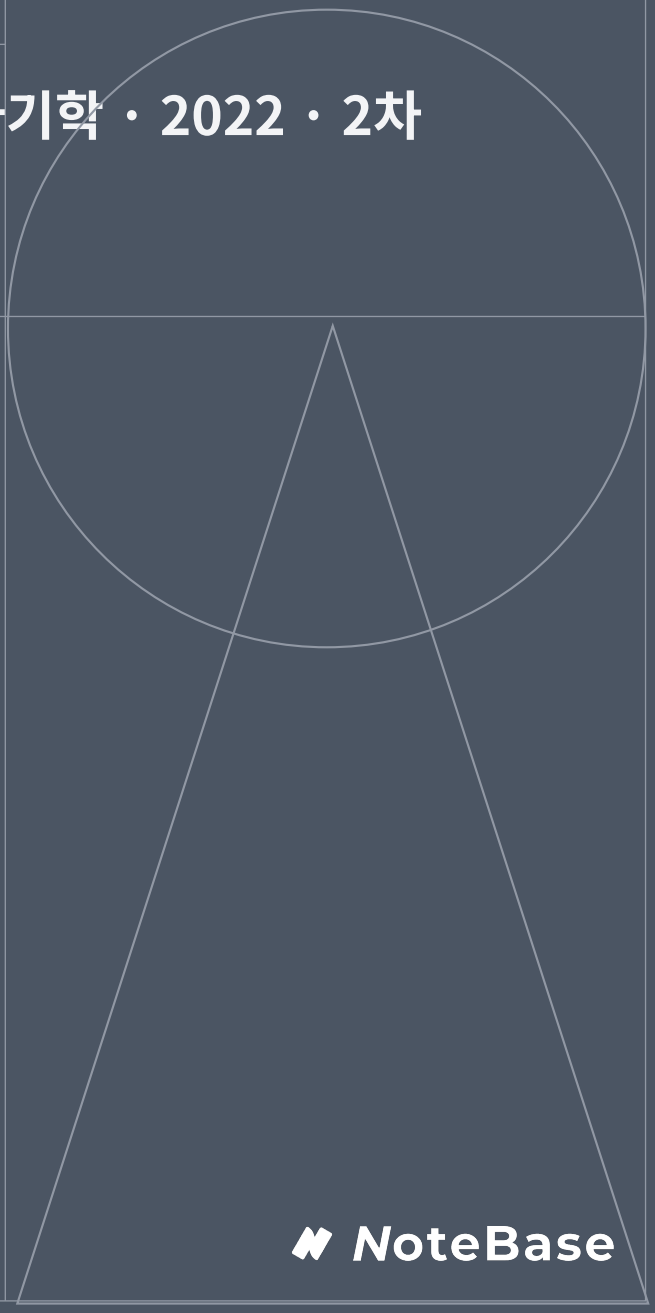
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2022 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2022 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2022 · 2차

문 1. 길이가 $50[cm]$이고 권선수가 400회인 원형 솔레노이드 내부에 비투자율이 2,000인 철심을 넣고 $10[A]$의 전류를 흘려줄 때, 솔레노이드 내부의 자속밀도 B의 크기[$\mathrm{Wb/m^2}$]는? (단, 자유공간의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이고, 솔레노이드의 길이는 철심의 반지름에 비해 매우 길다)

① 3.2π

② 4.8π

③ 5.6π

④ 6.4π

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 긴 솔레노이드 내부의 자속밀도를 구하는 공식과 단위 환산을 정확히 적용할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 길이 $l = 50cm = 0.5m$, 권선수 $N = 400$, 비투자율 $\mu_r = 2000$, 전류 $I = 10A$, 자유공간 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$이다.
구해야 할 값: 솔레노이드 내부의 자속밀도 $B(Wb/m^2)$이다.
주의할 조건: 솔레노이드가 매우 길므로 긴 솔레노이드 공식 $B = \mu nI$를 적용할 수 있고, 길이 $50cm$를 $0.5m$로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $B = \mu nI = \mu_0 \mu_r \frac{N}{l} I$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 솔레노이드의 길이가 반지름에 비해 매우 길다고 했으므로 내부 자기장은 거의 균일하고, 권선밀도 $n = N/l$를 써서 자속밀도를 구하는 긴 솔레노이드 모델에 해당한다.

계산 과정

1. 권선밀도는 $n = \frac{N}{l} = \frac{400}{0.5} = 800m^{-1}$이다.
2. 투자율은 $\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \times 10^{-7} \times 2000 = 8\pi \times 10^{-4} H/m$이다.
3. 따라서 $B = \mu nI = (8\pi \times 10^{-4}) \times 800 \times 10 = 6.4\pi Wb/m^2$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $6.4\pi Wb/m^2$이므로 3.2π는 맞지 않는다. 틀린 표현은 자속밀도를 3.2π로 본 점이며, 올바르게는 6.4π이다. 이 값은 $\mu_r = 1000$으로 잘못 두거나 결과를 절반으로 줄였을 때 나올 수 있다.
2번 X: 계산 결과와 비교하면 4.8π는 맞지 않는다. 틀린 표현은 자속밀도를 4.8π로 본 점이며, 올바르게는 6.4π이다. 이 값은 권선밀도나 투자율을 곱하는 과정에서 일부 계수를 빠뜨렸을 때 생기는 오답이다.
3번 X: 계산 결과와 비교하면 5.6π도 맞지 않는다. 틀린 표현은 자속밀도를 5.6π로 본 점이며, 올바르게는 6.4π이다. 이 값은 단위 환산이나 곱셈 계수를 부정확하게 처리했을 때 생기는 근사 오답이다.
4번 O: $B = \mu_0\mu_r\frac{N}{l}I = 6.4\pi Wb/m^2$이므로 옳다. 길이를 $0.5m$로 환산한 뒤 권선밀도 $800m^{-1}$을 적용하면 정확히 이 값이 나온다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $50cm$를 그대로 50으로 넣어 권선밀도를 잘못 구하는 경우와, $\mu = \mu_0\mu_r$에서 비투자율 2000을 빠뜨리는 경우이다. 오답 선지들은 이런 단위 환산 누락이나 계수 누락을 노린 값들이다.

다시 나오면 이렇게 판단

솔레노이드 계산형 문제는 길이 단위를 먼저 m로 통일하고, $n = N/l$을 구한 뒤, 긴 솔레노이드이면 $B = \mu_0\mu_r nI$를 적용하는 순서로 판단한다. 마지막에는 비투자율을 곱했는지와 단위 환산이 끝났는지를 다시 점검하면 된다.

암기 포인트

긴 솔레노이드 내부 자속밀도는 $B = \mu_0\mu_r NI/l$이며, 계산 전에 $cm \rightarrow m$ 환산을 먼저 끝내야 한다.

NoteBase

문 2. 자유공간에서 $\rho_{s1} = 3[\mathrm{nC/m^2}]$인 무한 면전하가 평면 $x = 8[\mathrm{m}]$에, $\rho_{s2} = -4[\mathrm{nC/m^2}]$인 무한 면전하가 평면 $x = 4[\mathrm{m}]$에, $\rho_{s3} = -4[\mathrm{nC/m^2}]$인 무한 면전하가 평면 $x = -1[\mathrm{m}]$에 놓여 있을 때, 점 $(0, 3, 4)[\mathrm{m}]$에서 전계 [V/m]는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[\mathrm{F/m}]$이다)

① $-a_x 54\pi$

② $a_x 54\pi$

③ $-a_x 108\pi$

④ $a_x 108\pi$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 무한 면전하가 만드는 전계의 방향과 크기 $E = \rho_s/(2\varepsilon_0)$를 중첩하여 점 $(0, 3, 4)$에서의 전체 전계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- $\rho_{s1} = 3nC/m^2$, 면 위치 $x = 8$
- $\rho_{s2} = -4nC/m^2$, 면 위치 $x = 4$
- $\rho_{s3} = -4nC/m^2$, 면 위치 $x = -1$
- $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} F/m$

구해야 할 값: 점 $(0, 3, 4)$에서의 전체 전계
주의할 조건: 무한 면전하의 전계는 면에서의 거리와 무관하고, 방향은 양전하는 바깥쪽, 음전하는 면 쪽이다.

사용할 공식

무한 면전하 1장이 만드는 전계의 크기는 $E = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 세 전하는 모두 무한 면전하이므로 각 면이 만드는 전계는 위치한 쪽에 따라 $\pm a_x$ 방향만 결정하면 되고, 크기는 모두 $\rho_s/(2\varepsilon_0)$로 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

먼저
$\frac{1}{2\varepsilon_0} = \frac{1}{2 \times (\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9})} = 18\pi \times 10^9$
이므로, ρ_s를 nC/m^2로 넣으면 전계 크기는 $18\pi\rho_s V/m$가 된다.

1. $x = 8$의 양전하 면은 점 $x = 0$에서 왼쪽에 점이 있으므로 전계가 면에서 멀어지는 방향인 $-a_x$이다.
$\vec{E}_1 = -a_x 3 \times 18\pi = -a_x 54\pi$
2. $x = 4$의 음전하 면은 점 $x = 0$에서 왼쪽에 점이 있으므로 전계가 면 쪽을 향하는 $+a_x$이다.
$\vec{E}_2 = +a_x 4 \times 18\pi = +a_x 72\pi$
3. $x = -1$의 음전하 면은 점 $x = 0$에서 오른쪽에 점이 있으므로 전계가 면 쪽을 향하는 $-a_x$이다.
$\vec{E}_3 = -a_x 4 \times 18\pi = -a_x 72\pi$
4. 중첩하면
$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = -a_x 54\pi + a_x 72\pi - a_x 72\pi = -a_x 54\pi$
따라서 전체 전계는 $-a_x 54\pi V/m$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과 전체 전계는 $-a_x 54\pi V/m$이므로 정답이다.
2번: X. 크기 54π는 맞지만 방향이 반대이다. 틀린 표현은 $+a_x$이고, 올바르게는 $-a_x$이다.
3번: X. $-a_x$ 방향은 맞지만 크기가 두 배로 잘못되었다. 틀린 표현은 108π이고, 올바르게는 54π이다. 이는 세 면전하의 크기만 더하고 부호를 제대로 중첩하지 않을 때 나올 수 있는 값이다.
4번: X. 방향과 크기가 모두 틀렸다. 틀린 표현은 $+a_x 108\pi$이고, 올바르게는 $-a_x 54\pi$이다. 이는 음전하 면의 전계 방향을 모두 $+a_x$로 잘못 잡으면 나올 수 있는 값이다.

오답 포인트

음전하 면전하는 전계가 면 쪽으로 향한다는 점을 놓치면 방향을 반대로 잡기 쉽다. 또 무한 면전하의 전계는 거리와 무관한데, 점의 y, z 좌표를 보고 불필요하게 거리 계산을 하면 다른 값을 만들게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

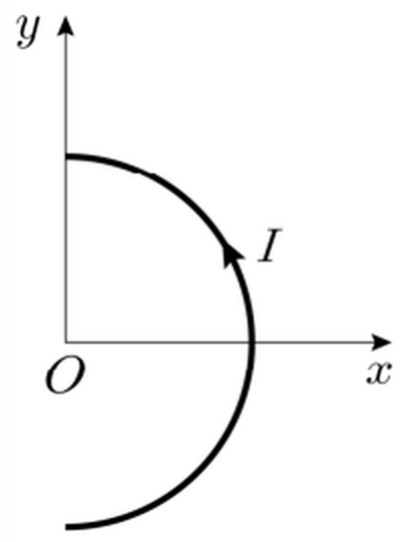
무한 면전하 문제는 각 면에 대해 먼저 점이 면의 왼쪽인지 오른쪽인지 확인하고, 양전하는 바깥쪽·음전하는 면 쪽이라는 규칙으로 방향을 정한 뒤 $\rho_s/(2\varepsilon_0)$ 크기를 부호까지 포함해 중첩하면 된다.

암기 포인트

무한 면전하 전계는 거리와 무관하고, 양전하는 바깥쪽·음전하는 면 쪽, 크기는 항상 $\rho_s/(2\varepsilon_0)$이다.

NoteBase

문 3. xy **평면 위에 있는 반지름이** $1[cm]$**인 반원 모양의 도선에 반시계 방향으로** $10[mA]$**의 전류가 흐를 때, 원점에서 자계** H**의 크기** $[A/m]$**는?**



① $\frac{1}{2}$

② $\frac{1}{4}$

③ $\frac{1}{4\pi}$

④ $\frac{1}{8\pi}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 반지름 R인 반원 도선의 중심에서 자기장 세기 H를 구하는 문제이며, 원호의 중심 자기장 공식과 단위 변환을 정확히 적용하는지가 핵심이다.

조건 정리

주어진 값: 전류 $I = 10mA = 0.01A$, 반지름 $R = 1cm = 0.01m$, 중심각 $\theta = \pi$
구해야 할 값: 원점에서의 자기장 세기 $H[A/m]$
주의할 조건: 도선은 전체 원이 아니라 반원이므로 중심각 π를 넣어야 한다. 전류의 반시계 방향은 자기장의 방향을 정할 때 쓰이며, 이 문항처럼 크기만 물을 때는 크기값 자체를 바꾸지 않는다.

사용할 공식

$H = \frac{I\theta}{4\pi R}$
원호가 중심에서 만드는 자기장 세기는 중심각 θ에 비례한다. 이 문항은 반원 도선이므로 $\theta = \pi$를 대입하여 $H = \frac{I}{4R}$로 바로 정리할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 단위를 기본단위로 바꾸면 $I = 10mA = 0.01A$, $R = 1cm = 0.01m$이다.
2. 반원 도선이므로 $\theta = \pi$를 넣어 $H = \frac{I\theta}{4\pi R} = \frac{I}{4R}$이다.
3. 값을 대입하면 $H = \frac{0.01}{4 \times 0.01} = \frac{0.01}{0.04} = \frac{1}{4}[A/m]$이다.

선지별 해설

① X: $\frac{1}{2}$는 전체 원형 도선의 중심 자기장 $H = \frac{I}{2R}$에 해당하는 값이다. 이 문항의 도선은 반원이므로 틀린 표현은 값 $\frac{1}{2}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.
② O: 계산 결과가 $\frac{1}{4}[A/m]$이므로 맞는 선지이다.
③ X: $\frac{1}{4\pi}$는 원호 공식 $H = \frac{I\theta}{4\pi R}$에서 반원의 중심각 $\theta = \pi$를 반영하지 않고 분모의 π만 남긴 값이다. 틀린 표현은 값 $\frac{1}{4\pi}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.
④ X: $\frac{1}{8\pi}$는 반원 공식을 다시 한 번 잘못 절반으로 줄이거나 중심각을 잘못 넣은 값이다. 반원의 중심 자기장은 $H = \frac{I}{4R}$이므로 틀린 표현은 값 $\frac{1}{8\pi}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.

오답 포인트

반원인데 전체 원 공식을 쓰거나, 원호 공식의 중심각 $\theta = \pi$를 빠뜨리는 실수가 가장 흔하다. 또 $10mA \rightarrow 0.01A$, $1cm \rightarrow 0.01m$ 변환을 하지 않으면 값이 크게 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

원호 자기장 문제는 먼저 중심각이 전체 원인지 반원인지부터 확인하고, $H = \frac{I\theta}{4\pi R}$에 넣어 정리한다. 그다음 전류와 길이 단위를 A, m로 바꾼 뒤 계산값을 선지와 대조하면 된다.

암기 포인트

원형 도선 중심 자기장은 전체 원이면 $H = \frac{I}{2R}$, 반원이면 $H = \frac{I}{4R}$이다.

NoteBase

문 4. 자유공간에서 시변전계가 $\mathbf{E}(z,t)=\mathbf{a}_y 10^3\sin(\omega t-\beta z)[V/m]$일 때, 시변자계 $\mathbf{H}(z,t)[A/m]$는? (단, ω는 각주파수 $[rad/s]$, β는 위상상수 $[rad/m]$이고 자유공간의 고유임피던스는 $120\pi[\Omega]$이다)

① $\mathbf{a}_y\frac{10^3}{120\pi}\sin(\omega t-\beta z)$
② $-\mathbf{a}_x\frac{10^3}{120\pi}\sin(\omega t-\beta z)$
③ $-\mathbf{a}_y\frac{10^3}{120\pi}\cos(\omega t-\beta z)$
④ $\mathbf{a}_x\frac{10^3}{120\pi}\cos(\omega t-\beta z)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 자유공간 평면파에서 전계 **E**와 자기계 **H**의 방향 관계와 고유임피던스 η_0를 이용해 **H**를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\mathbf{E}(z,t)=\mathbf{a}_y 10^3\sin(\omega t-\beta z)[V/m]$, $\eta_0=120\pi[\Omega]$이다.
구해야 할 값: $\mathbf{H}(z,t)$의 방향과 크기, 위상이다.
주의할 조건: $\sin(\omega t-\beta z)$는 $+z$ 방향 진행파를 뜻하고, 자유공간은 손실이 없으므로 **E**와 **H**는 동상이다.

사용할 공식

$\mathbf{H}=\frac{1}{\eta_0}(\hat{\mathbf{k}}\times\mathbf{E})$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유: 자유공간의 균일평면파에서는 진행방향 $\hat{\mathbf{k}}$, 전계 **E**, 자기계 **H**가 서로 직교하고, 크기는 $|\mathbf{H}|=|\mathbf{E}|/\eta_0$ 관계를 만족하기 때문이다.

계산 과정

1. 위상항이 $\omega t-\beta z$이므로 파의 진행방향은 $+z$ 방향이다. 따라서 $\hat{\mathbf{k}}=\mathbf{a}_z$이다.
2. 전계 방향이 $\mathbf{a}_y$이므로 **H**의 방향은 $\mathbf{a}_z\times\mathbf{a}_y=-\mathbf{a}_x$이다.
3. 크기는 $|\mathbf{H}|=\frac{10^3}{120\pi}[A/m]$이고, 자유공간 평면파이므로 전계와 동상이다.
4. 따라서 $\mathbf{H}(z,t)=-\mathbf{a}_x\frac{10^3}{120\pi}\sin(\omega t-\beta z)[A/m]$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $\mathbf{H}$는 $\mathbf{E}$와 직교해야 하므로 $\mathbf{a}_y$ 방향일 수 없다. 틀린 표현은 방향벡터 $\mathbf{a}_y$이고, 올바르게는 $-\mathbf{a}_x$이다.
2번 O: $+z$ 진행, $\mathbf{E} \parallel \mathbf{a}_y$이므로 $\mathbf{H} = \frac{1}{\eta_0}(\mathbf{a}_z \times \mathbf{E}) = -\mathbf{a}_x \frac{10^3}{120\pi}\sin(\omega t - \beta z)$가 된다. 방향, 크기, 위상이 모두 맞다.
3번 X: $\cos(\omega t - \beta z)$로 바꾸면 전계와 90° 위상차가 생기는데 자유공간 평면파의 $\mathbf{E}$와 $\mathbf{H}$는 동상이다. 또한 방향도 $-\mathbf{a}_y$가 아니라 $-\mathbf{a}_x$이다.
4번 X: $\cos(\omega t - \beta z)$는 위상이 틀리고, 방향도 $\mathbf{a}_x$가 아니라 $-\mathbf{a}_x$이어야 한다. 올바르게는 $-\mathbf{a}_x \frac{10^3}{120\pi}\sin(\omega t - \beta z)$이다.

오답 포인트

진행방향을 먼저 잡지 않고 벡터곱 순서를 거꾸로 쓰면 부호가 바뀐다. 또한 평면파의 $\mathbf{E}$와 $\mathbf{H}$를 직교 관계가 아니라 같은 방향으로 놓거나, 불필요하게 sin을 cos로 바꾸는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 문제는 위상항으로 진행방향을 먼저 정하고, $\mathbf{H} = \frac{1}{\eta}(\hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{E})$로 방향을 구한 뒤, 마지막에 $|\mathbf{H}| = |\mathbf{E}|/\eta$와 위상 보존 여부를 확인하면 된다.

암기 포인트

자유공간 평면파는 $\mathbf{H} = \frac{1}{120\pi}(\hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{E})$, 진행방향과 $\mathbf{E}$를 알면 $\mathbf{H}$의 부호까지 바로 정해진다.

NoteBase

문 5. 자유공간에 자속밀도 $B = a_x y^2 + a_y z^2 + a_z x^2$[Wb/m^2]가 주어졌을 때, $x = 3$[m], $0 \le y \le 1$[m], $1 \le z \le 4$[m] 영역을 통과하는 자속 [Wb]은?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 1번

출제 포인트

평면 $x = 3$을 지나는 자속은 $\vec{B} \cdot d\vec{S}$에서 법선 성분인 $B_x = y^2$만 적분한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 자속밀도는 $\vec{B} = a_x y^2 + a_y z^2 + a_z x^2 [Wb/m^2]$이다.
통과 면은 $x = 3$인 yz평면 조각이다.
적분 범위는 $0 \le y \le 1, 1 \le z \le 4$이다.

사용할 공식

자속은 $\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$이다.
$x = 3$ 평면의 면소벡터는 $d\vec{S} = a_x dydz$이므로 $\vec{B}$의 x성분만 자속에 기여한다.
따라서 이 문제에서는 $\Phi = \int_1^4 \int_0^1 y^2 dydz$를 계산하면 된다.

계산 과정

$x = 3$ 평면에서는 법선이 a_x 방향이므로 $B_x = y^2$만 남는다.
$\Phi = \int_1^4 \int_0^1 y^2 dydz$
$= \int_1^4 \left[\frac{y^3}{3}\right]_0^1 dz$
$= \int_1^4 \frac{1}{3} dz = \frac{1}{3}(4 - 1) = 1$
따라서 자속은 $1Wb$이다.

NoteBase

선지 판단

① O
- 계산 결과가 $1Wb$이므로 맞는 선지이다.

② X
- 2번의 값 $2Wb$는 적분 결과와 다르다. 자속은 $2Wb$가 아니라 $1Wb$이다.

③ X
- 3번의 값 $3Wb$는 z구간 길이만 보고 y^2의 적분값 1/3을 빠뜨리면 나오는 오답이다. 자속은 $3Wb$가 아니라 $1Wb$이다.

④ X
- 4번의 값 $4Wb$는 평면의 위치 $x = 3$이나 다른 성분까지 함께 써야 한다고 오해한 경우의 오답이다. 자속은 $4Wb$가 아니라 $1Wb$이다.

오답 포인트

$x = 3$이라는 조건을 보면 x가 들어간 $a_z x^2$ 성분을 써야 한다고 착각하기 쉽다. 그러나 자속은 면의 법선 방향 성분만 적분하므로 x=상수 평면에서는 B_x만 사용한다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

면이 x=상수, y=상수, z=상수 중 무엇인지 먼저 보고 법선 방향을 정한다. 그다음 $\vec{B}$에서 해당 성분만 남긴 뒤 나머지 두 좌표 범위로 이중적분하면 된다.

암기 포인트

x=상수 평면의 자속은 B_x만 적분한다.

NoteBase

문 6. 유전율 ε_1인 매질 1에서 유전율 ε_2인 매질 2로 입사하는 전자기파의 입사각과 굴절각이 각각 θ_i, θ_t일 때, 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 두 매질의 투자율은 동일하고, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$이다)

① Snell의 법칙에 의해 $\frac{\sin\theta_t}{\sin\theta_i}$는 $\sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}$이다.

② 입사각과 굴절각 θ_i, θ_t는 경계면에 수직인 법선을 기준으로 측정한다.

③ Snell의 법칙은 편파 특성과 무관하다.

④ $\theta_t = \frac{\pi}{2}$일 때의 입사각을 임계각 θ_c라 할 때, $\theta_i < \theta_c$인 경우 경계면을 투과하는 전력은 없다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 스넬의 법칙, 입사각·굴절각의 기준선, 임계각과 전반사 조건을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

스넬의 법칙: 두 매질 경계에서 $n_1\sin\theta_i = n_2\sin\theta_t$가 성립하는 굴절 법칙이다.
입사각과 굴절각: 둘 다 경계면에 수직인 법선을 기준으로 잰 각도이다.
임계각: 굴절각이 $\pi/2$가 되는 입사각이며, 이보다 더 큰 입사각에서 전반사가 일어난다.

선지별 해설

① O
두 매질의 투자율이 같으면 굴절률은 $n \propto \sqrt{\varepsilon}$로 본다. 따라서 $n_1\sin\theta_i = n_2\sin\theta_t$에서 $\sin\theta_t/\sin\theta_i = n_1/n_2 = \sqrt{\varepsilon_1/\varepsilon_2}$가 되어 옳다.

② O
입사각 θ_i와 굴절각 θ_t는 모두 경계면 자체가 아니라 경계면에 수직인 법선을 기준으로 정의하므로 옳다.

③ O
등방성 매질 사이의 굴절 방향은 굴절률과 입사 조건으로 정해지며, 편파는 반사계수·투과계수에는 영향을 주어도 스넬의 법칙 자체를 바꾸지 않으므로 옳다.

④ X
틀린 부분은 "_i<_c인 경우 경계면을 투과하는 전력은 없다"는 표현이다. 실제로는 $\theta_i < \theta_c$이면 굴절파가 존재하여 경계면을 통과하는 전력이 있다. 경계면을 통과하는 전력이 없어지는 것은 전반사가 일어나는 $\theta_i > \theta_c$인 경우이다.

NoteBase

오답 포인트

임계각은 전반사가 시작되는 경계값이므로 부등호 방향을 자주 뒤집는다. ④는 전반사 조건인 $\theta_i > \theta_c$를 $\theta_i < \theta_c$로 바꿔 적어 놓은 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

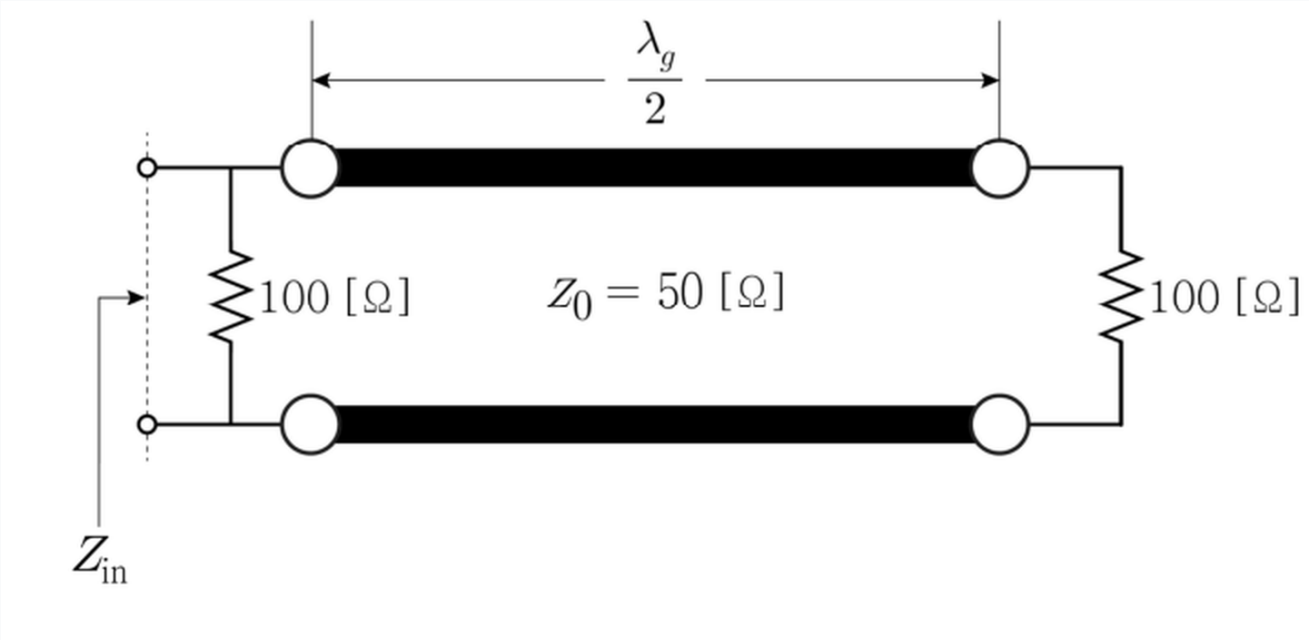
먼저 발문이 옳은 것인지 옳지 않은 것인지 확인한 뒤, 굴절 문제에서는 법선 기준 각도인지와 임계각 전후의 부등호 방향을 본다. $\theta_i < \theta_c$이면 굴절파가 있고, $\theta_i > \theta_c$이면 전반사라는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

임계각은 굴절파가 사라지기 직전의 각도이고, 전반사는 항상 $\theta_i > \theta_c$에서 일어난다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 특성 임피던스 Z_0가 50[Ω]이고 길이가 $\frac{\lambda_g}{2}$인 무손실 전송선로를 저항 100[Ω]으로 종단하고, 입력단에 저항 100[Ω]를 병렬로 연결했을 때, 입력 임피던스 Z_{in}[Ω]은? (단, λ_g는 전송선로에서 전파하는 신호의 파장이다)



① 25

② 50

③ 75

④ 100

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무손실 전송선로의 길이가 $\lambda_g/2$일 때 입력 임피던스가 부하 임피던스를 그대로 반복한다는 성질과 병렬 합성 임피던스를 함께 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 특성 임피던스 $Z_0 = 50\Omega$, 선로 길이 $l = \lambda_g/2$, 부하 저항 $Z_L = 100\Omega$, 입력단 병렬 저항 100Ω이다.
구해야 할 값: 전체 입력 임피던스 Z_{in}이다.
주의할 조건: 무손실 선로에서 $l = \lambda_g/2$이면 선로의 입력 임피던스는 부하 임피던스와 같아진다.

NoteBase

사용할 공식

무손실 전송선로의 입력 임피던스는 $Z_{in,line} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l}$ 이다.
이 문제는 $l = \lambda_g/2$이므로 $\beta l = \pi$, 따라서 $\tan \beta l = \tan \pi = 0$가 되어 $Z_{in,line} = Z_L$를 바로 쓸 수 있다.
그다음 입력단의 100Ω 저항이 선로 입력과 병렬이므로 전체 입력 임피던스는 병렬합으로 계산한다.

계산 과정

1. 선로만 본 입력 임피던스는 $l = \lambda_g/2$이므로 $Z_{in,line} = Z_L = 100\Omega$이다.
2. 입력단에는 100Ω 저항이 병렬로 연결되어 있으므로 전체 입력 임피던스는 $100\Omega \parallel 100\Omega$이다.
3. 따라서 $Z_{in} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50\Omega$ 이다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 25Ω가 아니라 50Ω이다. $\lambda_g/2$ 선로가 부하 100Ω를 그대로 입력으로 반복한다는 점을 놓치면 틀린 값으로 흐를 수 있다. 올바르게는 전체 입력 임피던스가 50Ω이다.
2번 O: 선로 입력이 100Ω로 반복되고, 여기에 입력단 100Ω가 병렬로 붙으므로 전체는 50Ω가 된다. 따라서 정답에 해당한다.
3번 X: 75Ω는 병렬 합성 결과가 아니다. 임피던스는 단순 평균으로 처리하지 않으며, $100\Omega \parallel 100\Omega$는 반드시 50Ω가 된다. 올바르게는 50Ω이다.
4번 X: 100Ω는 선로 자체의 입력 임피던스까지만 본 값이다. 문제는 입력단의 병렬 저항까지 포함한 전체 Z_{in}을 묻고 있으므로 최종값은 50Ω이다.

오답 포인트

$\lambda_g/2$ 선로를 $\lambda_g/4$ 변환선로와 혼동하거나, 선로 입력 임피던스 100Ω를 구한 뒤 입력단 병렬 저항을 반영하지 않으면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 선로 구간 계산과 최종 병렬 합성을 한 단계로 뭉개서 처리하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

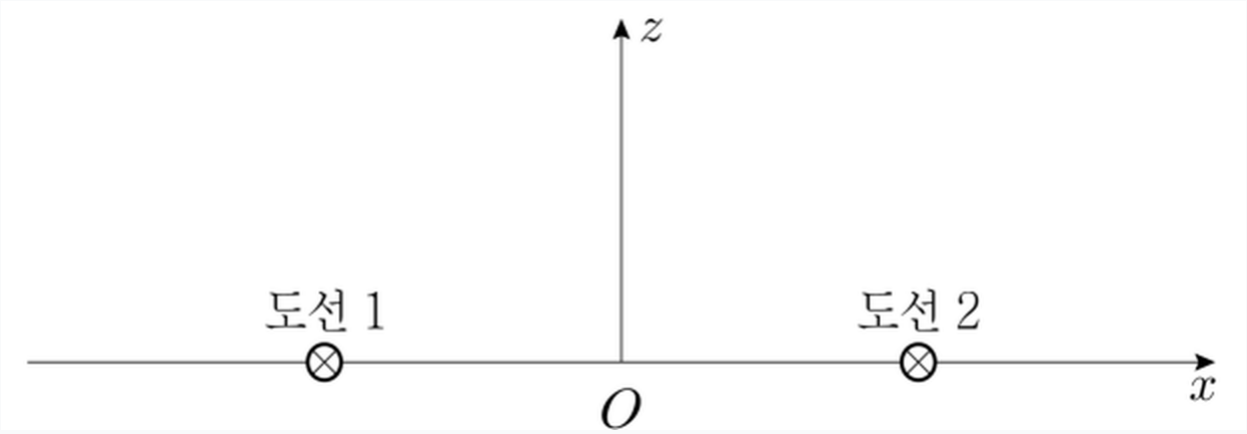
전송선로 계산 문제는 먼저 선로 길이가 $\lambda_g/4$, $\lambda_g/2$ 중 무엇인지 확인하고, 그다음 선로만의 입력 임피던스를 구한 뒤 마지막에 외부 직렬·병렬 소자를 합성하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

$\lambda_g/2$ 무손실 선로는 부하 임피던스를 그대로 반복하고, 같은 두 저항의 병렬값은 절반이 된다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 자유공간에 $0.2[m]$ 떨어져 있는 무한히 길고 매우 얇은 도선 1과 도선 2에 각각 $10[A]$의 전류가 같은 방향으로 흐른다. 도선 1에 의해 도선 2가 받는 단위 길이당 자기력$[N/m]$은? (단, 자유공간의 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)



① $-a_x 10^{-5}$

② $-a_z 10^{-5}$

③ $-a_x 10^{-4}$

④ $-a_z 10^{-4}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 평행한 두 무한 도선 사이의 단위 길이당 자기력 F/L의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 도선 간 거리 $d = 0.2m$, 전류 $I_1 = I_2 = 10A$, 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$이다.
구해야 할 값은 도선 1이 도선 2에 작용하는 단위 길이당 자기력 벡터이다.
같은 방향 전류가 흐르는 평행 도선 사이에는 인력이 작용하므로 힘의 방향은 도선 1 쪽인 $-a_x$이다.

사용할 공식

평행한 두 무한 도선 사이의 단위 길이당 자기력은 $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 두 도선이 자유공간에 놓인 무한 직선 도선이고, 구하려는 값이 바로 도선 사이의 단위 길이당 자기력이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 크기를 공식에 대입하면 $\frac{F}{L}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times10\times10}{2\pi\times0.2}$이다.
2. 분자를 정리하면 $4\pi\times10^{-5}$, 분모는 0.4π이므로 $\frac{F}{L}=\frac{4\pi\times10^{-5}}{0.4\pi}=10^{-4}N/m$이다.
3. 같은 방향 전류이므로 두 도선은 서로 끌어당기며, 도선 2가 받는 힘은 왼쪽 방향이므로 벡터는 $-a_x10^{-4}$이다.

선지 판단

1번 X: 방향은 $-a_x$로 맞지만 크기 10^{-5}가 틀리다. 계산 결과는 $10^{-4}N/m$이므로 올바르게는 $-a_x10^{-4}$이다.
0.2를 처리하면서 지수를 한 자리 잘못 옮기면 나오는 오답이다.
2번 X: 틀린 표현은 $-a_z$와 10^{-5}이다. 힘의 방향은 z축이 아니라 두 도선을 잇는 x축 방향이고, 크기도 $10^{-4}N/m$이어야 하므로 올바르게는 $-a_x10^{-4}$이다.
3번 O: 크기 $10^{-4}N/m$와 방향 $-a_x$가 모두 계산 결과와 일치한다.
4번 X: 크기 $10^{-4}N/m$는 맞지만 방향이 틀리다. 같은 방향 전류의 인력은 도선 1 쪽으로 작용하므로 올바르게는 $-a_x10^{-4}$이다.

오답 포인트

자기장의 방향과 도선이 받는 힘의 방향을 혼동하면 a_z 계열 오답을 고르게 된다. 또 $d=0.2m$를 대입할 때 소수점 때문에 지수를 한 자리 틀리면 10^{-5}가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행 도선 문제는 먼저 전류 방향이 같아 인력인지, 반대여서 척력인지를 판단한다. 그다음 힘의 방향은 자기장 방향이 아니라 두 도선을 잇는 선을 따라 정하고, 크기는 $\frac{F}{L}=\frac{\mu_0I_1I_2}{2\pi d}$에 바로 대입해 확인한다.

암기 포인트

평행 도선은 같은 방향 전류이면 인력, 반대 방향 전류이면 척력이며, 단위 길이당 힘은 $\frac{F}{L}=\frac{\mu_0I_1I_2}{2\pi d}$이다.

NoteBase

문 9. 입사파의 전계 $E_i(z) = E_0(a_x - ja_y)e^{-j\beta z}[V/m]$가 평면 $z = 0$에 있는 완전 도체면에 수직 입사할 때, 반사파의 전계 $E_r(z)[V/m]$는?

① $E_0(-a_x + ja_y)e^{j\beta z}$

② $E_0(a_x + ja_y)e^{j\beta z}$

③ $E_0(-a_x - ja_y)e^{j\beta z}$

④ $E_0(a_x - ja_y)e^{j\beta z}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 완전도체 경계면에서 접선 전기장의 합이 0이 되도록 반사파의 진행방향과 전계 부호를 정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 파는 $\mathbf{E}_i(z) = E_0(\mathbf{a}_x - j\mathbf{a}_y)e^{-j\beta z}$ 이다.
$e^{-j\beta z}$ 이므로 입사파는 $+z$ 방향으로 진행한다.
경계면은 $z = 0$ 의 완전도체면이므로 표면에서 접선 전기장은 $\mathbf{E}_i + \mathbf{E}_r = 0$ 을 만족해야 한다.

사용할 공식

완전도체 경계조건은 $\mathbf{E}_t = 0$ 이다.
따라서 $z = 0$ 에서 $\mathbf{E}_r(0) = -\mathbf{E}_i(0)$ 이고, 반사파는 진행방향이 바뀌므로 공간인자는 $e^{j\beta z}$ 가 된다.
즉
$\mathbf{E}_r(z) = -E_0(\mathbf{a}_x - j\mathbf{a}_y)e^{j\beta z} = E_0(-\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y)e^{j\beta z}$
가 된다.

계산 과정

1. 입사파의 진행방향은 $e^{-j\beta z}$ 이므로 $+z$ 방향이다.
2. 반사파는 경계면에서 되돌아오므로 공간인자는 $e^{j\beta z}$ 이어야 한다.
3. 완전도체면에서는 접선 전기장이 0이어야 하므로 반사 전계는 입사 전계의 접선 성분 전체에 -1 이 곱해진 형태가 된다.
4. 따라서 $\mathbf{E}_r(z) = E_0(-\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y)e^{j\beta z}$ 이고, 정답은 1번이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: $(\mathbf{a}_x - j\mathbf{a}_y)$에 전체적으로 -1이 곱해져 $(-\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y)$가 되었고, 진행방향도 반사파에 맞게 $e^{j\beta z}$로 바뀌었으므로 옳다.
2번 X: $\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y$는 $\mathbf{a}_x$ 성분의 부호가 그대로라서 $z = 0$에서 입사파와 상쇄되지 않는다. 틀린 표현은 "$\mathbf{a}_x$ 성분 부호 유지"이고, 올바르게는 $(-\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y)$이어야 한다.
3번 X: $(-\mathbf{a}_x - j\mathbf{a}_y)$는 $\mathbf{a}_y$ 성분 부호가 잘못되었다. 틀린 표현은 "$-j\mathbf{a}_y$ 유지"이고, 올바르게는 전체 부호 반전으로 $+j\mathbf{a}_y$가 되어야 한다.
4번 X: 공간인자 $e^{j\beta z}$는 맞지만 벡터 성분이 입사파와 동일하여 경계면에서 접선 전기장을 0으로 만들지 못한다. 틀린 표현은 "벡터 성분 불변"이고, 올바르게는 $(-\mathbf{a}_x + j\mathbf{a}_y)$로 바뀌어야 한다.

오답 포인트

반사파에서는 진행방향만 $e^{j\beta z}$로 바꾸고 전계 벡터의 부호 반전을 빠뜨리기 쉽다. 이 문항은 완전도체에서 접선 전기장이 0이라는 경계조건을 놓치면 4번이나 2번으로 오인하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

완전도체 반사 문제는 먼저 입사파의 진행방향을 확인하고, 다음에 반사파의 공간인자를 반대로 바꾼 뒤, 마지막으로 $z = 0$에서 접선 전기장의 합이 0이 되도록 전계 벡터 전체에 -1이 붙는지를 점검하면 된다.

암기 포인트

완전도체 정반사에서는 반사 전계가 입사 전계의 음수이고, 진행방향만 반대로 바뀐다.

NoteBase

문 10. 자유공간에 크기가 $1[nC]$으로 동일한 세 양전하가 각각 $P_1 = (1, 0)[m]$, $P_2 = \left(-\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)[m]$, $P_3 = \left(-\frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)[m]$에 놓여 있다. 이 전하계에 저장된 정전에너지[nJ]는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다)

① $18\sqrt{3}$

② $12\sqrt{3}$

③ $9\sqrt{3}$

④ $6\sqrt{3}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 세 점전하의 쌍별 거리를 구한 뒤, 계 전체의 정전에너지 $U = \sum \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i q_j}{r_{ij}}$를 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 각 전하의 크기: $q = 1nC = 10^{-9}C$
- 위치: $P_1 = (1, 0)$, P_2=≤ft(-12,(3)/(2)), P_3=≤ft(-12,-(3)/(2))
- 유전율: $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}F/m$

구해야 할 값:
- 세 전하계에 저장된 정전에너지

주의할 조건:
- 정전에너지는 전하 3개를 각각 더하는 것이 아니라 전하쌍 3개를 한 번씩만 더해야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $U = \sum_{i<j} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i q_j}{r_{ij}}$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제는 점전하 여러 개가 이루는 계 전체의 저장 에너지를 묻고 있으므로, 각 전하쌍이 만드는 위치에너지를 모두 합하는 식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 세 점의 좌표를 보면 서로 120° 간격에 있는 정삼각형 배치이므로 모든 쌍의 거리가 같다.
r_12=≤ft(1+12)^2+≤ft(0-(3)/(2))^2=√(94+34)=3
같은 방식으로 r_23=r_31=3 m이다.
2. 주어진 ε_0로부터 쿨롱상수는
$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi(\frac{1}{36\pi}\times 10^{-9})} = 9\times 10^9$
이다.
3. 한 쌍의 위치에너지는
U_pair=(1)/(4π_0)(q^2)/(r)=9×10^9×((10^-9)^2)/(3)=(9)/(3)×10^-9=33×10^-9 J
이다.
4. 전하쌍은 32=3개이므로 전체 정전에너지는
U=3U_pair=3×33×10^-9=93×10^-9 J=93 nJ
이다.

선지 판단

1번 X: 선택지의 183 nJ는 정답의 두 배이다. 각 전하에 생기는 퍼텐셜에너지를 모두 더한 뒤 12를 하지 않으면 전하쌍을 중복 계산하게 되므로 이런 값이 나온다. 올바른 값은 93 nJ이다.
2번 X: 선택지의 123 nJ는 계산 결과 93 nJ와 일치하지 않는다. 거리 3 또는 전하쌍의 개수 3을 잘못 처리한 값에 해당한다. 올바른 값은 93 nJ이다.
3번 O: 전하쌍 3개의 에너지가 각각 33×10^-9 J이므로 전체는 93×10^-9 J=93 nJ이다.
4번 X: 선택지의 63 nJ는 전하쌍 세 개 중 두 개만 더한 값이다. 정삼각형의 세 변이 모두 전하쌍이므로 한 쌍을 빠뜨리면 안 된다. 올바른 값은 93 nJ이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전하쌍의 수를 하나 빠뜨리거나, 각 전하 기준으로 합한 뒤 전하쌍 중복을 보정하지 않는 데 있다. 좌표가 복잡해 보여도 실제 배치는 한 변의 길이가 3 m인 정삼각형이라는 점을 먼저 읽어내면 계산이 단순해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

다점전하 정전에너지 문제는 좌표로부터 전하쌍 거리를 먼저 정리하고, $\binom{n}{2}$개의 전하쌍을 한 번씩만 합산하는 순서로 판단하면 된다. 마지막에는 단위를 *J*에서 *nJ*로 바꾸어 선지와 대조하면 된다.

암기 포인트

동일한 *n*개의 점전하 정전에너지는 각 전하가 아니라 전하쌍 기준으로 센다. 이 문항은 r=3, 전하쌍 수 3개가 핵심이다.

NoteBase

문 11. 비유전율 $\varepsilon_r = 2$, 도전율 $\sigma = 2 \times 10^{-3}[S/m]$인 절연판에 주파수 $f = 15[MHz]$의 전자기파가 가해졌을 때, 손실 탄젠트는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다)

① 3.6

② 1.8

③ 1.2

④ 0.6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 손실 탄젠트 $\tan\delta$의 정의식 $\tan\delta = \sigma/(\omega\varepsilon)$를 이용해 수치를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 비유전율 $\varepsilon_r = 2$, 도전율 $\sigma = 2 \times 10^{-3} S/m$, 주파수 $f = 15MHz$이다.
자유공간 유전율은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} F/m$이다.
구해야 할 값은 손실 탄젠트 $\tan\delta$이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\tan\delta = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$, $\omega = 2\pi f$, $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 손실 탄젠트가 도전 전류 성분과 변위 전류 성분의 비를 나타내며, 문제에서 도전율·주파수·유전율이 모두 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. 유전율은 $\varepsilon = 2 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} = \frac{1}{18\pi} \times 10^{-9} F/m$이다.
2. 각주파수는 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 15 \times 10^6 = 30\pi \times 10^6 rad/s$이다.
3. 따라서 $\omega\varepsilon = 30\pi \times 10^6 \times \frac{1}{18\pi} \times 10^{-9} = \frac{30}{18} \times 10^{-3} = \frac{5}{3} \times 10^{-3}$이다.
4. 손실 탄젠트는 $\tan\delta = \frac{2 \times 10^{-3}}{(5/3) \times 10^{-3}} = \frac{6}{5} = 1.2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 손실 탄젠트는 3.6이 아니라 1.2이다. 3.6은 ω나 ε 계산에서 π 약분과 지수 처리를 잘못했을 때 나오는 오답값이다.
② X: 계산 결과 손실 탄젠트는 1.8이 아니라 1.2이다. 1.8은 분모 $\omega\varepsilon$를 실제보다 작게 잡거나 $\varepsilon_r = 2$ 반영을 불완전하게 했을 때 생기기 쉬운 값이다.
③ O: $\tan\delta = \sigma/(\omega\varepsilon)$에 값을 대입하면 1.2가 되므로 옳다.
④ X: 계산 결과 손실 탄젠트는 0.6이 아니라 1.2이다. 0.6은 최종 비를 구할 때 분자와 분모를 거꾸로 보거나 2로 한 번 더 나눈 경우의 오답값이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$를 먼저 만든 뒤 $\omega = 2\pi f$까지 반영해야 한다는 점이다. MHz를 $10^6 Hz$로 바꾸지 않거나, π 약분 후 10^{-3} 차수를 놓치면 3.6, 1.8, 0.6 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

손실 탄젠트를 묻는 계산형 문제는 $\varepsilon = \varepsilon_r\varepsilon_0$ 정리, $\omega = 2\pi f$ 변환, $\tan\delta = \sigma/(\omega\varepsilon)$ 대입, 지수와 단위 검산의 순서로 판단한다.

암기 포인트

손실 탄젠트는 $\tan\delta = \sigma/(\omega\varepsilon)$이며, 주파수가 커지거나 유전율이 커지면 같은 σ에서 값이 작아진다.

NoteBase

문 12. 자속밀도 $0.8[\mathrm{Wb/m^2}]$인 균일한 자계와 30°의 각을 이루는 길이 $20[\mathrm{cm}]$인 직선 도선이 있다. 이 도선에 $10[\mathrm{A}]$의 전류가 흐를 때, 도선이 받는 힘 $[N]$은?

① 0.8

② 0.6

③ 0.4

④ 0.2

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 자계 속 직선 도선이 받는 힘을 $F = BIl\sin\theta$로 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자속밀도 $0.8Wb/m^2$, 전류 $10A$, 도선 길이 $20cm = 0.2m$, 자계와 도선의 각도 30°이다.
구해야 할 값은 도선이 받는 힘 F이다.

사용할 공식

$F = BIl\sin\theta$
자계 속에 놓인 직선 도선에 전류가 흐를 때 도선이 받는 자기력은 자속밀도 B, 전류 I, 도선 길이 l, 자계와 도선 사이의 각도 θ로 결정되므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 길이를 미터로 환산하면 $20cm = 0.2m$이다.
2. 공식에 대입하면 $F = 0.8 \times 10 \times 0.2 \times \sin 30^\circ$이다.
3. $\sin 30^\circ = 0.5$이므로 $F = 0.8 \times 10 \times 0.2 \times 0.5 = 0.8N$이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 $0.8N$이므로 맞는 값이다.
2번 X: ②의 "0.6"은 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $0.8N$이다.
3번 X: ③의 "0.4"는 $\sin 30^\circ = 0.5$를 적용한 뒤 값을 한 번 더 절반으로 처리한 전형적 오답이다. 올바르게는 $0.8N$이다.
4번 X: ④의 "0.2"는 길이 환산이나 곱셈 인자를 누락했을 때 나올 수 있는 값이다. 올바르게는 $0.8N$이다.

NoteBase

오답 포인트

도선 길이 $20cm$를 바로 20으로 넣거나, $\sin 30^\circ = 0.5$를 빠뜨리거나 중복 적용하면 오답이 된다. 각도와 길이 단위 확인이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자계 속 도선 문제는 먼저 $F = BIl\sin\theta$ 형태인지 확인하고, 길이를 m로 환산한 뒤 각도의 사인값까지 포함해 계산하면 된다.

암기 포인트

직선 도선의 자기력은 $F = BIl\sin\theta$이며, 길이는 m로 환산하고 30°는 $\sin 30^\circ = 0.5$를 적용한다.

NoteBase

문 13. 유전율 $\varepsilon = 9\varepsilon_0$이고, 투자율 $\mu = \mu_0$인 비전도성 유전체에서 전자기파의 시변전계가 $\mathbf{E}(z,t) = \mathbf{a}_y 5\cos(10^9 t - \beta z)[V/m]$일 때, $\beta[rad/m]$는? (단, 자유공간에서 위상속도는 $3 \times 10^8[m/s]$이다)

① 1

② 5

③ 10

④ 20

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 비전도성 유전체에서의 위상속도와 위상정수의 관계를 이용해 β를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\varepsilon = 9\varepsilon_0$, $\mu = \mu_0$, $\omega = 10^9 rad/s$, 자유공간 위상속도 $c = 3 \times 10^8 m/s$이다.
구해야 할 값은 위상정수 β이다.
주의할 조건은 비전도성 유전체이므로 위상속도 v를 먼저 구한 뒤 $\beta = \omega/v$를 적용해야 한다는 점이다.

사용할 공식

비전도성 유전체의 위상속도는 $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$이고, 위상정수는 $\beta = \frac{\omega}{v}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 진행파 식 $E(z,t) = a_y 5\cos(10^9 t - \beta z)$에서 10^9가 각주파수 ω이고, β는 매질의 위상속도로부터 바로 연결되기 때문이다.

계산 과정

상대투자율은 $\mu_r = 1$, 상대유전율은 $\varepsilon_r = 9$이다.
따라서 위상속도는 $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 \times 9}} = \frac{3 \times 10^8}{3} = 10^8 m/s$이다.
이 값을 이용하면 $\beta = \frac{10^9}{10^8} = 10 rad/m$이므로 구하는 값은 10이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 계산 결과 $\beta = 10 rad/m$이므로 1은 맞지 않는다. 틀린 표현은 '$\beta = 1 rad/m$'이고, 올바르게는 '$\beta = 10 rad/m$'이다.
2번: X. 계산 결과와 비교하면 5는 절반으로 잘못 계산한 값이다. 틀린 표현은 '$\beta = 5 rad/m$'이고, 올바르게는 '$\beta = 10 rad/m$'이다.
3번: O. $v = 10^8 m/s$를 구한 뒤 $\beta = \omega/v$를 적용하면 $\beta = 10 rad/m$가 되어 정답과 일치한다.
4번: X. 계산 결과보다 두 배 큰 값이므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 '$\beta = 20 rad/m$'이고, 올바르게는 '$\beta = 10 rad/m$'이다.

오답 포인트

자유공간 속도 c를 그대로 대입하거나, $\sqrt{\varepsilon_r}$를 빠뜨리면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 $\varepsilon_r = 9$에서 속도가 3분의 1로 줄어든다는 점을 놓치게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 파동 문제는 먼저 μ_r, ε_r로 위상속도 v를 구하고, 그다음 진행파 식의 ω와 연결해 $\beta = \omega/v$를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

$\beta = \omega/v$, $v = c/\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$이므로 $\varepsilon_r = 9$, $\mu_r = 1$이면 속도는 $c/3$, 위상정수는 3배가 된다.

NoteBase

문 14. 직각좌표계에서 $z \le 0$인 영역(영역 1)에 유전율이 $4\varepsilon_0$인 유전체로 채워져 있고, 자유공간인 $z > 0$ 영역(영역 2)에 균일한 전계 $E_2 = a_x 3 - a_y 4 + a_z 20[V/m]$가 존재할 경우, 유전체 영역에서의 전계 $E_1[V/m]$는? (단, 경계면에서 자유전하는 없다)

① $a_x + a_y 4 + a_z 5$

② $a_x 3 - a_y 4 + a_z 5$

③ $a_x 3 - a_y + a_z 5$

④ $a_x 3 + a_y 4 - a_z 5$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 유전체 경계면에서 접선 성분의 전계 연속과 법선 성분의 전속밀도 연속을 적용해 영역 1의 전계 $\mathbf{E}_1$를 구하는 문제이다.

조건 정리

영역 1은 $z \le 0$, 유전율은 $\varepsilon_1 = 4\varepsilon_0$이다.
영역 2는 $z > 0$, 유전율은 $\varepsilon_2 = \varepsilon_0$, 전계는 $\mathbf{E}_2 = 3\mathbf{a}_x - 4\mathbf{a}_y + 20\mathbf{a}_z$V/m이다.
경계면은 $z = 0$ 평면이고 자유전하는 없다.

사용할 공식

자유전하가 없는 유전체 경계면에서는 접선 성분의 전계가 연속이고 법선 성분의 전속밀도가 연속이다.
$E_{1t} = E_{2t}, \qquad \varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$
이 문제의 경계면은 $z = 0$이므로 x, y 성분은 접선 성분이고 z 성분은 법선 성분이다.

계산 과정

접선 성분은 그대로이므로 $E_{1x} = 3, E_{1y} = -4$이다.
법선 성분은 $4\varepsilon_0 E_{1z} = \varepsilon_0 \cdot 20$이므로 $E_{1z} = 5$이다.
따라서 $\mathbf{E}_1 = 3\mathbf{a}_x - 4\mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$V/m이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$는 접선 성분을 잘못 옮긴 식이다. x 성분의 $\mathbf{a}_x$는 $3\mathbf{a}_x$가 되어야 하고, y 성분의 $+4\mathbf{a}_y$는 $-4\mathbf{a}_y$가 되어야 한다. 올바른 식은 $3\mathbf{a}_x - 4\mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$이다.
2번 O: 접선 성분 $3\mathbf{a}_x$, $-4\mathbf{a}_y$가 그대로 유지되고, 법선 성분만 유전율 비 $\varepsilon_2/\varepsilon_1 = 1/4$만큼 줄어 $20 \to 5$가 되므로 맞다.
3번 X: $3\mathbf{a}_x - \mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$는 y 성분의 크기를 잘못 쓴 식이다. $-\mathbf{a}_y$가 아니라 $-4\mathbf{a}_y$가 되어야 한다. 올바른 식은 $3\mathbf{a}_x - 4\mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$이다.
4번 X: $3\mathbf{a}_x + 4\mathbf{a}_y - 5\mathbf{a}_z$는 y 성분 부호와 z 성분 부호를 모두 반대로 쓴 식이다. 접선 y 성분은 $-4\mathbf{a}_y$, 법선 z 성분은 $+5\mathbf{a}_z$가 되어야 한다. 올바른 식은 $3\mathbf{a}_x - 4\mathbf{a}_y + 5\mathbf{a}_z$이다.

오답 포인트

경계면에서 모든 전계 성분이 그대로 보존된다고 생각하면 틀린다. 접선 성분의 전계는 연속이지만 법선 성분은 D_n 연속 조건을 써야 하므로 유전율이 커진 쪽에서 전계 크기가 줄어든다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 경계가 나오면 먼저 법선 방향과 접선 방향을 나눈다. 그다음 자유전하 유무를 확인해 E_t 연속과 D_n 연속을 각각 적용하면 된다.

암기 포인트

무자유전하 유전체 경계에서는 E_t는 그대로이고 E_n은 유전율에 반비례해 바뀐다.

NoteBase

문 15. 자성체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 강자성체는 자기 포화 특성이 있다.

② 강자성체는 상자성체와 반자성체에 비해 투자율이 매우 크다.

③ 강자성체에서 자기이력곡선의 면적은 단위 체적당 에너지 손실에 해당한다.

④ 강자성체는 퀴리(Curie) 온도보다 낮을 때, 강자성의 성질이 없어지고 상자성체가 된다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 강자성체의 기본 성질과 퀴리 온도 전후의 자성 변화, 자기이력곡선의 의미를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

강자성체는 외부 자기장에 매우 강하게 자화되고 자기 포화와 자기이력 현상이 나타나는 물질이다.
상자성체는 약하게 자화되며 외부 자기장을 제거하면 자성이 거의 남지 않는 물질이다.
반자성체는 외부 자기장에 대해 매우 약하게 반대 방향으로 자화되는 물질이다.
퀴리 온도는 강자성체가 강자성을 잃고 상자성체로 바뀌는 경계 온도이며, 이 변화는 퀴리 온도보다 높아질 때 나타난다.

선지별 해설

① O
강자성체는 자기장이 커질수록 자화가 무한히 증가하지 않고 일정한 한계에 이르는 자기 포화 특성이 있다.

② O
강자성체의 투자율은 상자성체나 반자성체보다 매우 크다. 강자성체는 외부 자기장에 훨씬 강하게 반응한다.

③ O
강자성체의 자기이력곡선 면적은 한 주기 동안의 히스테리시스 손실을 뜻하며, 단위 체적당 에너지 손실에 해당한다. 따라서 손실 크기를 나타내는 설명으로 옳다.

④ X
틀린 부분은 "퀴리 온도보다 낮을 때"이다.
강자성체는 퀴리 온도보다 높아질 때 강자성의 성질을 잃고 상자성체가 된다.

NoteBase

오답 포인트

④는 퀴리 온도의 방향을 반대로 바꾸어 놓은 선지이다. 강자성체가 상자성체로 변하는 조건은 온도가 낮아질 때가 아니라 퀴리 온도를 초과할 때이다.

다시 나오면 이렇게 판단

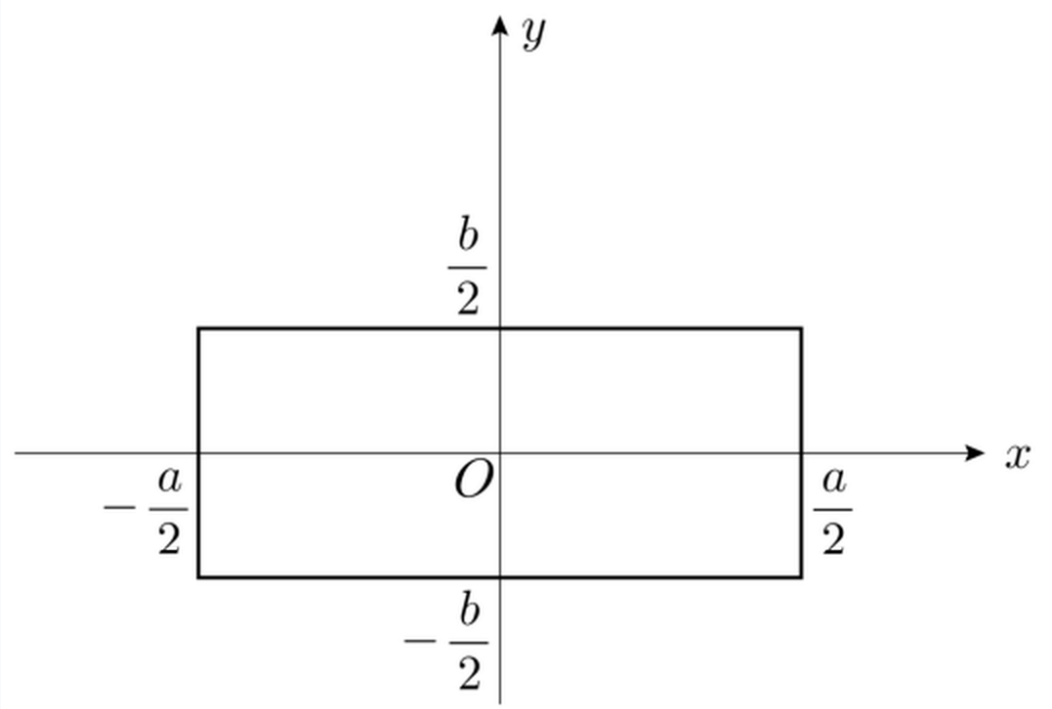
강자성체 문제에서는 먼저 포화, 큰 투자율, 자기이력 손실을 기본 성질로 묶고, 퀴리 온도 선지는 "이상에서 강자성 소멸"인지부터 확인하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

강자성체는 큰 투자율·자기 포화·자기이력, 퀴리 온도 이상에서 상자성체 전환이다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 직사각형 도체 루프에 시변 자속밀도 $\mathbf{B}(y,t)=\mathbf{a}_z B_0\cos(\omega t-\beta y)[\mathrm{Wb/m^2}]$가 가해질 때, 유도기전력의 최댓값[V]은? (단, B_0, ω, β는 양의 상수이다)



① $B_0\omega\cos\left(\frac{\beta b}{2}\right)$
② $B_0\omega\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$
③ $\frac{2B_0a\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$
④ $\frac{2B_0a\omega}{\beta}\cos\left(\frac{\beta b}{2}\right)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 패러데이 법칙으로 직사각형 루프를 지나는 자속을 적분한 뒤 유도기전력의 최대값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 자속밀도는 $B(y,t)=B_0\cos(\omega t-\beta y)$이고, 루프의 가로 길이는 a, 세로 길이는 b이다. 루프는 xy 평면에 놓여 있으므로 z방향 자속을 면적적분해야 한다. 구해야 할 값은 유도기전력 e의 최대값이다.

NoteBase

사용할 공식

패러데이 법칙은 $e = -\frac{d\Phi}{dt}$이고, 자속은 $\Phi = \iint BdS$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자속밀도가 시간에 따라 변하고 동시에 y에 따라 공간적으로도 달라지므로, 먼저 루프 전체 자속을 적분으로 구한 뒤 시간미분해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 자속은 다음과 같이 구한다.
$\Phi = \int_{-a/2}^{a/2}\int_{-b/2}^{b/2} B_0\cos(\omega t - \beta y)dydx$
2. x방향으로는 자속밀도가 일정하므로 a가 바로 묶인다.
$\Phi = aB_0\int_{-b/2}^{b/2}\cos(\omega t - \beta y)dy$
3. y에 대해 적분하면
$\Phi = \frac{2aB_0}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)\cos(\omega t)$
4. 패러데이 법칙을 적용하면
$e = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)\sin(\omega t)$
5. 따라서 최대값은 사인항의 최대치 1을 대입한
$e_{\max} = \frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$
이다.

선지 판단

1번 X: $B_0\omega\cos\left(\frac{\beta b}{2}\right)$는 루프의 가로 길이 a와 공간 적분에서 나오는 $\frac{2}{\beta}$가 빠져 있다. 삼각함수도 $\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$가 되어야 한다. 올바르게는 최대 유도기전력이 $\frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$이다.
2번 X: $\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$는 맞지만 면적적분 결과인 $\frac{2a}{\beta}$가 빠져 있다. 올바르게는 최대 유도기전력이 $\frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$이다.
3번 O: 자속을 적분한 뒤 시간미분하면 정확히 $\frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$가 나오므로 옳다.
4번 X: 계수 $\frac{2aB_0\omega}{\beta}$는 맞지만 $\cos\left(\frac{\beta b}{2}\right)$는 적분 결과가 아니다. y에 대한 대칭구간 적분 결과는 $\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$가 된다. 올바르게는 최대 유도기전력이 $\frac{2aB_0\omega}{\beta}\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$이다.

오답 포인트

자속밀도를 바로 시간미분해서 답을 만들면 a와 $\frac{2}{\beta}$를 빠뜨리기 쉽다. 또 y방향 적분에서 대칭구간 공식을 잘못 써서 $\sin\left(\frac{\beta b}{2}\right)$ 대신 $\cos\left(\frac{\beta b}{2}\right)$로 바꾸면 4번 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

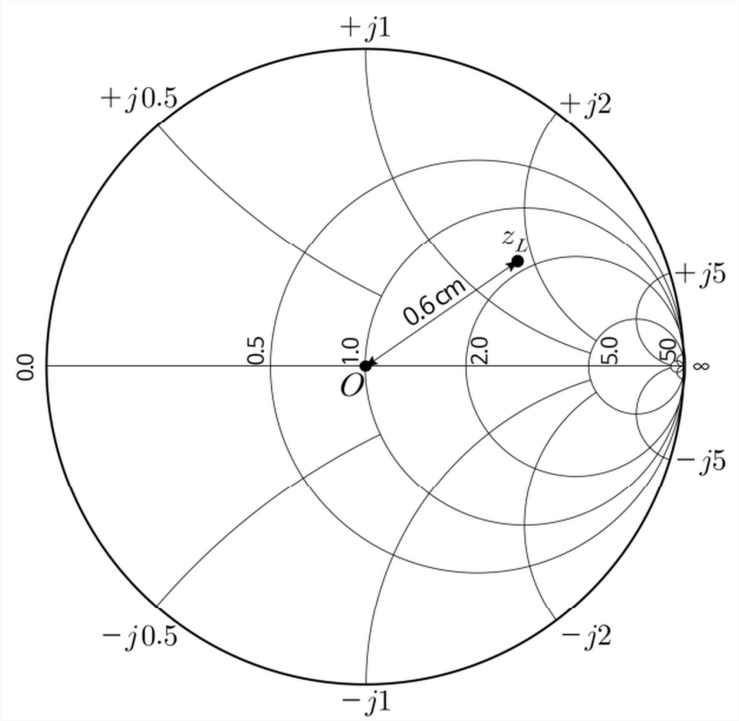
공간적으로 변하는 자속밀도 문제는 자속밀도를 곧바로 미분하지 않고, 먼저 루프 전체 자속 $\Phi = \iint BdS$를 적분으로 구한 다음 $e = -d\Phi/dt$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

유도기전력은 자속의 시간미분값이고, 공간적으로 변하는 B는 반드시 면적적분을 먼저 거친다.

NoteBase

문 17. 그림은 간략화한 스미스 차트(Smith chart)에 어떤 무손실 전송선로의 정규화된 부하 임피던스(z_L)를 표시한 것이다. 스미스 차트의 원점 O에서 z_L까지의 길이가 0.6 [cm]일 때, 이 부하 임피던스에서 정재파비는? (단, 주어진 스미스 차트의 최외각 원의 반지름은 1.5 [cm]이다)



① $\frac{7}{3}$

② $\frac{5}{3}$

③ $\frac{7}{2}$

④ $\frac{5}{2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 스미스 차트에서 중심으로부터의 거리로 반사계수의 크기를 읽고 $S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$로 정재파비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 스미스 차트 외곽 원의 반지름은 $1.5cm$, 중심 O에서 부하점 z_L까지의 거리는 $0.6cm$이다.
구해야 할 값: 이 부하에서의 정재파비이다.
주의할 조건: 스미스 차트에서 중심으로부터의 거리 비는 반사계수의 크기 |Γ|에 해당한다.

NoteBase

사용할 공식

$|\Gamma| = \frac{OZ_L}{R}, \quad S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$

이 문제에서는 스미스 차트의 중심에서 부하점까지의 상대적 거리가 곧 반사계수의 크기이므로 먼저 $|\Gamma|$를 구한 뒤 정재파비 공식으로 연결한다.

계산 과정

1. 반사계수의 크기는 차트 반지름비이므로 $|\Gamma| = \frac{0.6}{1.5} = 0.4$ 이다.
2. 정재파비는 $S = \frac{1+0.4}{1-0.4} = \frac{1.4}{0.6} = \frac{14}{6} = \frac{7}{3}$ 이다.
3. 따라서 주어진 부하의 정재파비는 $\frac{7}{3}$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과 정재파비가 $\frac{7}{3}$이므로 맞다.
2번: X. $\frac{5}{3}$은 주어진 반지름비로 얻는 값이 아니며, 정재파비는 $\frac{5}{3}$이 아니라 $\frac{7}{3}$이다.
3번: X. $\frac{7}{2}$는 반사계수 크기가 약 0.556일 때의 값으로, 이 문제의 $|\Gamma| = 0.4$와 맞지 않는다. 정재파비는 $\frac{7}{2}$가 아니라 $\frac{7}{3}$이다.
4번: X. $\frac{5}{2}$는 반사계수 크기가 약 0.429일 때의 값으로, 중심 거리와 외곽 반지름의 비 0.4와 맞지 않는다. 정재파비는 $\frac{5}{2}$가 아니라 $\frac{7}{3}$이다.

오답 포인트

스미스 차트 문제에서 점의 위치만 보고 임피던스 좌표를 읽는 데서 멈추면 안 된다. 정재파비를 묻는 경우에는 중심에서 부하점까지의 거리와 외곽 반지름의 비로 $|\Gamma|$를 먼저 구해야 하며, 외곽 원 반지름 $1.5cm$를 쓰지 않거나 거리 $0.6cm$를 그대로 정재파비로 착각하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

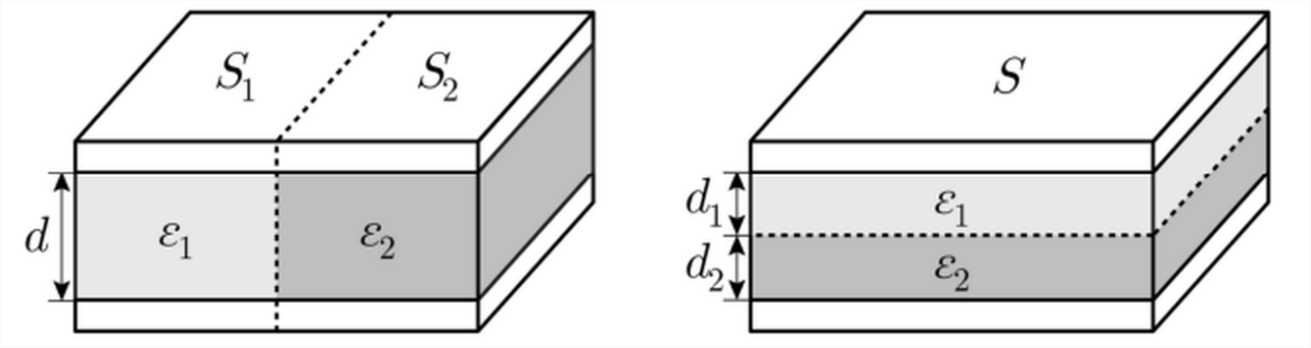
스미스 차트에서 정재파비를 묻는 문제는 중심에서 부하점까지의 거리로 $|\Gamma|$를 구하고, 그다음 $S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

스미스 차트에서 중심까지의 상대거리는 반사계수의 크기이고, 정재파비는 $S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$이다.

NoteBase

문 18. 면적이 S인 평행판 커패시터의 전극판 사이에 유전율이 다른 두 유전체를 그림과 같이 배치하였다. 유전체 표면의 면적이 $S_1 = S_2 = \frac{S}{2}$이고, 유전율이 $\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$일 때, 두 커패시터가 동일한 정전용량을 갖기 위한 유전체 두께 (d, d_1, d_2) 사이의 관계식은?



① $2d = 6d_1 + 3d_2$

② $4d = 6d_1 + 3d_2$

③ $2d = 2d_1 + d_2$

④ $4d = 2d_1 + d_2$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 전계 방향과 나란히 나뉜 경우의 병렬 합성과, 전계 방향으로 층을 이룬 경우의 직렬 합성을 이용해 두 커패시터의 정전용량을 같게 만드는 관계식을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $S_1 = S_2 = \frac{S}{2}$, $\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$이다.
왼쪽 커패시터는 두 유전체가 같은 두께 d를 가지며 면적으로 나뉘어 있으므로 병렬 연결로 본다.
오른쪽 커패시터는 같은 면적 S에 대해 두께가 d_1, d_2로 나뉘어 있으므로 직렬 연결로 본다.
구해야 할 값은 두 정전용량이 같을 때의 d, d_1, d_2 사이의 관계식이다.

사용할 공식

평행판 커패시터의 기본식은 $C = \frac{\varepsilon S}{d}$이다.
왼쪽은 면적이 분할된 구조이므로 $C_{\text{left}} = \frac{\varepsilon_1 S_1}{d} + \frac{\varepsilon_2 S_2}{d}$를 쓴다.
오른쪽은 두 유전체가 두께 방향으로 적층된 구조이므로 $\frac{1}{C_{\text{right}}} = \frac{d_1}{\varepsilon_1 S} + \frac{d_2}{\varepsilon_2 S}$를 쓴다.
이 공식을 쓰는 이유는 전극 사이에서 전압 분담이 일어나는 적층 구조는 직렬, 같은 전압이 걸리고 면적만 나뉘는 구조는 병렬이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

왼쪽 커패시터의 정전용량은

$C_{\text{left}} = \frac{\varepsilon_1(S/2)}{d} + \frac{\varepsilon_2(S/2)}{d} = \frac{S}{2d}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \frac{S}{2d}(3\varepsilon_1) = \frac{3\varepsilon_1 S}{2d}$

이다.

오른쪽 커패시터의 정전용량은

$\frac{1}{C_{\text{right}}} = \frac{d_1}{\varepsilon_1 S} + \frac{d_2}{\varepsilon_2 S} = \frac{d_1}{\varepsilon_1 S} + \frac{d_2}{2\varepsilon_1 S}$

이므로

$C_{\text{right}} = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1 + d_2/2} = \frac{2\varepsilon_1 S}{2d_1 + d_2}$

이다.

두 정전용량이 같으므로

$\frac{3\varepsilon_1 S}{2d} = \frac{2\varepsilon_1 S}{2d_1 + d_2}$

이고, $\varepsilon_1 S$를 약분하면

$3(2d_1 + d_2) = 4d$

따라서

$4d = 6d_1 + 3d_2$

가 된다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $4d = 6d_1 + 3d_2$이다. 틀린 표현은 좌변의 $2d$이며, 올바르게는 $4d$가 되어야 한다.

2번 O: 병렬 합성과 직렬 합성을 올바르게 적용하면 $4d = 6d_1 + 3d_2$가 나오므로 맞는 선지이다.

3번 X: 틀린 표현은 계수 전체이다. 올바르게는 $2d = 3d_1 + \frac{3}{2}d_2$ 또는 원식으로 $4d = 6d_1 + 3d_2$이다. 이 선지는 직렬 합성에서 $\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$를 반영하지 않거나 계수를 임의로 줄인 경우의 오답이다.

4번 X: 틀린 표현은 우변의 $2d_1 + d_2$이다. 올바르게는 $6d_1 + 3d_2$가 되어야 한다. 이 선지는 오른쪽 직렬 구조의 분모 $2d_1 + d_2$를 최종 관계식으로 그대로 옮긴 오답이다.

오답 포인트

왼쪽 그림을 직렬, 오른쪽 그림을 병렬로 뒤바꾸면 바로 틀린다. 특히 오른쪽은 유전체가 두께 방향으로 쌓였으므로 역수합을 써야 하는데, 이를 무시하면 4번처럼 $2d_1 + d_2$만 남기는 오답이 나온다. 또한 $\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$를 대입한 뒤 계수를 끝까지 정리하지 않으면 1번이나 3번 형태로 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

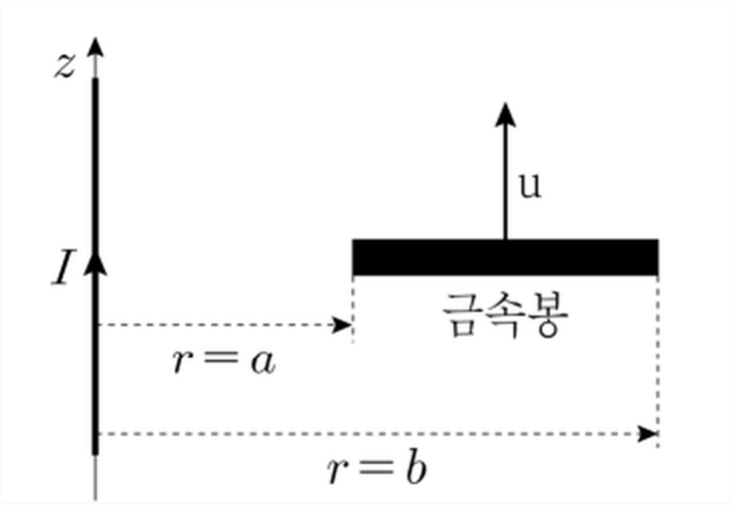
유전체 복합 커패시터는 먼저 나뉜 방향을 본다. 면적으로 나뉘면 병렬, 두께 방향으로 나뉘면 직렬로 분류한 뒤 $C = \frac{\varepsilon S}{d}$에 대입하고 마지막에 유전율 비를 반영해 계수를 정리하면 된다.

암기 포인트

커패시터 복합 유전체는 옆으로 나뉘면 병렬합, 위아래로 쌓이면 직렬합이다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 자유공간에 무한히 긴 도선에 전류 $I = 10[A]$가 +z축 방향으로 흐르고 있다. 이 도선으로부터 $a[m]$ 떨어진 거리에 길이 $\ell = (b-a)[m]$인 금속봉이 +z축 방향으로 일정한 속도 $u = a_z u_z[m/s]$로 움직인다고 할 때, 발생하는 전자기적 현상으로 옳지 않은 것은? (단, u_z는 양의 상수이고, V_{ab}는 b지점에서의 전압에 대한 a지점에서의 상대적인 전압을 의미한다)



① $|V_{ab}|$는 전류의 크기 I에 비례한다.

② 변수 $\frac{b}{a}$가 증가하면 $|V_{ab}|$는 증가한다.

③ V_{ab}의 부호는 음수이다.

④ 무한히 긴 도선에 의한 자속밀도 B의 크기는 도선으로부터의 거리 r에 반비례한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선도선의 자기장 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$와 운동기전력의 부호, 그리고 $|V_{ab}|$의 비례관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

전류는 $+z$ 방향으로 흐르고 금속봉은 $+z$ 방향 속도 u_z로 움직인다.
도선이 만드는 자기장은 거리 r에서 $\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\mathbf{a}_\phi$이다.
금속봉은 $r = a$에서 $r = b$까지 놓여 있으므로 자기장이 막대 전체에서 일정하지 않아 r에 대해 적분해야 한다.

사용할 공식

운동기전력은 막대 내부의 $\mathbf{u} \times \mathbf{B}$를 선적분해 구한다.
$\mathbf{u} = u_z\mathbf{a}_z$, $\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\mathbf{a}_\phi$이므로 $\mathbf{u} \times \mathbf{B} = -\frac{\mu_0 I u_z}{2\pi r}\mathbf{a}_r$이다.
즉 양전하가 도선 쪽인 a점 방향으로 밀리므로 a점 전위가 b점 전위보다 높다.

NoteBase

계산 과정

1. 자기장 크기는 $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$이다.
2. 운동에 의해 생기는 전기적 분리 효과의 크기는 $|\mathbf{u} \times \mathbf{B}| = u_z B(r) = \frac{\mu_0 I u_z}{2\pi r}$이다.
3. 따라서 $V_{ab} = V(a) - V(b) = \int_a^b \frac{\mu_0 I u_z}{2\pi r} dr = \frac{\mu_0 I u_z}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$이다.
4. $I > 0$, $u_z > 0$, $b > a$이므로 $V_{ab} > 0$이고, 크기는 $|V_{ab}| = \frac{\mu_0 I u_z}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$이다.

선지 판단

1번 O: $|V_{ab}| = \frac{\mu_0 I u_z}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$이므로 다른 조건이 같으면 $|V_{ab}|$는 전류 I에 비례한다.
2번 O: $|V_{ab}|$는 $\ln \frac{b}{a}$에 비례하므로 $\frac{b}{a}$가 증가하면 함께 증가한다.
3번 X: 틀린 표현은 "부호는 음수"이다. 실제로는 $\mathbf{u} \times \mathbf{B}$가 도선 쪽을 향해 양전하가 a점에 모이므로 $V_{ab} = V(a) - V(b)$는 양수이다. 올바르게는 "V_{ab}의 부호는 양수이다"이다.
4번 O: 무한 직선도선의 자기장 크기는 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$이므로 거리 r에 반비례한다.

오답 포인트

막대의 속도 방향 $\mathbf{a}_z$와 자기장 방향 $\mathbf{a}_\phi$를 보고 $\mathbf{u} \times \mathbf{B}$의 방향을 반대로 잡으면 3번을 옳은 선지처럼 착각한다. 또한 V_{ab}를 $V(b) - V(a)$로 잘못 읽으면 부호가 뒤집힌다.

다시 나오면 이렇게 판단

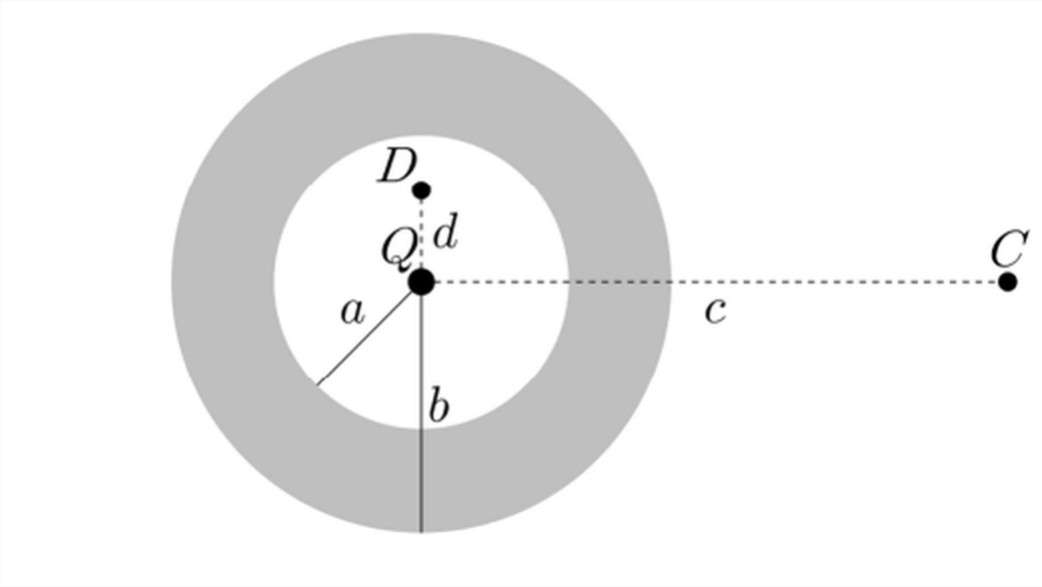
직선도선과 운동기전력 문제가 나오면 먼저 오른손법칙으로 $\mathbf{B}$ 방향을 정하고, 다음에 $\mathbf{u} \times \mathbf{B}$로 양전하가 어느 쪽으로 밀리는지 본 뒤, 마지막에 $V(a) - V(b)$ 정의에 맞춰 부호를 확정한다.

암기 포인트

무한 직선도선은 $B \propto \frac{1}{r}$, 이 문항의 운동기전력은 $V_{ab} \propto I u_z \ln \frac{b}{a}$, 그리고 a점 전위가 더 높다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 자유공간에 양전하 Q [C]가 원점에 놓여 있고 도체 껍질(shell)이 전하를 감싸고 있다. 도체 껍질의 내부와 외부 반지름이 각각 a [m]와 b [m]일 때, 도체 껍질 바깥 점 C와 도체 껍질 안쪽 점 D 사이의 전위차 [V]는? (단, 원점으로부터 점 C와 점 D까지 거리는 각각 c [m]와 d [m]이고, 자유공간의 유전율은 ε_0이다)



① $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{d}-\frac{1}{c}\right]$
② $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{b}-\frac{1}{c}\right]$
③ $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{b}-\frac{1}{c}+\frac{1}{d}-\frac{1}{a}\right]$
④ $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{c}-\frac{1}{a}+\frac{1}{d}-\frac{1}{b}\right]$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 중심 점전하와 도체 구껍질이 함께 있을 때 구간별 전위를 나누어 구하고, 점 D와 점 C의 전위차 $V_D - V_C$를 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 중심의 양전하 Q, 도체 구껍질의 내부 반지름 a, 외부 반지름 b, 점 D의 거리 d, 점 C의 거리 c이다.
점 D는 공동 내부이므로 $d < a$이고, 점 C는 도체 바깥이므로 $c > b$이다.
도체에는 유도전하가 생겨 안쪽 면에 $-Q$, 바깥 면에 $+Q$가 분포한다.

NoteBase

사용할 공식

구대칭 전하계의 전위는 각 영역에서 중첩으로 구한다.
점 D에서는
$V_D = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 d} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a} + \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 b}$
점 C에서는 바깥에서 전체 전하가 Q처럼 보이므로
$V_C = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 c}$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 전하 배치가 완전한 구대칭이어서 각 구면 전하가 자기 영역 안팎에서 만드는 전위를 상수항 또는 $1/r$ 항으로 바로 쓸 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 공동 내부의 점 D에서는 중심 전하 Q의 전위 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 d}$를 받는다.
2. 반지름 a인 안쪽 면의 유도전하 $-Q$는 구면 안쪽에서 일정한 전위 $-\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$를 만들고, 반지름 b인 바깥 면의 유도전하 $+Q$는 구면 안쪽에서 일정한 전위 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 b}$를 만든다.
3. 따라서 $V_D = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$이다.
4. 점 C는 도체 바깥이므로 $V_C = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 c}$이다.
5. 전위차는
$V_D - V_C = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{1}{d} - \frac{1}{a}\right)$
이므로 정답은 3번이다.

선지 판단

1번: X. $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{c}\right)$는 중심 점전하만 보고 계산한 식이다. 도체 구껍질이 만드는 상수 전위항 $-\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$가 빠진 점이 틀렸다. 올바른 식은 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{1}{d} - \frac{1}{a}\right)$이다.
2번: X. $\frac{1}{b} - \frac{1}{c}$만 남긴 식은 점 D를 공동 내부 점이 아니라 도체 내부 점처럼 처리한 경우의 오답이다. D에서는 중심 전하와 안쪽 면 전하의 영향이 함께 들어가므로 $\frac{1}{d} - \frac{1}{a}$ 항이 추가되어야 한다. 올바른 식은 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{1}{d} - \frac{1}{a}\right)$이다.
3번: O. $V_D = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$, $V_C = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 c}$이므로 $V_D - V_C = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{1}{d} - \frac{1}{a}\right)$가 되어 정답식과 일치한다.
4번: X. 이 식은 각 항의 부호를 잘못 섞은 오답이다. 특히 공동 내부 점의 전위는 $+\frac{1}{d} - \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ 꼴이어야 하는데, 보기 4는 안쪽 면과 바깥 면의 기여를 뒤바꾸고 $V_D - V_C$ 대신 다른 조합으로 정리했다. 올바른 식은 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{1}{d} - \frac{1}{a}\right)$이다.

오답 포인트

도체 내부의 전계가 0이라는 사실을 공동 내부까지 그대로 적용하면 2번처럼 틀린다. 공동 내부에는 중심 점전하가 있으므로 전계와 전위가 존재한다. 또 1번처럼 도체가 만드는 상수 전위항을 빠뜨리거나, 4번처럼 $V_D - V_C$의 부호를 뒤집으면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

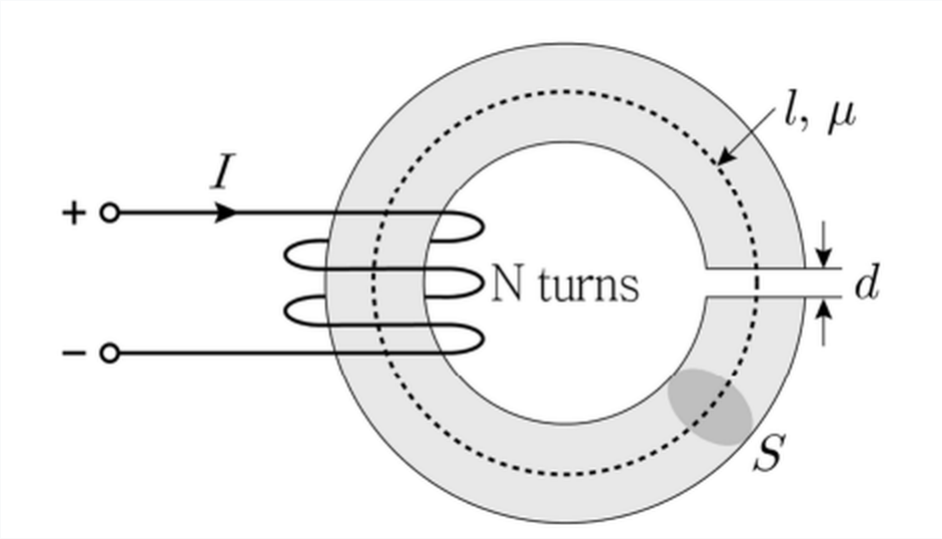
구도체 껍질 문제는 먼저 영역을 $r < a$, $a < r < b$, $r > b$로 나눈다. 그다음 각 영역의 전위를 중첩으로 쓰고, 마지막에 문제에서 묻는 전위차의 순서를 확인해 뺄셈한다.

암기 포인트

중심 점전하를 품은 도체 구껍질에서는 공동 내부 전위가 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right)$, 바깥 전위가 $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ 꼴이 된다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 평균 길이 $l = 20[cm]$, 단면적 $S = 1[cm^2]$, 투자율 $\mu = 2{,}000\mu_0$인 원통형 철심과 간격이 $d = 0.2[mm]$인 공극으로 구성된 토로이드가 있다. 권선수 $N = 100$인 코일에 전류 $I = 3[A]$가 흐를 때의 설명으로 옳지 않은 것은? (단, $l \gg d$이며, 공극에서의 가장자리효과와 누설 자속은 무시하고, 공기의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)



① 공극에 걸리는 기자력은 $100[A \cdot t]$이다.

② 공극에서의 자기저항은 $\frac{1}{2\pi} \times 10^7[A \cdot t/Wb]$이다.

③ 공극에서의 자속밀도는 $0.4\pi[Wb/m^2]$이다.

④ 전체 자기저항은 $\frac{3}{4\pi} \times 10^7[A \cdot t/Wb]$이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 직렬 자기회로에서 공극과 철심의 자기저항을 구한 뒤 기자력 분배, 전체 자기저항, 자속밀도를 수치로 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 평균 길이 $l = 0.2m$, 단면적 $S = 1 \times 10^{-4}m^2$, 투자율 $\mu = 2000\mu_0$, 공극 $d = 2 \times 10^{-4}m$, 권선수 $N = 100$, 전류 $I = 3A$이다.
구해야 할 값은 공극에 걸리는 기자력, 공극 자기저항, 자속밀도, 전체 자기저항이다.
주의할 조건은 가장자리효과와 누설자속을 무시하고 철심과 공극을 직렬 자기회로로 본다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

자기저항은 $\mathcal{R}=\frac{l}{\mu S}$, 공극 자기저항은 $\mathcal{R}_g=\frac{d}{\mu_0 S}$, 전체 자기저항은 $\mathcal{R}_t=\mathcal{R}_c+\mathcal{R}_g$, 자속은 $\Phi=\frac{NI}{\mathcal{R}_t}$, 자속밀도는 $B=\frac{\Phi}{S}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 철심과 공극이 직렬로 연결되어 있으므로 각 구간의 자기저항을 더한 뒤 전체 기자력 NI를 적용하면 자속과 각 구간의 기자력 강하를 모두 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 전체 기자력은 $NI=100\times 3=300[A\cdot t]$이다.
2. 공극 자기저항은 $\mathcal{R}_g=\frac{2\times 10^{-4}}{4\pi\times 10^{-7}\times 10^{-4}}=\frac{1}{2\pi}\times 10^7[A\cdot t/Wb]$이다.
3. 철심 자기저항은 $\mathcal{R}_c=\frac{0.2}{2000\times 4\pi\times 10^{-7}\times 10^{-4}}=\frac{1}{4\pi}\times 10^7[A\cdot t/Wb]$이다.
4. 전체 자기저항은 $\mathcal{R}_t=\mathcal{R}_c+\mathcal{R}_g=\frac{3}{4\pi}\times 10^7[A\cdot t/Wb]$이다.
5. 자속은 $\Phi=\frac{300}{(3/(4\pi))\times 10^7}=4\pi\times 10^{-5}[Wb]$이고, 자속밀도는 $B=\frac{\Phi}{S}=0.4\pi[Wb/m^2]$이다.
6. 공극에 걸리는 기자력은 $F_g=\Phi\mathcal{R}_g=(4\pi\times 10^{-5})\times(\frac{1}{2\pi}\times 10^7)=200[A\cdot t]$이다.

선지별 해설

① X: 공극에 걸리는 기자력은 $200[A\cdot t]$이다. 틀린 표현은 "100 $[A\cdot t]$"이고, 올바르게는 "공극에 걸리는 기자력은 $200[A\cdot t]$이다"이다.
② O: 공극 자기저항은 $\mathcal{R}_g=\frac{1}{2\pi}\times 10^7[A\cdot t/Wb]$이므로 옳다.
③ O: 자속밀도는 $B=0.4\pi[Wb/m^2]$이므로 옳다.
④ O: 전체 자기저항은 $\mathcal{R}_t=\frac{3}{4\pi}\times 10^7[A\cdot t/Wb]$이므로 옳다.

오답 포인트

전체 기자력 $300[A\cdot t]$과 공극에 실제로 걸리는 기자력 $200[A\cdot t]$을 혼동하기 쉽다. 이 문제는 공극 자기저항이 철심 자기저항의 2배이므로 기자력도 공극에 더 크게 배분된다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

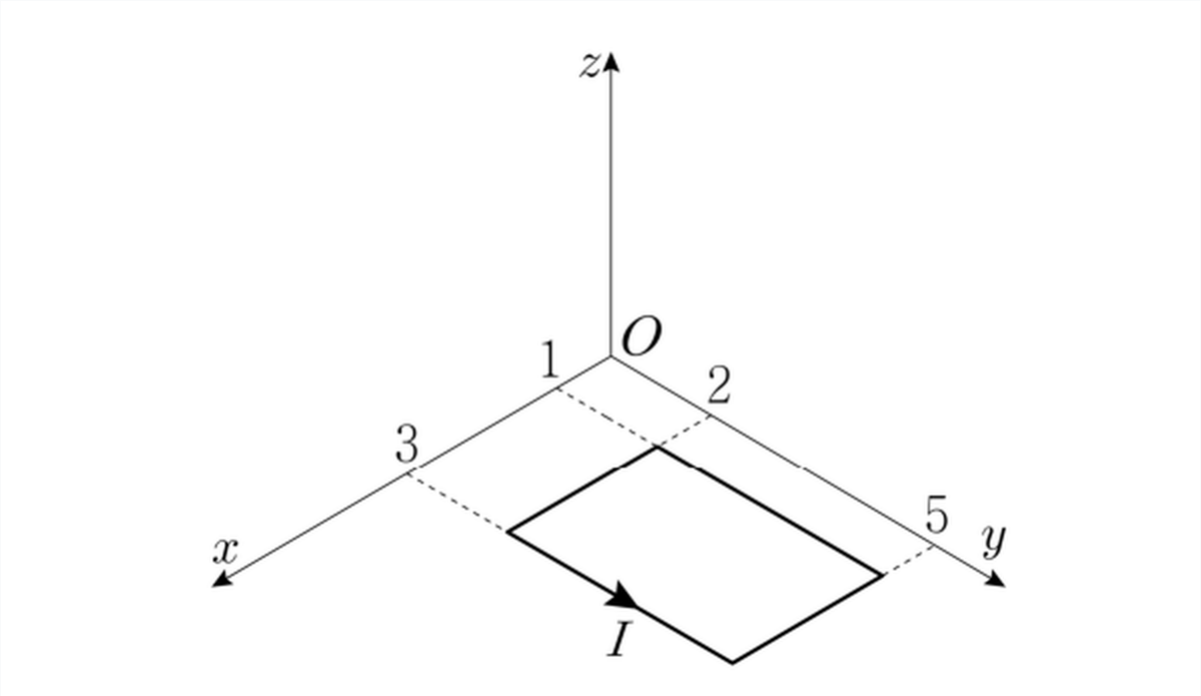
자기회로 계산 문제는 먼저 철심과 공극의 자기저항을 각각 구하고, 직렬이면 합산한 뒤 $\Phi=NI/\mathcal{R}_t$로 자속을 구한다. 그다음 필요한 기자력이나 자속밀도는 $F=\Phi\mathcal{R}$, $B=\Phi/S$로 순서대로 판단하면 된다.

암기 포인트

직렬 자기회로에서는 자기저항이 큰 구간에 기자력 강하가 더 크게 걸리며, 공극은 투자율이 작아 자기저항 지배 구간이 되기 쉽다.

NoteBase

문 22. 자유공간에서 자속밀도 B = $-a_x 3x + a_y 5y - a_z 2z\ [Wb/m^2]$가 가해지고, 그림과 같이 사각형 도체 루프에 반시계 방향으로 전류 I = 3 [A]가 흐를 때, 이 루프가 받는 자기력[N]은? (단, 루프는 평면 $z = 0$에 놓여 있고, 모든 길이의 단위는 [m]이다)



① 0

② $a_z 24$

③ $a_z 36$

④ $-a_z 36$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평면 전류 루프의 자기모멘트 $\vec{m}$를 구한 뒤 $\vec{F} = (\vec{m} \cdot \nabla)\vec{B}$로 순자기력을 계산하는 문제이다.

조건 정리

루프는 $z = 0$ 평면에 놓여 있다.
좌표 범위는 $x = 1 \sim 3$, $y = 2 \sim 5$이므로 면적은 $S = (3-1)(5-2) = 6m^2$이다.
전류는 반시계 방향이므로 면적벡터 방향은 $+\vec{a}_z$이다.
전류는 $I = 3A$이고, 자속밀도는 $\vec{B} = 3x\vec{a}_x + 5y\vec{a}_y - 2z\vec{a}_z$이다.

NoteBase

사용할 공식

자기모멘트는 $\vec{m} = IS\vec{a}_n$이다.
순자기력은 $\vec{F} = (\vec{m} \cdot \nabla)\vec{B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 사각형 루프 전체의 합력은 각 도선요소를 따로 더하기보다 루프의 자기모멘트와 자계의 공간기울기로 한 번에 판단할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 루프 면적은 $S = 2 \times 3 = 6m^2$이다.
2. 자기모멘트는 $\vec{m} = IS\vec{a}_z = 3 \times 6\vec{a}_z = 18\vec{a}_z$이다.
3. $\vec{F} = (\vec{m} \cdot \nabla)\vec{B} = 18\partial\vec{B}/\partial z$이다.
4. $\partial\vec{B}/\partial z = -2\vec{a}_z$이므로 $\vec{F} = 18(-2\vec{a}_z) = -36\vec{a}_z$이다.

선지 판단

1번 X. $B_z = -2z$의 z방향 기울기가 있으므로 루프가 받는 순자기력은 0이 아니다. 올바르게는 $-36\vec{a}_z$이다.
2번 X. 크기와 방향이 모두 틀리다. $24\vec{a}_z$는 면적을 잘못 읽거나 z기울기 -2를 누락한 값이며, 올바르게는 $-36\vec{a}_z$이다.
3번 X. 크기는 36으로 맞지만 방향이 틀리다. 반시계 전류의 면적벡터는 $+\vec{a}_z$이고, $B_z = -2z$는 $+z$로 갈수록 감소하므로 힘은 $-\vec{a}_z$ 방향이다. 올바르게는 $-36\vec{a}_z$이다.
4번 O. $S = 6m^2$, $\vec{m} = 18\vec{a}_z$, $\partial\vec{B}/\partial z = -2\vec{a}_z$이므로 $\vec{F} = -36\vec{a}_z$가 된다.

오답 포인트

도식의 1, 3, 2, 5를 좌표값이 아니라 길이 자체로 오해하면 면적을 틀리기 쉽다. 또한 x, y 성분이 보인다고 해서 모두 힘 계산에 직접 들어간다고 보면 안 되고, 이 문제에서는 자기모멘트가 $\vec{a}_z$ 방향이므로 z에 따른 변화만 힘을 만든다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

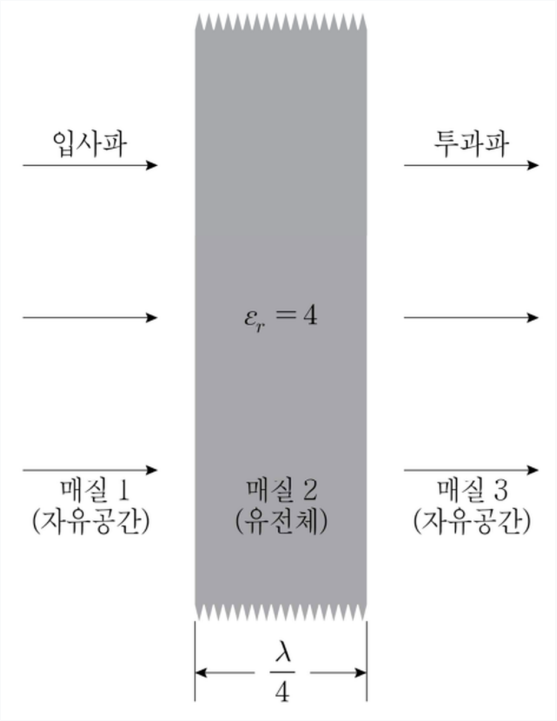
평면 전류 루프 문제는 먼저 좌표 범위로 면적을 구하고, 전류방향으로 면적벡터 방향을 정한 뒤, $\vec{m} = IS\vec{a}_n$와 $(\vec{m} \cdot \nabla)\vec{B}$를 적용해 어떤 축 방향 기울기가 힘을 만드는지 판단한다.

암기 포인트

평면 루프의 합력은 자기모멘트 방향 성분의 자계 기울기가 결정하며, 이 문제에서는 $\vec{m} \parallel \vec{a}_z$이므로 $\partial\vec{B}/\partial z$만 보면 된다.

NoteBase

문 23. 그림과 같이 비유전율 $\varepsilon_r = 4$이며, 두께가 $\frac{\lambda}{4}$인 매우 넓은 무손실 비자성 유전체 슬랩(dielectric slab)이 자유공간에 있을 때, 이 슬랩에 균일 평면파가 수직 입사하는 경우 매질 1과 매질 2의 경계면에서의 반사계수는? (단, λ는 유전체 슬랩 내부에서 균일 평면파의 파장이다)



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

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 두께가 $\lambda/4$인 무손실 유전체 슬랩을 전송선로의 $\lambda/4$ 구간처럼 보고, 입력임피던스 변환으로 등가 반사계수를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 매질 1과 매질 3은 자유공간이므로 파동임피던스는 모두 η_0이다.
- 매질 2는 $\varepsilon_r = 4$이므로 $\eta_2 = \eta_0/\sqrt{4} = \eta_0/2$이다.
- 슬랩 두께는 유전체 내부 파장 기준 $\lambda/4$이므로 $\beta d = 2\pi \cdot (\lambda/4)/\lambda = \pi/2$이다.
- 구해야 할 값은 매질 1에서 본 등가 반사계수 Γ이다.

NoteBase

사용할 공식

$Z_{in} = \frac{\eta_2^2}{\eta_3} \quad (d = \lambda/4)$
$\Gamma = \frac{Z_{in} - \eta_1}{Z_{in} + \eta_1}$
이 공식을 쓰는 이유는 $\lambda/4$ 두께의 무손실 슬랩이 뒤쪽 매질의 임피던스를 앞면에서 다른 값으로 보이게 만드는 임피던스 변환기 역할을 하기 때문이다.

계산 과정

1. $\eta_1 = \eta_3 = \eta_0$, $\eta_2 = \eta_0/2$이다.
2. $\lambda/4$ 변환을 적용하면
$Z_{in} = \frac{(\eta_0/2)^2}{\eta_0} = \frac{\eta_0}{4}$
3. 따라서 첫 경계면에서 보이는 등가 반사계수는
$\Gamma = \frac{\eta_0/4 - \eta_0}{\eta_0/4 + \eta_0} = \frac{-3\eta_0/4}{5\eta_0/4} = -\frac{3}{5}$
계산 결과는 $-3/5$이므로 정답은 2번이다.

선지별 해설

① X
- $-1/3$은 자유공간과 유전체의 첫 번째 경계만 보고 $(\eta_2 - \eta_1)/(\eta_2 + \eta_1)$를 계산한 값이다.
- 틀린 표현은 슬랩 전체가 아니라 단일 경계 반사만 본 점이다. 올바르게는 뒤쪽 경계 반사까지 포함한 등가 입력임피던스를 먼저 구해야 한다.

② O
- $\lambda/4$ 슬랩은 η_3를 $Z_{in} = \eta_2^2/\eta_3$로 변환한다.
- 그래서 $Z_{in} = \eta_0/4$, $\Gamma = -3/5$가 되어 정답과 일치한다.

③ X
- 1/3은 ①의 단일 경계 반사값에서 부호를 거꾸로 잡은 값이다.
- 틀린 표현은 반사계수의 방향성과 위상 반전을 무시한 점이다. 올바르게는 매질 1에서 입사한 반사계수는 음수이고, 슬랩 효과까지 포함하면 $-3/5$이다.

④ X
- 3/5는 크기는 맞지만 부호가 틀린 값이다.
- 틀린 표현은 음의 부호를 빠뜨린 점이다. 올바르게는 반사계수는 $-3/5$이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 오답은 첫 경계면만 보고 $-1/3$을 고르는 경우이다. 이 문제는 자유공간-유전체-자유공간의 두 경계가 모두 작용하는 구조이므로, $\lambda/4$ 슬랩의 임피던스 변환을 반영하지 않으면 답이 달라진다. 또 3/5처럼 부호를 놓치면 위상 반전 정보를 잃게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

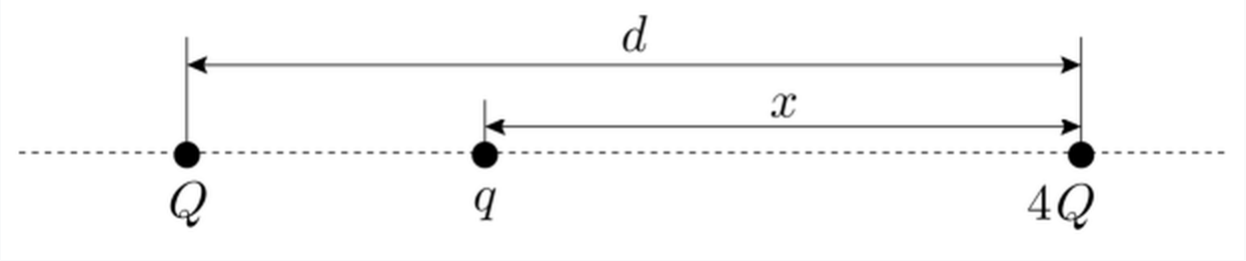
유전체 슬랩의 두께가 $\lambda/4$로 주어지면 먼저 슬랩을 임피던스 변환기로 본다. 그다음 $Z_{in} = \eta_2^2/Z_L$를 구하고, 마지막에 $\Gamma = (Z_{in} - \eta_1)/(Z_{in} + \eta_1)$를 적용하면 된다. 첫 경계면 공식만 바로 쓰는 판단은 틀린다.

암기 포인트

$\lambda/4$ 무손실 슬랩은 종단 임피던스를 역비례로 바꾸므로 $Z_{in} = \eta_2^2/Z_L$이고, 그 뒤 반사계수는 변환된 Z_{in}으로 계산한다.

NoteBase

문 24. 자유공간에 놓인 두 개의 양전하 Q, $4Q$가 거리 d만큼 떨어져 있다. 또 다른 전하 q를 두 전하 사이에 위치시켜 전체 전하계 전기력의 평형을 이루고자 할 때, q와 x는?



① $q=\frac{4}{9}Q,\ x=\frac{1}{3}d$
② $q=-\frac{4}{9}Q,\ x=\frac{1}{3}d$
③ $q=\frac{4}{9}Q,\ x=\frac{2}{3}d$
④ $q=-\frac{4}{9}Q,\ x=\frac{2}{3}d$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 세 전하가 모두 평형이 되도록 하는 전하량의 부호와 크기, 그리고 거리비를 쿨롱 법칙으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 왼쪽 전하는 Q, 오른쪽 전하는 $4Q$, 두 전하 사이 거리는 d이다.
구해야 할 값: 가운데 전하 q의 값과 q에서 $4Q$까지 거리 x이다.
주의할 조건: 전체 전하계의 평형이므로 가운데 전하뿐 아니라 Q, $4Q$에도 알짜힘이 0이어야 한다.

사용할 공식

쿨롱 법칙은 $F=k\frac{|q_1q_2|}{r^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 세 전하가 일직선상에 있고, 각 전하에 작용하는 힘의 크기를 거리의 제곱에 반비례하는 정전기력으로 비교해야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 가운데 전하 q가 평형이 되려면 양쪽에서 받는 힘의 크기가 같아야 한다.

$k\frac{Q|q|}{(d-x)^2} = k\frac{4Q|q|}{x^2}$

$\frac{1}{(d-x)^2} = \frac{4}{x^2} \Rightarrow x = 2(d-x) \Rightarrow 3x = 2d \Rightarrow x = \frac{2}{3}d$

따라서 Q와 q 사이 거리는 $d - x = \frac{1}{3}d$이다.

이제 왼쪽 전하 Q도 평형이어야 한다. $4Q$가 Q를 왼쪽으로 밀므로, q는 Q를 오른쪽으로 끌어야 하므로 음전하이어야 한다.

$k\frac{Q|q|}{(d/3)^2} = k\frac{4Q^2}{d^2}$

$k\frac{Q|q|}{d^2/9} = k\frac{4Q^2}{d^2} \Rightarrow 9Q|q| = 4Q^2 \Rightarrow |q| = \frac{4}{9}Q$

부호까지 반영하면 $q = -\frac{4}{9}Q$이다.

선지 판단

1번 X: q가 $\frac{4}{9}Q$인 양전하이면 왼쪽의 Q와 서로 밀어 전체 평형을 만들 수 없다. 또한 q의 평형식에서 $x = \frac{1}{3}d$가 아니라 $x = \frac{2}{3}d$가 나온다. 틀린 표현은 $q = \frac{4}{9}Q$, $x = \frac{1}{3}d$이고, 올바르게는 $q = -\frac{4}{9}Q$, $x = \frac{2}{3}d$이다.

2번 X: $q = -\frac{4}{9}Q$는 맞지만, x는 q에서 $4Q$까지 거리이므로 평형식 $x = 2(d-x)$를 만족하는 $\frac{2}{3}d$이어야 한다. 틀린 표현은 $x = \frac{1}{3}d$이고, 올바르게는 $x = \frac{2}{3}d$이다.

3번 X: $x = \frac{2}{3}d$는 맞지만, q가 양전하이면 양끝의 양전하와 모두 반발하여 Q와 $4Q$의 평형을 만들 수 없다. 틀린 표현은 $q = \frac{4}{9}Q$이고, 올바르게는 $q = -\frac{4}{9}Q$이다.

4번 O: q에서의 힘 평형으로 $x = \frac{2}{3}d$가 나오고, Q 또는 $4Q$에서의 힘 평형까지 맞추면 $q = -\frac{4}{9}Q$가 된다. 부호와 거리비를 모두 만족하므로 옳다.

오답 포인트

그림의 x를 Q에서 q까지 거리로 잘못 읽으면 $\frac{1}{3}d$를 고르기 쉽다. 또 가운데 전하 q의 평형만 보고 크기만 맞춘 뒤, 양끝 전하의 평형까지 확인하지 않으면 부호를 놓쳐 $\frac{4}{9}Q$를 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

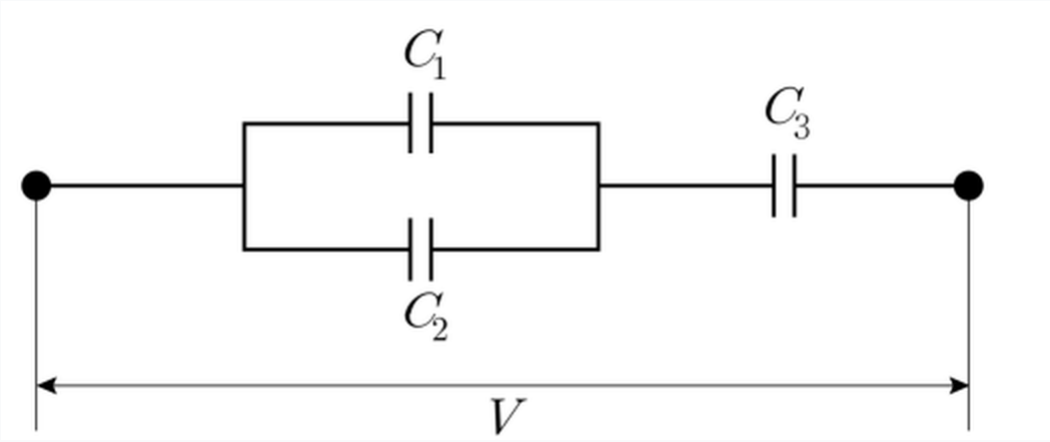
세 전하 평형 문제는 먼저 가운데 전하에서 좌우 힘의 크기를 같게 두어 거리비를 구하고, 그다음 양끝 전하 중 하나에서 힘의 방향까지 확인해 가운데 전하의 부호와 크기를 확정한다.

암기 포인트

양전하 두 개 사이에 놓인 평형 전하는 음전하이고, 거리비는 맞서는 전하량의 제곱근 비로 정해진다.

NoteBase

문 25. 그림과 같이 정전용량이 각각 $C_1 = 1[\mu F]$, $C_2 = 3[\mu F]$, $C_3 = 2[\mu F]$인 세 개의 커패시터가 전위차가 V인 기전력원에 연결되어 있다. 정전에너지가 큰 커패시터를 순서대로 바르게 나열한 것은?



① C_1, C_2, C_3

② C_3, C_2, C_1

③ C_2, C_1, C_3

④ C_1, C_3, C_2

정답 2번

출제 포인트

병렬 연결과 직렬 연결에서 전압 분배를 구한 뒤 각 커패시터의 정전에너지 U=12CV^2를 비교하는 문제이다.

조건 정리

$C_1 = 1[\mu F]$, $C_2 = 3[\mu F]$, $C_3 = 2[\mu F]$이다.
C_1과 C_2는 병렬이므로 두 커패시터의 전압은 서로 같다.
병렬합성용량은 $C_{12} = C_1 + C_2 = 4[\mu F]$이고, 이 C_{12}가 C_3와 직렬이다.

사용할 공식

정전에너지는 U=12CV^2이다.
직렬 연결에서는 전하 Q가 같으므로 $V = Q/C$에 따라 용량이 작은 쪽의 전압이 더 크게 걸린다.
이 문제에서는 $C_{12} = 4[\mu F]$와 $C_3 = 2[\mu F]$가 직렬이므로 V_12:V_3=14:12=1:2가 된다.

NoteBase

계산 과정

전체 전압을 V라 두면 $V_{12}+V_3=V$이고 $V_{12}:V_3=1:2$이므로 $V_{12}=\frac{V}{3}$, $V_3=\frac{2V}{3}$이다.
병렬인 C_1, C_2에는 모두 $\frac{V}{3}$가 걸린다.
따라서
U_1=12·1·≤ft((V)/(3))^2=(V^2)/(18)
U_2=12·3·≤ft((V)/(3))^2=(V^2)/(6)
U_3=12·2·≤ft((2V)/(3))^2=(4V^2)/(9)
이므로 $U_3>U_2>U_1$이다.

선지별 해설

① X: 가장 큰 정전에너지는 C_3인데 ①은 C_3를 맨 뒤에 두고 있다. 올바른 배열은 C_3, C_2, C_1이다.
② O: 계산 결과가 $U_3>U_2>U_1$이므로 정전에너지가 큰 커패시터의 순서는 C_3, C_2, C_1이다.
③ X: C_2가 C_1보다 큰 것은 맞지만 C_3가 가장 크므로 C_2, C_1, C_3는 순서가 뒤집혀 있다. 올바르게는 C_3, C_2, C_1이다.
④ X: C_1과 C_2에는 같은 전압이 걸리므로 용량이 큰 C_2의 에너지가 더 크다. 따라서 C_1, C_3, C_2가 아니라 C_3, C_2, C_1이다.

오답 포인트

용량이 큰 커패시터가 항상 에너지도 크다고 단순하게 보면 직렬 구간의 전압 분배를 놓치게 된다. 이 문항의 함정은 C_1과 C_2를 먼저 병렬로 묶지 않고 각 소자만 따로 비교하거나, 직렬에서 전하가 같다는 사실을 빼먹는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합 연결 커패시터 문제는 먼저 병렬과 직렬 구조를 다시 그려 본 뒤, 병렬은 전압이 같고 직렬은 전하가 같다는 기준으로 각 소자의 전압을 구한다. 그다음 U=12CV^2에 대입해 크기만 비교하면 된다.

암기 포인트

커패시터 에너지는 U=12CV^2이고, 직렬에서는 작은 C에 큰 전압이 걸린다.

NoteBase