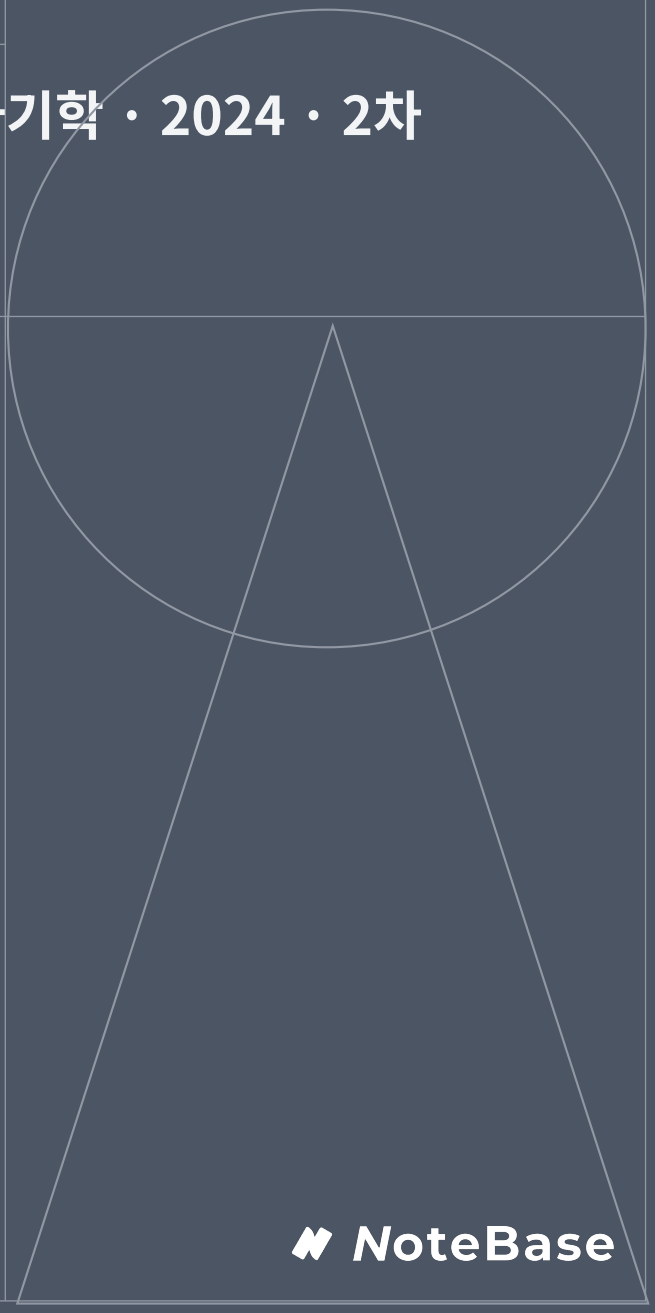
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2024 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2024 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2024 · 2차

문 1. 정전계 내의 완전도체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 도체 표면은 등전위면이다.

② 도체 내부의 전계는 0이다.

③ 도체 표면에는 전하가 분포할 수 없다.

④ 도체 표면에 수직한 전계가 존재할 수 있다.

정답 3번

출제 포인트

정전계 내 완전도체의 평형 조건인 내부 전계 0, 표면 등전위, 표면전하 분포, 표면 전계의 방향을 함께 묻는 문제이다.

핵심 개념

완전도체의 정전평형은 자유전하가 더 이상 이동하지 않는 상태이므로 도체 내부 전계가 0이 되는 상태이다.
도체 표면은 전체 전위가 같은 등전위면이다.
여분 전하는 도체 내부가 아니라 표면에 분포하며, 정전평형에서 표면 전계는 접선 성분이 없고 표면에 수직한 방향으로만 나타난다.

NoteBase

선지별 해설

① O
도체가 정전평형이면 표면 전체의 전위가 같으므로 도체 표면은 등전위면이 된다.

② O
완전도체 내부에 전계가 남아 있으면 자유전하가 계속 이동하므로 정전평형이 성립하지 않는다. 따라서 도체 내부의 전계는 0이다.

③ X
틀린 부분은 "도체 표면에는 전하가 분포할 수 없다"는 표현이다.
실제로는 여분 전하는 도체 표면에 분포한다. 정전계 내 완전도체의 핵심 성질이 바로 내부 전계는 0이고 전하는 표면에 놓인다는 점이다.

④ O
정전평형에서 도체 표면의 접선 방향 전계는 0이지만, 표면에 수직한 방향의 전계는 존재할 수 있다. 표면전하가 있으면 표면 바로 바깥쪽에서 법선 방향 전계가 형성된다.

오답 포인트

③은 "내부 전계는 0"이라는 성질과 "표면전하가 존재한다"는 성질을 뒤섞어 틀리게 만든 선지이다. 내부에 전하가 없다는 뜻이 아니라, 자유전하가 이동한 결과 전하가 표면에 재배치된다는 점을 놓치면 ③을 맞는 말처럼 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

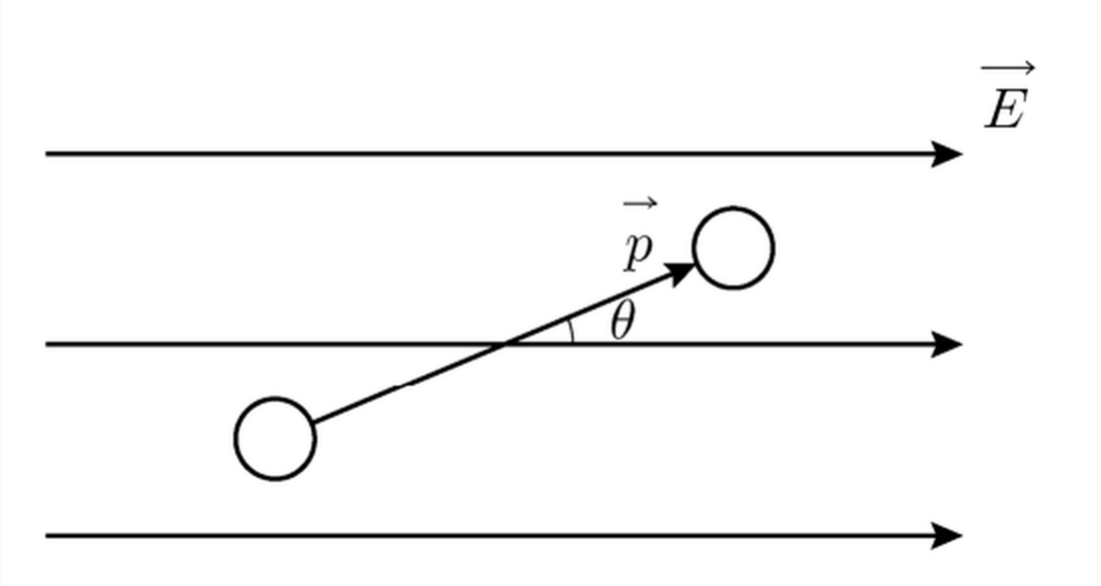
완전도체의 정전평형 문제는 먼저 내부 전계가 0인지, 표면이 등전위인지, 전하가 표면에 분포하는지, 표면 전계가 법선 방향만 가지는지를 순서대로 대조하면 된다. 이 네 가지와 어긋나는 표현이 오답 선지이다.

암기 포인트

정전평형 도체는 내부 전계 0, 표면 등전위, 전하는 표면, 전계는 법선 방향이다.

NoteBase

문 2. 그림과 같이 전계 $\vec{E}[V/m]$와 θ의 각을 이루고 있는 전기 쌍극자에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, $\vec{p}$는 전기 쌍극자 모멘트이고, $0^\circ < \theta < 90^\circ$이다)



① 회전하지 않는다.

② 전계와 평행하게 되도록 시계 방향으로 회전한다.

③ 전계와 평행하게 되도록 반시계 방향으로 회전한다.

④ 전계와 전기 쌍극자 모멘트 모두에 수직인 방향으로 회전한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 균일한 전기장에서 전기 쌍극자가 받는 토크의 방향과 안정한 정렬 방향을 그림으로 판단하는 문제이다.

핵심 개념

전기 쌍극자는 균일한 전기장에서 $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$의 토크를 받아 $\vec{p}$가 $\vec{E}$와 평행해지는 방향으로 회전한다. 토크의 크기는 $\tau = pE\sin\theta$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. 현재는 $0^\circ < \theta < 90^\circ$이므로 $\sin\theta > 0$이고 토크가 0이 아니다. 따라서 회전하지 않는다는 설명은 틀리다. 회전하지 않으려면 $\theta = 0^\circ$ 또는 180°처럼 $\vec{p}$와 $\vec{E}$가 일직선이어야 한다.
2번: O. 그림에서 $\vec{p}$는 전계 $\vec{E}$보다 위쪽으로 기울어져 있으므로 두 벡터가 평행해지려면 각 θ가 줄어야 한다. 따라서 전기 쌍극자는 시계 방향으로 회전한다.
3번: X. 반시계 방향으로 돌면 θ가 더 커져 $\vec{p}$가 전계 방향과 더 멀어진다. 실제 회전은 반시계 방향이 아니라 시계 방향이다.
4번: X. 균일한 전기장에서는 전기 쌍극자에 알짜힘보다 정렬시키는 토크가 작용한다. 따라서 전계와 전기 쌍극자 모멘트 모두에 수직인 방향으로 계속 회전하는 것이 아니라, 전계와 평행한 방향으로 정렬되도록 회전한다.

오답 포인트

토크의 존재 조건과 회전의 목표 상태를 분리하지 않으면 헷갈린다. $\vec{p} \times \vec{E}$이므로 현재처럼 각이 있으면 회전이 생기고, 회전의 결과는 수직 정렬이 아니라 평행 정렬이다.

다시 나오면 이렇게 판단

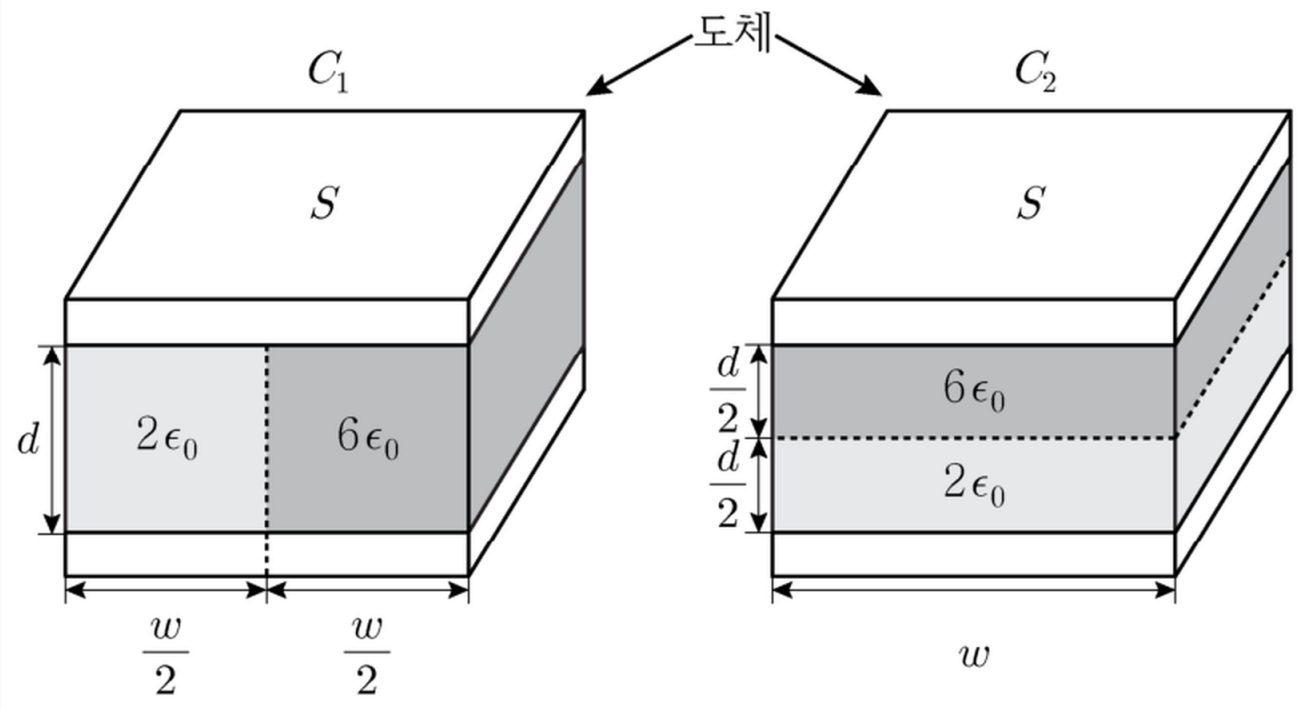
먼저 $\vec{p}$와 $\vec{E}$ 사이에 각이 있는지 본다. 각이 있으면 토크가 작용하고, 그다음에는 $\vec{p}$가 $\vec{E}$와 나란해지도록 각이 줄어드는 쪽이 정답이다.

암기 포인트

전기 쌍극자는 전기장에서 회전하여 $\vec{p} \parallel \vec{E}$ 상태로 정렬된다.

NoteBase

문 3. 면적 S를 가진 두 도체 사이에 그림과 같이 유전체가 배치된 두 평행평판 커패시터의 정전용량 비율 $C_1 : C_2$는?



① 2:3

② 3:2

③ 3:4

④ 4:3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 전기장에 대해 병렬로 놓였는지, 직렬로 놓였는지를 구분해 각 커패시터의 등가 정전용량을 계산하는 문제이다.

조건 정리

왼쪽 C_1은 면적이 각각 $S/2$인 두 부분에 $2\varepsilon_0$, $6\varepsilon_0$가 나란히 들어간 구조이다.
오른쪽 C_2는 같은 면적 S에 $6\varepsilon_0$, $2\varepsilon_0$가 두께 $d/2$씩 직렬로 쌓인 구조이다.
구해야 할 값은 $C_1 : C_2$이다.

NoteBase

사용할 공식

병렬 배치는 각 부분의 정전용량을 더하므로 $C = \varepsilon A/d$를 부분별로 합한다.
직렬 배치는 역수를 더하므로 $1/C = \sum d_i/(\varepsilon_i A)$를 쓴다.
왼쪽은 같은 전위차가 걸리는 병렬 구조이고, 오른쪽은 전기장 방향으로 유전체가 이어져 전압 강하가 나뉘는 직렬 구조이기 때문이다.

계산 과정

$C_1 = \frac{2\varepsilon_0 \cdot S/2}{d} + \frac{6\varepsilon_0 \cdot S/2}{d} = \frac{4\varepsilon_0 S}{d}$이다.
C_2는
$\frac{1}{C_2} = \frac{d/2}{6\varepsilon_0 S} + \frac{d/2}{2\varepsilon_0 S} = \frac{d}{12\varepsilon_0 S} + \frac{d}{4\varepsilon_0 S} = \frac{d}{3\varepsilon_0 S}$
이므로 $C_2 = \frac{3\varepsilon_0 S}{d}$이다.
따라서 $C_1 : C_2 = 4 : 3$이다.

선지별 해설

1번 X: 2 : 3은 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 "$C_1 : C_2 = 2 : 3$"이고, 올바르게는 "$C_1 : C_2 = 4 : 3$"이다.
2번 X: 3 : 2는 4 : 3을 잘못 뒤집거나 직렬 계산을 오해하면 나올 수 있는 값이다. 틀린 표현은 "$C_1 : C_2 = 3 : 2$"이고, 올바르게는 "$C_1 : C_2 = 4 : 3$"이다.
3번 X: 3 : 4는 분자와 분모를 모두 잘못 잡은 값이다. 틀린 표현은 "$C_1 : C_2 = 3 : 4$"이고, 올바르게는 "$C_1 : C_2 = 4 : 3$"이다.
4번 O: 병렬인 C_1은 $4\varepsilon_0 S/d$, 직렬인 C_2는 $3\varepsilon_0 S/d$이므로 비율은 4 : 3이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 왼쪽을 직렬로, 오른쪽을 병렬로 잘못 보는 것이다. 유전체 경계가 전기장과 평행하면 병렬, 수직이면 직렬이므로, 왼쪽은 병렬이고 오른쪽은 직렬로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 문제는 먼저 유전체 경계가 전기장과 평행인지 수직인지 본 뒤, 병렬이면 면적을 나누어 더하고 직렬이면 두께를 나누어 역수를 더하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

유전체가 면적을 나누면 병렬, 두께를 나누면 직렬이다.

NoteBase

문 4. z축상에 투자율 μ, 반지름 a인 무한히 긴 원통형 도체가 놓여 있다. 균일한 전류 $I[A]$가 도체를 통해 $+z$ 축 방향으로 흐를 때, 원통축으로부터의 거리가 ρ인 위치에서 자속밀도 $\vec{B}[\mathrm{Wb/m^2}]$의 크기는? (단, $0 < \rho < a$ 이다)

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

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 균일 전류밀도를 갖는 원통 도체 내부에서 암페어 법칙으로 자속밀도 B의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 투자율 μ, 반지름 a, 전체 전류 I, 관찰 위치 $0 < \rho < a$이다.
구해야 할 값: 도체 중심축에서 거리 ρ인 내부 점의 자속밀도 B의 크기이다.
주의할 조건: $\rho < a$이므로 도체 외부 공식이 아니라 반지름 ρ 안에 실제로 포함되는 전류 I_{enc}를 먼저 구해야 한다.

사용할 공식

암페어 법칙은 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I_{enc}$이다.
균일 전류밀도는 $J = \frac{I}{\pi a^2}$이므로, 반지름 ρ 안에 포함되는 전류는 $I_{enc} = J\pi\rho^2 = I\frac{\rho^2}{a^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 무한히 긴 원통 도체의 내부 자기장이 원주 방향으로 대칭이고, 문제에서 도체 내부점 $\rho < a$를 주었기 때문이다.

계산 과정

1. 균일 전류밀도는 $J = \frac{I}{\pi a^2}$이다.
2. 반지름 ρ인 암페어 경로가 감싸는 전류는 $I_{enc} = J\pi\rho^2 = I\frac{\rho^2}{a^2}$이다.
3. 암페어 법칙에 따라 $B \cdot 2\pi\rho = \mu I_{enc} = \mu I\frac{\rho^2}{a^2}$이다.
4. 따라서 $B = \frac{\mu I\rho}{2\pi a^2}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{\mu I}{2\pi\rho}$는 중심에서 멀어질수록 작아지는 $1/\rho$ 형태인데, 이것은 도체 외부 또는 선전류의 자기장 형태이다. 틀린 표현은 분모의 ρ 의존성이고, 올바르게는 도체 내부에서는 B가 ρ에 비례하여 $\frac{\mu I\rho}{2\pi a^2}$가 된다.
② X: $\frac{\mu I}{\pi\rho}$는 ①과 같은 외부형 $1/\rho$ 의존성에다가 계수도 2배 크게 잡은 값이다. 틀린 표현은 내부점을 외부 공식처럼 본 점이고, 올바르게는 $\rho < a$에서 포함 전류가 ρ^2에 비례하므로 $\frac{\mu I\rho}{2\pi a^2}$가 된다.
③ O: 암페어 법칙으로 구하면 $B = \frac{\mu I\rho}{2\pi a^2}$이므로 ③이 정확하다. 내부 자기장은 중심에서 0이고 반지름에 따라 선형적으로 증가한다.
④ X: $\frac{\mu I\rho}{\pi a^2}$는 형태는 맞지만 계수가 2배 크다. 틀린 표현은 분모의 2가 빠진 점이고, 올바르게는 암페어 경로의 길이가 $2\pi\rho$이므로 $B = \frac{\mu I\rho}{2\pi a^2}$가 된다.

오답 포인트

도체 내부와 외부 공식을 섞으면 ①, ② 같은 $1/\rho$ 형태를 고르게 된다. 또한 암페어 경로 길이 $2\pi\rho$에서 2를 빠뜨리면 ④처럼 계수가 2배 큰 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통 도체 자기장 문제는 먼저 관찰점이 내부인지 외부인지 구분한다. 내부이면 전체 전류를 바로 쓰지 않고 반지름 ρ 안에 포함되는 전류 I_{enc}를 구한 뒤 암페어 법칙 $B \cdot 2\pi\rho = \mu I_{enc}$를 적용한다.

암기 포인트

균일 전류 원통 도체의 내부 자기장은 $B \propto \rho$, 외부 자기장은 $B \propto 1/\rho$이다.

NoteBase

문 5. 전계가 $\vec{E} = E_{x0}e^{-j[\omega t - \beta(\omega)z]}\vec{a_x}[V/m]$인 전자기파에서, $\beta(\omega)$와 E_{x0}만 알려져 있을 때, 알 수 없는 것은? (단, 각주파수 ω의 함수인 $\beta(\omega)$와 E_{x0}는 실숫값을 가진다)

① 군속도

② 위상속도

③ 편파특성

④ 포인팅 벡터

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 진행파 식에서 $\beta(\omega)$로 위상속도와 군속도를, 전계 방향으로 편파를 판별하고, 추가 매질 정보가 있어야 정해지는 물리량을 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전계가 $\mathbf{E} = E_{x0}e^{-j[\omega t - \beta(\omega)z]}\mathbf{a}_x$ 꼴이고, $\beta(\omega)$와 E_{x0}가 알려져 있다.
구해야 할 값: 보기 1번부터 4번 중 주어진 정보만으로는 알 수 없는 물리량이다.
주의할 조건: 전계의 진행 방향과 편파는 식에서 읽을 수 있지만, 포인팅 벡터의 크기는 자기장 또는 매질의 고유임피던스 정보가 있어야 정해진다.

사용할 공식

위상속도는 $v_p = \omega/\beta(\omega)$이다.
군속도는 $v_g = d\omega/d\beta = 1/(d\beta/d\omega)$이다.
편파는 전계 벡터의 방향으로 판별하며, 이 파는 $\mathbf{a}_x$ 방향 성분만 있으므로 선형 편파이다.
포인팅 벡터는 $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ 또는 크기 $|\mathbf{S}| = |\mathbf{E}|^2/\eta$로 구하므로 $\mathbf{H}$나 η가 추가로 필요하다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 수치 계산보다 주어진 파동식에서 직접 결정되는 양과 추가 매질 정보가 있어야 정해지는 양을 구별하는 상황이기 때문이다.

계산 과정

1. 지수항 $e^{-j[\omega t - \beta z]}$에서 위상상수 $\beta(\omega)$가 주어졌으므로 $v_p = \omega/\beta(\omega)$를 알 수 있다.
2. β가 ω의 함수로 주어졌으므로 미분하여 $v_g = 1/(d\beta/d\omega)$를 알 수 있다.
3. 전계가 $\mathbf{a}_x$ 방향 성분만 가지므로 편파는 x방향 선형 편파임을 알 수 있다.
4. 포인팅 벡터는 전계만으로는 크기까지 정해지지 않는다. 자기장 $\mathbf{H}$ 또는 매질의 고유임피던스 η가 없으면 $\mathbf{S}$ 전체를 확정할 수 없다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 군속도는 알 수 없는 양이 아니다. $\beta(\omega)$가 주어졌으므로 $v_g = 1/(d\beta/d\omega)$로 구할 수 있다. 틀린 표현은 '알 수 없는 것'으로 고른 판단이며, 올바르게는 '군속도는 $\beta(\omega)$로부터 알 수 있는 물리량'이다.
2번 X: 위상속도도 알 수 없는 양이 아니다. 각주파수 ω에 대한 위상상수 $\beta(\omega)$가 있으므로 $v_p = \omega/\beta(\omega)$로 결정된다. 틀린 표현은 '알 수 없는 것'으로 고른 판단이며, 올바르게는 '위상속도는 $\omega/\beta(\omega)$로 알 수 있다'이다.
3번 X: 편파특성 역시 알 수 없는 양이 아니다. 전계가 $\mathbf{a}_x$ 방향 성분만 가지므로 x방향 선형 편파이다. 틀린 표현은 '알 수 없는 것'으로 고른 판단이며, 올바르게는 '편파특성은 x방향 선형 편파로 알 수 있다'이다.
4번 O: 포인팅 벡터는 정답 선택지이다. 진행 방향은 추정할 수 있어도 벡터의 크기까지 포함한 $\mathbf{S}$는 $\mathbf{H}$ 또는 η가 없으면 정해지지 않는다. 따라서 주어진 정보만으로는 포인팅 벡터를 완전히 알 수 없다.

오답 포인트

전파 방향이 보이면 곧바로 포인팅 벡터도 안다고 착각하기 쉽다. 이 문제의 함정은 방향 추정 가능성과 벡터 전체 결정 가능성을 혼동하게 만드는 데 있다. $\beta(\omega)$는 속도 정보와 분산 특성을 주지만, 전력 밀도 크기까지는 주지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

전자기파 식이 나오면 먼저 지수항에서 진행 방향과 $\beta(\omega)$를 읽고, 다음으로 v_p, v_g, 편파처럼 전계식만으로 정해지는 양을 분리한다. 마지막으로 에너지 흐름의 크기처럼 $\mathbf{H}$, η, μ, ε이 추가로 필요한 양인지를 확인하면 된다.

암기 포인트

$\beta(\omega)$는 v_p와 v_g를, 전계 방향은 편파를 알려 주지만, 포인팅 벡터의 크기는 $\mathbf{H}$ 또는 η가 있어야 정해진다.

NoteBase

문 6. $z=0$**인** xy**-평면에 무한 면전류** $\vec{K}=6\vec{a}_x[A/m]$**가 흐르고,** $y=0$**,** $z=3$**인 지점에서** $+x$**축 방향으로 무한 선전류** $I[A]$**가 흐른다. 직각좌표계** $(0,0,1)$**의 위치에서 두 전류원에 의한 자계** $\vec{H}[A/m]$**가 0이 되는 전류** $I[A]$**는? (단, 길이의 단위는** $[m]$**이다)**

① 6π

② 9π

③ 12π

④ 15π

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무한 면전류와 무한 선전류가 만드는 자계를 벡터로 합성하여 $\vec{H}=0$ 조건을 만족하는 I를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{K}=6\vec{a}_x[A/m]$, 선전류의 위치는 $(y,z)=(0,3)$, 관찰점은 $(0,0,1)$이다.
구해야 할 값은 자계의 벡터합이 0이 되게 하는 선전류 I이다.
주의할 조건은 관찰점이 $z=1$이므로 면전류가 있는 평면 $z=0$의 위쪽에 있다는 점과, 선전류에서 관찰점까지의 거리가 $2m$라는 점이다.

사용할 공식

무한 면전류의 위쪽 자계는 $\vec{H}_{\text{sheet}}=\frac{1}{2}\vec{K}\times\vec{a}_z$이다.
무한 선전류의 자계 크기는 $H_{\text{line}}=\frac{I}{2\pi\rho}$이고 방향은 오른손법칙으로 정한다.
이 공식을 쓰는 이유는 한 전류원은 평면 전류분포이고 다른 전류원은 직선 전류분포이므로, 각각의 표준 자계 공식을 적용한 뒤 같은 점에서 벡터합을 0으로 맞추어야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 관찰점은 평면 $z=0$의 위쪽이므로 면전류가 만드는 자계는 $\vec{H}_{\text{sheet}}=\frac{1}{2}(6\vec{a}_x\times\vec{a}_z)=-3\vec{a}_y[A/m]$이다.
2. 선전류는 $+x$축 방향이고 관찰점은 그 전류선의 바로 아래쪽 $2m$ 지점이므로 방향은 $+\vec{a}_y$이고, 크기는 $\vec{H}_{\text{line}}=\frac{I}{2\pi\cdot 2}\vec{a}_y=\frac{I}{4\pi}\vec{a}_y[A/m]$이다.
3. 전체 자계가 0이 되려면 $\vec{H}_{\text{sheet}}+\vec{H}_{\text{line}}=0$이어야 하므로 $-3\vec{a}_y+\frac{I}{4\pi}\vec{a}_y=0$이다.
4. 따라서 $\frac{I}{4\pi}=3$, $I=12\pi[A]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $I = 6\pi$이면 선전류 자계는 $\frac{6\pi}{4\pi}\vec{a}_y = \frac{3}{2}\vec{a}_y$가 된다. 전체 자계는 $-3\vec{a}_y + \frac{3}{2}\vec{a}_y = -\frac{3}{2}\vec{a}_y$이므로 0이 아니다. 틀린 표현은 전류값이 6π라는 점이다. 올바르게는 12π이다.
② X: $I = 9\pi$이면 선전류 자계는 $\frac{9}{4}\vec{a}_y$가 된다. 전체 자계는 $-3\vec{a}_y + \frac{9}{4}\vec{a}_y = -\frac{3}{4}\vec{a}_y$이므로 0이 아니다. 틀린 표현은 전류값이 9π라는 점이다. 올바르게는 12π이다.
③ O: $I = 12\pi$이면 선전류 자계는 $\frac{12\pi}{4\pi}\vec{a}_y = 3\vec{a}_y$가 된다. 면전류 자계 $-3\vec{a}_y$와 정확히 상쇄되므로 자계의 벡터합이 0이 된다.
④ X: $I = 15\pi$이면 선전류 자계는 $\frac{15}{4}\vec{a}_y$가 된다. 전체 자계는 $-3\vec{a}_y + \frac{15}{4}\vec{a}_y = \frac{3}{4}\vec{a}_y$이므로 0이 아니다. 틀린 표현은 전류값이 15π라는 점이다. 올바르게는 12π이다.

오답 포인트

무한 면전류의 자계 크기를 각 공간에서 K로 두는 실수가 가장 흔하다. 이 문제에서는 위쪽 공간의 자계가 $K/2 = 3[A/m]$라는 점이 핵심이다.
또한 선전류의 방향을 잘못 잡아 $-\vec{a}_y$로 두면 부호가 뒤집혀 계산 전체가 어긋난다.
위쪽 공간의 면전류 자계 $K/2 = 3[A/m]$와 선전류 자계 $I/(4\pi)$를 벡터로 상쇄시키면 $I = 12\pi[A]$로 유일하게 결정되므로 정답은 3번이다.

다시 나오면 이렇게 판단

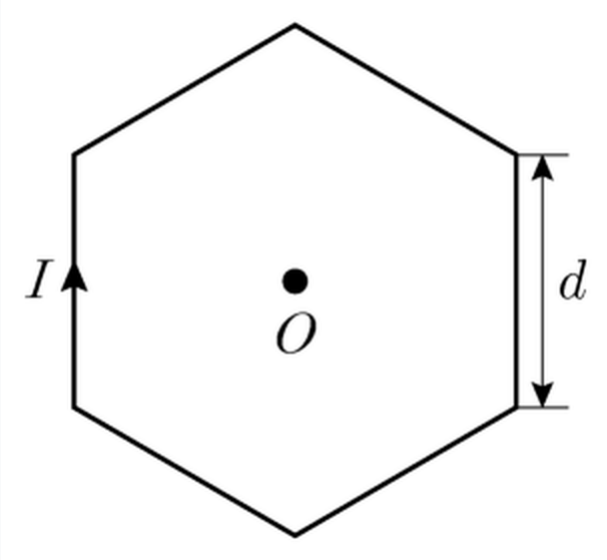
전류원 합성 문제는 먼저 각 전류원이 만드는 자계의 방향을 벡터로 정하고, 다음에 면전류는 $K/2$, 선전류는 $I/(2\pi\rho)$를 적용한 뒤 마지막에 벡터합을 0으로 두어 판단한다.

암기 포인트

무한 면전류는 각 면에서 $K/2$, 무한 선전류는 거리 ρ에서 $I/(2\pi\rho)$이다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 한 변의 길이가 $d[m]$인 정육각형의 루프 도선에 선전류 $I[A]$가 흐를 때, 중심 O에서의 자계 $\vec{H}[A/m]$의 크기는?



① $\frac{I}{2\sqrt{3}\pi d}$
② $\frac{I}{\sqrt{3}\pi d}$
③ $\frac{\sqrt{3}I}{2\pi d}$
④ $\frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정육각형 루프를 이루는 각 변을 유한 직선도선으로 보고, 중심에서의 자기장 세기 H를 대칭적으로 합성할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 한 변의 길이 d, 전류 I이다.
구해야 할 값은 중심 O에서의 자기장 세기 H이다.
정육각형에서 중심에서 각 변까지의 수직거리는 내접반지름이므로 $r = d\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}d$이다.

사용할 공식

유한 직선도선이 점에서 만드는 자기장 세기는 $H = \frac{I}{4\pi r}(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)$이다.
이 문제의 중심은 각 변의 수직이등분선 위에 있으므로 한 변의 자기장을 먼저 구한 뒤, 방향이 같은 6개 변의 기여를 모두 더하면 된다.

NoteBase

계산 과정

한 변을 기준으로 보면 중심에서 그 변의 양 끝을 보는 각은 $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$이다.
따라서 한 변이 만드는 자기장 세기는 $H_1 = \frac{I}{4\pi r}(\sin 30^\circ + \sin 30^\circ) = \frac{I}{4\pi r}$이다.
여기에 $r = \frac{\sqrt{3}}{2}d$를 대입하면 $H_1 = \frac{I}{4\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{2}d\right)} = \frac{I}{2\sqrt{3}\pi d}$이다.
정육각형의 6개 변은 중심에서 같은 방향의 자기장을 만들므로 $H = 6H_1 = 6 \cdot \frac{I}{2\sqrt{3}\pi d} = \frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$이다.

선지 판단

1번 X: $\frac{I}{2\sqrt{3}\pi d}$는 정육각형 한 변만이 만드는 자기장이다. 루프 전체의 자기장으로 보았기 때문에 틀렸고, 올바르게는 6개 변의 기여를 합한 $H = \frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$이다.
2번 X: $\frac{I}{\sqrt{3}\pi d}$는 한 변의 자기장을 2배 한 값으로, 일부 변만 더한 값에 해당한다. 정육각형에서는 6개 변이 모두 같은 방향으로 기여하므로, 올바르게는 $H = \frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$이다.
3번 X: $\frac{\sqrt{3}I}{2\pi d}$는 정답의 절반으로, 전체 합산에서 2배가 빠진 값이다. 6개 변 전체를 더해야 하므로 올바르게는 $H = \frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$이다.
4번 O: 각 변의 자기장 $\frac{I}{2\sqrt{3}\pi d}$를 6개 합하면 $\frac{\sqrt{3}I}{\pi d}$가 되므로 옳다.

오답 포인트

한 변의 길이 d를 중심에서 변까지의 거리로 바로 쓰면 틀린다. 이 문제의 핵심 함정은 거리 r가 d가 아니라 $\frac{\sqrt{3}}{2}d$라는 점과, 한 변의 결과를 구한 뒤 6개 변을 모두 합해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

정다각형 전류 루프의 중심 자기장 문제는 중심에서 한 변까지의 거리부터 구하고, 유한 직선도선 공식으로 한 변의 자기장을 계산한 뒤, 대칭인 변의 개수만큼 같은 방향으로 합산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

정육각형 한 변 길이가 d이면 중심에서 변까지 거리는 $\frac{\sqrt{3}}{2}d$이고, 중심 자기장은 한 변의 자기장에 6을 곱해 정리된다.

NoteBase

문 8. $2[nC]$**의 양전하가 일정한 속도** $\vec{v}=5\vec{a}_x[m/s]$**로, 전계** $\vec{E}=10\vec{a}_y[V/m]$**와 자속밀도** $\vec{B}=B_0\vec{a}_z[Wb/m^2]$**인 자유공간에서 이동할 때, 양전하가 등속 운동하는** B_0**는?**

① -50

② -2

③ 2

④ 50

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 등속 운동 조건에서 로런츠 힘이 0이 되도록 $\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}=0$를 적용해 B_0를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 양전하 $2nC$, 속도 $\vec{v}=5\vec{a}_x m/s$, 전계 $\vec{E}=10\vec{a}_y V/m$, 자속밀도 $\vec{B}=B_0\vec{a}_z Wb/m^2$이다.
구해야 할 값은 B_0이다.
등속 운동이므로 합력이 0이어야 하고, 따라서 전기력과 자기력이 정확히 상쇄되어야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $\vec{F}=q(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})$이다.
등속 운동이면 $\vec{F}=0$이므로 $\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}=0$를 바로 적용할 수 있다.

계산 과정

먼저 $\vec{v}\times\vec{B}=5\vec{a}_x\times B_0\vec{a}_z=5B_0(\vec{a}_x\times\vec{a}_z)$이다.
단위벡터 외적은 $\vec{a}_x\times\vec{a}_z=-\vec{a}_y$이므로 $\vec{v}\times\vec{B}=-5B_0\vec{a}_y$가 된다.
따라서 $\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}=10\vec{a}_y-5B_0\vec{a}_y=(10-5B_0)\vec{a}_y=0$이다.
즉 $10-5B_0=0$이므로 $B_0=2$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $B_0 = -50$이면 $\vec{v} \times \vec{B} = -5(-50)\vec{a}_y = 250\vec{a}_y$가 되어 전계와 같은 방향 힘이 더 커진다. 등속 조건을 만족하지 못한다. 틀린 표현은 $B_0 = -50$이고, 올바르게는 $B_0 = 2$이다.
2번 X: $B_0 = -2$이면 $\vec{v} \times \vec{B} = 10\vec{a}_y$가 되어 전계 $10\vec{a}_y$와 같은 방향으로 작용한다. 부호를 반대로 본 오답이다. 틀린 표현은 $B_0 = -2$이고, 올바르게는 $B_0 = 2$이다.
3번 O: $B_0 = 2$이면 $\vec{v} \times \vec{B} = -10\vec{a}_y$가 되어 전계 $10\vec{a}_y$와 정확히 상쇄된다. 합력이 0이므로 등속 운동 조건에 맞는다.
4번 X: $B_0 = 50$이면 자기력의 크기가 필요값보다 25배 커져 상쇄가 아니라 과도한 반대방향 힘이 생긴다. 틀린 표현은 $B_0 = 50$이고, 올바르게는 $B_0 = 2$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$의 부호를 반대로 보는 것이다. 이 부호를 틀리면 2번처럼 크기는 맞고 방향만 틀린 오답에 걸린다. 또 등속 조건을 보고도 E/v 대신 곱셈으로 처리하면 1번이나 4번 같은 비정상적으로 큰 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

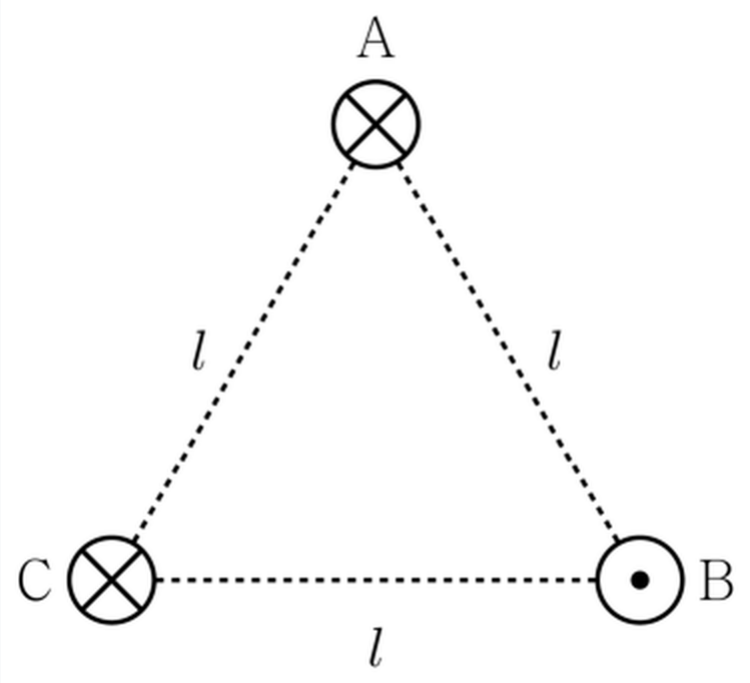
등속 운동 전하 문제는 먼저 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = 0$를 세우고, 다음에 $\vec{v} \times \vec{B}$의 방향을 단위벡터 외적으로 확인한 뒤, 마지막에 크기식으로 B_0를 계산하면 된다.

암기 포인트

등속 운동 전하는 전기력과 자기력이 상쇄되고, 이 문제에서는 $\vec{a}_x \times \vec{a}_z = -\vec{a}_y$이므로 $10 = 5B_0$에서 $B_0 = 2$가 된다.

NoteBase

문 9. 한 변의 길이가 /인 정삼각형의 꼭짓점 위치에, 그림의 표시 방향으로 동일한 크기의 전류가 흐르는 무한 직선 도선 A, B, C가 있다. 가장 큰 힘을 받는 도선은?



① A

② B

③ C

④ 모두 동일

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정삼각형 꼭짓점에 놓인 평행 도선들의 전류 방향을 읽고, 도선 사이 힘의 방향과 합력의 크기를 벡터합으로 비교하는 문제이다.

핵심 정리

평행한 두 무한 직선 도선 사이의 단위길이당 힘의 크기는 $f = \mu_0 I^2/(2\pi l)$로 같고, 전류 방향이 같으면 인력, 반대이면 척력이다. 따라서 이 문제는 세 도선이 서로 주고받는 힘의 크기는 모두 같고 방향만 다르다고 보면 된다.

NoteBase

선지별 해설

1번 A: X. A는 C와 전류 방향이 같으므로 C 쪽으로 끌리고, B와는 반대이므로 B에서 멀어지는 힘을 받는다. 두 힘의 크기는 같고 끼인각이 120도이므로 합력의 크기는 f이다. 틀린 표현은 "A가 가장 큰 힘을 받는다"이고, 올바르게는 "A의 합력은 B보다 작다"이다.
2번 B: O. B는 A, C와 모두 전류 방향이 반대이므로 두 도선에게서 모두 밀려난다. 두 힘의 크기는 같고 끼인각이 60도이므로 합력의 크기는 $\sqrt{3}f$가 된다. 세 도선 중 가장 큰 힘을 받는 도선은 B이다.
3번 C: X. C는 A와 전류 방향이 같으므로 A 쪽으로 끌리고, B와는 반대이므로 B에서 멀어지는 힘을 받는다. 두 힘의 크기는 같고 끼인각이 120도이므로 합력의 크기는 f이다. 틀린 표현은 "C가 가장 큰 힘을 받는다"이고, 올바르게는 "C의 합력은 A와 같고 B보다 작다"이다.
4번 모두 동일: X. 각 쌍의 도선 사이 힘의 크기만 같을 뿐, 각 도선에서 두 힘이 이루는 방향은 서로 다르다. B에서는 두 반발력이 같은 방향 성분으로 더해지지만 A와 C에서는 일부가 상쇄된다. 틀린 표현은 "모두 동일"이고, 올바르게는 "B가 가장 크고 A와 C는 같다"이다.

오답 포인트

도선 사이 힘의 크기가 모두 같다는 사실만 보고 합력까지 같다고 판단하면 4번으로 흐르기 쉽다. 이 문제의 함정은 힘의 크기 비교가 아니라 각 도선에서 두 힘이 이루는 각과 방향 조합에 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 같은 방향 전류는 인력, 반대 방향 전류는 척력으로 힘의 방향을 정한다. 그다음 각 도선에 작용하는 두 힘의 끼인각이 60도인지 120도인지 확인하여 벡터합 크기를 비교하면 된다.

암기 포인트

평행 도선은 같은 방향이면 끌리고 반대 방향이면 민다. 같은 크기 두 힘은 60도이면 커지고 120도이면 줄어든다.

NoteBase

문 10. 전계 $\vec{E} = 5\cos(\omega t - 3\pi x - 4\pi z)\vec{a}_y$[V/m]인 평면 전자기파가 자유 공간을 진행할 때, 파장 λ[m]는?

① 0.1

② 0.4

③ 0.7

④ 1.2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평면 전자기파의 위상상수 벡터 크기 β를 구한 뒤 파장 λ로 바꾸는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = 5\cos(\omega t - 3\pi x - 4\pi z)a_y$ V/m이다.
위상항의 공간 성분은 $-(3\pi x + 4\pi z)$이므로 파수 벡터 성분은 $k_x = 3\pi$, $k_z = 4\pi$이다.
구해야 할 값은 자유공간에서의 파장 λ이다.

사용할 공식

파수 벡터 크기는 $\beta = \sqrt{k_x^2 + k_z^2}$, 파장은 $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$이다.
이 문제는 위상항의 x, z 계수가 각각 파수 벡터 성분으로 주어졌으므로 먼저 벡터 크기를 구해야 한다.

계산 과정

$\beta = \sqrt{(3\pi)^2 + (4\pi)^2} = \sqrt{9\pi^2 + 16\pi^2} = 5\pi$
$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{5\pi} = 0.4\text{m}$
따라서 파장은 0.4m이다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과 파장은 0.4m이므로 0.1m는 맞지 않는다. 3π 또는 4π 중 한 성분만 보고 파장을 읽으면 벡터 크기 정보를 놓친다. 올바른 값은 0.4m이다.
2번 O: 파수 벡터 크기가 5π이므로 $\lambda = \frac{2\pi}{5\pi} = 0.4\text{m}$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.
3번 X: 0.7m가 되려면 $\beta \approx \frac{2\pi}{0.7}$이어야 하는데, 문제의 위상항에서 얻는 실제 β는 5π이다. 위상항 계수로부터 나온 파수 벡터 크기와 맞지 않으므로 틀리다. 올바른 값은 0.4m이다.
4번 X: 1.2m가 되려면 $\beta \approx \frac{2\pi}{1.2}$이어야 하지만, 실제 위상상수 크기는 5π이다. 파수 벡터의 크기를 줄여서 읽은 오답이다. 올바른 값은 0.4m이다.

NoteBase

오답 포인트

위상항의 3π, 4π를 각각 따로 파장으로 바꾸거나 단순히 한 축 성분만 보는 실수가 가장 흔하다. 이 문제는 공간 계수의 벡터 크기 $\sqrt{(3\pi)^2 + (4\pi)^2}$를 먼저 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 식이 $\omega t - k_x x - k_z z$ 꼴로 보이면 공간 계수를 파수 벡터 성분으로 읽고, 그 크기 β를 구한 뒤 $\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

위상항의 공간 계수는 파수 벡터 성분이며, 자유공간 파장은 $\lambda = \frac{2\pi}{|\vec{k}|}$이다.

NoteBase

문 11. 균일한 밀도 $1[nC/m]$인 무한 선전하가 자유공간의 z축상에 있다. 전하량 $Q[C]$인 점전하를 직각좌표계의 위치 (2, 0, 1)에서 (1, 0, 3)으로 이동할 때, 필요한 일 $[nJ]$은? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이고, 길이의 단위는 $[m]$이다)

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

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무한 선전하의 전위차를 구한 뒤 점전하의 위치에너지 증가량으로 필요한 일을 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

선전하밀도는 $\lambda = 1nC/m$이다.
점전하는 $(2, 0, 1)$에서 $(1, 0, 3)$로 이동한다.
무한 선전하가 z축 위에 있으므로 전위와 전계는 축으로부터의 거리 ρ에만 의존한다.
처음 거리는 $\rho_i = 2m$, 나중 거리는 $\rho_f = 1m$이다.

사용할 공식

무한 선전하의 전계는 $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$이고, 두 점 사이의 전위차는
$\Delta V = V_f - V_i = -\int_i^f \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}d\rho = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{\rho_i}{\rho_f}$
이다.
이 문제는 z좌표 변화와 무관하게 축으로부터의 반지름 변화만 전위차를 만들기 때문에 이 공식을 쓴다.

계산 과정

1. 시작점과 도착점의 축으로부터 거리는 각각 $2m$, $1m$이다.
2. 전위차는 $\Delta V = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{2}{1} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2$이다.
3. 필요한 일은 점전하의 위치에너지 증가량이므로
$W = Q\Delta V = Q\cdot\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2$
이다.
4. $\lambda = 1nC/m = 10^{-9}C/m$이므로
$W = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2\times 10^{-9}J = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2nJ$
이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 틀린 표현은 분모를 $4\pi\varepsilon_0$로 둔 점이다. 이는 점전하 공식의 계수와 혼동한 값이다. 올바르게는 무한 선전하의 전계 계수인 $2\pi\varepsilon_0$가 들어가므로 $\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2nJ$가 된다.
2번 O: 전위차가 $\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2$이고 필요한 일은 $Q\Delta V$이므로 $\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2nJ$가 맞다.
3번 X: 틀린 표현은 $\ln 2$를 분모에 둔 점이다. $\int\frac{1}{\rho}d\rho$의 결과는 $\ln\rho$이므로 최종값에는 $\ln 2$가 곱해진다. 올바르게는 $\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2nJ$이다.
4번 X: 틀린 표현은 $\ln 2$를 분모에 둔 점이다. 분모의 $2\pi\varepsilon_0$는 맞지만 로그 위치가 잘못되었다. 올바르게는 $\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0}\ln 2nJ$이다.

오답 포인트

무한 선전하를 점전하처럼 보고 $4\pi\varepsilon_0$를 쓰거나, $\int\frac{1}{\rho}d\rho$에서 나온 ln을 분모로 잘못 옮기면 오답이 된다. 또한 z 좌표가 바뀌어도 반지름 ρ가 같으면 전위는 변하지 않는다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

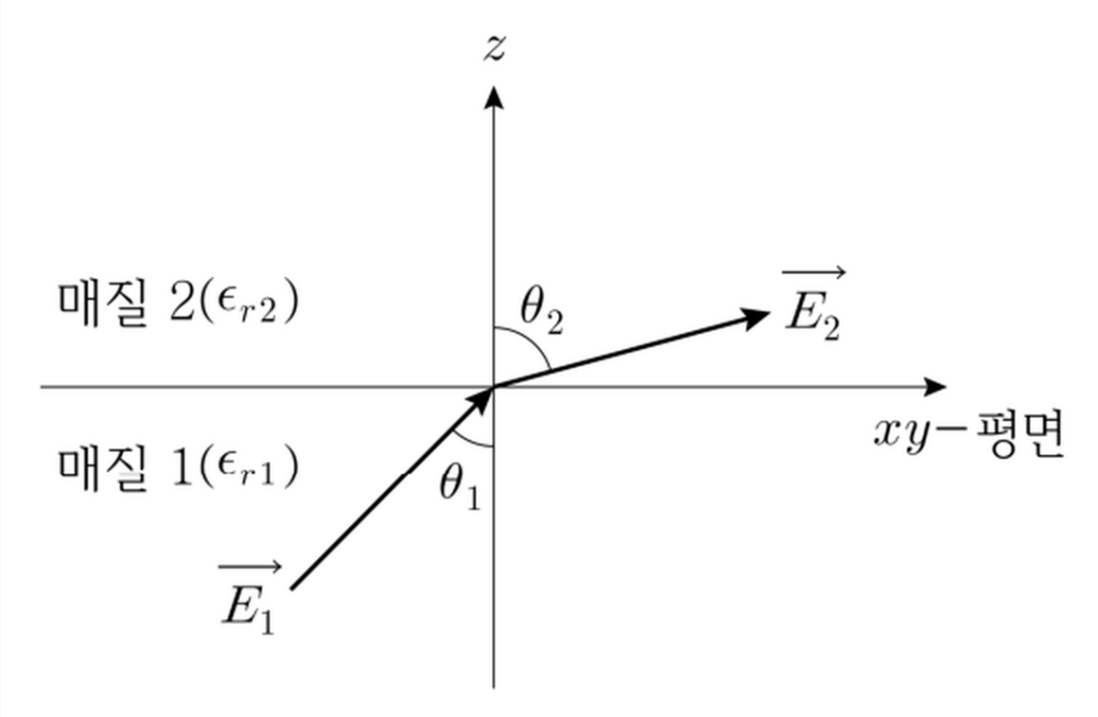
선전하 문제는 먼저 축으로부터 거리 ρ만 추려서 처음값과 끝값을 비교한다. 그다음 ΔV를 구하고 필요한 일을 $Q\Delta V$로 연결하면 된다.

암기 포인트

무한 선전하 전위차는 반지름비의 로그로 정해지고, 필요한 일은 $Q\Delta V$이다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 비유전율 $\varepsilon_{r1}=2$인 매질 1과 비유전율 $\varepsilon_{r2}=3$인 매질 2가 xy-평면을 경계로 접해있다. 매질 1에서 전계가 $\vec{E}_1=3\vec{a}_x-4\vec{a}_y+3\vec{a}_z[V/m]$일 때, $\tan\theta_2$는? (단, 경계면에 존재하는 자유전하는 없다)



① $\frac{1}{2}$
② 1
③ $\frac{3}{2}$
④ $\frac{5}{2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유전체 경계면에서 접선 성분의 전계는 연속이고 법선 성분의 전속밀도는 연속이라는 경계조건을 이용해 $\tan\theta_2$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 매질 1의 비유전율은 $\varepsilon_{r1}=2$, 매질 2의 비유전율은 $\varepsilon_{r2}=3$이다. 매질 1의 전계는 $\vec{E}_1=3\vec{a}_x-4\vec{a}_y+3\vec{a}_z[V/m]$이다.
구해야 할 값: 매질 2에서의 $\tan\theta_2$이다.
주의할 조건: 경계면은 xy-평면이므로 접선 성분은 x, y 성분이고 법선 성분은 z 성분이다. 각도 θ_2는 법선축 기준이므로 $\tan\theta_2=|E_{2t}|/|E_{2n}|$로 본다.

NoteBase

사용할 공식

접선 전계 연속: $\vec{E}_{1t} = \vec{E}_{2t}$
법선 전속밀도 연속: $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$
각도 관계: $\tan\theta_2 = \frac{|E_{2t}|}{|E_{2n}|}$
이 공식을 쓰는 이유: 자유전하가 없는 유전체 경계면에서는 접선 방향의 전계는 바뀌지 않고, 법선 방향은 전속밀도 연속조건으로 변하기 때문이다.

계산 과정

1. 매질 1의 접선 성분은 $\vec{E}_{1t} = 3\vec{a}_x - 4\vec{a}_y$이므로 크기는 $|E_{1t}| = \sqrt{3^2 + (-4)^2} = 5$이다.
2. 접선 전계는 연속이므로 $|E_{2t}| = 5$이다.
3. 법선 성분은 $E_{1n} = 3$이고, $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$에서 $2 \times 3 = 3 \times E_{2n}$이므로 $E_{2n} = 2$이다.
4. 따라서 $\tan\theta_2 = \frac{|E_{2t}|}{|E_{2n}|} = \frac{5}{2}$이다.

선지별 해설

① X: $\frac{1}{2}$는 접선 성분과 법선 성분을 거꾸로 나눈 값이다. 이 문제에서 θ_2는 법선축 기준 각도이므로 $\tan\theta_2 = |E_{2t}|/|E_{2n}| = 5/2$가 되어야 한다. 틀린 표현은 "_2=E_2n/E_2t"이고, 올바르게는 "_2=E_2t/E_2n"이다.
② X: 1은 E_{2t}와 E_{2n}를 같다고 본 경우의 값인데, 실제로는 $|E_{2t}| = 5$, $|E_{2n}| = 2$이다. 틀린 표현은 "경계면을 지나도 각 성분이 비슷하게 줄어든다"이고, 올바르게는 "접선 성분은 그대로이고 법선 성분만 유전율비에 따라 3에서 2로 바뀐다"이다.
③ X: $\frac{3}{2}$는 법선 성분 $E_{1n} = 3$을 그대로 쓰고 접선 성분을 잘못 줄여 잡을 때 나오는 값이다. 매질 2에서는 법선 성분이 2로 바뀌므로 사용할 값이 아니다. 틀린 표현은 "법선 성분은 경계면에서도 변하지 않는다"이고, 올바르게는 "자유전하가 없을 때 연속인 것은 법선 전계가 아니라 법선 전속밀도이다"이다.
④ O: 접선 성분 크기는 5, 매질 2의 법선 성분은 2이므로 $\tan\theta_2 = 5/2$가 된다. 경계조건을 정확히 적용한 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 xy-평면 경계에서 무엇이 접선이고 무엇이 법선인지를 혼동하는 점이다. 또 연속 조건이 E_n이 아니라 D_n에 걸린다는 점을 놓치면 ③ 같은 오답이 나온다. 각도가 법선축 기준이라는 그림 해석을 놓치면 ①처럼 역수를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 경계 문제는 먼저 경계면의 접선 방향과 법선 방향을 나눈다. 그다음 E_t는 그대로, D_n은 연속으로 처리해 새 매질의 법선 전계를 구한다. 마지막에 각도가 법선 기준인지 경계면 기준인지 확인한 뒤 $\tan\theta$를 계산하면 된다.

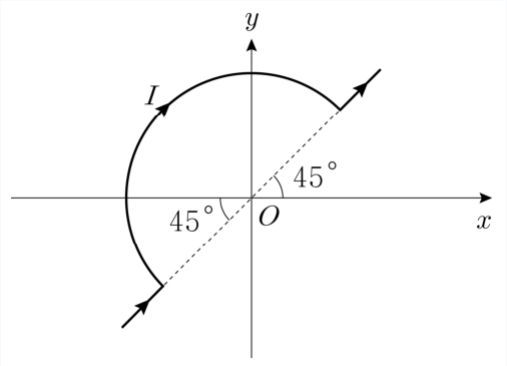
NoteBase

암기 포인트

유전체 경계: E_t 연속, D_n 연속, 각도가 법선 기준이면 $\tan\theta = E_t/E_n$이다.

NoteBase

문 13. $z=0$인 xy-평면상의 무한 직선 도선이 그림과 같이 원점을 중심으로 반지름 $0.1[m]$인 반원형 고리 모양을 하고 있다. 도선에 전류 $5[A]$가 흐를 때, 원점에서 자속밀도 $\vec{B}$ [Wb/m^2]의 크기와 방향은? (단, μ는 공간의 투자율이다)



① 크기: 12.5μ, 방향: $-z$축

② 크기: 12.5μ, 방향: $+z$축

③ 크기: 25μ, 방향: $-z$축

④ 크기: 25μ, 방향: $+z$축

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반원호 전류가 원점에 만드는 자속밀도를 비오-사바르 법칙으로 구하고, 오른손법칙으로 방향을 판단하는 문제이다.

조건 정리

반지름은 $R=0.1m$이고 전류는 $I=5A$이다.
도선은 원점을 중심으로 한 반원호와 그 양끝에 이어진 직선 부분으로 이루어진다.
직선 부분은 원점을 지나는 반지름의 연장선과 같은 방향이므로 원점에서 만드는 자계는 0이다.

사용할 공식

원호 전류가 중심에 만드는 자속밀도는 $B=\frac{\mu I\theta}{4\pi R}$이다.
이 문제의 원호는 반원호이므로 $\theta=\pi$를 대입해 $B=\frac{\mu I}{4R}$를 사용한다.
직선 부분은 각 미소전류요소 $d\vec{\ell}$와 원점까지의 위치벡터 $\vec{r}$가 서로 평행하므로 $d\vec{\ell}\times\hat{r}=0$이 되어 기여하지 않는다.

NoteBase

계산 과정

반원호만 원점 자계에 기여하므로
$B = \frac{\mu I}{4R} = \frac{\mu \cdot 5}{4 \cdot 0.1} = \frac{5\mu}{0.4} = 12.5\mu$
이다.
전류는 아래 왼쪽에서 들어와 왼쪽 반원을 따라 위 오른쪽으로 나가므로 원점 기준으로 시계방향이다.
오른손법칙을 적용하면 자계 방향은 종이 안쪽, 즉 $-z$축이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과 크기는 12.5μ이고, 전류가 원점을 기준으로 시계방향이므로 방향은 $-z$축이다.
2번: X. 크기 12.5μ는 맞지만 방향이 틀렸다. 틀린 표현은 $+z$축이다. 올바르게는 전류가 시계방향이므로 $-z$축이다.
3번: X. 방향 $-z$축은 맞지만 크기가 틀렸다. 틀린 표현은 25μ이다. 올바르게는 반원호만 기여하므로 12.5μ이다. 25μ는 반원호를 원 전체로 잘못 보아 $B = \frac{\mu I}{2R}$를 적용할 때 나오는 값이다.
4번: X. 크기와 방향이 모두 틀렸다. 틀린 표현은 25μ, $+z$축이다. 올바르게는 크기는 12.5μ, 방향은 $-z$축이다.

오답 포인트

직선 부분까지 자계에 기여한다고 생각하거나, 반원호를 원 전체 공식으로 계산하면 25μ가 나온다. 또 오른손법칙을 반대로 적용하면 방향을 $+z$축으로 뒤집게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

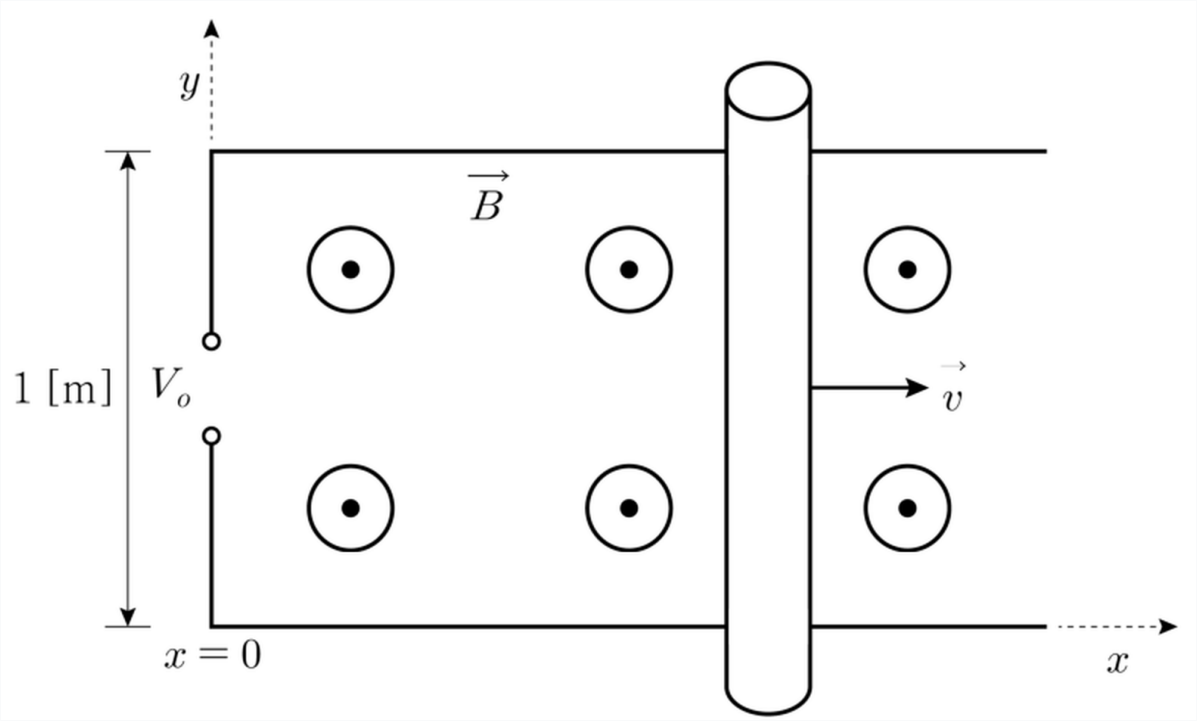
원형 도선 자계 문제는 먼저 어떤 구간이 중심 자계에 실제로 기여하는지 본다. 그다음 원호의 중심각을 반영해 크기를 계산하고, 마지막에 전류의 회전방향에 오른손법칙을 적용해 $\pm z$축을 정한다.

암기 포인트

원호 중심자계는 $B = \frac{\mu I \theta}{4\pi R}$이고, 반원호는 $\frac{\mu I}{4R}$이다. 반지름 방향 직선 전류는 중심에서 자계를 만들지 않는다.

NoteBase

문 14. 시변 자속밀도 $\vec{B}(t) = 10t\vec{a}_z[\mathrm{Wb/m^2}]$가 균일하게 분포한 공간에 그림과 같은 'ㄷ'자형 도체 레일이 있다. y축에 평행한 금속막대가 시간 $t = 0[s]$일 때, $x = 0$인 지점에서 출발하여 $\vec{v} = 2\vec{a}_x[m/s]$의 속도로 이동한다. 시간에 따른 유도기전력 $V_o[V]$의 크기는?



① $40t$

② $40t^2$

③ $80t$

④ $80t^2$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 자기장도 변하고 도체 막대의 위치도 변하는 경우에 자속 $\Phi = BA$를 구한 뒤 $V_o = |d\Phi/dt|$로 유도기전력을 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{B}(t) = 10t\vec{a}_z[Wb/m^2]$, 막대 속도는 $\vec{v} = 2\vec{a}_x[m/s]$, 레일 간격은 $1[m]$이다.
막대는 $t = 0$에서 $x = 0$에서 출발하므로 위치는 $x(t) = 2t[m]$이다.
구해야 할 값은 시간에 따른 유도기전력의 크기 V_o이다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 공식은 $V_o = |d\Phi/dt|$, $\Phi = B \cdot A$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자기장 B가 시간에 따라 변하고, 막대가 움직여 둘러싸는 면적 A도 시간에 따라 변하므로 회로를 지나는 자속이 시간함수이기 때문이다.

계산 과정

면적은 $A(t) = 1 \cdot x(t) = 2t[m^2]$이다.
따라서 자속은 $\Phi(t) = B(t)A(t) = (10t)(2t) = 20t^2[Wb]$이다.
그러므로 유도기전력의 크기는 $V_o = |d\Phi/dt| = |d(20t^2)/dt| = 40t[V]$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $V_o = 40t[V]$이므로 옳다.
2번: X. $40t^2$는 자속 $\Phi = 20t^2$를 잘못 다루거나 시간미분을 빠뜨렸을 때의 형태이다. 틀린 표현은 "유도기전력의 크기가 $40t^2$이다"이고, 올바르게는 "유도기전력의 크기는 자속의 시간미분값인 $40t$이다"이다.
3번: X. $80t$는 자속 변화율을 과대평가한 값이다. 틀린 표현은 "유도기전력의 크기가 $80t$이다"이고, 올바르게는 "면적과 자기장을 곱한 자속 $20t^2$를 한 번만 시간미분하면 $40t$가 된다"이다.
4번: X. $80t^2$는 자속과 유도기전력을 구분하지 못하고 추가 계수를 곱한 값이다. 틀린 표현은 "유도기전력의 크기가 $80t^2$이다"이고, 올바르게는 "유도기전력은 t^2꼴 자속을 미분한 t비례식 $40t$이다"이다.

오답 포인트

자기장 B와 면적 A가 모두 시간함수라는 점은 보면서도, 마지막에 자속 Φ를 한 번 더 시간미분해야 한다는 사실을 놓치기 쉽다. 특히 $20t^2$를 바로 답으로 적으면 2번 같은 오답에 걸린다.

다시 나오면 이렇게 판단

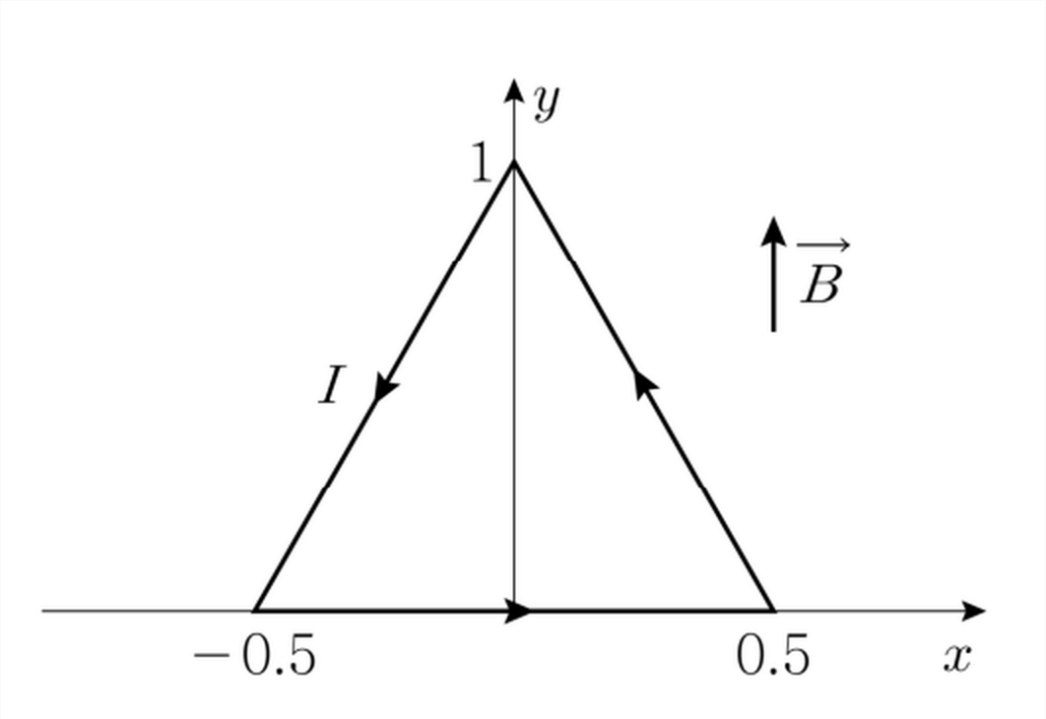
이동 도체와 시간변화 자기장이 함께 나오면 먼저 $x(t)$로 면적을 만들고, 다음에 $\Phi = B(t)A(t)$를 구한 뒤, 마지막에 반드시 $d\Phi/dt$를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

유도기전력은 자속 그 자체가 아니라 자속의 시간변화율이며, 이 문제에서는 $\Phi = 20t^2$ 다음에 $V_o = 40t$가 된다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 xy-평면에 밑변과 높이가 각각 1 [m]인 이등변 삼각형 루프 도선이 y축 대칭으로 놓여 있고, 반시계 방향으로 정전류 2 [A]가 흐른다. 공간에 균일한 자속밀도 $\vec{B} = 2\vec{a}_y[\mathrm{Wb/m^2}]$가 인가될 때, 삼각형 도선의 좌측 빗변, 우측 빗변, 밑변이 각각 받는 힘의 방향은?



① 좌측 빗변: +z축, 우측 빗변: +z축, 밑변: -z축

② 좌측 빗변: -z축, 우측 빗변: +z축, 밑변: +z축

③ 좌측 빗변: +z축, 우측 빗변: -z축, 밑변: +z축

④ 좌측 빗변: -z축, 우측 빗변: -z축, 밑변: +z축

정답 4번

출제 포인트

도선이 받는 힘의 방향을 $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$로 판단하되, $\vec{B} \parallel a_y$이므로 각 변의 x성분만 힘의 z축 방향을 결정한다.

NoteBase

조건 정리

주어진 조건:
- 자기장: $\vec{B} = 2a_y[Wb/m^2]$
- 전류 방향: 반시계 방향
- 밑변 전류: 좌에서 우, 좌측 빗변 전류: 꼭짓점에서 좌하단, 우측 빗변 전류: 우하단에서 꼭짓점

구해야 할 값:
- 좌측 빗변, 우측 빗변, 밑변이 각각 받는 힘의 방향

주의할 조건:
- a_y와 평행한 전류 성분은 $\vec{I} \times \vec{B}$에서 힘을 만들지 않는다.

사용할 공식

$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 균일한 자기장 속 직선 도선이 받는 힘의 방향은 전류 방향 벡터와 자기장 벡터의 외적으로 정해진다.
- 이 문제는 힘의 크기보다 방향만 묻기 때문에 각 변의 전류 방향과 $\vec{B}$의 외적 부호만 판단하면 된다.

계산 과정

1. 밑변은 전류 방향이 $+a_x$이므로 $+a_x \times +a_y = +a_z$가 되어 $+z$축 방향이다.
2. 좌측 빗변 전류 방향은 꼭짓점에서 좌하단이므로 $\vec{l}_L = -0.5a_x - a_y$로 볼 수 있다. 따라서 $\vec{l}_L \times \vec{B} = (-0.5a_x - a_y) \times 2a_y = -a_z$가 되어 $-z$축 방향이다.
3. 우측 빗변 전류 방향은 우하단에서 꼭짓점이므로 $\vec{l}_R = -0.5a_x + a_y$로 볼 수 있다. 따라서 $\vec{l}_R \times \vec{B} = (-0.5a_x + a_y) \times 2a_y = -a_z$가 되어 $-z$축 방향이다.
4. 두 빗변은 모두 x성분이 음수이고, y성분은 자기장과 평행이어서 힘에 기여하지 않으므로 결과가 같아진다.

선지별 해설

① X: 좌측 빗변과 우측 빗변을 $+z$축으로, 밑변을 $-z$축으로 본 점이 모두 반대이다. 틀린 표현은 '좌측 빗변 $+z$축, 우측 빗변 $+z$축, 밑변 $-z$축'이다. 올바르게는 '좌측 빗변 $-z$축, 우측 빗변 $-z$축, 밑변 $+z$축'이다.
② X: 좌측 빗변과 밑변은 맞지만 우측 빗변 방향이 틀리다. 틀린 표현은 '우측 빗변 $+z$축'이다. 올바르게는 '우측 빗변 $-z$축'이다. 우측 빗변도 x성분이 음수이므로 $\vec{l} \times \vec{B}$는 $-z$축이 된다.
③ X: 우측 빗변과 밑변은 맞지만 좌측 빗변 방향이 틀리다. 틀린 표현은 '좌측 빗변 $+z$축'이다. 올바르게는 '좌측 빗변 $-z$축'이다. 좌측 빗변 역시 x성분이 음수이므로 힘의 방향은 $-z$축이다.
④ O: 좌측 빗변 $-z$축, 우측 빗변 $-z$축, 밑변 $+z$축으로 모두 맞다. 두 빗변은 전류방향의 x성분만 남아 같은 $-z$축 힘을 받고, 밑변은 $+a_x \times +a_y = +a_z$이므로 $+z$축 힘을 받는다.

NoteBase

오답 포인트

빗변의 전류가 위쪽 또는 아래쪽으로 향한다는 점만 보고 좌우 빗변 힘이 반대라고 오해하기 쉽다. 그러나 $\vec{B}$가 a_y 방향이므로 빗변의 y성분은 힘을 만들지 않고, 두 빗변에 공통인 음의 x성분만 $-z$축 힘을 만든다. 밑변도 오른손법칙의 부호를 거꾸로 적용하면 $-z$축으로 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

도선 힘 방향 문제는 각 변의 전류방향을 좌표축 성분으로 분해한 뒤, 자기장과 평행한 성분은 버리고 수직 성분에 대해서만 $\vec{I} \times \vec{B}$의 부호를 본다. 자기장이 $+a_y$이면 $+a_x \rightarrow +a_z$, $-a_x \rightarrow -a_z$를 먼저 판정하면 빠르게 정리된다.

암기 포인트

$\vec{B} \parallel a_y$이면 도선 힘의 z방향 부호는 전류의 x성분 부호가 결정한다. $+x \times +y = +z$, $-x \times +y = -z$이다.

NoteBase

문 16. 어떤 도체의 전도율이 $\sigma = 6 \times 10^7 [S/m]$, 유전율이 $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} [F/m]$일 때, 주파수 $1[GHz]$에서 흐르는 전도전류 진폭(I_c)과 변위전류 진폭(I_d)의 비 $\frac{I_c}{I_d}$는?

① 5.4×10^8

② 1.08×10^9

③ 2.16×10^9

④ 5.4×10^9

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 전도전류와 변위전류의 진폭비를 $\frac{I_c}{I_d} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$로 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\sigma = 6 \times 10^7 S/m$, $\varepsilon = \frac{10^{-9}}{36\pi} F/m$, $f = 1GHz = 10^9 Hz$이다.
구해야 할 값은 $\frac{I_c}{I_d}$이다.
주의할 점은 각주파수 ω를 $2\pi f$로 바꾸어야 한다는 점이다.

사용할 공식

전도전류 진폭은 $I_c \propto \sigma E$, 변위전류 진폭은 $I_d \propto \omega\varepsilon E$이므로
$\frac{I_c}{I_d} = \frac{\sigma E}{\omega\varepsilon E} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$
를 사용한다.
이 문제는 같은 전계에서 전도 성분과 변위 성분의 크기를 비교하는 상황이므로 이 비율식이 바로 적용된다.

계산 과정

1. $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 10^9$이다.
2. $\omega\varepsilon = (2\pi \times 10^9) \times \frac{10^{-9}}{36\pi} = \frac{2}{36} = \frac{1}{18}$이다.
3. 따라서
$\frac{I_c}{I_d} = \frac{6 \times 10^7}{1/18} = 6 \times 10^7 \times 18 = 1.08 \times 10^9$
가 된다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 1.08×10^9이므로 5.4×10^8은 절반값이라 맞지 않는다. 비를 1.08×10^9로 고치면 옳다.
2번 O: $\omega = 2\pi f$를 반영해 계산하면 $\frac{I_c}{I_d} = 1.08 \times 10^9$가 되어 정답과 일치한다.
3번 X: 계산 결과의 2배이므로 맞지 않는다. 비를 1.08×10^9로 고치면 옳다.
4번 X: 계산 결과의 5배이므로 맞지 않는다. 비를 1.08×10^9로 고치면 옳다.

NoteBase

오답 포인트

전도전류와 변위전류를 비교할 때 f가 아니라 $\omega = 2\pi f$를 써야 한다는 점을 놓치기 쉽다. 또한 $\omega\varepsilon$ 계산에서 10^{9}와 10^{-9}가 상쇄된다는 점을 놓치면 큰 수 오차가 난다.

다시 나오면 이렇게 판단

전류비를 묻는 유전체 문제는 먼저 $I_c \propto \sigma E$, $I_d \propto \omega\varepsilon E$를 적고, 이어서 $\omega = 2\pi f$ 대입, 지수 상쇄, 최종 수치 비교 순서로 판단한다.

암기 포인트

전도 대 변위 비교는 $\sigma/\omega\varepsilon$이고, 주파수가 나오면 항상 $\omega = 2\pi f$를 먼저 확인한다.

NoteBase

문 17. 최대 전계의 크기가 $E_0[V/m]$인 평면 전자기파가 자유공간으로부터 무손실 유전체 경계면에 수직 입사한다. 유전체의 비투자율 $\mu_r = 1$이고 비유전율 $\varepsilon_r = 9$일 때, 유전체 내부를 진행하는 전자기파의 최대 전계의 크기 $[V/m]$는? (단, 자유공간의 투자율과 유전율은 각각 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$, $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}[F/m]$ 이다)

① $\frac{1}{4}E_0$
② $\frac{1}{2}E_0$
③ E_0
④ $\frac{3}{2}E_0$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 수직 입사하는 평면 전자기파의 전계 투과계수와 매질의 고유임피던스를 이용해 유전체 내부 전계의 최대값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 입사파 최대 전계가 E_0, 자유공간이 1번 매질, 무손실 유전체가 2번 매질, $\mu_r = 1$, $\varepsilon_r = 9$라는 점이다.
구해야 할 값은 유전체 내부를 진행하는 전자기파의 최대 전계 E_t이다.
수직 입사이므로 편파에 따른 차이 없이 전계 투과계수를 그대로 적용할 수 있다.

사용할 공식

고유임피던스는 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$이고, 수직 입사 전계의 투과계수는 $E_t = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2}E_i$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자유공간과 유전체의 경계면에서 접선 전기장과 자기장의 경계조건을 적용하면 수직 입사 전계의 전달비가 η_1, η_2로 결정되기 때문이다.

계산 과정

먼저 자유공간의 고유임피던스를 $\eta_1 = \eta_0$라고 둔다.
유전체의 고유임피던스는 $\eta_2 = \eta_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} = \eta_0\sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{\eta_0}{3}$이다.
따라서 전계 투과계수는 $\frac{E_t}{E_0} = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = \frac{2 \cdot (\eta_0/3)}{\eta_0 + \eta_0/3} = \frac{2/3}{4/3} = \frac{1}{2}$이다.
결국 유전체 내부 전계의 최대값은 $E_t = \frac{1}{2}E_0$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $\frac{1}{4}E_0$는 계산 결과와 다르다. 수직 입사 전계의 실제 투과계수는 $\frac{1}{2}$이므로 올바른 진술은 "유전체 내부 최대 전계는 $\frac{1}{2}E_0$이다"이다.
- 이 값은 전계 투과계수 $\frac{1}{2}$를 다시 한 번 잘못 곱하거나, 전력비와 전계비를 혼동할 때 나오는 오답이다.

② O
- $\eta_2 = \eta_0/3$을 대입하면 $E_t/E_0 = 1/2$가 된다. 따라서 유전체 내부 최대 전계는 $\frac{1}{2}E_0$가 맞다.

③ X
- E_0는 경계면에서 반사가 전혀 없다고 본 값인데, 이 문제에서는 $\eta_1 \neq \eta_2$이므로 반사가 생긴다. 올바른 진술은 "유전체 내부 최대 전계는 입사 전계와 같지 않고 $\frac{1}{2}E_0$이다"이다.

④ X
- $\frac{3}{2}E_0$는 $\eta_2 < \eta_1$인 상황과 맞지 않는다. 이 문제의 전계 투과계수는 $\frac{2\eta_2}{\eta_1+\eta_2} = \frac{1}{2}$이므로 올바른 진술은 "유전체 내부 최대 전계는 $\frac{3}{2}E_0$가 아니라 $\frac{1}{2}E_0$이다"이다.
- 이 값은 투과계수 식에서 분자와 분모의 매질을 뒤바꾸어 쓰는 실수에서 자주 나온다.

오답 포인트

핵심 함정은 $\varepsilon_r = 9$를 보고 전계가 단순히 1/3배나 3/2배가 된다고 직감하는 데 있다. 이 문항은 굴절률이 아니라 고유임피던스와 전계 투과계수 $\frac{2\eta_2}{\eta_1+\eta_2}$를 써야 하며, 전력 투과율과 전계 진폭 투과율을 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

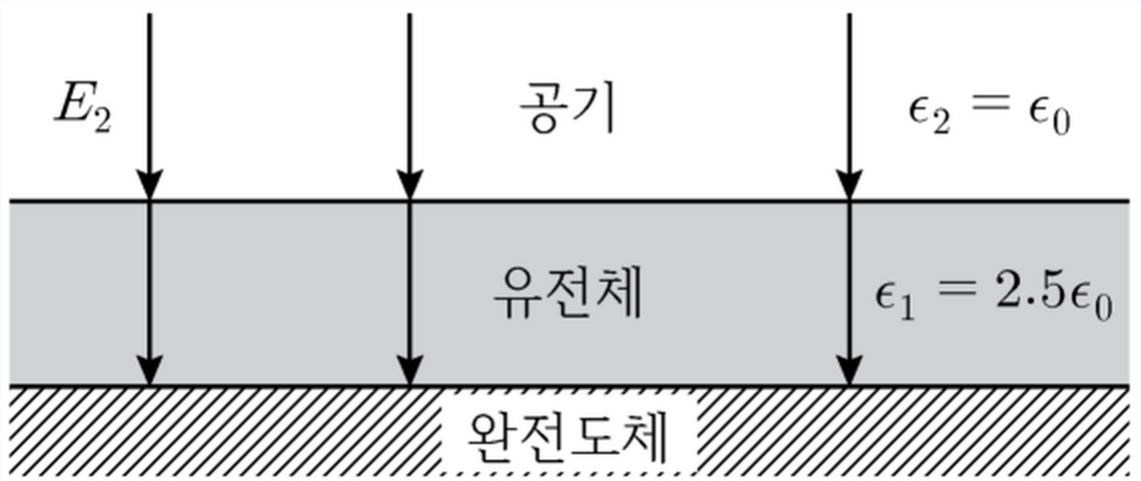
경계면 전자기파 계산형은 먼저 각 매질의 고유임피던스를 구하고, 그다음 수직 입사 전계 투과계수 $\frac{2\eta_2}{\eta_1+\eta_2}$를 적용해 입사 전계에 곱하는 순서로 판단한다. 계산이 끝나면 $\eta_2 < \eta_1$이면 전계 투과계수가 1보다 작아지는지도 함께 검산할 수 있다.

암기 포인트

수직 입사 전계 투과는 $E_t/E_i = 2\eta_2/(\eta_1+\eta_2)$, 무손실 매질 임피던스는 $\eta \propto \sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$이다.

NoteBase

문 18. 완전도체 위에 비유전율 $\varepsilon_r = 2.5$인 균일한 두께의 유전체가 공기와 접해 있다. 공기 중에서 크기 $E_2 = 1{,}000[V/m]$인 전계가 유전체 경계면에 수직일 때, 유전체-도체 경계면에서 전하밀도의 크기 $[C/m^2]$는? (단, 공기-유전체 경계면에 자유전하는 없다)



① 400

② $400\varepsilon_0$

③ 1,000

④ $1{,}000\varepsilon_0$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 공기-유전체 경계면의 전속밀도 연속 조건과 도체 표면의 자유전하밀도 관계를 이용해 ρ_s를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공기 중 전계 $E_2 = 1{,}000V/m$, 유전체의 비유전율 $\varepsilon_r = 2.5$
구해야 할 값: 유전체-도체 경계면의 전하밀도 크기 ρ_s
주의할 조건: 공기-유전체 경계면에는 자유전하가 없으므로 법선 방향 전속밀도 D_n가 연속이다.

사용할 공식

공기-유전체 경계면에서 $D_{2n} = D_{1n}$, 즉 $\varepsilon_0 E_2 = \varepsilon_1 E_1$이다.
도체 표면에서는 자유전하밀도 $\rho_s = D_{1n} = \varepsilon_1 E_1$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 발문이 경계면에 수직인 전계와 경계면 전하밀도를 함께 주고 있어 경계조건으로 바로 연결되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 유전체의 유전율은 $\varepsilon_1 = 2.5\varepsilon_0$이다.
2. 공기-유전체 경계면에 자유전하가 없으므로 $\varepsilon_0 E_2 = \varepsilon_1 E_1$이다.
3. 따라서 $E_1 = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_1} E_2 = \frac{1}{2.5} \times 1{,}000 = 400 V/m$이다.
4. 도체 표면 전하밀도는 $\rho_s = \varepsilon_1 E_1 = (2.5\varepsilon_0) \times 400 = 1{,}000\varepsilon_0 C/m^2$이다.

선지 판단

1번 X: 400은 유전체 내부 전계 E_1의 크기일 뿐 전하밀도 값이 아니다. 틀린 표현은 전계와 전하밀도를 같은 값으로 본 점이고, 올바르게는 $\rho_s = 1{,}000\varepsilon_0 C/m^2$이다.
2번 X: $400\varepsilon_0$는 $\varepsilon_0 E_1$로 잘못 계산한 값이다. 도체 표면 전하밀도는 유전체 쪽 전속밀도 $\varepsilon_1 E_1$로 계산해야 하므로 올바른 값은 $1{,}000\varepsilon_0 C/m^2$이다.
3번 X: 1,000은 E_2의 수치만 가져오고 유전율 ε_0를 빠뜨린 값이다. 전하밀도는 C/m^2 차원을 가져야 하므로 올바르게는 $1{,}000\varepsilon_0 C/m^2$이다.
4번 O: $\rho_s = \varepsilon_1 E_1 = 2.5\varepsilon_0 \times 400 = 1{,}000\varepsilon_0 C/m^2$이므로 맞다.

오답 포인트

공기 쪽 전계 E_2, 유전체 내부 전계 E_1, 도체 표면 전하밀도 ρ_s를 서로 다른 물리량으로 구분하지 않으면 틀린다. 특히 자유전하가 없다는 조건을 보고 E가 연속이라고 착각하면 400이나 $400\varepsilon_0$ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 경계 문제는 먼저 자유전하 유무를 확인하고, 자유전하가 없으면 D_n 연속을 쓴다. 그다음 도체 표면을 묻는 경우에는 마지막에 $\rho_s = \varepsilon E$로 전하밀도로 바꿔 차원까지 점검하면 된다.

암기 포인트

자유전하가 없으면 법선 방향 D가 연속이고, 도체 표면 전하밀도는 바로 $\rho_s = D_n$이다.

NoteBase

문 19. 최대 전계의 크기가 $E_0[V/m]$인 평면 전자기파가 자유공간으로부터 비투자율 $\mu_r = 1$인 무손실 유전체로 수직 입사한다. 자유공간에서 측정된 파동의 정재파비가 2일 때, 유전체의 비유전율은?

① 1

② 2

③ 4

④ 9

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자유공간과 무손실 유전체의 수직 입사에서 정재파비와 반사계수의 관계를 이용해 비유전율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 자유공간에서 측정된 정재파비 S는 2이다.
- 유전체는 무손실이고 $\mu_r = 1$이다.

구해야 할 값:
- 유전체의 비유전율 ε_r이다.

주의할 조건:
- 정재파비는 자유공간 쪽에서의 반사에 의해 생긴다.
- $\mu_r = 1$이므로 매질의 고유임피던스 변화는 ε_r만으로 결정된다.

NoteBase

사용할 공식

정재파비와 반사계수의 관계는
$S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$
이므로
$|\Gamma| = \frac{S - 1}{S + 1}$
이다.

또한 수직 입사에서 반사계수 크기는
$|\Gamma| = \left| \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \right|$
이다.

이 문제에서는 $\eta_1 = \eta_0$, $\eta_2 = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$이므로
$|\Gamma| = \frac{\sqrt{\varepsilon_r} - 1}{\sqrt{\varepsilon_r} + 1}$
로 정리된다.

이 공식을 쓰는 이유는 자유공간에서 유전체로 수직 입사하는 평면파의 반사가 정재파비로 직접 연결되기 때문이다.

계산 과정

1. 정재파비 $S = 2$를 반사계수로 바꾸면
$|\Gamma| = \frac{2 - 1}{2 + 1} = \frac{1}{3}$
이다.

2. 이를 경계면 반사계수 식에 대입하면
$\frac{\sqrt{\varepsilon_r} - 1}{\sqrt{\varepsilon_r} + 1} = \frac{1}{3}$
이다.

3. 양변을 정리하면
$3(\sqrt{\varepsilon_r} - 1) = \sqrt{\varepsilon_r} + 1$
$2\sqrt{\varepsilon_r} = 4$
$\sqrt{\varepsilon_r} = 2$
이므로
$\varepsilon_r = 4$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\varepsilon_r = 1$이면 두 매질의 임피던스가 같아 반사가 없으므로 $\Gamma = 0$, 정재파비는 1이다. 틀린 표현은 값이 1이라는 부분이며, 올바르게는 비유전율이 1이면 정재파비가 1이 된다.

② X: $\varepsilon_r = 2$이면 $\sqrt{\varepsilon_r} = \sqrt{2}$이어서
$|\Gamma| = \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1} \approx 0.1716$
이고 정재파비는 약 1.41이다. 틀린 표현은 비유전율이 2라는 부분이며, 올바르게는 정재파비가 2일 때 비유전율은 4이다.

③ O: $\varepsilon_r = 4$이면 $\sqrt{\varepsilon_r} = 2$이므로
$|\Gamma| = \frac{2-1}{2+1} = \frac{1}{3}$
이고 정재파비는 2가 된다. 조건과 계산 결과가 일치하므로 옳다.

④ X: $\varepsilon_r = 9$이면 $\sqrt{\varepsilon_r} = 3$이므로
$|\Gamma| = \frac{3-1}{3+1} = \frac{1}{2}$
이고 정재파비는 3이다. 틀린 표현은 비유전율이 9라는 부분이며, 올바르게는 비유전율 9이면 정재파비가 3이 된다.

오답 포인트

정재파비 S를 바로 비유전율로 오인하면 ②나 ④로 흔들리기 쉽다. 이 문항의 함정은 $S \to |\Gamma| \to \varepsilon_r$의 두 단계를 한 번에 건너뛰게 만드는 데 있다. 또한 $\mu_r = 1$ 조건을 놓치면 임피던스 식을 잘못 세우기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

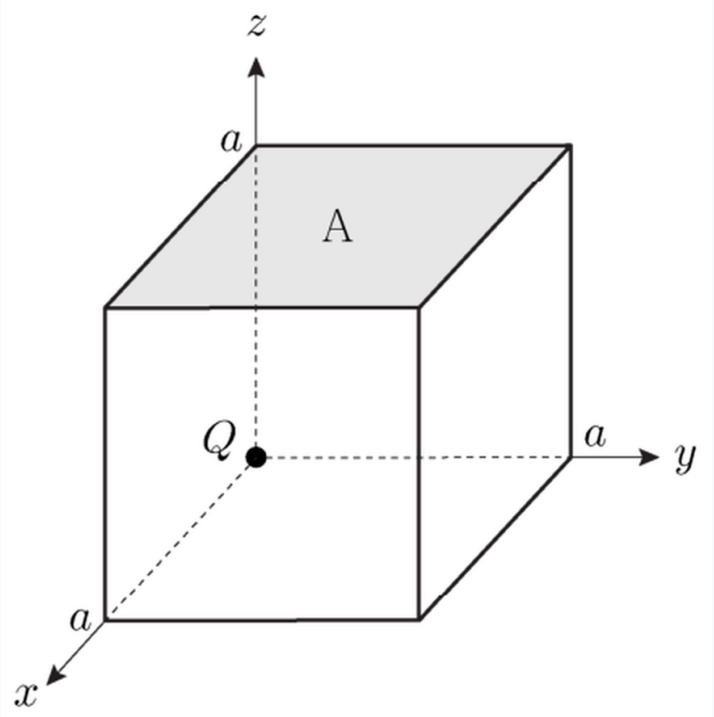
전자기파 경계면 계산형 문제는 먼저 정재파비를 반사계수로 바꾸고, 그다음 매질의 고유임피던스를 μ_r와 ε_r로 표현해 연결하면 된다. 수직 입사이고 $\mu_r = 1$이면 임피던스는 $1/\sqrt{\varepsilon_r}$에 비례한다고 판단하면 된다.

암기 포인트

정재파비 2는 반사계수 크기 1/3이고, $\mu_r = 1$인 유전체 수직 입사에서는 $\varepsilon_r = 4$로 이어진다.

NoteBase

문 20. 자유공간의 원점에 전하량이 Q[C]인 양전하가 놓여 있다. 그림과 같이 한 변의 길이가 a[m]인 정육면체의 한 면 A를 통과하는 전계 $\vec{E}$[V/m]의 선속(flux)은? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)



① $\frac{Q}{24\varepsilon_0}$
② $\frac{Q}{12\varepsilon_0}$
③ $\frac{Q}{8\varepsilon_0}$
④ $\frac{Q}{4\varepsilon_0}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 점전하가 정육면체의 꼭짓점에 있을 때 가우스 법칙과 대칭성을 이용하여 한 면을 지나는 선속을 구하는 문제이다.

조건 정리

전하량이 Q인 양전하가 원점에 놓여 있다.
한 변의 길이가 a인 정육면체의 꼭짓점이 원점과 일치한다.
구해야 할 값은 정육면체의 한 면 A를 통과하는 전계의 선속이다.

NoteBase

사용할 공식

가우스 법칙은 $\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = Q_{\text{enc}}/\varepsilon_0$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 같은 정육면체 8개를 원점 주위에 붙이면 전하 Q가 큰 정육면체의 중심에 오고, 전체 선속을 면 대칭으로 나눌 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 같은 정육면체 8개를 모으면 한 변이 $2a$인 큰 정육면체가 되고, 원점의 전하 Q는 그 중심에 놓인다.
2. 큰 정육면체 전체를 지나는 선속은 가우스 법칙에 따라 Q/ε_0이다.
3. 큰 정육면체는 6개의 면이 완전히 대칭이므로 큰 정육면체 한 면을 지나는 선속은 $Q/(6\varepsilon_0)$이다.
4. 큰 정육면체의 한 면은 작은 정육면체의 면 4개로 이루어지고, 그 4개도 대칭이므로 작은 면 하나를 지나는 선속은 $Q/(24\varepsilon_0)$이다.
5. 따라서 면 A를 통과하는 선속은 $Q/(24\varepsilon_0)$이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 $Q/(24\varepsilon_0)$이므로 맞다.
2번 X: $Q/(12\varepsilon_0)$는 정답의 2배이다. 큰 정육면체 한 면의 선속을 작은 면 2개로만 나눈 셈이므로 틀리다. 올바른 값은 $Q/(24\varepsilon_0)$이다.
3번 X: $Q/(8\varepsilon_0)$는 전체 선속 Q/ε_0를 8개의 작은 정육면체에만 기계적으로 나눈 값에 가깝다. 선속은 작은 정육면체의 개수가 아니라 바깥면 대칭으로 나누어야 하므로 틀리다. 올바른 값은 $Q/(24\varepsilon_0)$이다.
4번 X: $Q/(4\varepsilon_0)$는 6면 대칭을 빠뜨리고 큰 정육면체 한 면의 선속조차 과대평가한 값이다. 큰 정육면체 한 면도 $Q/(6\varepsilon_0)$이므로 틀리다. 올바른 값은 $Q/(24\varepsilon_0)$이다.

오답 포인트

원점의 전하를 포함하는 작은 정육면체 8개를 모아 큰 정육면체를 만드는 단계까지만 떠올리고, 그다음에 6개 면으로 한 번 나누고 큰 면을 다시 4개 작은 면으로 나누는 두 단계 대칭 분배를 놓치면 ②, ③, ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전하가 꼭짓점이나 모서리에 놓인 선속 문제는 먼저 대칭 복제로 전하를 폐곡면의 중심에 옮긴 뒤, 전체 선속 Q/ε_0를 면의 개수와 면 내부 대칭 분할 순서대로 나누어 판단한다.

암기 포인트

꼭짓점 전하의 한 면 선속은 8개 복제로 중심전하 문제로 바꾼 뒤 6면 분배와 면 4등분을 거쳐 $Q/(24\varepsilon_0)$가 된다.

NoteBase

문 21. 벡터 자기장 포텐셜이 $\vec{A} = \rho^2 \vec{a}_\phi [Wb/m]$일 때, 원점을 중심으로 반지름이 $a[m]$인 xy-평면상의 원판을 통과하는 자속 $[Wb]$은? (단, ρ는 원통좌표계에서 z축으로부터의 거리이다)

① 0

② πa^3

③ $2\pi a^3$

④ $4\pi a^3$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 벡터 자기장 포텐셜 $\vec{A}$로부터 스토크스 정리를 이용해 원판을 지나는 자속을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 $\vec{A} = \rho^2 \vec{a}_\phi [Wb/m]$이다.
구해야 할 값은 원점을 중심으로 반지름이 a인 xy평면 원판을 지나는 자속이다.
경계는 $\rho = a$인 원이고, 경계선 요소는 $d\vec{l} = \rho d\phi \vec{a}_\phi$이다.

사용할 공식

자속은 $\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \iint_S (\nabla \times \vec{A}) \cdot d\vec{S} = \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자속을 직접 구할 때 벡터 자기장 포텐셜이 주어졌으므로, 스토크스 정리로 경계선 적분으로 바꾸면 바로 계산할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 원판의 경계 C에서 $\rho = a$이므로 $\vec{A} = a^2 \vec{a}_\phi$이다.
2. 경계선 요소는 $d\vec{l} = a d\phi \vec{a}_\phi$이므로 $\vec{A} \cdot d\vec{l} = a^3 d\phi$이다.
3. 따라서
$\Phi = \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_0^{2\pi} a^3 d\phi = 2\pi a^3$
이므로 자속은 $2\pi a^3$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 틀린 표현은 자속이 0이라는 부분이다. $\vec{A}$가 ϕ방향으로 존재하고 경계선 요소도 같은 방향이므로 선적분값은 0이 아니라 $2\pi a^3$이다.
2번 X: 틀린 표현은 자속이 πa^3이라는 부분이다. 이는 ϕ적분 구간을 0부터 π까지만 본 반원 계산에 해당하고, 전체 원에 대해 적분하면 $2\pi a^3$이 된다.
3번 O: 경계 $\rho = a$에서 $\oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_0^{2\pi} a^3 d\phi = 2\pi a^3$이므로 옳다.
4번 X: 틀린 표현은 자속이 $4\pi a^3$이라는 부분이다. 이는 선적분 결과를 불필요하게 한 번 더 두 배로 본 값이고, 올바른 자속은 $2\pi a^3$이다.

오답 포인트

벡터 자기장 포텐셜이 주어졌을 때 바로 면적을 곱하려 하거나, $\oint d\phi$의 적분 범위를 반원으로 착각하면 오답이 된다. $\vec{A}$와 $d\vec{l}$의 방향이 모두 $\vec{a}_\phi$라는 점을 놓치면 0으로 잘못 판단하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터 포텐셜로 자속을 묻는 문제는 먼저 스토크스 정리 적용 가능 여부를 보고, 경계선에서 ρ를 대입한 뒤 $\vec{A} \cdot d\vec{l}$을 한 바퀴 적분하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

자속과 벡터 포텐셜은 $\Phi = \oint \vec{A} \cdot d\vec{l}$로 바로 연결된다.

NoteBase

문 22. 길이 $2[m]$, 단면적 $25[cm^2]$, 권선수 2,000회인 솔레노이드가 비투자율 $\mu_r = 1{,}000$인 내부 철심을 가지고 있다. 이 솔레노이드에 $1[A]$의 전류가 흐를 때, 단위길이당 자기 인덕턴스 $[H/m]$는? (단, 자유공간의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이고 솔레노이드는 이상적이다)

① $\frac{\pi}{2}$

② π

③ 2π

④ 4π

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상 솔레노이드의 인덕턴스 공식 $L = \mu N^2 A/l$를 이용해 단위길이당 인덕턴스 L/l를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 길이 $l = 2m$, 단면적 $A = 25cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$, 권선수 $N = 2000$, 상대투자율 $\mu_r = 1000$, 자유공간 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}H/m$이다.
구해야 할 값: 단위길이당 자기 인덕턴스 L/l이다.
주의할 조건: 단면적을 m^2로 바꾸어야 하고, 투자율은 $\mu = \mu_0\mu_r$로 계산해야 한다.

사용할 공식

이상 솔레노이드의 인덕턴스는 $L = \mu N^2 A/l$이다.
따라서 단위길이당 인덕턴스는 $L/l = \mu N^2 A/l^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 길이, 단면적, 권선수, 철심의 투자율이 모두 주어졌고 솔레노이드가 이상적이라고 했기 때문이다.

계산 과정

1. 전체 투자율은 $\mu = \mu_0\mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 = 4\pi \times 10^{-4}H/m$이다.
2. 인덕턴스는 $L = \mu N^2 A/l = (4\pi \times 10^{-4}) \times (2000)^2 \times (2.5 \times 10^{-3})/2 = 2\pi H$이다.
3. 단위길이당 인덕턴스는 $L/l = 2\pi/2 = \pi H/m$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ①의 $\pi/2$는 계산값의 절반이므로 틀리다. 올바르게는 단위길이당 인덕턴스가 $\pi H/m$이다.
- 이런 값은 $L = 2\pi H$를 구한 뒤 길이 $2m$로 한 번 더 나누어야 한다는 점은 맞게 봤지만, 앞 단계에서 인덕턴스를 πH로 잘못 줄였을 때 나올 수 있다.

② O
- 계산 결과가 정확히 $\pi H/m$이므로 옳다.

③ X
- ③의 2π는 전체 인덕턴스 L 값에 해당하므로 단위길이당 값으로는 틀리다. 올바르게는 길이 $2m$로 나누어 $\pi H/m$가 된다.

④ X
- ④의 4π는 단위길이당 인덕턴스를 구하지 않고 길이로 나누는 과정을 빠뜨리거나 배로 계산한 값이므로 틀리다. 올바르게는 $\pi H/m$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 전체 인덕턴스 L와 단위길이당 인덕턴스 L/l를 구분하지 않는 점이다. ③처럼 2π를 고르면 전체 인덕턴스를 그대로 답한 것이고, 단면적 $25cm^2$를 m^2로 바꾸지 않으면 전혀 다른 수치가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

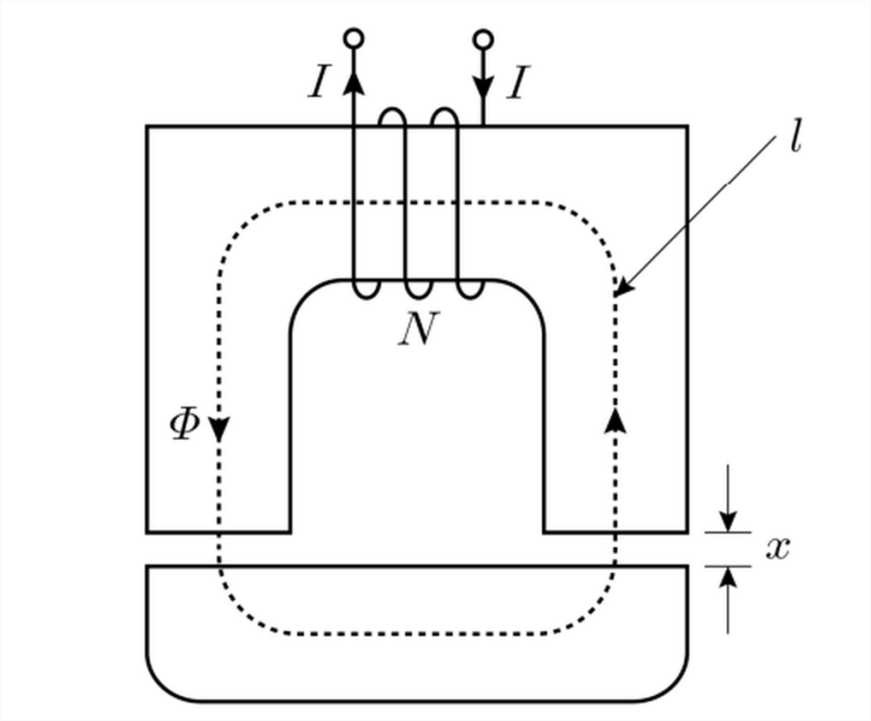
솔레노이드 계산형 문제는 먼저 A의 단위를 m^2로 맞추고, 다음에 $\mu = \mu_0\mu_r$를 만든 뒤, $L = \mu N^2 A/l$로 전체 인덕턴스를 구하고 마지막에 발문이 단위길이당인지 여부를 확인해 l로 한 번 더 나누면 된다.

암기 포인트

이상 솔레노이드에서 $L = \mu N^2 A/l$, 단위길이당 값은 $L/l = \mu N^2 A/l^2$이다.

NoteBase

문 23. 권선수 N, 비투자율 μ_r인 전자석에 정전류 $I[A]$가 흘러 자로 l을 따라 흐르는 자속이 $\Phi[Wb]$이다. 전자석과 접극자 사이의 미소 공극이 x일 때, 접극자에 작용하는 힘의 크기에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, $\mu_r \gg 1$, $l \gg x$이고 누설자속은 무시한다)



① x에 비례

② x에 반비례

③ x의 제곱에 비례

④ x의 제곱에 반비례

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 공극이 지배적인 자기회로에서 자속 Φ와 흡인력 F가 공극 길이 x에 대해 어떻게 변하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 권선수 N, 전류 I, 자속 Φ, 공극 x이다.
$\mu_r \gg 1$ 이므로 철심의 자기저항은 매우 작고, 누설자속도 무시하므로 전체 자기저항은 공극이 사실상 지배한다.
그림상 자속은 공극을 두 번 지나므로 전체 공극 자기저항은 $\mathcal{R}_g \approx \frac{2x}{\mu_0 A}$로 둘 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

자기회로식은 $NI = \Phi\mathcal{R}$ 이다.
따라서 $\Phi \approx \frac{NI}{\mathcal{R}_g} = \frac{\mu_0 ANI}{2x}$ 이므로 $\Phi \propto \frac{1}{x}$ 이다.
흡인력은 공극의 자기에너지 또는 자기압으로부터 $F \propto B^2 A$ 이고, $B = \frac{\Phi}{A}$ 이므로 $F \propto \Phi^2$ 가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문항이 수치 계산보다 공극 변화에 따른 자속과 힘의 비례관계를 묻는 자기회로 문제이기 때문이다.

계산 과정

1. 공극이 지배적이므로 전체 자기저항은 $\mathcal{R} \approx \mathcal{R}_g \approx \frac{2x}{\mu_0 A}$ 이다.
2. 자속은 $\Phi = \frac{NI}{\mathcal{R}} \approx \frac{\mu_0 ANI}{2x}$ 이므로 $\Phi \propto \frac{1}{x}$ 이다.
3. 흡인력은 $F \propto \Phi^2$ 이므로 $F \propto \frac{1}{x^2}$ 이다.
4. 같은 내용을 식으로 쓰면 $F = \frac{\mu_0 AN^2 I^2}{4x^2}$ 꼴이므로 힘의 크기는 x의 제곱에 반비례한다.

선지별 해설

① X이다. 힘은 x에 비례하지 않는다. 공극이 커질수록 자기저항이 커져 자속이 줄고, 힘은 그 자속의 제곱에 비례하므로 오히려 더 빠르게 감소한다. 틀린 표현은 "x에 비례"이고, 올바르게는 "x의 제곱에 반비례"이다.
② X이다. $\Phi \propto \frac{1}{x}$ 까지만 보고 힘도 $\frac{1}{x}$로 보면 한 제곱을 놓친 것이다. 힘은 자속 자체가 아니라 Φ^2 또는 B^2에 비례한다. 틀린 표현은 "x에 반비례"이고, 올바르게는 "x의 제곱에 반비례"이다.
③ X이다. 힘이 x^2에 비례한다면 공극이 커질수록 흡인력이 커진다는 뜻이 되는데, 실제로는 공극이 커질수록 자기저항이 커져 힘이 작아진다. 틀린 표현은 "x의 제곱에 비례"이고, 올바르게는 "x의 제곱에 반비례"이다.
④ O이다. 공극 자기저항이 x에 비례하므로 자속은 $\frac{1}{x}$에 비례하고, 흡인력은 자속의 제곱에 비례하므로 최종적으로 $F \propto \frac{1}{x^2}$ 가 된다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 자속 Φ의 비례관계와 힘 F의 비례관계를 같은 차수로 보는 실수이다. ②는 자속 단계에서 멈춘 오답이고, ③은 공극이 커지면 힘이 줄어든다는 물리적 방향성 자체를 놓친 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

공극이 있는 전자석 문제는 먼저 공극 자기저항이 지배적인지 본다. 그다음 $\mathcal{R} \propto x$ 이면 $\Phi \propto \frac{1}{x}$, 마지막으로 힘은 $F \propto \Phi^2$ 라는 순서로 한 번 더 제곱을 적용해 판단한다.

암기 포인트

공극 지배 전자석은 x가 커지면 $\mathcal{R}$은 1차로 커지고, Φ는 1차로 줄며, 힘 F는 2차로 줄어든다.

NoteBase

문 24. 내부 임피던스가 40[Ω]인 신호 발생기가 파장의 $\frac{1}{4}$ 길이인 무손실 전송선을 통해 160[Ω]의 저항성 부하와 연결되어 있다. 전송선에 최대 전력이 전달되기 위한 전송선의 특성 임피던스[Ω]는?

① 40

② 80

③ 120

④ 160

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무손실 $\lambda/4$ 전송선의 임피던스 변환식으로 최대 전력 전달 조건을 만족하는 특성 임피던스를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 신호 발생기 내부 임피던스는 40[Ω]이다.
- 부하는 저항성 160[Ω]이다.
- 전송선은 파장의 1/4 길이인 무손실 선로이다.

구해야 할 값:
- 최대 전력이 전달되게 하는 전송선의 특성 임피던스이다.

주의할 조건:
- $\lambda/4$ 선로에서는 입력 임피던스가 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$ 로 변환된다.

사용할 공식

사용 공식은 $Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 파장의 1/4 길이인 무손실 전송선이 부하 임피던스를 역비 형태로 변환하기 때문이다.
최대 전력 전달이 되려면 발생기에서 본 입력 임피던스 Z_{in} 이 내부 임피던스 40[Ω]와 같아야 한다.

계산 과정

1. 최대 전력 전달 조건을 적용하면 $Z_{in} = 40[\Omega]$ 이다.
2. $\lambda/4$ 변환식에 대입하면 $40 = \frac{Z_0^2}{160}$ 이다.
3. 따라서 $Z_0^2 = 6400$ 이고 $Z_0 = 80[\Omega]$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $Z_0 = 40[\Omega]$ 이면 $Z_{in} = \frac{40^2}{160} = 10[\Omega]$ 이 되어 내부 임피던스 $40[\Omega]$ 와 맞지 않는다. 틀린 표현은 특성 임피던스를 $40[\Omega]$ 로 둔 부분이다. 올바르게는 특성 임피던스가 $80[\Omega]$ 이어야 한다.
② O: $Z_0 = 80[\Omega]$ 이면 $Z_{in} = \frac{80^2}{160} = 40[\Omega]$ 이 되어 발생기 내부 임피던스와 일치한다. 최대 전력 전달 조건을 정확히 만족한다.
③ X: $Z_0 = 120[\Omega]$ 이면 $Z_{in} = \frac{120^2}{160} = 90[\Omega]$ 이다. 내부 임피던스보다 크게 변환되어 정합이 되지 않는다. 틀린 표현은 특성 임피던스를 $120[\Omega]$ 로 둔 부분이다. 올바르게는 $80[\Omega]$ 이어야 한다.
④ X: $Z_0 = 160[\Omega]$ 이면 $Z_{in} = \frac{160^2}{160} = 160[\Omega]$ 이다. 부하값과 같을 뿐 발생기 내부 임피던스 $40[\Omega]$ 와는 맞지 않는다. 틀린 표현은 특성 임피던스를 $160[\Omega]$ 로 둔 부분이다. 올바르게는 $80[\Omega]$ 이어야 한다.

오답 포인트

부하 $160[\Omega]$ 와 발생기 내부 임피던스 $40[\Omega]$ 중 어느 값을 정합 기준으로 둘지 헷갈리기 쉽다. 이 문항의 함정은 부하 자체와 같게 만드는 것이 아니라, $\lambda/4$ 선로를 지난 뒤 발생기에서 본 입력 임피던스가 $40[\Omega]$ 가 되게 해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전송선 길이가 $\lambda/4$ 이고 최대 전력 전달을 묻는 문제는 먼저 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$ 를 떠올린다. 그다음 정합 목표를 발생기 쪽 임피던스로 두고 $Z_{in} = Z_s$ 를 세우면 $Z_0 = \sqrt{Z_s Z_L}$ 로 바로 판단할 수 있다.

암기 포인트

$\lambda/4$ 정합선로의 핵심은 $Z_0 = \sqrt{Z_s Z_L}$ 이다.

NoteBase

문 25. 자유공간을 z축 방향으로 진행하는 평면 전자기파의 전계가 $\vec{E} = 2\cos(10^8 t - 2z)\vec{a_x} + 2\cos(10^8 t - 2z + n\pi)\vec{a_y}[V/m]$이다. 편파특성은? (단, n은 정수이다)

① 선형 편파

② 타원 편파

③ 음의 원형 편파

④ 양의 원형 편파

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 서로 직교하는 두 전계 성분의 진폭과 위상차를 보고 편파가 선형인지, 원형인지, 타원인지 판정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $E_x = 2\cos(10^8 t - 2z)$, $E_y = 2\cos(10^8 t - 2z + n\pi)$이다.
구해야 할 값은 전체 전자기파의 편파 특성이다.
주의할 조건은 n이 정수이므로 위상차 $\delta = n\pi$가 항상 0 또는 π와 동치라는 점이다.

사용할 공식

직교하는 두 성분의 편파 판정 기준은 위상차와 진폭 관계로 정리된다.
δ = 0 또는 π ⇒ 선형 편파
|E_x| = |E_y|, δ = ± (π)/(2) ⇒ 원형 편파
그 외의 경우는 일반적으로 타원 편파이다.
이 공식을 쓰는 이유는 편파가 각 전계 성분의 시간적 위상관계로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 두 성분의 진폭은 모두 2이므로 진폭은 서로 같다.
2. 위상차는 $\delta = n\pi$이다.
3. n이 짝수이면 $E_y = 2\cos(10^8 t - 2z) = E_x$이고, 홀수이면 $E_y = 2\cos(10^8 t - 2z + \pi) = -E_x$이다.
4. 따라서 항상 $E_y = \pm E_x$가 되어 전계 끝점의 궤적은 직선 $y = \pm x$가 된다.
5. 직선 궤적이므로 편파는 선형 편파이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 위상차가 $n\pi$이므로 실제 위상차는 0 또는 π이다. 두 직교 성분이 동상 또는 반상으로 진동하므로 전계의 궤적은 직선이 되어 선형 편파가 맞다.
2번 X: 타원 편파는 위상차가 0이나 π가 아니거나 진폭 조건이 달라질 때 나타난다. 이 문항은 $E_y = \pm E_x$이므로 타원 편파가 아니다. 틀린 표현은 '타원 편파'이고, 올바르게는 '선형 편파'이다.
3번 X: 음의 원형 편파가 되려면 두 성분의 진폭이 같고 위상차가 $-\pi/2$ 계열이어야 한다. 이 문항의 위상차는 $n\pi$뿐이므로 원형 회전이 생기지 않는다. 틀린 표현은 '음의 원형 편파'이고, 올바르게는 '선형 편파'이다.
4번 X: 양의 원형 편파가 되려면 두 성분의 진폭이 같고 위상차가 $+\pi/2$ 계열이어야 한다. 이 문항은 위상차가 $\pm\pi/2$가 아니라 0 또는 π이므로 해당하지 않는다. 틀린 표현은 '양의 원형 편파'이고, 올바르게는 '선형 편파'이다.

오답 포인트

진폭이 같다는 사실만 보고 원형 편파로 바로 가면 틀린다. 원형 편파는 진폭이 같은 것에 더해 위상차가 반드시 $\pm\pi/2$이어야 한다. 이 문제의 함정은 $n\pi$를 보고 n의 정수 조건을 놓친 채 임의의 위상차로 오해하는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직교 두 성분의 편파 문제는 먼저 각 성분의 진폭이 같은지 본다. 다음으로 위상차가 0 또는 π인지, $\pm\pi/2$인지, 그 밖의 값인지를 구분한다. 위상차가 0 또는 π이면 직선 궤적이므로 선형 편파로 판단한다.

암기 포인트

$\delta = 0, \pi$이면 선형, $|E_x| = |E_y|$와 $\delta = \pm\pi/2$이면 원형, 나머지는 타원 편파이다.

NoteBase