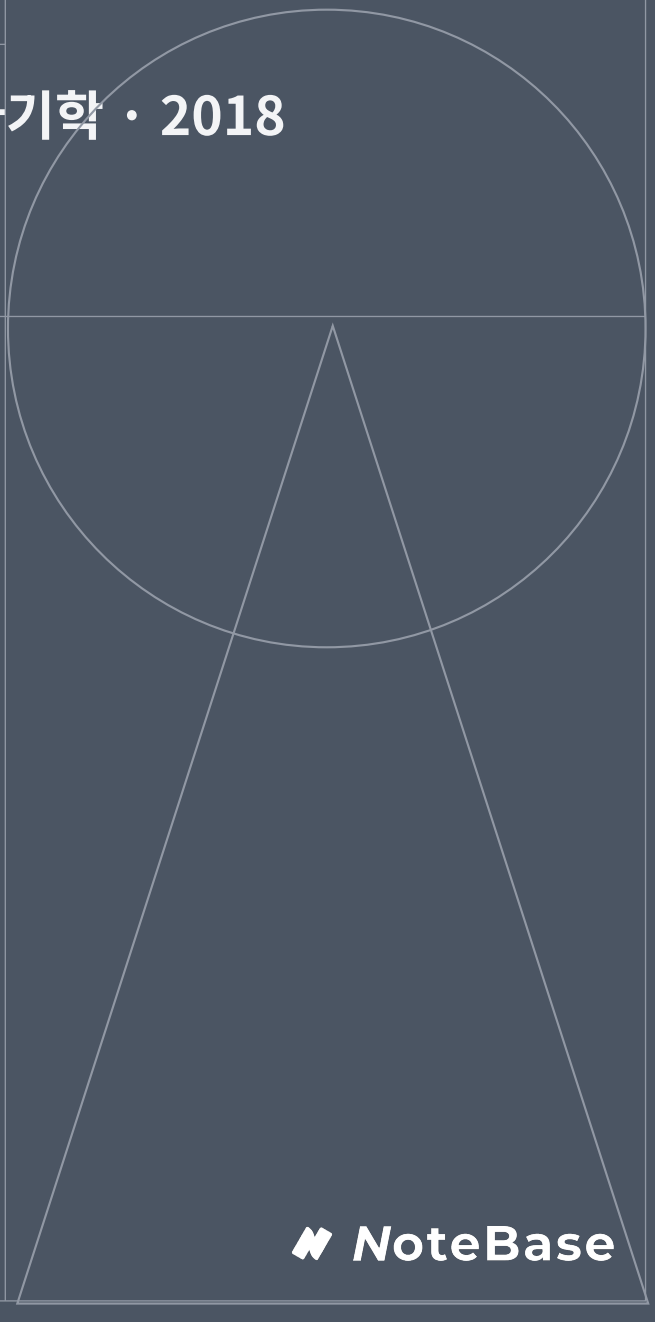
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2018



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2018

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2018

문 1. 자유공간에서 정전기장을 발생시키는 전하에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 시간에 따라 위치변화가 없다.

② 시간에 따라 전하량이 변하지 않는다.

③ 시간에 따라 극성이 바뀌지 않는다.

④ 보존장(conservative field)을 생성하지 않는다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정전기장을 만드는 정지전하의 조건과 정전기장의 보존장 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

정전기장을 만드는 전하는 시간에 따라 위치가 바뀌지 않는 정지전하이다.
정전상태에서는 전하량과 극성이 시간에 따라 변하지 않으며, 이 전하가 만드는 전기장은 전위가 정의되는 보존장이다.
정전기장은 폐곡선 적분이 0이므로 $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$의 성질을 가진다.

선지별 해설

① O : 정전기장을 만드는 전하는 정지해 있으므로 시간에 따라 위치변화가 없다.
② O : 정전상태에서는 전하가 축적된 양 자체가 시간에 따라 변하지 않으므로 전하량이 일정하다.
③ O : 정전상태에서는 전하의 부호가 시간에 따라 뒤바뀌지 않으므로 극성이 바뀌지 않는다.
④ X : 틀린 부분은 '보존장을 생성하지 않는다'이다. 정전기장은 대표적인 보존장이며 전위차로 표현할 수 있다. 올바르게는 '보존장(conservative field)을 생성한다'이다.

오답 포인트

정지전하의 시간 불변 조건만 외우고 전기장 자체의 성질을 놓치면 ④를 맞는 설명처럼 보기 쉽다. '정전기장'과 '보존장'의 연결을 묻는 기본 개념을 확인하는 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

정전기장을 묻는 선지는 먼저 전하가 시간에 따라 변하지 않는 정지전하인지 본다. 그다음 전기장에 전위가 정의되면 보존장이라는 점을 연결하면 오답을 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

정전기장 = 정지전하 + 시간불변 + 보존장이다.

NoteBase

문 2. 자기 인덕턴스가 20[mH]인 코일에 흐르는 전류가 0.1[s] 동안 5[A]에서 3[A]로 선형적으로 감소하였다. 코일에 유기된 기전력[V]의 크기는?

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 코일의 자기 인덕턴스와 전류 변화율을 이용하여 유기 기전력의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자기 인덕턴스 $L = 20mH = 0.02H$, 전류 변화량 $5A \rightarrow 3A$, 변화 시간 $0.1s$이다.
구해야 할 값은 코일에 유기된 기전력의 크기이다.
주의할 조건은 $20mH$를 $0.02H$로 단위 변환하고, 크기를 묻기 때문에 부호가 아니라 절댓값을 본다는 점이다.

사용할 공식

자기 인덕턴스에 의한 유기 기전력의 크기는 $e = L\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 코일의 인덕턴스와 전류의 시간에 따른 변화가 직접 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. 전류 변화율의 크기를 구하면 $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right| = \left|\frac{3-5}{0.1}\right| = 20A/s$이다.
2. 인덕턴스를 헨리 단위로 바꾸면 $20mH = 0.02H$이다.
3. 따라서 유기 기전력의 크기는 $e = 0.02 \times 20 = 0.4V$이다.

선지별 해설

① X. 계산 결과 유기 기전력의 크기는 $0.4V$이므로 $0.2V$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 '유기된 기전력이 0.2 V이다'이고, 올바르게는 '유기된 기전력은 0.4 V이다'이다.
② O. $e = L\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right| = 0.02 \times 20 = 0.4V$이므로 정답과 일치한다.
③ X. $0.6V$는 계산값보다 크다. 틀린 표현은 '유기된 기전력이 0.6 V이다'이고, 올바르게는 '유기된 기전력은 0.4 V이다'이다.
④ X. $0.8V$는 계산값의 두 배로, 전류 변화율이나 인덕턴스를 잘못 곱했을 때 나올 수 있는 값이다. 틀린 표현은 '유기된 기전력이 0.8 V이다'이고, 올바르게는 '유기된 기전력은 0.4 V이다'이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $20mH$를 그대로 20으로 두거나, 전류 변화량 $2A$만 보고 시간 $0.1s$로 나누지 않는 경우이다. 또 전류가 감소하므로 부호는 음수가 될 수 있지만, 문제는 크기를 묻기 때문에 절댓값으로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

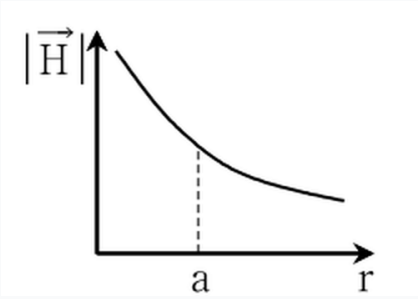
인덕턴스 문제는 조건을 H, A, s로 먼저 정리한 뒤 $e = L\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$에 대입하여 계산하면 된다. 감소와 증가에 따른 부호는 방향 판단에 쓰이고, 크기를 묻는 문항에서는 절댓값만 남는다.

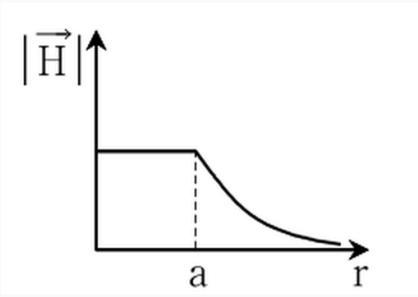
암기 포인트

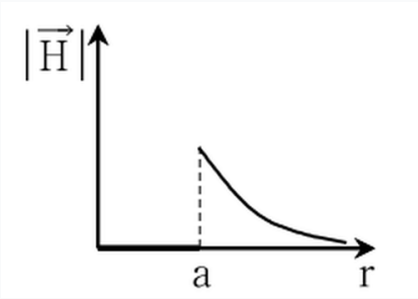
자기 인덕턴스의 유기 기전력은 인덕턴스 곱하기 전류 변화율의 크기인 $e = L\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$이다.

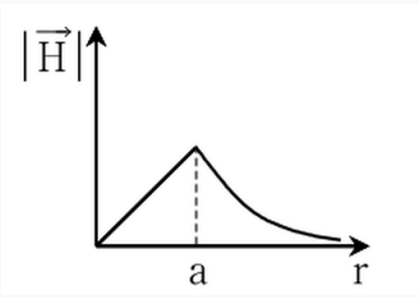
NoteBase

문 3. 자유공간에 반지름이 a이고 무한히 긴 비자성 원통 도체에 전류 I[A]가 흐르고 있다. 원통 도체의 중심축에서부터 r[m] 떨어진 점까지의 거리에 대한 자계의 크기를 나타낸 그래프는?

① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반지름이 a인 원통 도체 내부와 외부에서 자계의 크기 $|\vec{H}|$가 r에 따라 어떻게 변하는지를 도식으로 판단하는 문제이다.

NoteBase

핵심 개념

전류가 도체 단면에 균일하게 분포하면 $r < a$에서는 암페어 법칙으로 포함 전류가 반지름에 비례하므로 $|\vec{H}| = \frac{Ir}{2\pi a^2}$가 되어 중심에서 0으로 시작해 직선적으로 증가한다.
$r \geq a$에서는 전체 전류 I를 모두 감싸므로 $|\vec{H}| = \frac{I}{2\pi r}$가 되어 $r = a$ 이후부터 $1/r$ 꼴로 감소한다.

선지별 해설

① X: 도체 내부 $r < a$ 구간을 처음부터 감소 곡선으로 그린 점이 틀리다. 내부 자계는 중심에서 0으로 시작해 r에 비례하여 증가해야 한다. 올바르게는 $r = a$까지 직선 증가 후 바깥에서 감소해야 한다.

② X: 도체 내부를 일정한 상수값으로 그린 점이 틀리다. 균일 전류분포에서는 내부 자계가 일정하지 않고 r에 비례해 커진다. 올바르게는 내부가 수평선이 아니라 원점에서 시작하는 직선이어야 한다.

③ X: $r < a$ 구간의 자계 변화를 빠뜨리고 $r = a$에서 갑자기 값이 생기는 것처럼 그린 점이 틀리다. 내부에도 자계가 존재하며 중심에서 0, 표면에서 최댓값이 된다. 올바르게는 $r < a$ 구간을 직선 증가로 그려야 한다.

④ O: 중심에서 0으로 시작해 $r = a$까지 직선적으로 증가하고, $r = a$ 이후에는 $1/r$ 형태로 감소하므로 원통 도체의 자계 분포를 맞게 나타낸 그래프이다.

오답 포인트

도체 내부에서도 자계가 존재한다는 점을 놓치면 ③처럼 내부 구간을 비우거나, ②처럼 일정하다고 오해하기 쉽다. 또 외부의 $1/r$ 감소만 기억하고 내부의 선형 증가를 잊으면 ①처럼 전체를 감소 곡선으로 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

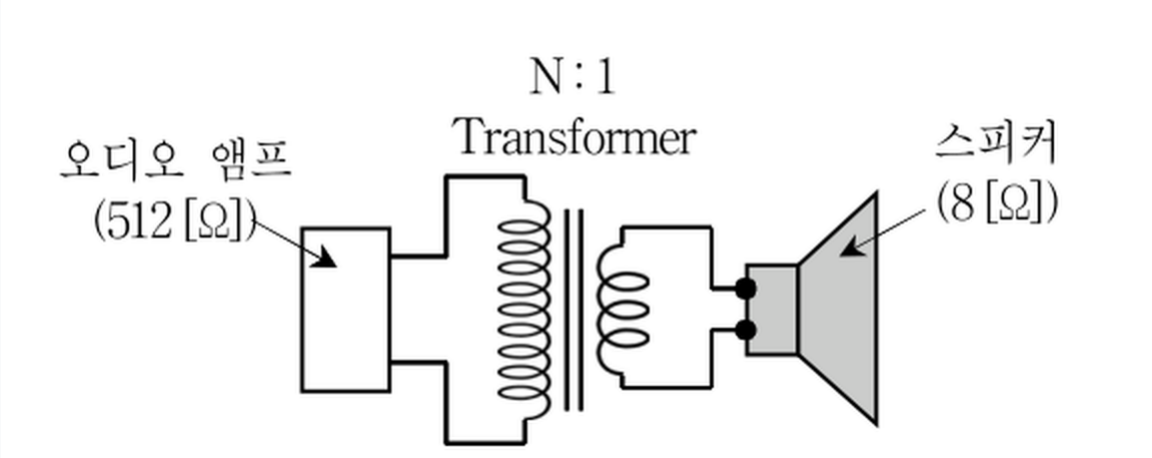
원통 도체 자계 그래프는 먼저 내부와 외부를 나누어 본다. $r < a$에서는 포함 전류가 단면적에 비례하므로 자계가 직선 증가하고, $r \geq a$에서는 전체 전류가 고정되어 $1/r$로 감소하는지만 확인하면 된다.

암기 포인트

원통 도체 자계는 내부 선형 증가, 표면 최대, 외부 $1/r$ 감소이다.

NoteBase

문 4. 그림과 같이 내부 임피던스가 512[Ω]인 앰프와 8[Ω]인 스피커가 있다. 임피던스를 정합하기 위한 변압기(transformer)의 권선수 비(N:1)는? (단, 변압기는 이상적이다)



① 8:1

② 16:1

③ 64:1

④ 128:1

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상변압기의 임피던스 변환식으로 스피커의 8Ω를 앰프 쪽 512Ω로 보이게 하는 권선수비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 앰프 내부 임피던스 512Ω, 스피커 임피던스 8Ω, 권선수비 $N:1$이다.
구해야 할 값은 임피던스 정합이 되는 N이다.
주의할 조건은 그림의 $N:1$이 1차:2차 권선수비라는 점이다.

사용할 공식

이상변압기에서 2차 부하 Z_L가 1차로 환산된 임피던스는 $Z_{in} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_L$ 이다.
이 문제는 스피커 8Ω를 변압기를 통해 앰프 쪽에서 512Ω로 보이게 해야 하므로 이 임피던스 환산식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

권선수비가 $N:1$이므로 $512 = N^2 \times 8$ 이다.
따라서 $N^2 = \frac{512}{8} = 64$ 이고, $N = 8$ 이다.
따라서 필요한 권선수비는 $8:1$이다.

선지별 해설

① O
- $8:1$이면 환산 임피던스가 $8^2 \times 8 = 512\Omega$ 가 되므로 앰프의 512Ω와 정확히 정합된다.

② X
- $16:1$이면 환산 임피던스가 $16^2 \times 8 = 2048\Omega$ 가 되어 너무 크다.
- 틀린 표현은 권선수비를 $16:1$로 본 점이며, 올바르게는 $8:1$이어야 한다.

③ X
- $64:1$이면 환산 임피던스가 $64^2 \times 8 = 32768\Omega$ 가 되어 정합 조건 512Ω를 전혀 만족하지 못한다.
- 틀린 표현은 권선수비를 $64:1$로 본 점이며, 올바르게는 $8:1$이어야 한다.

④ X
- $128:1$이면 환산 임피던스가 $128^2 \times 8 = 131072\Omega$ 가 되어 더 크게 벗어난다.
- 틀린 표현은 권선수비를 $128:1$로 본 점이며, 올바르게는 $8:1$이어야 한다.

오답 포인트

임피던스비와 권선수비를 같은 비로 착각하면 오답이 된다. 변압기에서는 임피던스가 권선수비의 제곱에 비례하므로 $\frac{512}{8} = 64$를 구한 뒤 바로 $64:1$로 고르면 안 되고, 마지막에 제곱근을 취해 $8:1$로 바꿔야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

변압기 임피던스 정합 문제는 먼저 $\frac{Z_1}{Z_2}$를 구하고, 그 값이 권선수비 자체인지 권선수비의 제곱인지 식으로 확인한 뒤 제곱근까지 처리해서 판단한다.

암기 포인트

이상변압기 임피던스 환산은 임피던스비 = 권선수비의 제곱이다.

NoteBase

문 5. 전기쌍극자모멘트가 $3\vec{a}_z[\mathrm{nC}\cdot\mathrm{m}]$와 $6\vec{a}_z[\mathrm{nC}\cdot\mathrm{m}]$인 쌍극자가 자유공간 내의 점 $(0,0,-1)[\mathrm{m}]$와 $(0,0,3)[\mathrm{m}]$에 각각 놓여있다. 원점에서의 전위[V]는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0=\frac{10^{-9}}{36\pi}[\mathrm{F/m}]$이다)

① $\frac{21}{9}$

② $\frac{33}{9}$

③ 21

④ 33

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 점쌍극자의 전위식 $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathbf{p}\cdot\mathbf{R}}{R^3}$를 이용해 원점 전위를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 첫째 쌍극자는 $\mathbf{p}_1=3\mathbf{a}_z[nC\cdot m]$, 위치는 $(0,0,-1)$이다.
둘째 쌍극자는 $\mathbf{p}_2=6\mathbf{a}_z[nC\cdot m]$, 위치는 $(0,0,3)$이다.
구해야 할 값: 원점에서의 전위 V이다.
주의할 조건: 쌍극자 전위는 크기만 더하는 것이 아니라 원점이 쌍극자 축의 어느 쪽에 있는지에 따라 부호가 달라진다.

사용할 공식

$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathbf{p}\cdot\mathbf{R}}{R^3}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p\cos\theta}{R^2}$
또한 $\varepsilon_0=\frac{10^{-9}}{36\pi}[F/m]$ 이므로 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\times10^9$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 전하가 아니라 전기쌍극자가 주어졌으므로 각 쌍극자가 만드는 전위를 점쌍극자 전위식으로 계산해 중첩하면 된다.

계산 과정

1. 첫째 쌍극자에서 원점까지의 벡터는 $\mathbf{R}_1=(0,0,0)-(0,0,-1)=\mathbf{a}_z$ 이므로 $R_1=1,\cos\theta_1=1$이다.
$V_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3\times10^{-9}}{1^2}=9\times10^9\times3\times10^{-9}=27[V]$
2. 둘째 쌍극자에서 원점까지의 벡터는 $\mathbf{R}_2=(0,0,0)-(0,0,3)=-3\mathbf{a}_z$ 이므로 $R_2=3,\cos\theta_2=-1$이다.
$V_2=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{6\times10^{-9}\times(-1)}{3^2}=9\times10^9\times\left(-\frac{6\times10^{-9}}{9}\right)=-6[V]$
3. 전체 전위는 중첩으로 구한다.
$V=V_1+V_2=27-6=21[V]$

NoteBase

선지별 해설

① X
틀린 표현은 전위를 $\frac{21}{9}[V]$로 둔 값이다. 이는 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$를 반영하지 않은 값에 가깝다. 올바르게는 유전율 계수를 곱한 뒤 두 전위를 합해 $21[V]$가 된다.

② X
틀린 표현은 전위를 $\frac{33}{9}[V]$로 둔 값이다. 둘째 쌍극자는 원점이 쌍극자 축의 반대쪽에 있으므로 전위 기여가 음수인데, 이를 양수로 보거나 계수를 빠뜨리면 이런 값이 나온다. 올바르게는 둘째 쌍극자 기여가 $-6[V]$이어서 전체는 $21[V]$이다.

③ O
첫째 쌍극자가 $27[V]$, 둘째 쌍극자가 $-6[V]$를 만들므로 전체 전위는 $21[V]$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X
틀린 표현은 전위를 $33[V]$로 둔 값이다. 이는 둘째 쌍극자의 전위를 $+6[V]$로 잘못 더한 결과이다. 올바르게는 원점이 둘째 쌍극자의 반대축 방향에 있으므로 $-6[V]$를 더해 $21[V]$가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 거리 제곱만 보지 말고 쌍극자축 방향에 따른 부호를 함께 봐야 한다는 점이다. 특히 둘째 쌍극자는 원점이 $-\mathbf{a}_z$ 방향에 있으므로 $\cos\theta = -1$이 되어 전위가 음수가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

점쌍극자 전위 문제는 각 쌍극자마다 원점까지의 벡터 $\mathbf{R}$를 먼저 잡고, 그 벡터가 쌍극자모멘트와 같은 방향인지 반대 방향인지로 부호를 정한 뒤, 마지막에 중첩으로 합산하면 된다.

암기 포인트

쌍극자 전위는 $V \propto \frac{p\cos\theta}{R^2}$ 이므로 축의 같은 쪽은 양, 반대쪽은 음으로 판단한다.

NoteBase

문 6. 자유공간에 x축으로 놓인 무한도선에 전류 1[A]가 +x 방향으로 흐르고 있다. -10[C]의 점전하가 속도 $100[m/s]$로 좌표 $(0,2,0)[m]$에서 좌표 $(2,2,0)[m]$ 방향으로 이동하였다. 점전하가 받는 힘[N]은? (단, 전하의 질량은 무시한다. $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$)

① $-10^{-2}\vec{a}_x$

② $10^{-4}\vec{a}_y$

③ $-2 \times 10^{-3}\vec{a}_z$

④ $2 \times 10^{-3}\vec{a}_z$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 x축 방향 무한도선이 만드는 자기장과 $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$를 이용해 점전하가 받는 자기력의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전류 $I = 1A$, 도선으로부터의 거리 $\rho = 2m$, 전하량 $q = -10C$, 속도 $v = 100m/s$이다.
구해야 할 값: 점전하가 받는 자기력 $\vec{F}$이다.
주의할 조건: 점전하는 $(0,2,0)$에서 $(2,2,0)$으로 이동하므로 속도 방향은 $+a_x$이다. 힘의 방향은 자기장 방향이 아니라 $q(\vec{v} \times \vec{B})$로 결정된다.

사용할 공식

$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho}a_\phi, \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 무한직선도선 주위의 자기장은 도선에서의 수직거리 ρ로 정해지고, 이동하는 전하는 로런츠 힘 $q\vec{v} \times \vec{B}$를 받기 때문이다.

계산 과정

1. 점전하의 위치 $(0,2,0)$는 x축에서 수직거리 $2m$ 떨어져 있다. 따라서 자기장의 크기는 $B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 2} = 10^{-7}T$이다.
2. 전류가 $+a_x$ 방향이므로 오른손법칙에 따라 $(0,2,0)$에서의 자기장 방향은 $+a_z$이다. 따라서 $\vec{B} = 10^{-7}a_z T$이다.
3. 속도는 $\vec{v} = 100a_x m/s$이므로 $\vec{v} \times \vec{B} = 100a_x \times 10^{-7}a_z = 10^{-5}(a_x \times a_z) = -10^{-5}a_y$이다.
4. 전하가 음전하이므로 $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) = -10 \times (-10^{-5}a_y) = 10^{-4}a_y N$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 자기력은 $\vec{v}$와 $\vec{B}$에 모두 수직이므로 a_x 방향이 될 수 없다. 크기도 10^{-2}가 아니라 10^{-4}이다. 틀린 표현은 $-10^{-2}a_x$이고, 올바르게는 $10^{-4}a_y$이다.
② O: 계산 결과가 정확히 $\vec{F} = 10^{-4}a_y N$이므로 옳다. 음전하라서 $\vec{v} \times \vec{B}$의 반대방향이 되어 최종 방향이 $+a_y$가 된다.
③ X: $-2 \times 10^{-3}a_z$는 힘 방향을 자기장 방향 a_z로 잘못 본 선택지이다. 자기력은 a_z가 아니라 a_y 방향이어야 하며, 크기도 2×10^{-3}가 아니라 10^{-4}이다. 올바르게는 $10^{-4}a_y$이다.
④ X: $2 \times 10^{-3}a_z$도 자기장 방향을 힘 방향으로 오해한 경우이다. 전하가 움직일 때는 반드시 $\vec{v} \times \vec{B}$를 계산해야 하므로 z축 방향 힘은 나오지 않는다. 올바르게는 $10^{-4}a_y$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 자기장 방향과 자기력 방향을 혼동하는 점, 그리고 음전하의 부호를 마지막에 반영해야 한다는 점이다. $\vec{B}$는 $+a_z$이지만 힘은 $q(\vec{v} \times \vec{B})$이므로 최종적으로 $+a_y$가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

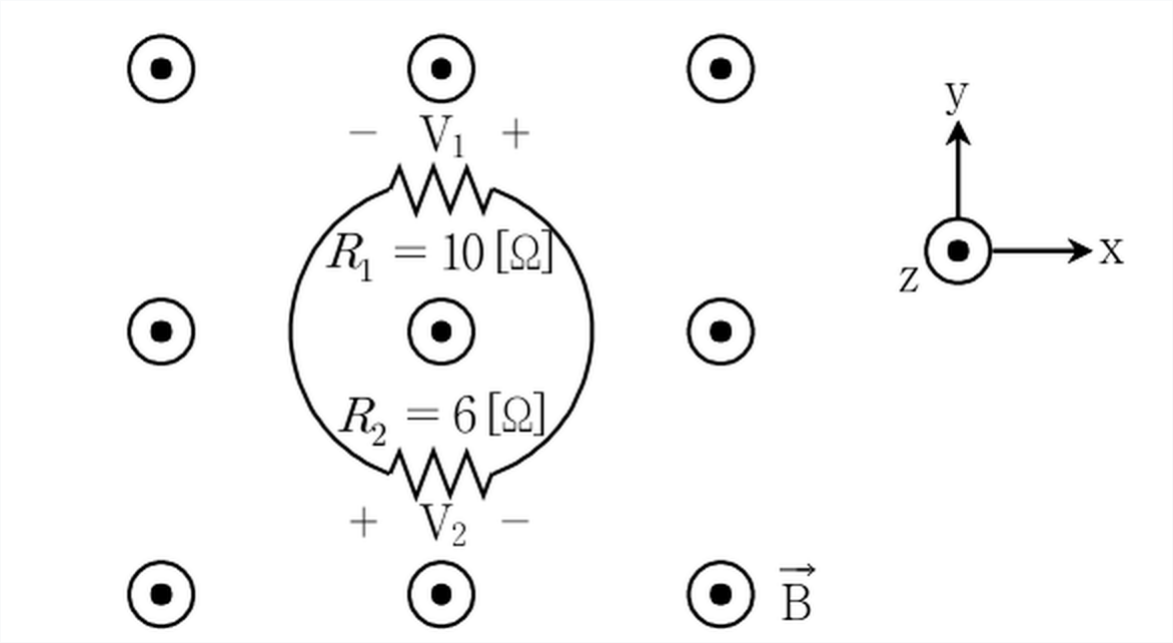
무한도선 계산형은 먼저 도선에서 점까지의 수직거리로 $\vec{B}$의 크기를 구하고, 오른손법칙으로 $\vec{B}$의 방향을 정한 뒤, 마지막에 $q(\vec{v} \times \vec{B})$까지 계산해 전하의 부호를 반영하면 된다.

암기 포인트

무한도선은 $B \propto 1/\rho$이고, 이동전하의 힘 방향은 항상 $\vec{v} \times \vec{B}$ 뒤에 전하 부호까지 반영해 결정된다.

NoteBase

문 7. 자유공간상의 xy 평면 위에 놓인 폐선로에 저항 R_1, $R_2[\Omega]$가 각각 연결되어 있다. 자속밀도 $\vec{B} = 2t\vec{a}_z[T]$가 그림과 같이 인가될 때 저항 R_1, R_2에서 각각의 전압강하 V_1, $V_2[V]$는? (단, t는 시간$[s]$이고 폐선로의 면적은 $4[m^2]$이다)



① V_1: -0.75, V_2: -1.25

② V_1: -1.25, V_2: -0.75

③ V_1: -3, V_2: -5

④ V_1: -5, V_2: -3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 증가하는 자속에 대해 패러데이 법칙으로 유도기전력의 크기를 구하고, 렌츠 법칙으로 전류 방향과 각 저항의 전압 부호를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자속밀도 $\vec{B} = 2t\vec{a}_z[T]$, 폐선로 면적 $4m^2$, 저항 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 6\Omega$이다.
구해야 할 값은 그림의 표시 극성을 기준으로 한 V_1, V_2이다.
주의할 조건은 자기장이 $+z$ 방향으로 증가하므로 유도전류는 이를 방해하는 시계방향으로 흐른다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi = BA$
$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R_1 + R_2}$
각 저항의 전압은 $V = IR$로 구하되, 그림에 표시된 극성과 실제 전류 방향이 반대이면 음수로 잡는다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 회로가 시간에 따라 변하는 균일 자기장 속의 단일 폐회로이고, 두 저항이 직렬로 연결되어 같은 전류가 흐르기 때문이다.

계산 과정

1. $\frac{dB}{dt} = 2T/s$이므로 유도기전력의 크기는 $|\mathcal{E}| = A\frac{dB}{dt} = 4 \times 2 = 8V$이다.
2. 외부 자기장이 종이 밖 $+z$ 방향으로 증가하므로 이를 막기 위한 유도전류는 시계방향이다.
3. 전체 저항은 $R_1 + R_2 = 10 + 6 = 16\Omega$이므로 전류는 $I = \frac{8}{16} = 0.5A$이다.
4. 시계방향 전류는 위쪽의 R_1에서는 왼쪽에서 오른쪽으로, 아래쪽의 R_2에서는 오른쪽에서 왼쪽으로 흐른다.
5. R_1의 표시 극성은 왼쪽이 −, 오른쪽이 +이므로 실제 전류방향과 반대 기준이다. 따라서 $V_1 = -IR_1 = -0.5 \times 10 = -5V$이다.
6. R_2의 표시 극성은 왼쪽이 +, 오른쪽이 −이므로 역시 실제 전류방향과 반대 기준이다. 따라서 $V_2 = -IR_2 = -0.5 \times 6 = -3V$이다.

선지별 해설

① X: 직렬회로 전류가 $0.5A$이므로 각 저항의 전압 절댓값은 반드시 $5V$, $3V$가 되어야 한다. $-0.75V$, $-1.25V$는 유도기전력 $8V$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 표현은 전압강하의 크기를 지나치게 작게 본 점이다. 올바르게는 $V_1 = -5V$, $V_2 = -3V$이다.
② X: V_1과 V_2의 절댓값이 모두 실제 계산값과 다르다. 직렬회로에서 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 6\Omega$이므로 전압 절댓값은 각각 $5V$, $3V$가 되어야 한다. 틀린 표현은 $V_1 = -1.25V$, $V_2 = -0.75V$라는 수치 자체이다. 올바르게는 $V_1 = -5V$, $V_2 = -3V$이다.
③ X: 직렬회로에서는 같은 전류가 흐르므로 전압 절댓값은 저항에 비례한다. 따라서 10Ω인 R_1의 전압 절댓값이 6Ω인 R_2보다 커야 한다. 틀린 표현은 $V_1 = -3V$, $V_2 = -5V$로 배치한 점이다. 올바르게는 $V_1 = -5V$, $V_2 = -3V$이다.
④ O: 유도기전력의 크기 $8V$, 회로전류 $0.5A$, 표시 극성 기준의 음수 부호를 모두 반영하면 $V_1 = -5V$, $V_2 = -3V$가 된다.

오답 포인트

유도전류 방향을 반대로 잡거나, 저항의 실제 전류방향과 그림의 전압 표시 극성을 같은 방향으로 착각하면 부호가 뒤집힌다. 또 직렬회로인데도 전압의 크기가 저항에 비례한다는 점을 놓치면 ③처럼 $5V$와 $3V$를 서로 바꾸게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

시간변화 자속 문제는 먼저 $|\mathcal{E}| = A|dB/dt|$로 유도기전력의 크기를 구하고, 다음에 렌츠 법칙으로 전류 방향을 정한 뒤, 마지막에 각 소자의 표시 극성과 실제 전류 방향이 같은지 반대인지를 비교해 부호를 붙이면 된다.

암기 포인트

유도전압은 $|\mathcal{E}| = A|dB/dt|$, 직렬 전압의 크기는 저항에 비례하며, 표시 극성이 실제 전류방향과 반대이면 전압값은 음수이다.

NoteBase

문 8. 비유전율 4, 비투자율 1인 유전체로 채워진 특성 임피던스가 $50[\Omega]$이고 길이 $3/160[m]$인 동축 선로가 있다. 무손실 동축 선로는 $1[GHz]$에서 동작하고 선로 종단에는 부하 임피던스 $Z_L = 50 + j50[\Omega]$이 연결되어 있다. 이 동축 선로의 입력 임피던스 $[\Omega]$는?

① $50 - j50$

② $100 - j50$

③ $50 + j50$

④ $100 + j50$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 채워진 무손실 동축선로에서 파장을 먼저 구한 뒤, 길이가 $\lambda/8$인 선로의 입력 임피던스를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\varepsilon_r = 4, \mu_r = 1, Z_0 = 50\Omega, l = \frac{3}{160}m, f = 1GHz, Z_L = 50 + j50\Omega$이다.
구해야 할 값은 입력 임피던스 Z_{in}이다.
주의할 조건은 유전체 때문에 전파속도와 파장이 공기 중 값과 달라진다는 점이다.

사용할 공식

무손실 선로의 입력 임피던스는
$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 부하 임피던스가 선로 끝에 연결된 무손실 전송선로의 입력 임피던스를 직접 구하는 상황이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전파속도는 $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 \times 4}} = 1.5 \times 10^8 m/s$이다.
2. 파장은 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.5 \times 10^8}{10^9} = 0.15m$이다.
3. 선로 길이는 $l = \frac{3}{160} m = 0.01875m$이므로 $l/\lambda = 0.01875/0.15 = 1/8$이다. 따라서 $\beta l = 2\pi \times \frac{1}{8} = \pi/4$, $\tan \beta l = 1$이다.
4. 식에 대입하면
$Z_{in} = 50 \frac{(50 + j50) + j50}{50 + j(50 + j50)} = 50 \frac{50 + j100}{j50}$
이다.
5. 이를 정리하면
$Z_{in} = \frac{50 + j100}{j} = 100 - j50\Omega$
이다.

선지별 해설

① X
$50 - j50\Omega$는 허수부 부호만 반대로 보고 실수부가 100Ω로 바뀌는 효과를 놓친 값이다. 올바르게는 $100 - j50\Omega$이다.

② O
계산 결과가 정확히 $100 - j50\Omega$이므로 옳은 선지이다.

③ X
$50 + j50\Omega$는 부하 임피던스 Z_L 자체이다. 선로 길이가 $\lambda/8$이므로 입력단에서는 임피던스가 변환된다. 올바르게는 $100 - j50\Omega$이다.

④ X
$100 + j50\Omega$는 실수부는 맞지만 허수부 부호를 반대로 계산한 값이다. $1/j = -j$ 처리를 놓치면 이런 오답이 나온다. 올바르게는 $100 - j50\Omega$이다.

오답 포인트

유전체가 채워진 선로인데도 공기 중 파장 $\lambda = c/f$를 그대로 쓰거나, 마지막 정리에서 $1/j = -j$를 놓쳐 허수부 부호를 반대로 쓰기 쉽다. 또 Z_L를 그대로 입력 임피던스로 착각하면 ③번을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로 계산형은 먼저 $v = c/\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$로 매질 내 파장을 구하고, 다음에 l/λ로 βl을 정한 뒤, 마지막에 입력 임피던스 공식을 대입해 분모의 복소수 부호까지 확인하는 순서로 판단한다.

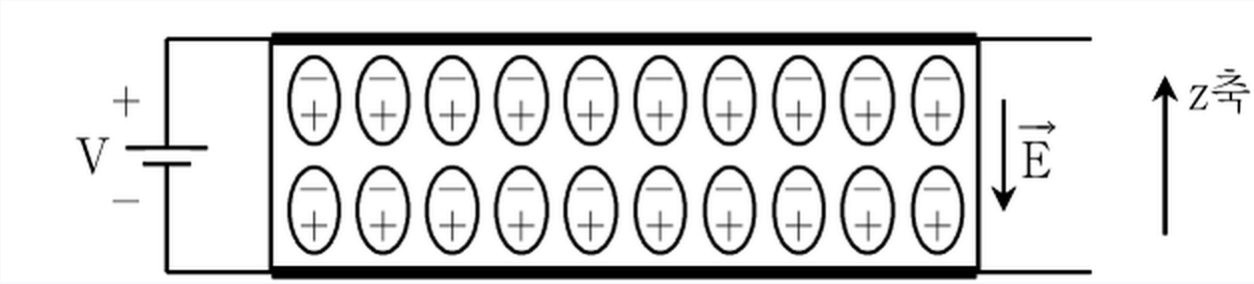
NoteBase

암기 포인트

유전체 선로는 먼저 파장부터 바뀌며, $\lambda/8$ 선로는 $\tan\beta l = 1$이 되는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 9. 평행판 커패시터에 사용되는 유전체 내부의 분자들이 외부에서 인가된 전계 $\vec{E} = -100z\vec{a}_z[V/m]$에 의하여 모두 분극되었다. 분극 체적전하밀도 $[C/m^3]$는? (단, 유전체의 비유전율은 3이고, ε_0는 자유공간의 유전율이다)



① $200\varepsilon_0 z$

② $200\varepsilon_0$

③ $-200\varepsilon_0 z$

④ $-200\varepsilon_0$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 선형 유전체에서 분극벡터 P를 구한 뒤 $\rho_b = -\nabla \cdot P$로 분극 체적전하밀도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전계는 $E = -100za_z[V/m]$, 비유전율은 $\varepsilon_r = 3$이다.
구해야 할 값: 분극 체적전하밀도 $\rho_b[C/m^3]$이다.
주의할 조건: 분극 체적전하밀도는 스칼라이고, 먼저 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$를 구한 다음 발산을 취해야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$, $\rho_b = -\nabla \cdot P$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 선형 등방성 유전체의 분극은 전계에 비례하고, 체적에 생기는 분극전하는 분극벡터의 음의 발산으로 정의되기 때문이다.

계산 과정

1. 감수율은 $\chi_e = \varepsilon_r - 1 = 2$이다.
2. 분극벡터는 $P = \varepsilon_0\chi_e E = 2\varepsilon_0(-100za_z) = -200\varepsilon_0 za_z$이다.
3. 따라서 $\nabla \cdot P = \frac{\partial}{\partial z}(-200\varepsilon_0 z) = -200\varepsilon_0$이다.
4. 그러므로 $\rho_b = -\nabla \cdot P = -(-200\varepsilon_0) = 200\varepsilon_0$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- P에는 za_z가 들어가지만, 체적전하밀도는 $\rho_b = -\nabla \cdot P$를 취한 뒤의 값이므로 z가 미분되어 사라진다.
- 또한 체적전하밀도는 벡터가 아니라 스칼라이다. 틀린 표현은 $200\varepsilon_0 z$이고, 올바르게는 $200\varepsilon_0$이다.

② O
- $P = -200\varepsilon_0 z a_z$에서 발산을 취하면 $-200\varepsilon_0$이고, 앞의 음수까지 반영하면 $\rho_b = 200\varepsilon_0$가 된다.
- 계산 결과와 일치하므로 옳다.

③ X
- ①과 마찬가지로 za_z가 남아 있는 형태 자체가 체적전하밀도 표현으로 틀리다.
- 부호도 틀렸다. 틀린 표현은 $-200\varepsilon_0 z$이고, 올바르게는 $200\varepsilon_0$이다.

④ X
- $\nabla \cdot P = -200\varepsilon_0$까지만 구하고 $\rho_b = -\nabla \cdot P$의 앞 음수를 빠뜨리면 나오는 오답이다.
- 틀린 표현은 $-200\varepsilon_0$이고, 올바르게는 $200\varepsilon_0$이다.

오답 포인트

분극벡터 P와 분극 체적전하밀도 ρ_b를 혼동하면 ①, ③처럼 벡터 형태를 답으로 고르기 쉽다. 또 $\rho_b = -\nabla \cdot P$의 앞 음수를 빼먹으면 ④가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

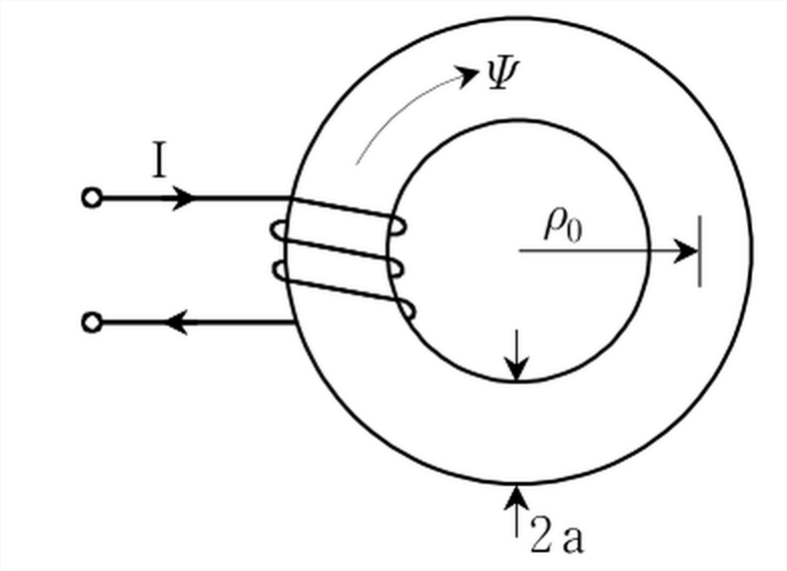
유전체 분극전하 문제는 $\varepsilon_r \rightarrow \chi_e \rightarrow P \rightarrow -\nabla \cdot P$ 순서로 정리하면 된다. 중간에 구한 P가 벡터인지, 최종 ρ_b가 스칼라인지도 함께 점검하면 오답을 줄일 수 있다.

암기 포인트

선형 유전체에서는 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$, 체적 분극전하는 $\rho_b = -\nabla \cdot P$이다.

NoteBase

문 10. 반경 $\rho_0 = 8[cm]$, $a = 1[cm]$이고 강철($\mu = 1{,}000\mu_0$)로 이루어진 토로이드 코어에 권선수 100회의 도선이 촘촘히 감겨 있다. 코어 내의 자속이 $0.4[mWb]$가 되기 위한 전류 $I[A]$는? (단, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$)



① $\frac{16}{\pi}$

② $\frac{32}{\pi}$

③ $\frac{64}{\pi}$

④ $\frac{128}{\pi}$

정답 1번

출제 포인트

토로이드의 평균 자로 길이 $2\pi\rho_0$, 단면적 πa^2, 자속식 $\Phi = BS = \mu HS$를 연결해 필요한 전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\rho_0 = 8cm = 0.08m$, $a = 1cm = 0.01m$, $N = 100$, $\mu = 1000\mu_0 = 4\pi \times 10^{-4} H/m$, $\Phi = 0.4mWb = 4 \times 10^{-4} Wb$이다.
토로이드의 평균 자로 길이는 $l = 2\pi\rho_0$이고, 그림의 $2a$는 코어 지름이므로 단면 반지름은 a이다.
따라서 단면적은 $S = \pi a^2$이다.

NoteBase

사용할 공식

$H = \frac{NI}{l}, \quad B = \mu H, \quad \Phi = BS$

이를 합치면

$\Phi = \mu \frac{NI}{l} S = \mu \frac{NI}{2\pi\rho_0} \cdot \pi a^2 = \frac{\mu N I a^2}{2\rho_0}$

가 된다.

이 공식을 쓰는 이유는 촘촘히 감긴 토로이드 코어 내부 자속이 평균 자로를 따라 형성되고, 코어 내부 자속량이 자속밀도와 단면적의 곱으로 정해지기 때문이다.

계산 과정

식을 I에 대해 정리하면

$I = \frac{2\rho_0 \Phi}{\mu N a^2}$

이다.

수치를 대입하면

$I = \frac{2 \times 0.08 \times 4 \times 10^{-4}}{(4\pi \times 10^{-4}) \times 100 \times (10^{-2})^2}$

이고, $(10^{-2})^2 = 10^{-4}$이므로

$I = \frac{6.4 \times 10^{-5}}{4\pi \times 10^{-6}} = \frac{16}{\pi} A$

가 된다.

선지별 해설

① O : 계산 결과가 정확히 $\frac{16}{\pi} A$이므로 옳다.

② X : $\frac{32}{\pi} A$는 정답의 2배이다. 평균 자로 길이 $2\pi\rho_0$와 단면적 πa^2를 정확히 넣으면 이 값이 나오지 않는다. 올바르게는 $\frac{16}{\pi} A$이다.

③ X : $\frac{64}{\pi} A$는 정답의 4배이다. a를 반지름으로 보지 않거나 계수 정리를 잘못하면 커질 수 있으나, 정확한 계산값은 $\frac{16}{\pi} A$이다.

④ X : $\frac{128}{\pi} A$는 정답의 8배이다. $cm \to m$, $mWb \to Wb$ 변환이나 토로이드 형상 계수를 함께 틀리게 다루면 이런 큰 값이 나오지만, 올바르게는 $\frac{16}{\pi} A$이다.

오답 포인트

그림의 $2a$를 단면의 지름으로 읽지 못하고 반지름으로 착각하기 쉽다. 또한 ρ_0는 평균 반지름이므로 자로 길이는 $2\pi\rho_0$가 되어야 한다. 여기에 cm와 mWb를 SI 단위로 바꾸지 않으면 배수 오차가 크게 난다.

다시 나오면 이렇게 판단

토로이드 계산형은 먼저 자로 길이 $l = 2\pi\rho_0$와 단면적 $S = \pi a^2$를 적고, 그다음 $\Phi = \mu(NI/l)S$로 연결해 미지수를 정리하면 안정적으로 풀린다.

NoteBase

암기 포인트

토로이드 자속 계산은 $\Phi = \mu NIS/l$, 여기서 $l = 2\pi\rho_0$, 원형 단면이면 $S = \pi a^2$이다.

NoteBase

문 11. 도전율 σ, 투자율 μ인 도체에 주파수 f인 교류전류가 흐른다. 표피두께(skin depth)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 표피두께는 도전율이나 투자율과는 무관하다.

② 투자율이 클수록 표피두께가 증가한다.

③ 도전율이 클수록 표피두께가 감소한다.

④ 주파수가 높을수록 표피두께가 증가한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 표피두께의 의미와 표피두께가 $\delta \propto 1/\sqrt{f\mu\sigma}$ 관계를 따른다는 점을 묻는다.

핵심 개념

표피두께는 교류가 흐를 때 전류밀도나 전자계의 세기가 도체 표면에서 내부로 들어가며 표면값의 $1/e$로 감소하는 깊이이다. 따라서 표피두께는 주파수 f, 투자율 μ, 도전율 σ가 커질수록 작아진다.

선지별 해설

1번: X. 표피두께는 도전율이나 투자율과 무관하지 않다. $\delta \propto 1/\sqrt{\sigma}$, $\delta \propto 1/\sqrt{\mu}$이므로 두 값이 커지면 표피두께는 감소한다. 틀린 표현은 "무관하다"이고, 올바르게는 "도전율이나 투자율이 클수록 표피두께는 감소한다"이다.

2번: X. 투자율이 클수록 표피두께가 증가하지 않는다. μ는 분모 안에 있으므로 커질수록 δ는 작아진다. 틀린 표현은 "증가한다"이고, 올바르게는 "투자율이 클수록 표피두께가 감소한다"이다.

3번: O. 도전율이 클수록 표피두께가 감소한다. 도전율이 큰 도체일수록 교류가 표면 부근에 더 집중되어 내부로 깊게 침투하지 못하므로 표피두께가 작아진다.

4번: X. 주파수가 높을수록 표피두께가 증가하지 않는다. f가 커질수록 δ는 $1/\sqrt{f}$에 비례하여 감소한다. 틀린 표현은 "증가한다"이고, 올바르게는 "주파수가 높을수록 표피두께가 감소한다"이다.

오답 포인트

표피두께 공식을 정확히 외우지 않으면 "주파수나 투자율이 크면 더 잘 퍼질 것"이라고 직감적으로 반대로 판단하기 쉽다. 이 문항은 분모에 들어가는 변수의 증가 방향을 거꾸로 잡는 실수를 노린다.

다시 나오면 이렇게 판단

표피두께 문항은 먼저 $\delta \propto 1/\sqrt{f\mu\sigma}$를 떠올린다. 분모에 있는 f, μ, σ는 커질수록 표피두께를 감소시키는 변수라고 판단하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

표피두께는 f, μ, σ가 커질수록 얕아진다.

NoteBase

문 12. 선형, 균질성, 등방성(linear, homogeneous, isotropic) 완전 유전체에서 변위전류가 발생하는 원인으로 옳은 것은?

① 분극 전하밀도의 공간적 변화

② 유전율의 공간적 변화

③ 전속밀도의 시간적 변화

④ 투자율의 공간적 변화

정답 3번

출제 포인트

변위전류가 무엇으로 정의되는지와, 선형·균질·등방성 완전 유전체에서 그 원인이 전속밀도의 시간적 변화라는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

변위전류밀도는 $\mathbf{J}_d = \partial \mathbf{D}/\partial t$이다. 선형·균질·등방성 완전 유전체에서는 $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$이고 ε이 일정하므로, 변위전류는 결국 시간에 따라 변하는 전기장 또는 전속밀도에서 생긴다. 공간적으로 무엇이 분포하느냐보다 시간에 따라 $\mathbf{D}$가 변하느냐가 판단 기준이다.

선지별 해설

① X

분극 전하밀도의 공간적 변화는 분포 상태를 설명하는 말일 뿐, 변위전류의 정의 그 자체는 아니다.
틀린 표현은 '공간적 변화'이다. 실제로는 전속밀도의 시간적 변화가 변위전류를 만든다.

② X

완전 유전체가 선형·균질·등방성이라고 했으므로 유전율 ε은 매질 내에서 일정하다. 유전율의 공간적 변화는 이 조건과도 맞지 않는다.
틀린 표현은 '유전율의 공간적 변화'이다. 실제로는 일정한 ε 아래에서 $\mathbf{D}$ 또는 $\mathbf{E}$의 시간적 변화가 원인이다.

③ O

맥스웰의 변위전류 항은 $\partial \mathbf{D}/\partial t$이므로 전속밀도가 시간적으로 변하면 변위전류가 발생한다. 문제의 조건과 정의에 정확히 맞는 선지이다.

④ X

투자율 μ의 공간적 변화는 자기적 성질의 분포 변화와 관련된 말이며, 변위전류의 직접 원인이 아니다.
틀린 표현은 '투자율의 공간적 변화'이다. 실제로는 전속밀도의 시간적 변화가 변위전류를 만든다.

NoteBase

오답 포인트

①, ②, ④는 모두 '공간적 변화'라는 표현으로 시선을 돌리게 만든 함정이다. 변위전류는 분포의 공간 변화가 아니라 $\partial/\partial t$가 붙는 시간 변화 항이라는 점을 놓치면 헷갈리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

변위전류가 보이면 먼저 $\mathbf{J}_d = \partial\mathbf{D}/\partial t$를 떠올리면 된다. 선지에 시간 변화가 나오면 정답 후보이고, 공간 변화나 μ 같은 자기 파라미터가 나오면 우선 배제하면 된다.

암기 포인트

변위전류는 $\mathbf{D}$의 시간 변화, 전도전류는 자유전하의 이동이라는 구분이다.

NoteBase

문 13. 내구 반지름 $a[m]$, 외구 반지름 $b[m]$인 동심 도체구의 내·외구에 $\pm Q[C]$의 전하가 각각 대전되어 있다. 내·외구 반지름을 각각 3배로 증가시키면 정전용량은 몇 배가 되는가?

① 3

② 9

③ 27

④ 81

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 동심 도체구의 정전용량 식에서 모든 길이를 같은 비율로 키우면 정전용량이 몇 배가 되는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 내구 반지름은 a, 외구 반지름은 b이다.
구해야 할 값: 내구와 외구의 반지름을 각각 3배로 했을 때 정전용량의 배수이다.
주의할 조건: 두 반지름이 모두 같은 비율로 커지므로 면적 비례나 부피 비례로 판단하면 안 된다.

사용할 공식

동심 도체구의 정전용량은 $C = 4\pi\varepsilon\frac{ab}{b-a}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제의 대상이 내반지름 a, 외반지름 b를 갖는 동심 도체구이므로 구형 축전기의 정전용량 식을 직접 적용할 수 있다.

계산 과정

반지름을 각각 3배로 하면 새로운 정전용량은
$C' = 4\pi\varepsilon\frac{(3a)(3b)}{3b-3a}$
이다.
이를 정리하면
$C' = 4\pi\varepsilon\frac{9ab}{3(b-a)} = 3\cdot 4\pi\varepsilon\frac{ab}{b-a} = 3C$
이다.
따라서 정전용량은 3배가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $C' = 3C$이므로 옳다.
② X: $3a \cdot 3b = 9ab$만 보고 분자만 9배로 본 오답이다. 분모 $b - a$도 $3(b - a)$로 3배가 되므로 전체는 9배가 아니라 3배이다. 틀린 표현은 '9배'이고, 올바르게는 '3배'이다.
③ X: 반지름 3배를 부피의 3제곱 변화처럼 오해한 오답이다. 정전용량은 부피가 아니라 $C = 4\pi\varepsilon\frac{ab}{b-a}$의 비례관계로 결정되므로 27배가 아니다. 틀린 표현은 '27배'이고, 올바르게는 '3배'이다.
④ X: 길이 배수를 여러 번 중복 적용한 오답이다. 반지름을 동시에 키워도 식 전체는 한 번만 3배가 되므로 81배가 아니다. 틀린 표현은 '81배'이고, 올바르게는 '3배'이다.

오답 포인트

구형 축전기의 정전용량 식에서 분자 ab만 보고 9배로 판단하거나, 반지름 변화만 보고 면적·부피 배수를 그대로 가져오면 오답이 된다. 이 문제는 분자와 분모가 함께 어떻게 바뀌는지를 끝까지 정리해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

정전용량 식에 들어 있는 모든 길이항에 같은 배수를 대입한 뒤 약분해 본다. 식 전체에서 길이의 차수가 몇 차로 남는지만 보면 배수를 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

동심 도체구에서 $C = 4\pi\varepsilon\frac{ab}{b-a}$이므로 모든 반지름을 k배 하면 정전용량은 k배가 된다.

NoteBase

문 14. 결합계수 1인 두 코일 A, B가 있다. 코일 A의 전류가 $25[A/s]$로 변할 때, 코일 A에 $25[V]$, 코일 B에 $50[V]$의 기전력이 유기되었다. 이때 코일 B의 자기 인덕턴스 $[H]$는?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 자기유도와 상호유도 관계식 $e = L\frac{di}{dt}$, $e = M\frac{di}{dt}$, $k = \frac{M}{\sqrt{L_A L_B}}$를 이용해 코일 B의 자기 인덕턴스를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 결합계수 $k = 1$
- 코일 A의 전류 변화율 $\frac{di_A}{dt} = 25A/s$
- 코일 A의 유기기전력 $e_A = 25V$
- 코일 B의 유기기전력 $e_B = 50V$

구해야 할 값:
- 코일 B의 자기 인덕턴스 L_B

주의할 조건:
- $25V$는 코일 A의 자기유도 기전력이고, $50V$는 코일 B에 생긴 상호유도 기전력이다.

사용할 공식

$e_A = L_A\frac{di_A}{dt}, \quad e_B = M\frac{di_A}{dt}, \quad k = \frac{M}{\sqrt{L_A L_B}}$

이 공식을 쓰는 이유:
코일 A에는 자기유도 기전력이 걸리므로 L_A를 먼저 구할 수 있고, 코일 B에는 코일 A 전류 변화로 인한 상호유도 기전력이 생기므로 M을 구할 수 있다. 이후 결합계수 $k = 1$ 조건을 대입하면 L_B를 정할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 코일 A의 자기 인덕턴스는
$L_A = \frac{e_A}{di_A/dt} = \frac{25}{25} = 1H$
이다.
2. 코일 B에 유기된 기전력으로 상호 인덕턴스를 구하면
$M = \frac{e_B}{di_A/dt} = \frac{50}{25} = 2H$
이다.
3. 결합계수 $k = 1$ 이므로
$1 = \frac{M}{\sqrt{L_A L_B}} = \frac{2}{\sqrt{1 \cdot L_B}}$
이고, 따라서
$\sqrt{L_B} = 2 \quad \Rightarrow \quad L_B = 4H$
이다.

선지 판단

① X
- $1H$는 계산된 코일 A의 자기 인덕턴스 L_A 값이다. 코일 B의 자기 인덕턴스를 묻는 문제이므로 틀리다.
- 틀린 표현은 코일 B를 $1H$로 본 점이다. 올바르게는 코일 A의 자기 인덕턴스가 $1H$이다.

② X
- $2H$는 코일 B의 자기 인덕턴스가 아니라 상호 인덕턴스 M 값이다. 따라서 틀리다.
- 틀린 표현은 상호 인덕턴스와 자기 인덕턴스를 같은 값으로 본 점이다. 올바르게는 $M = 2H$, $L_B = 4H$이다.

③ X
- $L_B = 3H$를 넣으면 $k = \frac{2}{\sqrt{3}} > 1$이 되어 결합계수 조건 $k = 1$을 만족하지 못한다. 따라서 틀리다.
- 틀린 표현은 결합계수 관계를 끝까지 적용하지 않은 점이다. 올바르게는 $k = 1$이면 $L_B = 4H$가 되어야 한다.

④ O
- $L_A = 1H$, $M = 2H$, $k = 1$을 차례로 적용하면 $L_B = 4H$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

계산 결과 $L_B = 4H$이므로 정답은 4번이다.

오답 포인트

코일 B의 $50V$를 보고 바로 $L_B = \frac{50}{25} = 2H$로 두기 쉽다. 그러나 이 전압은 코일 B의 자기유도 기전력이 아니라 코일 A 전류 변화로 생긴 상호유도 기전력이므로 먼저 M으로 해석해야 한다. 마지막에 $k = 1$ 조건을 적용해야 자기 인덕턴스 L_B가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

결합코일 문제는 먼저 어느 전압이 자기유도인지, 어느 전압이 상호유도인지를 구분한 뒤 L과 M을 따로 구하고, 마지막에 $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ 조건으로 미지의 자기 인덕턴스를 정리하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

자기유도는 자기 코일의 L, 다른 코일에 생긴 유도전압은 M, 완전결합 $k=1$이면 $M=\sqrt{L_1L_2}$이다.

NoteBase

문 15. 1 [pF] 커패시터와 0.1 [mH] 인덕터로 이루어진 LC 공진회로에 의해 생성된 신호가 자유공간으로 전파된다고 할 때, 이 전자파의 파장[m]은?

① 5π

② 6π

③ 7π

④ 8π

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 LC 공진회로의 공진주파수 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$를 구한 뒤 자유공간 파장 $\lambda = \frac{c}{f}$로 연결할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 커패시터 $C = 1pF = 10^{-12}F$, 인덕터 $L = 0.1mH = 10^{-4}H$, 자유공간 전파속도 $c = 3 \times 10^8 m/s$이다.
구해야 할 값은 전자파의 파장 λ이다.
주의할 조건은 pF와 mH를 기본 단위 F, H로 바꾼 뒤 계산해야 한다는 점이다.

사용할 공식

공진주파수는 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이고, 파장은 $\lambda = \frac{c}{f}$이다.
LC 공진회로가 만드는 신호의 주파수가 먼저 정해지고, 그 신호가 자유공간으로 전파될 때는 전파속도와 주파수의 관계 $c = f\lambda$를 그대로 적용한다.

계산 과정

1. $LC = 10^{-4} \times 10^{-12} = 10^{-16}$이다.
2. $\sqrt{LC} = 10^{-8}$이므로 $f = \frac{1}{2\pi \times 10^{-8}} = \frac{10^8}{2\pi} = \frac{5 \times 10^7}{\pi} Hz$이다.
3. 따라서 $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^7/\pi} = 6\pi m$이다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $6\pi m$이므로 $5\pi m$는 맞지 않는다. $5\pi m$가 아니라 $6\pi m$이어야 한다.
2번 O: 공진주파수를 구한 뒤 $\lambda = \frac{c}{f}$를 적용하면 $6\pi m$가 된다.
3번 X: 계산값보다 πm만큼 크게 본 오답이다. $7\pi m$가 아니라 $6\pi m$이다.
4번 X: 공진주파수나 자유공간 파장 관계를 잘못 적용한 값이다. $8\pi m$가 아니라 $6\pi m$이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $0.1mH$와 $1pF$의 단위 변환을 생략하거나, 공진주파수만 구하고 파장 변환 $\lambda = \frac{c}{f}$를 한 번 더 하지 않는 것이다. 공진회로 문제를 전자파 문제와 분리해서 보면 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

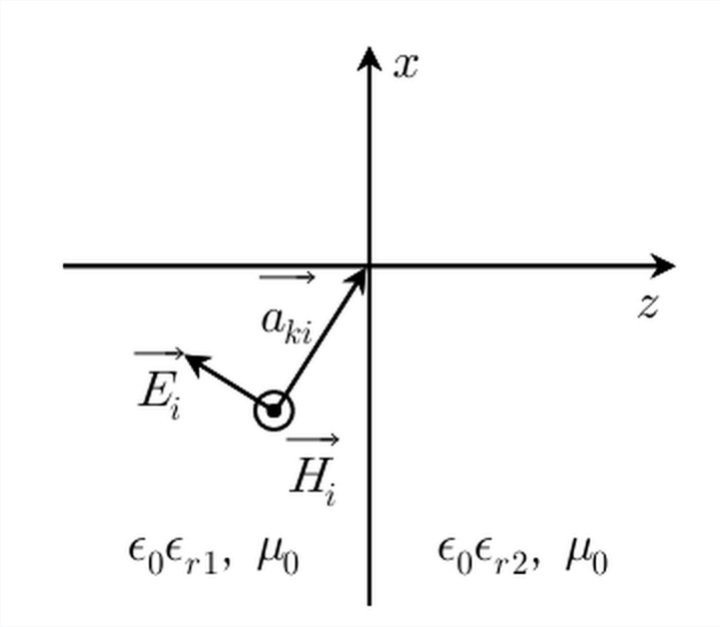
LC 수치가 나오면 먼저 L과 C를 기본 단위로 바꾸고 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$를 계산한다. 그다음 자유공간 전파라는 조건이 붙으면 $c = f\lambda$로 바로 연결해 파장을 구하면 된다.

암기 포인트

LC 공진은 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, 자유공간 파장은 $\lambda = \frac{c}{f}$의 두 단계로 이어진다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 비유전율 $\varepsilon_{r2} = \varepsilon_{r1}^2$인 두 완전 유전체가 $z = 0$ 평면을 경계면으로 접해 있다. $z < 0$에서 경계면으로 입사하는 평면파의 각주파수가 $\omega = 3 \times 10^8 [rad/s]$이고 전계 $\vec{E}_i = 10(\vec{a}_x \cos 60^\circ - \vec{a}_z \sin 60^\circ) e^{-j\sqrt{3}(x \sin 60^\circ + z \cos 60^\circ)} [V/m]$일 때, 다음 설명 중 옳지 않은 것은?



① $\varepsilon_{r1} = 3$이다.

② $z > 0$으로 투과한 평면파의 자기장 편파 방향은 $+\vec{a}_y$이다.

③ 전투과가 일어나는 브루스터각(Brewster angle)은 60°이다.

④ 전반사가 일어나는 임계각(Critical angle)은 60°이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 입사파의 위상상수에서 매질 1의 비유전율을 구하고, 스넬의 법칙과 브루스터각 조건으로 투과각과 임계각 존재 여부를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\omega = 3 \times 10^8 rad/s$, 입사각 $\theta_i = 60^\circ$, 매질 관계 $\varepsilon_{r2} = \varepsilon_{r1}^2$, 입사파의 위상상수 $\beta_1 = \sqrt{3} rad/m$이다.
경계면은 $z = 0$이고 입사 방향은 $+z$ 쪽이다.
전기장은 입사면 $x - z$ 평면 안에 있으므로 TM파이다.

NoteBase

사용할 공식

$\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon_r}\sqrt{\varepsilon_{r1}} = \beta_1\sqrt{\varepsilon_{r1}}\sin\theta_i = \sqrt{\varepsilon_{r2}}\sin\theta_t \tan\theta_B = \sqrt{\frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}}} \quad (\mu_1 = \mu_2)$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 위상항이 직접 주어져 매질 1의 비유전율을 역으로 구할 수 있고, 두 매질의 투자율이 모두 μ_0이므로 굴절률비를 비유전율의 제곱근으로 바로 쓸 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 위상항 $e^{-j\sqrt{3}(x\sin 60^\circ + z\cos 60^\circ)}$에서 매질 1의 위상상수는 $\beta_1 = \sqrt{3}\,rad/m$이다.
2. $\omega/c = (3\times10^8)/(3\times10^8) = 1$이므로 $\beta_1 = \sqrt{\varepsilon_{r1}}$이고, 따라서 $\varepsilon_{r1} = 3$이다.
3. $\varepsilon_{r2} = \varepsilon_{r1}^2 = 9$이므로 $\sqrt{\varepsilon_{r2}} = 3$이다.
4. 스넬의 법칙으로 $\sqrt{3}\sin 60^\circ = 3\sin\theta_t$이어서 $(\sqrt{3})(\sqrt{3}/2) = 3\sin\theta_t$, 즉 $3/2 = 3\sin\theta_t$이므로 $\sin\theta_t = 1/2$, $\theta_t = 30^\circ$이다.
5. 브루스터각은 $\tan\theta_B = \sqrt{\varepsilon_{r2}/\varepsilon_{r1}} = \sqrt{9/3} = \sqrt{3}$이므로 $\theta_B = 60^\circ$이다.
6. 임계각은 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때만 존재한다. 현재 진행은 매질 1 ($\varepsilon_{r1} = 3$)에서 매질 2 ($\varepsilon_{r2} = 9$)로 들어가므로 전반사는 일어나지 않는다. 반대로 매질 2에서 1로 갈 때의 임계각은 $\sin\theta_c = \sqrt{\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}} = 1/\sqrt{3}$이므로 $\theta_c \approx 35.26^\circ$이다.

선지별 해설

① O: $\varepsilon_{r1} = 3$이다. 위상상수 $\beta_1 = \sqrt{3}\,rad/m$와 $\omega/c = 1$을 대입하면 $\sqrt{\varepsilon_{r1}} = \sqrt{3}$이므로 맞는 설명이다.
② O: 투과파도 TM파이므로 자기장은 입사면에 수직인 y축 방향이다. 입사파와 투과파 모두 진행벡터가 $+z$ 성분을 가지며 $\mathbf{H} \propto \mathbf{k}\times\mathbf{E}$이므로 편파 방향은 $+a_y$가 된다.
③ O: 브루스터각은 $\tan\theta_B = \sqrt{\varepsilon_{r2}/\varepsilon_{r1}}$로 구한다. 계산하면 $\tan\theta_B = \sqrt{3}$이어서 $\theta_B = 60^\circ$이므로 맞는 설명이다.
④ X: 전반사 임계각이 60°라는 말이 틀리다. 이 문제의 진행 방향은 낮은 굴절률 매질 1에서 높은 굴절률 매질 2로 들어가는 경우이므로 전반사 자체가 일어나지 않는다. 틀린 표현은 '임계각은 60도이다'이고, 올바르게는 '이 입사 조건에서는 임계각이 존재하지 않으며, 반대 방향일 때의 임계각은 $\sin^{-1}(1/\sqrt{3}) \approx 35.26^\circ$이다'이다.

오답 포인트

브루스터각과 임계각을 같은 삼각함수 관계로 착각하면 ④처럼 잘못 판단하기 쉽다. 브루스터각은 반사계수 0이 되는 TM 조건이고, 임계각은 큰 굴절률 매질에서 작은 굴절률 매질로 진행할 때만 정의된다는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 위상항에서 β를 읽어 매질 상수를 구하고, 다음에 진행 방향이 저굴절률에서 고굴절률인지 반대인지부터 본다. 그 뒤 스넬의 법칙으로 투과각을 구하고, TM이면 브루스터각, 고굴절률에서 저굴절률일 때만 임계각을 검토하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

TM파 브루스터각은 $\tan\theta_B = n_2/n_1$이고, 임계각은 $n_1 > n_2$일 때만 존재한다.

NoteBase

문 17. 자유공간에서 전위가 $V = 2(x^2 + y^2)[V]$일 때, 체적전하밀도[C/m^3]는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)

① $-\frac{8}{\varepsilon_0}$
② $-8\varepsilon_0$
③ $-\frac{4}{\varepsilon_0}$
④ $-4\varepsilon_0$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자유공간에서 전위 V로부터 포아송 방정식 $\nabla^2 V = -\rho_v/\varepsilon_0$를 이용해 체적전하밀도 ρ_v를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전위 $V = 2(x^2 + y^2)[V]$이다.
구해야 할 값은 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$이다.
주의할 조건은 자유공간이므로 유전율이 ε_0이고, 관계식은 $\rho_v = -\varepsilon_0 \nabla^2 V$라는 점이다.

사용할 공식

$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{\rho_v}{\varepsilon_0}$
이 공식을 쓰는 이유는 전위가 좌표 x, y의 함수로 주어졌고, 자유공간의 체적전하밀도는 전위의 라플라시안으로 바로 연결되기 때문이다.

계산 과정

1. 전위를 전개하면 $V = 2x^2 + 2y^2$이다.
2. 각 변수에 대해 2차 미분하면 $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = 4$, $\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 4$, $\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$이다.
3. 따라서 $\nabla^2 V = 4 + 4 + 0 = 8$이다.
4. 포아송 방정식에 대입하면 $\rho_v = -\varepsilon_0 \nabla^2 V = -\varepsilon_0 \cdot 8 = -8\varepsilon_0[C/m^3]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 틀린 표현은 체적전하밀도가 $-8/\varepsilon_0$라는 부분이다.
- 올바르게는 $\rho_v = -8\varepsilon_0$이다.
- 이 값은 포아송 방정식을 $\rho_v = -\varepsilon_0\nabla^2 V$가 아니라 $\rho_v = -\nabla^2 V/\varepsilon_0$로 잘못 정리한 오답이다.

② O
- 계산 결과가 $\rho_v = -8\varepsilon_0$이므로 정답과 일치한다.
- 자유공간에서 전위의 라플라시안이 8이므로 체적전하밀도는 반드시 $-8\varepsilon_0$가 된다.

③ X
- 틀린 표현은 체적전하밀도가 $-4/\varepsilon_0$라는 부분이다.
- 올바르게는 $\rho_v = -8\varepsilon_0$이다.
- 이 값은 한 축의 2차 미분값 4만 반영하고, 그마저도 ε_0를 분모로 잘못 보낸 경우에 나오는 오답이다.

④ X
- 틀린 표현은 체적전하밀도가 $-4\varepsilon_0$라는 부분이다.
- 올바르게는 $\rho_v = -8\varepsilon_0$이다.
- 이 값은 x 또는 y 한 방향의 2차 미분값만 사용해 라플라시안을 4로 착각한 경우의 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 라플라시안을 한 변수에 대해서만 계산해 4로 끝내는 경우와, 포아송 방정식에서 ε_0를 곱해야 하는데 분모로 보내는 경우이다. 이 문항은 두 실수를 각각 ④와 ①, ③에 배치한 함정형 계산 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위가 주어지면 먼저 V를 좌표별 항으로 전개하고, 각 항의 2차 미분을 모두 더해 라플라시안 $\nabla^2 V$를 구한 뒤, 마지막에 $\rho_v = -\varepsilon_0\nabla^2 V$를 그대로 대입해 부호와 ε_0의 위치를 검산하면 된다.

암기 포인트

자유공간 체적전하밀도는 $\rho_v = -\varepsilon_0\nabla^2 V$이며, 라플라시안은 각 축의 2차 미분을 모두 더한 값이다.

NoteBase

문 18. 평면파인 1[MHz]의 전자기파가 자유공간에서 호수 표면으로 수직 입사하고 있다. 호수의 유전율과 투자율은 각각 $\varepsilon = 81\varepsilon_0$, $\mu = \mu_0$이다. 호수의 물속에서 전자기파의 손실을 무시할 때 입사파의 반사계수와 투과계수의 크기는? (단, ε_0와 μ_0는 각각 자유공간의 유전율과 투자율을 의미한다)

① 반사계수: 0.8, 투과계수: 0.2

② 반사계수: 0.8, 투과계수: 0.4

③ 반사계수: 0.2, 투과계수: 0.8

④ 반사계수: 0.4, 투과계수: 0.8

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 자유공기와 유전체 경계면에서의 정상 입사 평면파에 대해 고유임피던도로 전계의 반사계수와 투과계수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 자유공기 $\varepsilon_1 = \varepsilon_0, \mu_1 = \mu_0$, 호수 $\varepsilon_2 = 81\varepsilon_0, \mu_2 = \mu_0$이다.
구해야 할 값: 반사계수의 크기와 투과계수의 크기이다.
주의할 조건: 물속 손실을 무시하므로 손실 없는 유전체로 보고, 묻는 값은 전력계수가 아니라 전계 진폭 계수이다.

사용할 공식

정상 입사에서 매질의 고유임피던스는 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$이다.
반사계수는 $\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$이다.
투과계수는 $\tau = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평면파가 경계면에 수직 입사할 때 반사와 투과가 두 매질의 고유임피던스 비로 바로 결정되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

자유공기의 고유임피던스는 $\eta_1 = \eta_0$이다.

호수의 고유임피던스는

$\eta_2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{81\varepsilon_0}} = \frac{1}{9}\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \frac{\eta_0}{9}$

이다.

따라서 반사계수는

$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{\eta_0/9 - \eta_0}{\eta_0/9 + \eta_0} = \frac{-8/9}{10/9} = -0.8$

이므로 반사계수의 크기는 0.8이다.

투과계수는

$\tau = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{2(\eta_0/9)}{\eta_0/9 + \eta_0} = \frac{2/9}{10/9} = 0.2$

이므로 투과계수의 크기는 0.2이다.

선지별 해설

① O

반사계수의 크기 0.8, 투과계수의 크기 0.2가 계산값과 일치하므로 옳다.

② X

반사계수의 크기 0.8은 맞지만 투과계수를 0.4로 본 부분이 틀리다. 투과계수는 $\tau = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} = 0.2$이므로, 틀린 표현은 "투과계수 0.4"이고 올바르게는 "투과계수 0.2"이다.

③ X

반사계수 0.2, 투과계수 0.8은 둘 다 틀리다. 유전율이 큰 매질로 들어갈수록 η_2가 작아져 반사가 커지므로 반사계수의 크기는 0.8이 되어야 한다. 틀린 표현은 "반사계수 0.2, 투과계수 0.8"이고 올바르게는 "반사계수 0.8, 투과계수 0.2"이다.

④ X

반사계수 0.4, 투과계수 0.8은 공식 계산값과 맞지 않는다. 정상 입사에서 이 문항의 계산 결과는 항상 $\Gamma = -0.8$, $\tau = 0.2$이므로, 틀린 표현은 "반사계수 0.4, 투과계수 0.8"이고 올바르게는 "반사계수 0.8, 투과계수 0.2"이다.

오답 포인트

반사계수와 투과계수를 전력비로 착각하면 값이 달라진다. 이 문항은 전계 진폭 계수를 묻고 있으므로 Γ와 τ 공식을 그대로 써야 하며, “유전율이 크면 잘 통과한다”고 직관적으로 판단하면 ③, ④ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

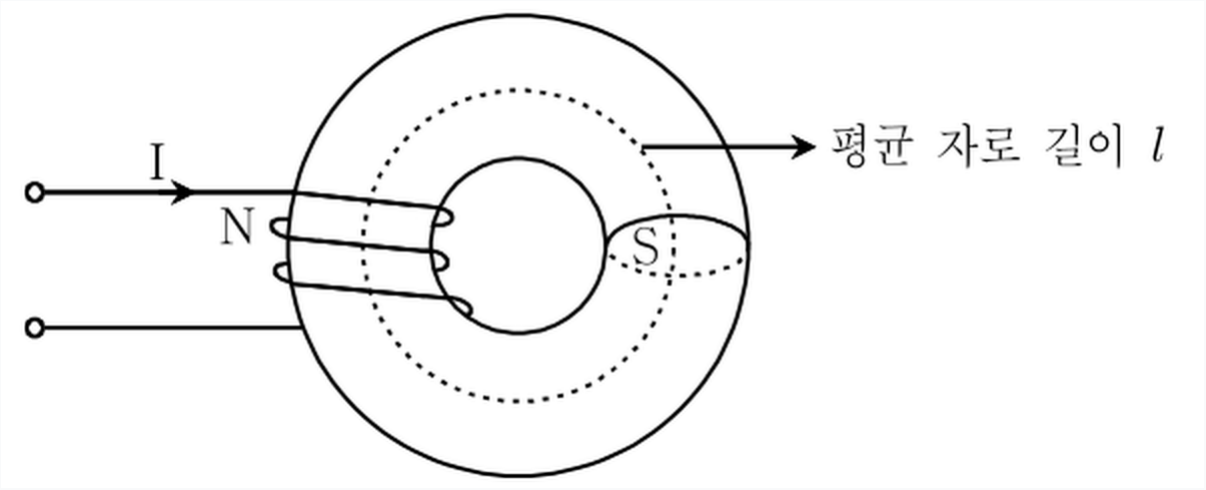
정상 입사 경계면 문제는 먼저 각 매질의 고유임피던스 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$를 구하고, 그다음 $\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$, $\tau = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$를 대입해 판단한다. 유전율이 커지면 고유임피던스가 작아진다는 점을 함께 확인하면 부호와 크기를 안정적으로 고를 수 있다.

암기 포인트

손실 없는 정상 입사에서 η를 먼저 구하고, 반사는 $\frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1}$, 투과는 $\frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1}$로 정리한다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 토로이드 코어는 평균 자로 길이 $l = 80\pi[cm]$, 단면적 $S = 4[cm^2]$, 비투자율 $\mu_r = 1{,}000$이고, 권선수 $N = 2{,}000$회의 도선이 코어에 촘촘히 감겨 있다. 이 자기회로에 전류 $I = 2[A]$를 흘렸을 때, 발생하는 자기에너지 [J]는? (단, 자성체는 충분히 자화되었다고 가정한다. $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$)



① 0.8

② 1.2

③ 1.6

④ 2.0

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 토로이드 자기회로의 인덕턴스 $L = \mu N^2 S/l$를 구한 뒤 자기에너지 W=12LI^2를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 평균 자로 길이 $l = 80\pi cm = 0.8\pi m$
- 단면적 $S = 4cm^2 = 4 \times 10^{-4} m^2$
- 비투자율 $\mu_r = 1000$, 권선수 $N = 2000$, 전류 $I = 2A$

구해야 할 값:
- 자기에너지 W

주의할 조건:
- cm, cm^2를 SI 단위로 바꾼 뒤 계산해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

L=(μ N^2S)/(l), W=12LI^2
이 공식을 쓰는 이유:
토로이드 코어는 평균 자로 길이와 단면적이 일정한 자기회로이므로 자기저항 $\mathcal{R} = l/(\mu S)$를 적용할 수 있고, 여기서 $L = N^2/\mathcal{R} = \mu N^2 S/l$로 정리된다.

계산 과정

1. 단위를 맞추면 $l = 0.8\pi m$, $S = 4 \times 10^{-4} m^2$이다.
2. 투자율은 $\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 = 4\pi \times 10^{-4} H/m$이다.
3. 인덕턴스는 $L = \frac{(4\pi \times 10^{-4})(2000)^2(4 \times 10^{-4})}{0.8\pi} = 0.8H$이다.
4. 자기에너지는 W=12LI^2=12×0.8×(2)^2=1.6 J이다.

선지별 해설

① X
- 0.8은 계산 중간값인 인덕턴스 L에 해당한다. 자기에너지는 W=12LI^2이므로 $0.8J$가 아니라 $1.6J$이다.

② X
- $1.2J$는 주어진 값으로는 나오지 않는다. 전류 $I = 2A$를 대입하면 $I^2 = 4$가 되어 $W = 1.6J$가 된다. 틀린 표현은 에너지값 1.2이고, 올바르게는 $1.6J$이다.

③ O
- 계산 결과 자기에너지는 $1.6J$이므로 옳다. 인덕턴스 $0.8H$를 구한 뒤 W=12LI^2에 대입하면 확인된다.

④ X
- $2.0J$는 12 계수를 빠뜨리거나 인덕턴스를 잘못 크게 잡을 때 생기기 쉬운 오답이다. 틀린 표현은 에너지값 2.0이고, 올바르게는 $1.6J$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 인덕턴스 $L = 0.8H$를 구한 뒤 그것을 바로 에너지값으로 착각하는 것이다. 또한 길이와 단면적의 단위를 m, m^2로 바꾸지 않으면 계산이 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

토로이드 자기에너지 문제는 먼저 l과 S를 SI 단위로 맞추고, $L = \mu N^2 S/l$로 인덕턴스를 구한 뒤, 마지막에 W=12LI^2를 적용하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

토로이드 자기에너지는 '단위 변환 → 인덕턴스 L 계산 → 12LI^2' 순서로 정리된다.

NoteBase

문 20. 단위 체적당 19.99×10^{28}개의 원자로 구성된 자성체($\mu = 2{,}000\mu_0$)에 자속밀도 $|\vec{B}| = 4\pi[Wb/m^2]$가 인가되었을 때, 원자가 모두 자화되어 동일한 자기쌍극자로 동작한다고 가정한다. 이때의 원자 한 개의 자기쌍극자 모멘트$[A \cdot m^2]$는? (단, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$)

① $\frac{10^{-21}}{20.00}$
② $\frac{10^{-21}}{19.99}$
③ $\frac{10^{-22}}{20.00}$
④ $\frac{10^{-22}}{19.99}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 투자율과 자화의 관계 $B = \mu H$, $M = \chi H = (\mu_r - 1)H$를 이용해 원자 1개당 자기쌍극자 모멘트 m을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 N=19.99×10^28 개/m^3, $\mu = 2000\mu_0$, $B = 4\pi Wb/m^2$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$이다.
구해야 할 값은 원자 1개당 자기쌍극자 모멘트 $m[A \cdot m^2]$이다.
모든 원자가 동일하게 자화되므로 전체 자화세기 M은 $M = Nm$으로 둔다.

사용할 공식

$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$, $M = \chi H = (\mu_r - 1)H$, $M = Nm$을 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 투자율 μ와 자속밀도 B를 주었고, 원자 전체가 자화되어 만든 거시적 자화세기 M를 다시 원자 수밀도 N로 나누면 원자 1개당 모멘트 m이 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 자기장 세기는
$H = \frac{B}{\mu} = \frac{4\pi}{2000 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 5000 A/m$
이다.
2. 비투자율은 $\mu_r = 2000$이므로 자화율은 $\chi = \mu_r - 1 = 1999$이다. 따라서 자화세기는
$M = \chi H = 1999 \times 5000 = 9.995 \times 10^6 A/m$
이다.
3. $M = Nm$이므로
$m = \frac{M}{N} = \frac{9.995 \times 10^6}{19.99 \times 10^{28}} = 5 \times 10^{-23} A \cdot m^2$
이다.
4. 이를 보기 형태로 쓰면
$5 \times 10^{-23} = \frac{10^{-21}}{20.00}$
이므로 1번과 일치한다.

선지별 해설

① O : 계산 결과가 $m = 5 \times 10^{-23} A \cdot m^2$이고, 이는 정확히 $\frac{10^{-21}}{20.00}$와 같다.
② X : $\frac{10^{-21}}{19.99}$는 $M = \mu_r H = 2000H$로 두었을 때 나오는 값이다. 자화세기는 $M = \chi H = (\mu_r - 1)H = 1999H$로 계산해야 하므로 틀렸다. 틀린 표현은 자화율을 2000으로 본 점이고, 올바르게는 1999이다.
③ X : $\frac{10^{-22}}{20.00}$는 정답보다 10배 작은 값이다. 10^{-23} 차수를 10^{-22}로 잘못 올리거나 수밀도 10^{28}의 지수를 잘못 처리하면 이런 값이 나온다. 올바르게는 $\frac{10^{-21}}{20.00} = 5 \times 10^{-23}$이다.
④ X : $\frac{10^{-22}}{19.99}$는 ②의 자화율 오판에 더해 지수까지 10배 잘못 처리한 값이다. 올바르게는 자화율을 1999로 두고 최종 차수를 10^{-23}으로 유지해야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 μ_r와 자화율 χ를 같은 것으로 보는 점이다. 이 문제에서는 $\mu_r = 2000$이지만 $\chi = 1999$이다. 또 M/N 계산에서 $10^6 \div 10^{28} = 10^{-22}$까지만 보고 앞의 소수 비율 $9.995/19.99 = 0.5$를 반영하지 않으면 지수와 계수를 함께 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

자성체 계산 문제는 먼저 $B = \mu H$로 H를 구하고, 그다음 $M = (\mu_r - 1)H$인지 $M = \mu_r H$인지 정의를 확인한 뒤, 마지막에 $M = Nm$으로 원자 1개당 값으로 바꾸는 순서로 판단한다.

암기 포인트

선형 자성체에서는 $\mu_r = 1 + \chi$, 따라서 자화세기는 $M = (\mu_r - 1)H$이다.

NoteBase