x + 4\vec{a}_y + 6\vec{a}_z$는 $\vec{H}_1$을 그대로 옮긴 값이다. 접선 성분은 그대로이지만 법선 성분은 투자율 비 $\mu_1/\mu_2 = 2$만큼 바뀌어 $12\vec{a}_z$가 되어야 한다. 틀린 표현은 $6\vec{a}_z$이고, 올바르게는 $12\vec{a}_z$이다.
② O: 접선 성분 $3\vec{a}_x + 4\vec{a}_y$는 그대로 유지되고, 법선 성분은 $6\vec{a}_z \rightarrow 12\vec{a}_z$로 바뀌므로 $3\vec{a}_x + 4\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$가 맞다.
③ X: $6\vec{a}_x + 4\vec{a}_y + 6\vec{a}_z$는 x 성분을 잘못 두 배로 만든 값이다. x 성분은 접선 성분이므로 변하지 않는다. 틀린 표현은 $6\vec{a}_x$이고, 올바르게는 $3\vec{a}_x$이다. 또한 z 성분도 $12\vec{a}_z$가 되어야 한다.
④ X: $6\vec{a}_x + 8\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$는 모든 성분을 투자율 비만큼 두 배로 본 값이다. 경계조건에서 두 배가 되는 것은 법선 성분만이다. 틀린 표현은 $6\vec{a}_x$, $8\vec{a}_y$이고, 올바르게는 $3\vec{a}_x$, $4\vec{a}_y$이다.

오답 포인트

경계면이 xy평면이라는 말을 보고도 어떤 성분이 접선이고 어떤 성분이 법선인지 섞어 버리기 쉽다. 이 문항은 접선 성분까지 투자율 비로 바꾸는 실수와, 반대로 법선 성분을 그대로 두는 실수를 동시에 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

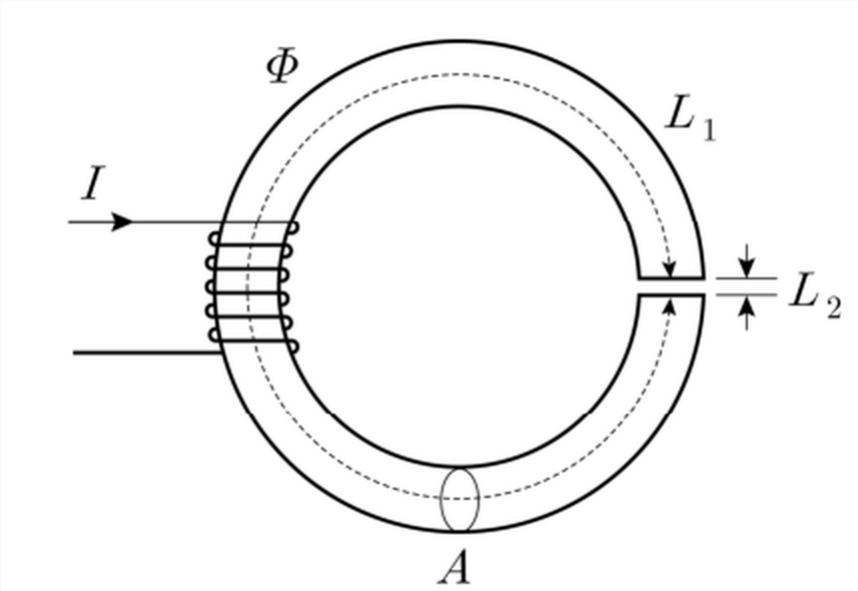
경계면 문제가 나오면 먼저 경계면의 방향으로 접선 성분과 법선 성분을 분리한다. 그다음 접선 성분에는 H 연속, 법선 성분에는 $B = \mu H$ 연속을 적용하면 된다.

암기 포인트

H의 접선은 그대로, B의 법선은 그대로이므로 법선 H는 투자율에 반비례하여 바뀐다.

NoteBase

문 4. 그림과 같이 길이 $L_1 = 2.5[m]$, 투자율 $\mu = 100\mu_0$인 자성체 코어 토로이드에 권선수 100회의 도선이 촘촘히 감겨 있다. 공극의 길이 $L_2 = 0.25[mm]$, 코어와 공극의 단면적 $A = 2.5[cm^2]$일 때, 전류 $I = 1.01[A]$를 인가하는 경우 발생하는 자속 $\Phi[Wb]$은? (단, μ_0는 자유공간의 투자율이고, 공극에서 누설자속은 없다)



① $0.01\mu_0$

② $0.1\mu_0$

③ μ_0

④ $10\mu_0$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 코어와 공극의 자기저항을 직렬로 합한 뒤 $\Phi = \frac{NI}{R}$로 자속을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $L_1 = 2.5m$, $L_2 = 0.25mm = 2.5 \times 10^{-4}m$, $A = 2.5cm^2 = 2.5 \times 10^{-4}m^2$, $\mu = 100\mu_0$, $N = 100$, $I = 1.01A$이다.
구해야 할 값: 자속 Φ이다.
주의할 조건: 코어와 공극의 단면적은 같고, 공극에서 누설자속이 없으므로 자기저항을 직렬합으로 계산한다.

NoteBase

사용할 공식

$\mathcal{R} = \frac{L_1}{\mu A} + \frac{L_2}{\mu_0 A}, \qquad \Phi = \frac{NI}{\mathcal{R}}$

이 공식을 쓰는 이유는 토로이드 코어와 공극을 자속이 같은 하나의 직렬 자기회로로 볼 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 코어의 자기저항은

$\mathcal{R}_1 = \frac{L_1}{\mu A} = \frac{2.5}{100\mu_0 \times 2.5 \times 10^{-4}} = \frac{100}{\mu_0}$

이다.

2. 공극의 자기저항은

$\mathcal{R}_2 = \frac{L_2}{\mu_0 A} = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{\mu_0 \times 2.5 \times 10^{-4}} = \frac{1}{\mu_0}$

이다.

3. 전체 자기저항은

$\mathcal{R} = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 = \frac{101}{\mu_0}$

이다.

4. 기자력은 $NI = 100 \times 1.01 = 101$이므로 자속은

$\Phi = \frac{NI}{\mathcal{R}} = \frac{101}{101/\mu_0} = \mu_0$

이다.

선지별 해설

① X

- 자속을 $0.01\mu_0$로 본 값은 전체 자기저항을 실제보다 100배 크게 보거나 권선수 100회를 반영하지 않은 계산이다. 틀린 표현은 자속이 $0.01\mu_0$라는 점이고, 올바르게는 자속이 μ_0이다.

② X

- 자속을 $0.1\mu_0$로 본 값은 단위 변환이나 자기저항 합산에서 한 자릿수 오차가 난 경우에 해당한다. 틀린 표현은 자속이 $0.1\mu_0$라는 점이고, 올바르게는 자속이 μ_0이다.

③ O

- 계산 결과 전체 자기저항이 $\frac{101}{\mu_0}$, 기자력이 101이므로 $\Phi = \mu_0$가 된다. 따라서 3번이 옳다.

④ X

- 자속을 $10\mu_0$로 본 값은 공극 자기저항을 과소평가하거나 L_2의 단위를 잘못 환산한 경우에 나온다. 틀린 표현은 자속이 $10\mu_0$라는 점이고, 올바르게는 자속이 μ_0이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 $L_2 = 0.25mm$와 $A = 2.5cm^2$를 각각 m, m^2로 바꾸지 않거나, 코어 투자율이 $100\mu_0$라는 조건을 공극에도 그대로 적용하는 데 있다. 공극은 항상 μ_0로 계산해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

자기회로 계산 문제는 먼저 길이와 면적을 SI 단위로 통일하고, 코어와 공극의 자기저항을 각각 구한 뒤, 마지막에 직렬합 자기저항으로 $\Phi = \frac{NI}{\mathcal{R}}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

자기회로는 $\Phi = \frac{NI}{\sum \mathcal{R}}$이고, 공극의 자기저항은 투자율이 작아 지배적으로 크게 작용한다.

NoteBase

문 5. 벡터자기포텐셜 $\vec{A} = -\frac{\rho^2}{4}\vec{a}_z$[Wb/m]인 자유공간에서, 1≤ρ≤2 [m], ϕ=(π)/(2), 0≤ z≤4 [m]인 영역의 면을 지나가는 자속[Wb]의 크기는?

① 3

② 6

③ 30

④ 60

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 벡터자기포텐셜 $\vec{A}$에서 자계 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$를 구한 뒤, $\phi = \pi/2$ 평면을 지나는 자속 Φ를 면적분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 벡터자기포텐셜은 $\vec{A} = -(\rho^2/4)\vec{a}_z$이다.
구해야 할 값은 $1 \le \rho \le 2, \phi = \pi/2, 0 \le z \le 4$인 면을 지나는 자속의 크기이다.
주의할 조건은 ϕ =상수인 면의 법선이 $\pm\vec{a}_\phi$ 방향이므로 면적요소가 $d\vec{S} = \vec{a}_\phi d\rho dz$ 꼴이라는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}, B_\phi = -\partial A_z/\partial\rho, \Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 벡터자기포텐셜이 주어지면 먼저 회전으로 자계를 구하고, 그 자계를 해당 면의 법선 방향으로 면적분해야 자속이 나오기 때문이다.

계산 과정

1. $A_z = -(\rho^2/4)$이므로 $B_\phi = -\partial A_z/\partial\rho = -\partial(-(\rho^2/4))/\partial\rho = \rho/2$이다.
2. 따라서 $\phi = \pi/2$ 면을 지나는 자속은 $\Phi = \int_0^4\int_1^2 (\rho/2)d\rho dz$ 이다.
3. 적분하면 $\Phi = \int_0^4 [\rho^2/4]_1^2 dz = \int_0^4 (4/4 - 1/4)dz = \int_0^4 3/4 dz = 3$ 이다. 따라서 자속의 크기는 $3Wb$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
계산 결과 자속은 $3Wb$이므로 맞는 선지이다.
② X
이 선지는 자속을 $6Wb$로 본 것이다. 실제 계산값은 $3Wb$이므로 틀리다. 틀린 표현은 '자속이 6'이라는 판단이고, 올바르게는 '자속의 크기는 $3Wb$이다'이다.
③ X
이 선지는 자속을 $30Wb$로 본 것이다. $B_\phi = \rho/2$를 면적분하면 $3Wb$만 나오므로 틀리다. 틀린 표현은 '자속이 30'이라는 판단이고, 올바르게는 '자속의 크기는 $3Wb$이다'이다.
④ X
이 선지는 자속을 $60Wb$로 본 것이다. 주어진 구간 $1 \le \rho \le 2$, $0 \le z \le 4$에서의 면적분 결과와 전혀 맞지 않는다. 틀린 표현은 '자속이 60'이라는 판단이고, 올바르게는 '자속의 크기는 $3Wb$이다'이다.

오답 포인트

벡터자기포텐셜이 주어지면 바로 면적만 곱하는 실수가 잦다. 이 문제는 먼저 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$를 구해야 하고, $\phi =$ 상수면의 면적요소가 $d\rho dz$라는 점까지 맞춰야 한다. 특히 $B_\phi = -\partial A_z/\partial \rho$의 부호와 $1/2$ 계수를 놓치면 ② 같은 오답이 나오기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터포텐셜로 자속을 묻는 계산형 문제는 '회전으로 자계 계산 → 면의 고정 좌표 확인 → 그 좌표에 맞는 면적요소 선택 → 면적분' 순서로 판단하면 된다. 원통좌표에서 ϕ =상수면이면 $\vec{a}_\phi$ 방향 면이라는 점을 먼저 잡으면 계산이 정리된다.

암기 포인트

$\vec{A}$가 주어지면 자속은 바로 나오지 않고, 반드시 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$를 거쳐 면적분해야 한다.

NoteBase

문 6. 무손실 매질에서 전파하는 균일 평면파의 전계 $\vec{E} = 10\cos(10^8 t + 3z)\vec{a}_y[V/m]$로 주어질 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 평면파의 진행방향은 $+\vec{a}_y$이다.

② 평면파의 포인팅벡터의 방향은 $+\vec{a}_y$이다.

③ 평면파의 주파수는 $100[MHz]$이다.

④ 이 평면파는 자유공간이 아닌 매질에서 전파하고 있다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 균일 평면파 식 $\vec{E} = 10\cos(10^8 t + 3z)\vec{a}_y$에서 전계 방향, 진행방향, 주파수, 위상속도를 읽어 매질을 판정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = 10\cos(10^8 t + 3z)\vec{a}_y[V/m]$이다.
각주파수는 $\omega = 10^8 rad/s$, 위상상수는 $\beta = 3 rad/m$이다.
전계 방향은 $+\vec{a}_y$이고, 파의 진행방향은 위상항의 부호로 판단한다.

사용할 공식

진행방향 판정은 $\cos(\omega t - \beta z)$이면 $+z$ 방향, $\cos(\omega t + \beta z)$이면 $-z$ 방향이다.
주파수는 $f = \omega/(2\pi)$이다.
위상속도는 $v_p = \omega/\beta$이고, 자유공간이면 $v_p = c$이며 $\beta = \omega/c$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 식이 시간항과 위치항을 모두 포함한 표준 평면파 식이기 때문이다.

계산 과정

1. 위상항이 $10^8 t + 3z$이므로 이 파는 $-\vec{a}_z$ 방향으로 진행한다.
2. 주파수는 $f = \omega/(2\pi) = 10^8/(2\pi) \approx 1.59 \times 10^7 Hz$이므로 약 $15.9 MHz$이다.
3. 위상속도는 $v_p = \omega/\beta = 10^8/3 \approx 3.33 \times 10^7 m/s$이다.
4. 자유공간이라면 $c \approx 3.0 \times 10^8 m/s$, $\beta = \omega/c \approx 0.333 rad/m$이어야 한다. 실제 $\beta = 3 rad/m$이므로 자유공간이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X
평면파의 진행방향은 $+\vec{a}_y$가 아니라 $-\vec{a}_z$이다. $+\vec{a}_y$는 전계 $\vec{E}$의 방향이다. 틀린 표현은 '진행방향은 $+\vec{a}_y$이다'이고, 올바르게는 '진행방향은 $-\vec{a}_z$이다'이다.

② X
포인팅벡터 $\vec{S}=\vec{E}\times\vec{H}$의 방향은 에너지 전파방향과 같으므로 진행방향과 같은 $-\vec{a}_z$이다. $+\vec{a}_y$는 여전히 전계 방향일 뿐이다. 틀린 표현은 '포인팅벡터의 방향은 $+\vec{a}_y$이다'이고, 올바르게는 '포인팅벡터의 방향은 $-\vec{a}_z$이다'이다.

③ X
문제에서 주어진 값은 주파수 f가 아니라 각주파수 $\omega=10^8 rad/s$이다. 따라서 $f=\omega/(2\pi)\approx 15.9MHz$이다. 틀린 표현은 '주파수는 $100MHz$이다'이고, 올바르게는 '주파수는 약 $15.9MHz$이다'이다.

④ O
위상상수 $\beta=3rad/m$이면 위상속도는 $v_p=\omega/\beta\approx 3.33\times10^7 m/s$이다. 이는 자유공간의 빛의 속도보다 작고, 자유공간의 $\beta\approx 0.333rad/m$와도 다르므로 자유공간이 아닌 매질에서 전파하는 평면파라는 설명이 옳다.

오답 포인트

전계 방향과 파의 진행방향을 같은 것으로 혼동하기 쉽다. 또한 ω를 그대로 f로 읽어 $100MHz$라고 착각하기 쉽다. 이 문항은 위상항의 부호와 ω-f 변환을 동시에 흔드는 형태이다.

다시 나오면 이렇게 판단

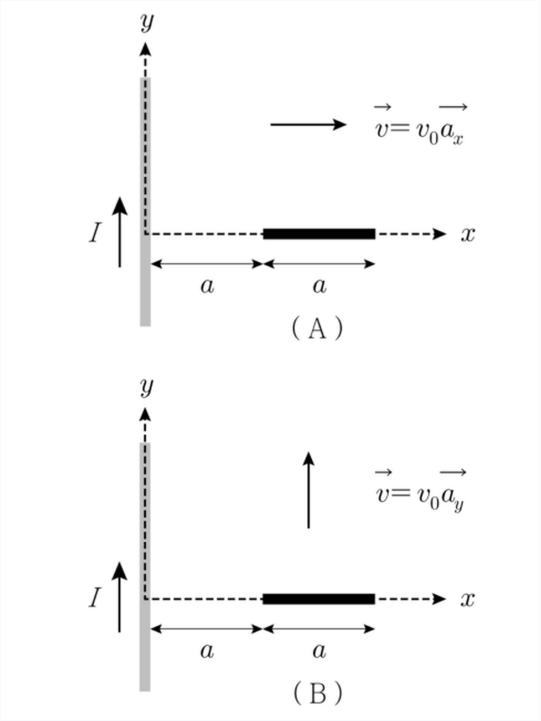
평면파 식이 나오면 먼저 $\omega t\pm\beta z$의 부호로 진행방향을 정하고, 다음에 전계의 단위벡터로 편파방향을 구분한다. 그 뒤 $f=\omega/(2\pi)$, $v_p=\omega/\beta$를 계산해 자유공간인지 다른 매질인지 판정하면 된다.

암기 포인트

$\omega t-\beta z$는 $+z$ 진행, $\omega t+\beta z$는 $-z$ 진행이다. $+\vec{a}_y$는 전계 방향이고 진행방향이 아니다. $f=\omega/(2\pi)$, $v_p=\omega/\beta<c$이면 자유공간이 아니다.

NoteBase

문 7. 그림 (A), (B)와 같이 자유공간에 놓인 무한길이 직선도선에 전류 $I[A]$가 흐르고 있다. 길이 $a[m]$의 막대도체가 일정한 속도 $\vec{v}[m/s]$로 이동할 때, 각각의 막대도체에 유도되는 기전력 $[V]$의 크기는? (단, 자유공간의 유전율과 투자율은 각각 ε_0와 μ_0이다)



① (A): 0, (B): 0

② (A): 0, (B): $\frac{v_0 \mu_0 I}{2\pi} \ln 2$

③ (A): $\frac{v_0 \mu_0 I}{2\pi} \ln 2$, (B): 0

④ (A): $\frac{v_0 \mu_0 I}{2\pi} \ln 2$, (B): $\frac{v_0 \mu_0 I}{2\pi} \ln 2$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선도선의 자기장 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$과 운동기전력 $\mathcal{E} = \int (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$을 이용해 두 경우의 기전력 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전류 I, 막대 길이 a, 속도 크기 v_0이다.

막대도체는 $x = a$부터 $x = 2a$까지 놓여 있다.

직선도선이 만드는 자기장은 도선에서 거리 x인 점에서 $B(x) = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$이고, 그림의 막대 위치에서는 종이 안쪽 방향이다.

(A)는 막대가 $+x$ 방향으로 움직이고, (B)는 $+y$ 방향으로 움직인다.

NoteBase

사용할 공식

운동기전력은 $\mathcal{E} = \int (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 막대가 자기장 속을 이동하므로 전하가 $\vec{v} \times \vec{B}$ 힘을 받고, 이 힘의 막대 길이 방향 성분만이 양 끝 전위차를 만들기 때문이다.
또한 자기장 크기 B가 x에 따라 달라지므로 (B)에서는 vBa로 바로 쓰지 않고 막대 전 구간에 대해 적분해야 한다.

계산 과정

(A)에서는 $\vec{v} = v_0\hat{a}_x, \vec{B} = -B\hat{a}_z$이므로 $\vec{v} \times \vec{B}$는 $+y$ 방향이다. 이는 막대 방향 x축과 수직이므로 $(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = 0$이다. 따라서 (A)의 기전력은 0이다.
(B)에서는 $\vec{v} = v_0\hat{a}_y, \vec{B} = -B\hat{a}_z$이므로 $\vec{v} \times \vec{B}$는 $-x$ 방향이 되어 막대 방향과 나란하다. 따라서 기전력의 크기는
$|\mathcal{E}_B| = \int_a^{2a} v_0 B(x)dx = \int_a^{2a} v_0 \frac{\mu_0 I}{2\pi x}dx = \frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\int_a^{2a}\frac{1}{x}dx = \frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\ln 2$
이다.

선지별 해설

① X: (A)는 0이 맞지만, (B)는 막대 길이 방향으로 $\vec{v} \times \vec{B}$ 성분이 생겨 기전력이 유도된다. 틀린 표현은 '(B) = 0'이고, 올바르게는 '(B) = $\frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\ln 2$'이다.
② O: (A)는 막대가 자기력 방향과 직교하는 방향으로만 힘을 받아 길이 방향 전위차가 생기지 않으므로 0이다. (B)는 $x = a$부터 $x = 2a$까지 $B \propto \frac{1}{x}$를 적분하면 $\frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\ln 2$가 되어 옳다.
③ X: (B)를 0으로 본 것이 틀리다. (B)에서는 막대가 $+y$ 방향으로 움직여 $\vec{v} \times \vec{B}$가 막대 축 방향으로 작용하므로 기전력이 0이 아니다. 틀린 표현은 '(B) = 0'이고, 올바르게는 '(B) = $\frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\ln 2$'이다.
④ X: (B)는 맞지만, (A)는 틀리다. (A)에서 기전력이 생기려면 $\vec{v} \times \vec{B}$가 막대 길이 방향 성분을 가져야 하는데 실제로는 $+y$ 방향이어서 막대와 수직이다. 틀린 표현은 '(A) = $\frac{v_0\mu_0 I}{2\pi}\ln 2$'이고, 올바르게는 '(A) = 0'이다.

오답 포인트

막대가 움직인다고 해서 항상 기전력이 생기는 것은 아니다. 먼저 $\vec{v} \times \vec{B}$가 막대 길이 방향 성분을 갖는지 확인해야 한다.
또한 (B)처럼 자기장이 위치에 따라 달라지면 B를 일정하다고 보고 vBa로 처리하면 오답이 된다. 이 문제는 $\int_a^{2a}\frac{1}{x}dx = \ln 2$를 끌어내는지가 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직선도선과 운동도체 문제가 나오면 먼저 자기장 방향을 잡고, 다음으로 $\vec{v} \times \vec{B}$가 도체 길이 방향인지 확인한다. 길이 방향 성분이 없으면 기전력은 0이고, 길이 방향 성분이 있으면 $\mathcal{E} = \int (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$로 적분한다.

NoteBase

암기 포인트

운동기전력은 $\vec{v} \times \vec{B}$의 도체축 성분으로 결정된다. 자기장이 균일하지 않으면 vBa 대신 $\int vBdl$을 쓴다.

문 8. 전도성이 좋은 매질($\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \gg 1$)내에서 전자기파의 위상상수(phase constant) $\beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$로 주어질 때, 군속도(group velocity) v_g는? (단, ω는 전자기파의 각주파수이며, 매질의 유전율 ε, 투자율 μ, 도전율 σ는 주파수와 무관하다)

① $\sqrt{\frac{\mu\sigma}{2\omega}}$
② $\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$
③ $2\sqrt{\frac{\mu}{2\omega\sigma}}$
④ $2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 도체 내 전자기파의 위상정수 β를 ω의 함수로 보고 $v_g = \frac{d\omega}{d\beta}$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$
구해야 할 값: 군속도 v_g
주의할 조건: μ, σ는 주파수와 무관한 상수이므로 $\beta \propto \sqrt{\omega}$로 미분하면 된다.

사용할 공식

사용 공식은 $v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = \left(\frac{d\beta}{d\omega}\right)^{-1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 위상정수 β가 각주파수 ω의 함수로 직접 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. $\beta = \sqrt{\frac{\mu\sigma}{2}}\sqrt{\omega}$로 정리한다.
2. $\frac{d\beta}{d\omega} = \sqrt{\frac{\mu\sigma}{2}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\omega}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu\sigma}{2\omega}}$이다.
3. 따라서 $v_g = \left(\frac{d\beta}{d\omega}\right)^{-1} = 2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$이다.

선지별 해설

① X: $\sqrt{\frac{\mu\sigma}{2\omega}}$는 정답식의 역형태 쪽으로 잘못 본 값이다. 군속도는 $\frac{d\omega}{d\beta}$이므로 미분 뒤 역수를 취해야 하며, 올바르게는 $2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$이다.
② X: $\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$는 최종식에서 앞의 계수 2를 빠뜨린 값이다. $\frac{d\beta}{d\omega}$에 생기는 $\frac{1}{2}$를 역수로 바꾸면 2가 반드시 살아야 하므로, 올바르게는 $2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$이다.
③ X: $2\sqrt{\frac{\mu}{2\omega\sigma}}$는 역수를 취하는 과정에서 $\mu\sigma$의 위치를 잘못 뒤집은 값이다. 최종식은 $\mu\sigma$가 분모에 함께 들어가야 하므로, 올바르게는 $2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$이다.
④ O: 계산 결과 군속도는 $v_g = 2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

군속도를 $v_g = \frac{d\omega}{d\beta}$가 아니라 $\frac{d\beta}{d\omega}$로 그대로 쓰거나, 미분에서 나온 $\frac{1}{2}$를 역수 처리하지 않으면 ①, ② 같은 오답이 나온다. ③은 역수 처리 중 $\mu\sigma$의 위치를 따로 뒤집어 생기는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

β가 ω의 함수로 주어지면 먼저 상수와 ω를 분리해 ω에 대해 미분한 뒤, 군속도는 그 결과의 역수라는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

군속도는 $v_g = \frac{d\omega}{d\beta}$이며, $\beta \propto \sqrt{\omega}$이면 미분 뒤 역수를 취해 계수 2가 살아난다.

NoteBase

문 9. 자유공간에서 전계 $\vec{E} = (\frac{x}{2} + 4y^2)\vec{a}_x + 2x\vec{a}_y[V/m]$로 주어질 때, $-20[\mu C]$의 전하를 점$(0, 0, 0)$[m]→점$(4, 0, 0)$[m]→점$(4, 2, 0)$[m]으로 이동할 경우 소모된 일의 양$[\mu J]$은?

① 100

② 200

③ 400

④ 800

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 주어진 경로를 따라 선적분 $\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$을 구한 뒤 전하가 이동할 때 외력이 공급해야 하는 일의 크기를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = (\frac{x}{2} + 4y^2)\vec{a}_x + 2x\vec{a}_y$이다.
전하는 $-20\mu C$이다.
이동 경로는 $(0, 0, 0) \rightarrow (4, 0, 0) \rightarrow (4, 2, 0)$이다.
구해야 할 값은 소모된 일의 양, 즉 외력이 공급한 일의 크기이다.

사용할 공식

전계가 전하에 한 일은 $W_f = q\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$이고, 외력이 공급한 일의 크기는 $W_{ext} = -W_f$이다.
이 문제는 경로가 두 직선 구간으로 주어졌으므로 각 구간에서 $d\vec{l}$ 방향 성분만 골라 선적분하면 된다.

계산 과정

첫째 구간에서는 $y = 0$, $d\vec{l} = dx\vec{a}_x$이므로
$\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_0^4 (\frac{x}{2} + 4 \cdot 0^2)dx = \int_0^4 \frac{x}{2}dx = 4$
둘째 구간에서는 $x = 4$, $d\vec{l} = dy\vec{a}_y$이므로
$\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_0^2 2xdy = \int_0^2 8dy = 16$
따라서 전체 선적분은 $4 + 16 = 20$이다.
전계가 전하에 한 일은 $W_f = (-20\mu C) \times 20 = -400\mu J$이다.
음전하를 그 경로로 이동시키려면 외력이 그만큼의 일을 공급해야 하므로 소모된 일의 양은 $400\mu J$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $100\mu J$가 아니라 $400\mu J$이다. 전체 선적분 20을 전하량과 곱한 결과의 4분의 1만 반영한 값에 해당한다.
2번 X: $200\mu J$가 아니라 $400\mu J$이다. 한 구간의 기여만 보거나 전하량 또는 선적분값을 절반으로 잘못 적용한 경우의 오답이다.
3번 O: 첫째 구간 적분값이 4, 둘째 구간 적분값이 16이므로 전체는 20이다. 여기에 $-20\mu C$를 곱하면 전계가 한 일은 $-400\mu J$이고, 소모된 일의 양은 $400\mu J$가 된다.
4번 X: $800\mu J$가 아니라 $400\mu J$이다. 두 구간 적분을 합친 뒤 다시 2배로 중복 계산한 값에 가깝다.

오답 포인트

전계가 한 일 W_f와 외력이 공급한 일의 크기 W_{ext}를 구분하지 않으면 부호에서 흔들린다. 또 각 구간에서 $\vec{dl}$과 같은 방향 성분만 적분해야 하는데, 이를 놓치면 첫째 구간의 $\vec{a}_y$ 성분이나 둘째 구간의 $\vec{a}_x$ 성분을 잘못 포함하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

경로적분 문제는 구간을 나눈 뒤 각 구간에서 움직이는 방향의 성분만 적분하고, 마지막에 전하의 부호까지 반영해 전계가 한 일인지 외력이 공급한 일의 크기인지 구분해서 판단한다.

암기 포인트

선적분은 경로별로 $\vec{E}\cdot\vec{dl}$을 더하고, 음전하의 소모 일량은 전계가 한 일의 부호를 뒤집은 크기로 정리된다.

NoteBase

문 10. 유전체의 성질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유전체는 선형, 균질, 완전유전체이고, 자유공간의 유전율은 ε_0, 유전체의 비유전율은 ε_r이다)

① 유전체의 유전율은 자유공간의 유전율과 유전체 비유전율의 곱이다.

② 절연강도란 유전체가 절연파괴 없이 견디어 낼 수 있는 최대 전계의 세기이다.

③ 공기 중에서 전계를 유전체($\varepsilon_r \neq 1$)에 가하더라도 유전체 내부의 총 전계는 변하지 않는다.

④ 등방성 유전체에서 전속밀도의 방향과 전계 방향은 일치한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유전율, 비유전율, 절연강도, 분극에 따른 내부 전계 변화의 기본 개념을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

유전율은 매질이 전기장을 얼마나 허용하는지를 나타내는 값이며 선형 유전체에서는 $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$로 표현된다.
비유전율은 유전체 유전율을 자유공간 유전율로 나눈 값이므로 $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$, 따라서 $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$이다.
절연강도는 유전체가 절연파괴 없이 견딜 수 있는 최대 전계의 세기이다.

선지별 해설

1번 O: 유전체의 유전율은 자유공간 유전율 ε_0와 비유전율 ε_r의 곱으로 나타내므로 맞는 설명이다.
2번 O: 절연강도는 절연파괴가 일어나기 전까지 유전체가 견딜 수 있는 최대 전계의 세기를 뜻하므로 맞는 설명이다.
3번 X: 틀린 표현은 "유전체 내부의 총 전계는 변하지 않는다"이다. 실제로는 유전체에 전계를 가하면 분극이 일어나고, 그에 따른 분극전계가 형성되어 내부 전계는 공기 중과 같게 유지되지 않는다. 올바르게는 "유전체 내부의 전계는 분극의 영향을 받아 외부에서 가한 전계와 달라진다"이다.
4번 O: 등방성 유전체에서는 유전율이 방향에 따라 달라지지 않으므로 $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$에서 전속밀도와 전계는 같은 방향이 된다.

오답 포인트

3번은 "전계를 가해도 내부 총 전계는 변하지 않는다"라는 문장을 그대로 받아들이면 틀리기 쉽다. 유전체 문제에서는 분극이 생기면 내부 전계가 달라진다는 점을 먼저 떠올려야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 선지는 먼저 $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$ 관계를 확인하고, 다음으로 분극이 내부 전계에 영향을 주는지, 마지막으로 등방성인지 이방성인지를 기준으로 방향 관계를 판단한다.

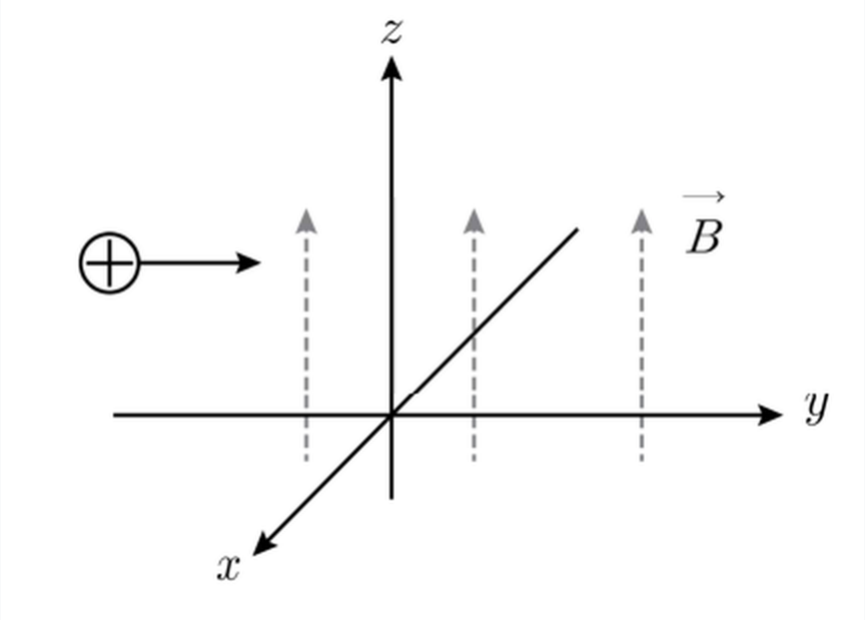
NoteBase

암기 포인트

유전체는 분극 때문에 내부 전계가 달라지고, 등방성 유전체에서는 **D**와 **E**의 방향이 일치한다.

NoteBase

문 11. 특정 순간에 전계 $\vec{E} = 0[V/m]$, 균일한 자속밀도 $\vec{B} = 4\mathbf{a}_z[Wb/m^2]$가 있는 공간에 전하량 $1[\mu C]$, 질량 $1[g]$인 전하입자가 $10\mathbf{a}_y[m/s]$의 속도로 들어갈 때, 자계에 의해 전하입자가 갖는 가속도$[m/s^2]$는?



① $-0.04\mathbf{a}_x$

② $-0.04\mathbf{a}_y$

③ $0.04\mathbf{a}_x$

④ $0.04\mathbf{a}_y$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$와 $\vec{a} = \vec{F}/m$을 이용해 가속도의 방향과 크기를 함께 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{E} = 0$, $\vec{B} = 4\vec{a}_z[Wb/m^2]$, 전하량 $q = 1\mu C = 10^{-6}C$, 질량 $m = 1g = 10^{-3}kg$, 속도 $\vec{v} = 10\vec{a}_y[m/s]$이다.
구해야 할 값은 자계에 의한 가속도 $\vec{a}$이다.
전계가 0이므로 전기력은 없고 자기력만 작용한다는 점이 핵심 조건이다.

사용할 공식

$\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v} \times \vec{B})$
전하입자에 작용하는 힘은 로런츠 힘 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$인데, 이 문제는 $\vec{E} = 0$이므로 자기력 항만 남는다.

NoteBase

계산 과정

1. 속도와 자속밀도를 대입하면 $\vec{v} \times \vec{B} = (10\vec{a}_y) \times (4\vec{a}_z) = 40(\vec{a}_y \times \vec{a}_z)$이다.
2. 오른손 좌표계에서 $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$이므로 $\vec{v} \times \vec{B} = 40\vec{a}_x$이다.
3. 전하량과 질량의 비는 $\frac{q}{m} = \frac{10^{-6}}{10^{-3}} = 10^{-3}$이다.
4. 따라서 $\vec{a} = 10^{-3} \cdot 40\vec{a}_x = 0.04\vec{a}_x [m/s^2]$이다.

선지별 해설

① X
틀린 표현은 부호가 음수라는 점이다. 계산 결과는 $+0.04\vec{a}_x$이므로 올바르게는 $0.04\vec{a}_x$이다.

② X
틀린 표현은 방향이 $\vec{a}_y$이고 부호도 음수라는 점이다. 자기력 방향은 $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$이므로 올바르게는 $0.04\vec{a}_x$이다.

③ O
계산 결과 $\vec{a} = 0.04\vec{a}_x$와 정확히 일치한다.

④ X
틀린 표현은 방향이 $\vec{a}_y$라는 점이다. 크기 0.04는 맞지만 축이 다르므로 올바르게는 $0.04\vec{a}_x$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 크기보다 방향 판정에 있다. $\vec{a}_y \times \vec{a}_z$를 $\vec{a}_x$가 아니라 $\vec{a}_y$로 착각하거나, 양전하인데도 음전하처럼 부호를 뒤집으면 ①, ②, ④ 같은 오답으로 간다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기력 가속도 문제는 먼저 $\vec{E} = 0$ 여부를 확인하고, $\vec{a} = \frac{q}{m}(\vec{v} \times \vec{B})$로 정리한 다음 방향 $\vec{v} \times \vec{B}$를 먼저 판정하고 마지막에 크기 qvB/m를 계산하면 된다.

암기 포인트

양전하에서는 $\vec{a}_y \times \vec{a}_z = \vec{a}_x$이고, 이 문항의 수치에서는 $q/m = 10^{-3}$이므로 $40\vec{a}_x \rightarrow 0.04\vec{a}_x$로 바로 연결된다.

NoteBase

문 12. 크기가 $\frac{1000}{\pi^2}[A/m]$인 균일한 자계가 있는 자유공간에 반경이 $10[m]$인 원형코일이 자계의 방향과 30°의 각으로 놓여 있을 때, 원형코일의 내부를 통과하는 자속[Wb]은? (단, 공기의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)

① 1×10^{-2}

② 2×10^{-2}

③ 3×10^{-2}

④ 4×10^{-2}

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자유공간에서 $B = \mu_0 H$를 구한 뒤, 코일면과 자계 방향의 각도를 법선과의 각도로 바꾸어 자속 $\Phi = BA\cos\theta$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 자계의 세기 $H = \frac{1000}{\pi^2}[A/m]$, 코일 반경 $r = 10[m]$, 공기의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다.
구해야 할 값: 원형코일 내부를 통과하는 자속 $\Phi[Wb]$이다.
주의할 조건: 문제의 30°는 코일면과 자계 방향 사이의 각도이므로, 자속 공식에는 법선과 자계 사이의 각 60°를 넣어야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $B = \mu_0 H$, $A = \pi r^2$, $\Phi = BA\cos\theta$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 자유공간의 균일한 자계에서 원형코일을 통과하는 자속은 자속밀도 B와 코일 면적 A, 그리고 자계와 코일 법선 사이 각도 θ로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 자속밀도는 $B = \mu_0 H = (4\pi \times 10^{-7}) \times \frac{1000}{\pi^2} = \frac{4 \times 10^{-4}}{\pi}[T]$이다.
2. 코일 면적은 $A = \pi r^2 = \pi \times 10^2 = 100\pi[m^2]$이다.
3. 코일면과 자계의 각이 30°이므로 법선과 자계의 각은 60°이다.
4. 따라서 자속은

$\Phi = BA\cos 60^\circ = \left(\frac{4 \times 10^{-4}}{\pi}\right) \times 100\pi \times \frac{1}{2} = 2 \times 10^{-2}[Wb]$

이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
자속을 $1 \times 10^{-2}[Wb]$로 본 값은 계산 결과와 다르다. 올바른 자속은 $2 \times 10^{-2}[Wb]$이다. 이 값은 BA를 구한 뒤 각도 성분을 한 번 더 잘못 나누거나 면적 성분을 일부 누락할 때 나올 수 있다.

② O
계산 결과가 $\Phi = 2 \times 10^{-2}[Wb]$이므로 옳다. $B = \mu_0 H$로 바꾸고, 면적 100π를 곱한 뒤, 법선 기준 각도 60°의 $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$를 적용하면 된다.

③ X
자속을 $3 \times 10^{-2}[Wb]$로 본 값은 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $2 \times 10^{-2}[Wb]$이다. 이 값은 각도 보정을 임의의 수치로 잘못 적용하거나 π 약분을 부정확하게 처리할 때 생길 수 있다.

④ X
자속을 $4 \times 10^{-2}[Wb]$로 본 값은 각도를 적용하지 않고 BA만 계산한 값이다. 코일면과 자계가 평행하지 않으므로 실제 자속은 $\Phi = BA\cos 60^\circ = 2 \times 10^{-2}[Wb]$가 된다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 문제의 30°를 그대로 $\cos 30^\circ$에 넣는 실수와, 아예 각도 성분을 빼먹고 BA만 계산하는 실수이다. 이 문항은 코일면과 자계의 각인지, 코일 법선과 자계의 각인지 구분하는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

자속 계산 문제는 먼저 $H \rightarrow B$ 변환을 하고, 다음에 면적 A를 구한 뒤, 마지막에 문제의 각도가 면 기준인지 법선 기준인지 판별하여 $\cos\theta$ 또는 같은 의미의 $\sin\theta$를 적용하면 된다.

암기 포인트

자속은 $\Phi = BA\cos\theta$이며, θ는 항상 자계와 면의 법선 사이 각도이다.

NoteBase

문 13. $\vec{E} = 2x\vec{a}_x + 3y^2\vec{a}_y + 3\vec{a}_z[V/m]$**의 전계에서 점** $A(1, 1, 0)[m]$**와 점** $B(2, 0, 3)[m]$ **사이의 전위차** $[V]$**의 크기는?**

① 9

② 10

③ 11

④ 12

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전계와 전위의 관계 $V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$을 이용해 두 점 사이의 전위차 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = 2x\vec{a_x} + 3y^2\vec{a_y} + 3\vec{a_z}$[V/m]이다.
점 $A(1, 1, 0)$, 점 $B(2, 0, 3)$이다.
구해야 할 값은 두 점 사이 전위차의 크기이다.

사용할 공식

$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$
이 전계는 각 성분이 각각 x, y, z에만 의존하므로 경로와 무관하게 적분할 수 있고, 전위차를 바로 구할 수 있다.

계산 과정

좌표축 방향으로 나누어 적분하면
$V_A - V_B = \int_1^2 2xdx + \int_1^0 3y^2dy + \int_0^3 3dz$
이다.
각 항은
$\int_1^2 2xdx = [x^2]_1^2 = 4 - 1 = 3$
$\int_1^0 3y^2dy = [y^3]_1^0 = 0 - 1 = -1$
$\int_0^3 3dz = [3z]_0^3 = 9$
이므로
$V_A - V_B = 3 + (-1) + 9 = 11$
이다. 따라서 전위차의 크기는 11V이다.

NoteBase

선지 해설

① X: 계산 결과와 맞지 않는다. 9V는 z방향 적분값 9만 보고 x, y 성분 기여를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 전위차의 크기가 11V이다.
② X: 계산 결과와 맞지 않는다. 10V는 x방향의 $+3$만 더하고 y방향의 -1을 누락한 경우처럼 나오는 값이다. 올바르게는 $3 - 1 + 9 = 11$이다.
③ O: $V_A - V_B = 11$이므로 전위차의 크기는 11V이다.
④ X: 계산 결과와 맞지 않는다. 12V는 y적분의 부호를 잘못 보아 -1을 $+1$로 처리할 때 나오는 값이다. 올바르게는 11V이다.

오답 포인트

전위차 적분에서 각 축 성분을 모두 더해야 하는데 한 성분을 빼먹기 쉽다. 특히 $\int_1^0 3y^2 dy$는 적분 구간이 감소 방향이므로 값이 -1이 된다는 점이 가장 큰 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전계로 전위차를 묻는 계산형은 $V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$를 먼저 세우고, 각 좌표 성분별로 적분한 뒤 마지막에 부호와 합계를 검산하면 된다.

암기 포인트

전위차는 선적분이고, 시작점보다 끝점 좌표가 작아지는 축에서는 적분값 부호가 음수가 될 수 있다.

NoteBase

문 14. 자속밀도 $\vec{B} = 2(\vec{a}_x + \vec{a}_y)[\mathrm{mWb/m^2}]$인 공간에 길이가 0.5[m]이고 $\vec{a}_z$방향으로 1[A]의 전류가 흐르는 직선 도선이 놓여 있을 때, 직선 도선이 받는 자기력 $\vec{F}_m$에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① $\vec{F}_m$의 방향은 전류가 흐르는 방향과 수직이다.
② $\vec{F}_m$의 방향은 자속밀도 방향과 수직이다.
③ $\vec{F}_m$의 방향은 $-\frac{\vec{a}_x}{\sqrt{2}}$와 $\frac{\vec{a}_y}{\sqrt{2}}$의 벡터 합으로 정해진다.
④ $\vec{F}_m$의 크기는 $\sqrt{2}[N]$이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 $\vec{F}_m = I\vec{l} \times \vec{B}$를 이용해 직선 도선이 받는 자기력의 방향과 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{B} = 2(\vec{a}_x + \vec{a}_y)\mathrm{mWb/m^2}$, $I = 1\mathrm{A}$, 도선 길이 $l = 0.5\mathrm{m}$
전류 방향: $+\vec{a}_z$ 방향이다.
주의할 조건: $\mathrm{mWb/m^2} = 10^{-3}\mathrm{T}$이므로 milli 단위를 그대로 두면 크기를 1000배 크게 계산하게 된다.

사용할 공식

직선 도선의 자기력은 $\vec{F}_m = I\vec{l} \times \vec{B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 전류가 흐르는 직선 도선이 균일한 자계 속에 놓였을 때 받는 힘은 전류 방향 벡터와 자속밀도 벡터의 외적으로 정해지기 때문이다.

계산 과정

1. $\vec{l} = 0.5\vec{a}_z\mathrm{m}$, $\vec{B} = 2 \times 10^{-3}(\vec{a}_x + \vec{a}_y)\mathrm{T}$로 둔다.
2. $\vec{F}_m = I\vec{l} \times \vec{B} = 1 \cdot 0.5\vec{a}_z \times 2 \times 10^{-3}(\vec{a}_x + \vec{a}_y) = 10^{-3}(\vec{a}_z \times \vec{a}_x + \vec{a}_z \times \vec{a}_y)\mathrm{N}$이다.
3. 단위벡터 외적은 $\vec{a}_z \times \vec{a}_x = \vec{a}_y$, $\vec{a}_z \times \vec{a}_y = -\vec{a}_x$이므로 $\vec{F}_m = 10^{-3}(-\vec{a}_x + \vec{a}_y)\mathrm{N}$이다.
4. 따라서 자기력의 방향은 (- a_x+ a_y)/(2)이고, 크기는 | F_m|=10^-32 N이다.

선지 판단

1번 O: 자기력은 $\vec{l} \times \vec{B}$로 정해지므로 전류 방향 $+\vec{a}_z$와 수직이다. 실제 결과 $\vec{F}_m = 10^{-3}(-\vec{a}_x + \vec{a}_y)\mathrm{N}$에는 $\vec{a}_z$ 성분이 없다.
2번 O: 외적의 결과 벡터는 원래 두 벡터 모두에 수직이므로 자기력은 자속밀도 방향 $(\vec{a}_x + \vec{a}_y)$와도 수직이다.
3번 O: $\vec{F}_m = 10^{-3}(-\vec{a}_x + \vec{a}_y)\mathrm{N}$이므로 방향 단위벡터는 (- a_x+ a_y)/(2)=(- a_x)/(2)+(a_y)/(2)이다.
4번 X: 틀린 표현은 "크기는 2 N이다"이다. $\vec{B}$의 단위 $\mathrm{mWb/m^2}$를 T로 바꾸면 $2 \times 10^{-3}\mathrm{T}$이므로 올바르게는 "크기는 10^-32 N이다"이다.

NoteBase

오답 포인트

4번은 방향 계산은 맞게 해 놓고 단위 $\mathrm{mWb/m^2}$의 milli를 빠뜨리면 쉽게 고르게 되는 함정이다. 또한 발문이 "옳지 않은 것"이므로 계산값이 맞는 선지가 아니라 계산값과 어긋나는 선지를 골라야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

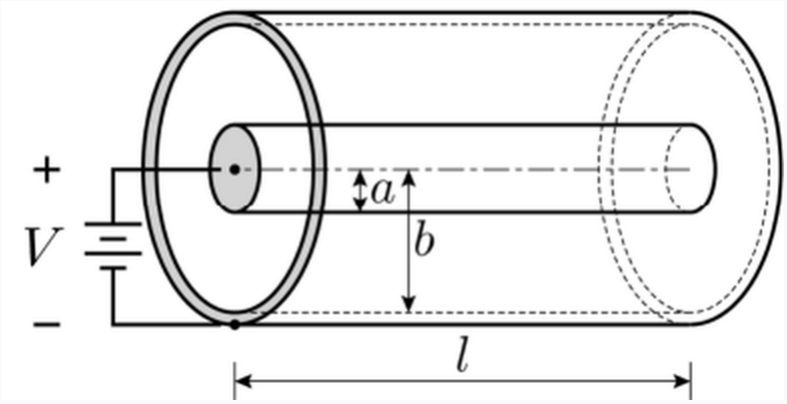
자기력 문제는 먼저 $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$를 세운 뒤 자속밀도 단위를 T로 통일하고, 단위벡터 외적의 부호를 정한 다음, 마지막에 크기와 방향을 각각 선지와 대조하면 된다.

암기 포인트

직선 도선의 자기력은 $I\vec{l} \times \vec{B}$이고, 방향은 오른손법칙, $\mathrm{mWb/m^2} = 10^{-3}\mathrm{T}$라는 점이 함께 기억되면 된다.

NoteBase

문 15. 길이 $l = 10[cm]$인 동축케이블에서 내부도체의 반경 $a = 2[mm]$이고, 외부도체의 안쪽 반경 $b = 4[mm]$이다. 두 도체 사이에 도전율 $\sigma = 10^{-4}[S/m]$인 선형, 균질, 등방성 절연체로 채워져 있을 때, 그림과 같이 전압 $V[V]$를 인가한 후 측정된 절연체의 저항 $R[\Omega]$은? (단, 도체는 완전도체이며, 동축케이블 양단의 가장자리 효과는 무시한다)



① $\frac{\ln 2}{8\pi} \times 10^5$
② $\frac{\ln 2}{6\pi} \times 10^5$
③ $\frac{\ln 2}{4\pi} \times 10^5$
④ $\frac{\ln 2}{2\pi} \times 10^5$

정답 4번

출제 포인트

동축케이블 절연체 사이의 누설전류를 원통형 저항으로 보고 $R = \frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma l}$을 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $l = 10cm = 0.1m, a = 2mm = 0.002m, b = 4mm = 0.004m, \sigma = 10^{-4}S/m$이다.
구해야 할 값: 내부도체와 외부도체 사이 절연체의 저항 R이다.
주의할 조건: 전류는 축 방향이 아니라 반지름 방향으로 흐르므로 단면적을 일정한 평판형으로 두면 안 된다.

사용할 공식

미소 반지름 r에서 전류가 지나는 면적은 원통 옆면적이므로 $dS = 2\pi rl$이다.
따라서 미소저항은 $dR = \frac{dr}{\sigma dS} = \frac{dr}{2\pi\sigma lr}$이고,
$R = \int_a^b dR = \int_a^b \frac{dr}{2\pi\sigma lr} = \frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma l}$
이 공식을 쓰는 이유는 절연체를 통한 누설전류가 동축 원통층을 차례로 통과하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반지름비를 구하면 $\frac{b}{a}=\frac{0.004}{0.002}=2$이므로 $\ln(b/a)=\ln 2$이다.
2. 공식을 대입하면
$R=\frac{\ln 2}{2\pi\times 10^{-4}\times 0.1}$
3. $10^{-4}\times 0.1=10^{-5}$이므로
$R=\frac{\ln 2}{2\pi\times 10^{-5}}=\frac{\ln 2}{2\pi}\times 10^{5}\Omega$
계산 결과 $R=\frac{\ln 2}{2\pi}\times 10^{5}\Omega$이므로 정답은 4번이다.

선지별 해설

① X
저항이 $\frac{\ln 2}{8\pi}\times 10^{5}\Omega$라는 값이 틀리다. 적분 결과의 분모는 8π가 아니라 2π이므로 올바르게는 $\frac{\ln 2}{2\pi}\times 10^{5}\Omega$이다.

② X
저항이 $\frac{\ln 2}{6\pi}\times 10^{5}\Omega$라는 값이 틀리다. 원통형 누설저항 적분식에서는 6π가 나오지 않으며, 올바른 식은 $R=\frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma l}$이다.

③ X
저항이 $\frac{\ln 2}{4\pi}\times 10^{5}\Omega$라는 값이 틀리다. 반지름 방향 전류의 면적을 잘못 두면 계수가 어긋나지만, 올바르게는 $dS=2\pi rl$이므로 결과는 $\frac{\ln 2}{2\pi}\times 10^{5}\Omega$이다.

④ O
$R=\frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma l}$에 값을 대입하면 $R=\frac{\ln 2}{2\pi}\times 10^{5}\Omega$가 되어 계산 결과와 일치한다.

오답 포인트

평판 저항처럼 $R=\frac{d}{\sigma S}$만 바로 쓰면 면적이 일정하다고 착각하기 쉽다. 이 문제는 반지름이 커질수록 전류가 지나는 면적 $2\pi rl$이 달라지므로 반드시 $\frac{dr}{r}$ 적분이 들어간다. 또 $10cm$, $2mm$, $4mm$를 같은 단위계로 맞추지 않으면 수치가 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

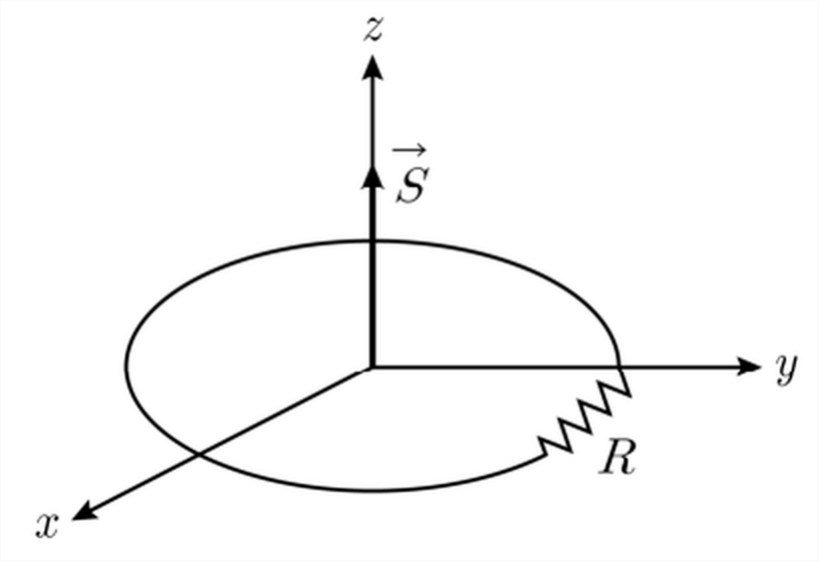
동축 구조의 저항 문제가 나오면 먼저 전류 방향이 반지름 방향인지 확인한다. 그다음 미소 면적을 $2\pi rl$로 두고 $dR=\frac{dr}{2\pi\sigma lr}$를 적분한다. 마지막에 b/a의 로그와 단위 변환만 점검하면 된다.

암기 포인트

동축 원통 절연체의 누설저항은 $R=\frac{\ln(b/a)}{2\pi\sigma l}$이다. 원통형이면 $\ln(b/a)$와 $2\pi rl$을 떠올리는 것이 핵심이다.

NoteBase

문 16. 자속밀도 $\vec{B} = 0.2\sin 10^3 t\vec{a}_z[\mathrm{Wb/m^2}]$인 공간에 저항 $R = 5[\Omega]$이 연결된 반경 $0.1[\mathrm{m}]$ 원형도체루프가 그림과 같이 $z = 0$인 xy 평면에 놓여 있다. 이때 루프에 흐르는 전류$[A]$의 크기는? (단, 전류에 의해 생긴 자계는 무시한다)



① $0.4\pi\cos 10^3 t$

② $0.8\pi\cos 10^3 t$

③ $\pi\cos 10^3 t$

④ $2\pi\cos 10^3 t$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자속밀도에서 원형 루프에 생기는 유도기전력을 패러데이 법칙으로 구한 뒤, 옴의 법칙으로 전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 자속밀도는 $\vec{B} = 0.2\sin 10^3 t\vec{a}_z$, 반경은 $r = 0.1m$, 저항은 $R = 5\Omega$이다.
구해야 할 값: 루프에 흐르는 전류 $i(t)$이다.
주의할 조건: 루프는 xy평면에 놓여 있으므로 면적벡터는 z축 방향이고, 전류가 만든 자기장은 무시한다.

NoteBase

사용할 공식

패러데이 법칙과 옴의 법칙을 사용한다.
$\Phi = BS, \quad \mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad i = \frac{|\mathcal{E}|}{R}$
이 공식을 쓰는 이유는 자속밀도가 루프 면에 수직으로 균일하게 작용하므로 자속을 BS로 바로 계산할 수 있고, 유도기전력을 저항으로 나누면 전류가 되기 때문이다.

계산 과정

1. 루프의 면적은 $S = \pi r^2 = \pi(0.1)^2 = 0.01\pi m^2$이다.
2. 자속은 $\Phi = BS = 0.2\sin 10^3 t \times 0.01\pi = 0.002\pi \sin 10^3 t Wb$이다.
3. 유도기전력의 크기는 $|\mathcal{E}| = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = 0.002\pi \times 10^3 \cos 10^3 t = 2\pi \cos 10^3 t V$이다.
4. 전류의 크기는 $i = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{2\pi \cos 10^3 t}{5} = 0.4\pi \cos 10^3 t A$이다. 보기에서는 방향 부호를 제외한 크기를 비교하므로 이 값에 해당하는 선지를 고르면 된다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $0.4\pi \cos 10^3 t A$이므로 정답이다.
2번: X. 계수가 0.8π이면 정답값의 2배이므로 틀리다. 올바르게는 $0.4\pi \cos 10^3 t A$이다.
3번: X. 계수가 π이면 저항 5Ω를 반영한 최종 전류값과 일치하지 않는다. 올바르게는 $0.4\pi \cos 10^3 t A$이다.
4번: X. $2\pi \cos 10^3 t$는 유도기전력의 크기에 해당하고 전류가 아니다. 저항 5Ω로 나누면 $0.4\pi \cos 10^3 t A$가 된다.

오답 포인트

자속밀도 B와 자속 Φ를 구분하지 않거나, $\mathcal{E}$까지만 구하고 저항 R로 나누지 않으면 오답이 된다. 반경이 주어졌는데 면적 πr^2를 빠뜨리는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

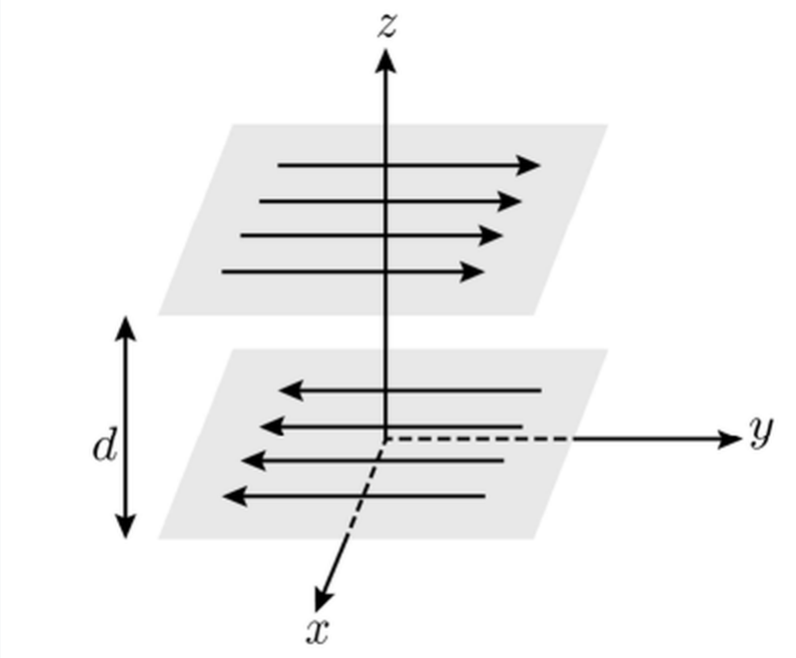
균일한 시간변화 자계 속 루프 문제는 면적 계산, 자속 $\Phi = BS$ 계산, 시간미분으로 유도기전력 계산, 마지막으로 옴의 법칙으로 전류 계산의 순서로 판단한다.

암기 포인트

원형 루프 유도전류는 $i = \frac{1}{R}\left|\frac{d(B\pi r^2)}{dt}\right|$로 정리되고, 자속을 먼저 구한 뒤 미분해야 한다.

NoteBase

문 17. $z = 0[m]$과 $z = d[m]$인 무한 평면에 각각 크기가 $10[A/m]$인 균일한 면전류밀도가 서로 반대 방향으로 흐르고 있을 때, 점 $(0, 0, d/2)[m]$와 점 $(0, 0, 2d)[m]$에서 각각의 자계 $\vec{H}[A/m]$는?



① $0, 10\vec{a}_x$

② $0, -10\vec{a}_x$

③ $10\vec{a}_x, 0$

④ $-10\vec{a}_x, 0$

정답 4번

출제 포인트

무한 면전류의 자계 크기 $H = K/2$와 오른손법칙에 따른 방향을 두 점에서 중첩하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $z = 0$과 $z = d$의 두 무한 평면에 각각 크기 $10A/m$의 면전류가 서로 반대 방향으로 흐른다.
구해야 할 값: 점 $(0, 0, d/2)$와 점 $(0, 0, 2d)$에서의 자계 $\vec{H}$이다.
주의할 조건: 각 평면이 만드는 자계의 크기는 양쪽에서 각각 $K/2 = 5A/m$이고, 방향은 전류 방향과 점의 위치가 평면의 위쪽인지 아래쪽인지에 따라 달라진다.

NoteBase

사용할 공식

무한 면전류가 만드는 자계의 크기는
$H = \frac{K}{2}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 전류가 모두 무한 평면에 균일하게 분포한 면전류이므로 각 평면의 자계는 거리와 무관하게 크기가 $K/2$로 일정하고, 최종 자계는 두 자계를 벡터 합으로 구할 수 있다.

계산 과정

1. 아래 평면 $z = 0$의 전류는 그림에서 $-y$방향, 위 평면 $z = d$의 전류는 $+y$방향이다.
2. 면전류 $+y$방향 평면은 위쪽에서 $+a_x$, 아래쪽에서 $-a_x$ 방향의 자계를 만들고, $-y$방향 평면은 그 반대 방향의 자계를 만든다.
3. 점 $(0, 0, d/2)$는 아래 평면의 위쪽이면서 위 평면의 아래쪽이므로 아래 평면이 $-5a_x$, 위 평면이 $-5a_x$를 만들어
$\vec{H}(0, 0, d/2) = -10a_x A/m$
이다.
4. 점 $(0, 0, 2d)$는 두 평면 모두의 위쪽이므로 아래 평면이 $-5a_x$, 위 평면이 $+5a_x$를 만들어
$\vec{H}(0, 0, 2d) = 0$
이다.

선지별 해설

① X: 1번은 $(0, 0, d/2)$에서의 방향을 반대로 보았다. 두 평면 사이에서는 두 자계가 모두 $-a_x$ 방향으로 더해지므로 첫 값이 0이 될 수 없고, 둘째 값도 상쇄되어 0이 아니다. 틀린 표현은 "$0, 10a_x$"이고, 올바르게는 "$-10a_x, 0$"이다.
② X: 2번은 두 점의 순서를 뒤바꾼 값이다. $-10a_x$는 $(0, 0, d/2)$에서의 자계이고, $(0, 0, 2d)$에서는 두 평면의 자계가 상쇄된다. 틀린 표현은 "$0, -10a_x$"이고, 올바르게는 "$-10a_x, 0$"이다.
③ X: 3번은 방향을 $+a_x$로 잘못 잡았다. 두 평면 사이에서는 아래 평면의 위쪽 자계와 위 평면의 아래쪽 자계가 모두 $-a_x$ 방향이므로 $+10a_x$가 될 수 없다. 틀린 표현은 "$10a_x, 0$"이고, 올바르게는 "$-10a_x, 0$"이다.
④ O: $(0, 0, d/2)$에서는 두 자계가 같은 $-a_x$ 방향으로 중첩되어 $-10a_x$가 되고, $(0, 0, 2d)$에서는 위쪽에서 본 두 자계가 서로 반대 방향이라 0이 된다. 따라서 4번이 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 면전류의 자계 크기 K를 그대로 쓰고 $K/2$를 놓치는 경우, 또는 두 점의 위치가 각 평면의 위쪽인지 아래쪽인지 구분하지 않고 방향만 외워서 넣는 경우이다. 2번은 두 점의 결과를 순서만 바꾸면 생기는 대표 오답이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

면전류 문제는 먼저 각 점이 각 평면의 위쪽인지 아래쪽인지 표시하고, 다음에 각 평면이 만드는 $K/2$ 자계 방향을 오른손법칙으로 정한 뒤, 마지막에 벡터 합을 구하면 된다.

암기 포인트

무한 면전류 한 장의 자계는 양쪽에서 $K/2$이고, 최종 답은 방향을 붙여 중첩한다.

NoteBase

문 18. 100[MHz]에서 동작하는 전송선로 ㉠과 ㉡의 임피던스가 각각 49[Ω]과 100[Ω]일 때, $\frac{1}{4}\lambda_g$ 길이를 갖는 전송선로 ㉢을 이용하여 그림과 같이 임피던스 정합을 하고자 한다. ㉢의 단위길이당 인덕턴스 $L = 19.6[\mu H/m]$으로 주어질 때, 전송선로 ㉢의 길이 l[m]은? (단, 전송선로는 무손실이고, λ_g는 전송선로에서 전파하는 신호의 한 파장 길이를 의미한다)



① $\frac{1}{4\sqrt{784}}$
② $\frac{1}{4\sqrt{392}}$
③ $\frac{1}{4\sqrt{196}}$
④ $\frac{1}{4\sqrt{98}}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 1/4파장 임피던스 변환기의 특성임피던스와 전파속도를 이용해 전송선로 ¤의 길이 *l*을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $Z_{01} = 49\Omega, Z_{02} = 100\Omega, f = 100MHz, L = 19.6\mu H/m$이다.
구해야 할 값은 $1/4\lambda_g$ 변환선로 ¤의 길이 *l*이다.
무손실 전송선로이므로 $Z_0 = \sqrt{L/C}$, $v = 1/\sqrt{LC}$, $\lambda_g = v/f$를 사용한다.

사용할 공식

$+Z_{03} = \sqrt{Z_{01}Z_{02}}$ +
$++Z_0 = \sqrt{L/C}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \lambda_g = \frac{v}{f}, \quad l = \frac{\lambda_g}{4}$ +
이 공식을 쓰는 이유는 ¤이 $1/4\lambda_g$ 정합선로이므로 특성임피던스가 양쪽 전송선로 임피던스의 기하평균이 되어야 하고, 길이는 유도파장 λ_g의 1/4이어야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 정합선로의 특성임피던스는 $Z_{03}=\sqrt{49\times 100}=70\Omega$이다.
2. $Z_0=\sqrt{L/C}$에서 $C=L/Z_0^2$이므로, $v=1/\sqrt{LC}=Z_0/L$가 된다.
3. 따라서 $\lambda_g=v/f=\frac{70}{19.6\times 10^{-6}\times 100\times 10^6}=\frac{70}{1960}=\frac{1}{28}m$이다.
4. $l=\lambda_g/4=\frac{1}{112}m=\frac{1}{4\sqrt{784}}m$이다.

선지별 해설

① O
계산 결과 $l=\frac{1}{112}m$이고, $\sqrt{784}=28$이므로 $\frac{1}{4\sqrt{784}}=\frac{1}{112}m$가 되어 일치한다.

② X
틀린 표현은 $\frac{1}{4\sqrt{392}}$이다. 올바르게는 $\frac{1}{4\sqrt{784}}m$이다.
계산 결과보다 큰 값이며, 정합선로의 특성임피던스 $\sqrt{49\cdot 100}$ 또는 1/4파장 조건을 잘못 적용한 오답이다.

③ X
틀린 표현은 $\frac{1}{4\sqrt{196}}$이다. 올바르게는 $\frac{1}{4\sqrt{784}}m$이다.
$\sqrt{196}=14$이므로 이 값은 $\frac{1}{56}m=\frac{\lambda_g}{2}$가 된다. 문제는 $1/4\lambda_g$ 선로를 묻고 있으므로 반파장으로 계산한 오답이다.

④ X
틀린 표현은 $\frac{1}{4\sqrt{98}}$이다. 올바르게는 $\frac{1}{4\sqrt{784}}m$이다.
계산 결과 $\frac{1}{112}m$와 전혀 맞지 않으며, 정합선로 임피던스와 파장조건을 함께 잘못 잡아 얻는 값이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 정합선로의 길이를 바로 구하려고 하다가 $Z_{03}=\sqrt{49\cdot 100}$를 빼먹거나, $1/4\lambda_g$를 $1/2\lambda_g$로 혼동하는 데 있다. 특히 ③은 유도파장을 구한 뒤 마지막에 4로 나누지 않으면 바로 나오는 전형적인 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

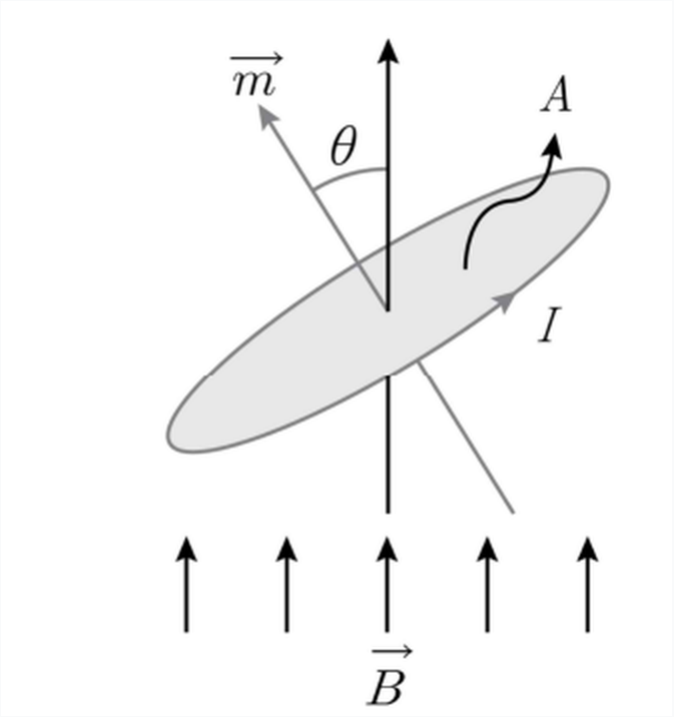
정합용 1/4파장 선로 문제는 먼저 $Z_{03}=\sqrt{Z_{01}Z_{02}}$를 구하고, 다음에 $Z_0=\sqrt{L/C}$와 $v=1/\sqrt{LC}$로 유도파장 λ_g를 구한 뒤, 마지막에 반드시 4로 나누어 길이를 결정하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

1/4파장 정합선로는 $Z_{03}=\sqrt{Z_{01}Z_{02}}$, 길이는 $l=\lambda_g/4$로 정리된다.

NoteBase

문 19. 균일한 자속밀도 $\vec{B}$[Wb/m^2]인 자유공간에 놓인 단면적 A[m^2], 권선수 N회인 원형코일에 I[A]의 전류가 그림과 같이 흐르고 있을 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 그림에서 $\vec{m}$[A · m^2]은 원형코일이 갖는 자기모멘트, T[N · m]는 원형코일에 작용하는 토크의 크기이다)



① 최대토크는 $\theta = 0\,^\circ$일 때 발생한다.

② 자속밀도 $\vec{B}$의 크기는 $\frac{T}{NIA\sin\theta}$이다.

③ 토크의 방향은 자기모멘트 $\vec{m}$의 방향과 평행이다.

④ 토크의 방향은 자속밀도 $\vec{B}$의 방향과 평행이다.

정답 2번

출제 포인트

원형코일의 자기모멘트와 자기장 사이의 각 θ에서 토크의 크기 $T = NIAB\sin\theta$와 토크 방향 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 균일한 자속밀도 $\vec{B}$, 단면적 A, 권선수 N, 전류 I, 각도 θ이다.
구해야 할 내용: 토크의 최대 조건, B의 크기식, 토크의 방향이다.
주의할 조건: θ는 $\vec{m}$과 $\vec{B}$ 사이의 각이다.

NoteBase

사용할 공식

자기모멘트의 크기는 $m = NIA$이고, 토크의 크기는 $T = mB\sin\theta = NIAB\sin\theta$이다. 토크의 방향은 $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$로 정해진다.
이 공식을 쓰는 이유: 원형코일이 균일 자기장 속에서 받는 회전 효과를 직접 묻는 문항이기 때문이다.

선지별 해설

① X: 최대토크는 $T = NIAB\sin\theta$에서 $\sin\theta = 1$일 때 생기므로 $\theta = 90^\circ$에서 발생한다. 틀린 표현은 "$\theta = 0^\circ$"이고, 올바르게는 "$\theta = 90^\circ$"이다.
② O: $T = NIAB\sin\theta$를 B에 대해 정리하면 $B = \frac{T}{NIA\sin\theta}$가 된다. 제시식이 토크 공식을 정확히 변형한 식이므로 옳다.
③ X: 토크의 방향은 $\vec{m}$과 평행하지 않고 $\vec{m} \times \vec{B}$의 방향이다. 틀린 표현은 "자기모멘트 $\vec{m}$의 방향과 평행"이고, 올바르게는 "$\vec{m}$과 $\vec{B}$ 모두에 수직"이다.
④ X: 토크의 방향은 $\vec{B}$와도 평행하지 않다. 틀린 표현은 "자속밀도 $\vec{B}$의 방향과 평행"이고, 올바르게는 "$\vec{B}$에 수직인 $\vec{m} \times \vec{B}$ 방향"이다.

오답 포인트

토크 공식을 크기식과 벡터식으로 나누어 보지 않으면 ①, ③, ④를 함께 틀리기 쉽다. 특히 각도 θ를 코일면과 자기장 사이의 각으로 착각하거나, 토크 방향을 $\vec{m}$ 또는 $\vec{B}$와 같은 방향으로 오해하는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기장 속 코일 문제는 먼저 θ가 $\vec{m}$과 $\vec{B}$ 사이의 각인지 확인하고, 다음에 크기식은 $T = NIAB\sin\theta$, 방향은 $\vec{m} \times \vec{B}$로 분리해서 판단하면 된다.

암기 포인트

코일 토크는 $T = NIAB\sin\theta$, 최대는 90°, 방향은 $\vec{m} \times \vec{B}$이다.

NoteBase

문 20. 3차원 공간에서 xy 평면을 기준면으로 영역1($z < 0$)은 유전율 ε_1, 투자율 μ_1의 매질이 채워져 있고, 영역2($z \geq 0$)는 유전율 ε_2, 투자율 μ_2의 매질로 채워져 있다. 균일 평면파가 영역1에서 영역2를 향하여 입사할 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 모든 매질은 무손실, 선형, 등방성, 균질 매질이고, $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$이며 μ_0는 자유공간의 투자율이다)

① 전반사(total reflection)가 발생하기 위해서는 $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$이어야만 한다.

② 영역1과 영역2에서 전계 및 자계를 각각 3차원 벡터 $\vec{E}$와 $\vec{H}$로 표현할 때, $\vec{E}$와 $\vec{H}$는 수직편파와 수평편파로 분리하여 나타낼 수 있다.

③ 경계면에 직각으로 입사하는 경우 입사편파에 상관없이 $1 + \Gamma = T$로 표현할 수 있다. (단, Γ와 T는 경계면에서의 반사 및 투과계수이다)

④ 브루스터 각도(Brewster angle)는 수직 및 수평편파에 모두 존재한다.

정답 4번

출제 포인트

전반사 조건, 수직편파·수평편파 분해, 정상 입사 시 반사·투과계수 관계, 브루스터 각의 존재 조건을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 임계각을 넘으면 발생하는 현상이다. 이 문제에서는 $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$이므로 굴절률은 $n = \sqrt{\mu\varepsilon}$에 따라 결정되어 $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$일 때만 전반사 가능성이 생긴다.
수직편파는 전계 $\vec{E}$가 입사면에 수직인 경우이고, 수평편파는 $\vec{E}$가 입사면 안에 놓이는 경우이다. 경계면 문제의 평면파는 이 두 편파 성분으로 분리하여 해석할 수 있다.
브루스터 각은 특정 편파의 반사계수가 0이 되는 입사각이다. $\mu_1 = \mu_2$인 비자성 매질 경계에서는 수평편파(TM, p)에 대해서만 존재하고 수직편파(TE, s)에는 존재하지 않는다.

NoteBase

선지별 해설

① O
전반사가 일어나려면 입사 매질의 굴절률이 투과 매질보다 커야 한다. 이 문제에서는 $n \propto \sqrt{\varepsilon}$이므로 $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$가 필요하다.

② O
경계면에서의 평면파는 입사면을 기준으로 수직편파(TE, s)와 수평편파(TM, p) 성분으로 분리하여 다룰 수 있다. $\vec{E}$와 $\vec{H}$를 각각 3차원 벡터로 써도 해석은 두 편파의 합으로 정리된다.

③ O
정상 입사에서는 편파 구분이 사라지고 경계면에서 접선 전계 연속조건이 $E_i + E_r = E_t$로 정리된다. 따라서 전계 기준 반사계수 $\Gamma = E_r/E_i$, 투과계수 $T = E_t/E_i$를 쓰면 $1 + \Gamma = T$가 된다.

④ X
틀린 부분은 "수직 및 수평편파에 모두"이다. $\mu_1 = \mu_2$인 이 문제의 조건에서는 브루스터 각이 수평편파(TM, p)에는 존재하지만 수직편파(TE, s)에는 존재하지 않는다. 올바른 진술은 "브루스터 각은 수평편파에 대해서만 존재한다"이다.

오답 포인트

브루스터 각을 '반사가 사라지는 특별한 각도'로만 외우면 모든 편파에 공통으로 있다고 착각하기 쉽다. 이 문항은 ④에서 바로 그 착각을 노렸다. 또한 ①은 전반사 조건을 굴절률 대신 유전율로 바꾸어 묻기 때문에 μ가 같다는 조건을 놓치면 판단이 흔들릴 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $\mu_1 = \mu_2$ 여부를 확인해 굴절률 비교를 ε 비교로 바꾼다. 그다음 경계면 문제는 TE/s와 TM/p로 분리해서 본다. 마지막으로 브루스터 각은 비자성 매질 경계에서는 TM/p 편파에만 생긴다고 연결하면 정답을 빠르게 고를 수 있다.

암기 포인트

비자성 매질 경계에서는 전반사 조건은 $n_1 > n_2$, 브루스터 각은 TM/p만 존재한다.

NoteBase