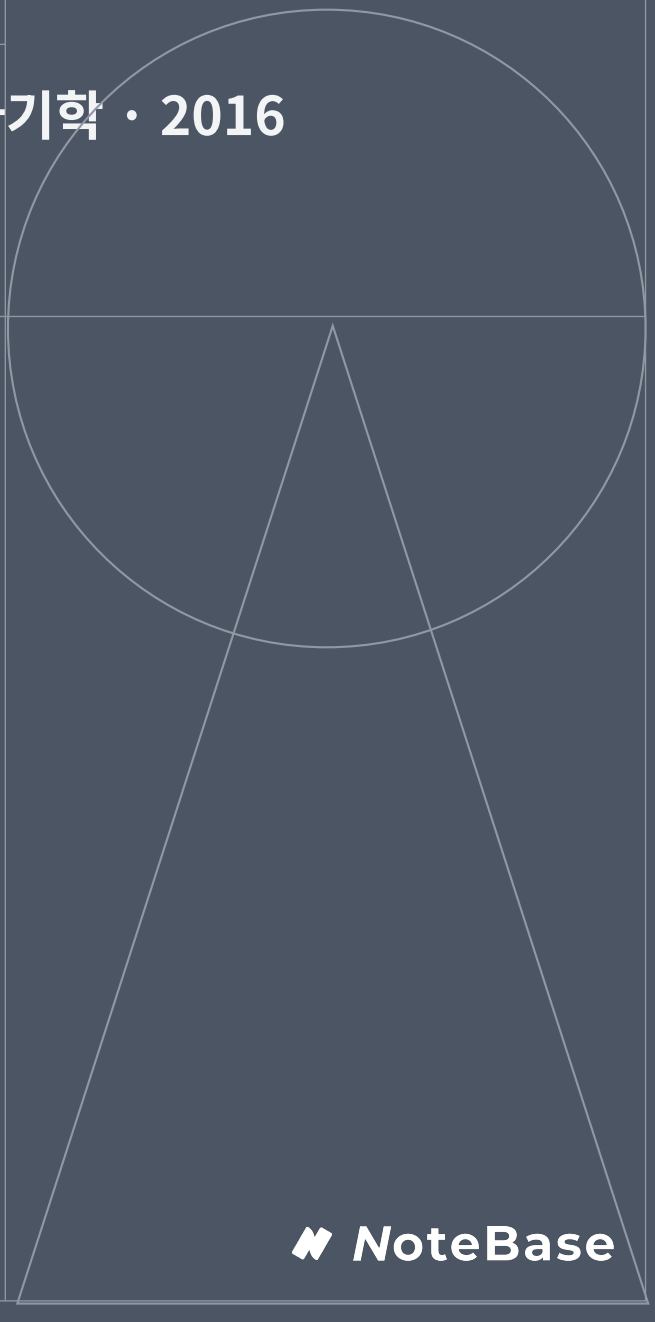
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2016



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2016

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2016

문 1. 평행판 커패시터에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 도체판의 면적을 2배로 넓히면 정전용량이 2배가 된다.

② 도체판 사이의 간격을 2배로 늘리면 정전용량이 2배가 된다.

③ 도체판 사이의 유전체를 비유전율이 2배인 물질로 바꾸면 정전용량은 2배가 된다.

④ 전하량이 일정할 때, 정전용량과 전압은 반비례 관계를 갖는다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평행판 커패시터의 정전용량이 면적, 판 사이 거리, 유전율과 어떤 비례 관계를 갖는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

평행판 커패시터의 정전용량은 $C = \varepsilon A/d$이다.
여기서 A는 도체판 면적, d는 판 사이 거리, ε는 유전율이다.
따라서 정전용량은 면적과 유전율에 비례하고, 판 사이 거리에는 반비례한다.

NoteBase

선지별 해설

① O
도체판의 면적 A를 2배로 하면 $C = \varepsilon A/d$에서 A가 2배가 되므로 정전용량도 2배가 된다.

② X
틀린 부분은 "간격을 2배로 늘리면 정전용량이 2배가 된다"는 표현이다.
실제로는 정전용량이 거리 d에 반비례하므로, 간격을 2배로 늘리면 정전용량은 1/2배가 된다.

③ O
유전율 ε이 2배인 물질로 바꾸면 $C = \varepsilon A/d$에서 ε가 2배가 되므로 정전용량도 2배가 된다.

④ O
전하량 Q가 일정할 때 $Q = CV$이므로 $V = Q/C$이다.
따라서 전하량이 일정하면 정전용량 C와 전압 V는 반비례 관계를 갖는다.

오답 포인트

면적과 유전율은 정전용량을 크게 만들지만, 판 사이 거리만 반대로 작용한다는 점을 놓치기 쉽다. ②는 "2배"라는 수치만 보고 모두 같은 방향으로 변한다고 착각하게 만드는 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행판 커패시터 문제는 먼저 $C = \varepsilon A/d$를 떠올린 뒤, 분자에 있는 값은 비례, 분모에 있는 값은 반비례로 바로 판단하면 된다.

암기 포인트

정전용량은 면적·유전율에 비례하고 거리에는 반비례한다.

NoteBase

문 2. 환상철심에 두 코일을 감았을 때, 각 코일의 자기인덕턴스는 $L_1 = 10[mH]$, $L_2 = 10[mH]$이다. 두 코일의 결합계수 k가 0.5일 때, 두 코일의 직렬접속을 통해서 얻을 수 있는 합성인덕턴스의 최댓값$[mH]$과 최솟값$[mH]$은?

① 최댓값: 30, 최솟값: 10

② 최댓값: 30, 최솟값: 5

③ 최댓값: 20, 최솟값: 10

④ 최댓값: 20, 최솟값: 5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 결합계수로 상호인덕턴스 M를 구한 뒤, 직렬가극성과 직렬반극성의 합성인덕턴스 $L = L_1 + L_2 \pm 2M$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $L_1 = 10mH$, $L_2 = 10mH$, $k = 0.5$이다.
구해야 할 값은 두 코일 직렬접속 시 합성인덕턴스의 최댓값과 최솟값이다.
주의할 조건은 상호인덕턴스가 M이고, 직렬합성에서는 $\pm M$이 아니라 $\pm 2M$가 들어간다는 점이다.

사용할 공식

상호인덕턴스는 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$이다.
직렬접속 합성인덕턴스는 가극성일 때 $L_{max} = L_1 + L_2 + 2M$, 반극성일 때 $L_{min} = L_1 + L_2 - 2M$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 코일이 환상철심에 결합되어 있어 자기결합 효과가 생기고, 직렬접속의 극성에 따라 상호자속이 더해지거나 상쇄되기 때문이다.

계산 과정

1. 상호인덕턴스를 구하면 $M = 0.5 \times \sqrt{10 \times 10} = 0.5 \times 10 = 5mH$이다.
2. 최댓값은 직렬가극성이므로 $L_{max} = 10 + 10 + 2 \times 5 = 30mH$이다.
3. 최솟값은 직렬반극성이므로 $L_{min} = 10 + 10 - 2 \times 5 = 10mH$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 최댓값은 $30mH$, 최솟값은 $10mH$이므로 맞는 선지이다.
② X: 최댓값 $30mH$는 맞지만 최솟값 $5mH$는 틀리다. 틀린 표현은 최솟값 $5mH$이고, 올바르게는 $10mH$이다. $5mH$는 $L_1 + L_2 - 2M$ 대신 $L_1 + L_2 - M$처럼 상호인덕턴스를 한 번만 빼는 실수에서 나온다.
③ X: 최솟값 $10mH$는 맞지만 최댓값 $20mH$는 틀리다. 틀린 표현은 최댓값 $20mH$이고, 올바르게는 $30mH$이다. $20mH$는 상호인덕턴스 효과를 무시하고 $L_1 + L_2$만 더한 값이다.
④ X: 최댓값 $20mH$, 최솟값 $5mH$가 모두 틀리다. 올바르게는 최댓값이 $30mH$, 최솟값이 $10mH$이다. 이 선지는 최댓값에서 결합효과 $+2M$를 빼먹고, 최솟값에서도 $-2M$를 잘못 적용한 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 직렬합성 공식을 $L_1 + L_2 \pm M$로 잘못 외우는 점이다. 이 문제의 ②는 $-2M$ 대신 $-M$을 넣는 실수를, ③은 상호인덕턴스를 아예 무시하는 실수를 노린 보기이다.

다시 나오면 이렇게 판단

결합코일 문제는 먼저 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$를 구하고, 그다음 직렬가극성은 $+2M$, 직렬반극성은 $-2M$를 적용해 최댓값과 최솟값을 나누어 계산하면 된다.

암기 포인트

결합코일 직렬합성은 $L_1 + L_2 \pm 2M$, 최댓값은 더하고 최솟값은 뺀다.

NoteBase

문 3. 투자율이 각각 μ_1, μ_2인 두 자성체가 평면으로 접하고 있는 경계면에서 전류밀도가 0일 때 성립하는 경계조건은?

① $\mu_2 \tan\theta_1 = \mu_1 \tan\theta_2$

② $\mu_1 \cos\theta_1 = \mu_2 \cos\theta_2$

③ $\mu_2 \cos\theta_1 = \mu_1 \cos\theta_2$

④ $\mu_1 \tan\theta_1 = \mu_2 \tan\theta_2$

정답 1번

출제 포인트

자성체 경계면에서 표면전류밀도 K가 0일 때 B의 법선 성분은 연속이고 H의 접선 성분은 연속이라는 경계조건을 결합해 각도 관계식을 만드는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 두 자성체의 투자율 μ_1, μ_2와 경계면의 표면전류밀도 $K = 0$이다.
구해야 할 값은 경계면을 지나는 자속선의 각도 관계식이다.
주의할 조건은 θ_1, θ_2를 경계면의 법선과 이루는 각으로 두고 식을 세운다는 점이다.

사용할 공식

경계조건은 $B_{1n} = B_{2n}, H_{1t} = H_{2t}$이다. 또 $H = B/\mu$이므로
$B_1 \cos\theta_1 = B_2 \cos\theta_2$
$\frac{B_1}{\mu_1} \sin\theta_1 = \frac{B_2}{\mu_2} \sin\theta_2$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 경계면에 표면전류밀도 K가 없으면 접선 방향의 H가 연속이고, 자속은 끊기지 않으므로 법선 방향의 B가 연속이기 때문이다.

계산 과정

1. 법선 성분 연속에서 $B_1 \cos\theta_1 = B_2 \cos\theta_2$를 쓴다.
2. 접선 성분 연속에서 $\frac{B_1}{\mu_1} \sin\theta_1 = \frac{B_2}{\mu_2} \sin\theta_2$를 쓴다.
3. 두 식을 나누어 B_1, B_2를 소거하면
$\frac{\tan\theta_1}{\mu_1} = \frac{\tan\theta_2}{\mu_2}$
이므로
$\mu_2 \tan\theta_1 = \mu_1 \tan\theta_2$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 위 경계조건을 정리하면 최종식이 $\mu_2 \tan\theta_1 = \mu_1 \tan\theta_2$가 되므로 옳다.
② X: 틀린 표현은 $\mu_1 \cos\theta_1 = \mu_2 \cos\theta_2$이다. 법선 방향에서 연속인 것은 투자율이 아니라 B의 법선 성분이므로 올바르게는 $B_1 \cos\theta_1 = B_2 \cos\theta_2$이다.
③ X: 틀린 표현은 $\mu_2 \cos\theta_1 = \mu_1 \cos\theta_2$이다. 이것도 B의 법선 성분 연속 조건을 투자율 식으로 잘못 바꾼 형태이며, 올바르게는 $B_1 \cos\theta_1 = B_2 \cos\theta_2$이다.
④ X: 틀린 표현은 $\mu_1 \tan\theta_1 = \mu_2 \tan\theta_2$이다. 투자율을 넘길 때 좌우 비가 뒤바뀐 식이며, 올바르게는 $\mu_2 \tan\theta_1 = \mu_1 \tan\theta_2$이다.

오답 포인트

자성체 경계조건에서 B_n 연속과 H_t 연속을 서로 바꾸어 쓰거나, 각도를 경계면 기준으로 착각해 sin과 cos를 뒤집는 경우가 많다. 또한 마지막에 투자율을 이항하는 과정에서 ④처럼 비를 거꾸로 적기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

자성체 경계면 문제는 먼저 $K = 0$ 여부를 보고 B_n 연속, H_t 연속을 적는다. 그다음 법선 성분 식과 접선 성분 식을 각각 세운 뒤 두 식을 나누어 B의 크기를 소거하면 각도 관계식을 바로 정리할 수 있다.

암기 포인트

$K = 0$인 자성체 경계면에서는 B_n 연속, H_t 연속이므로 $\mu_2 \tan\theta_1 = \mu_1 \tan\theta_2$로 연결된다.

NoteBase

문 4. 자유공간상의 $z=10[m]$에 xy 평면과 평행한 무한평면이 $20[nC/m^2]$의 전하를 가지고 있다. 원점에서의 전계 $[V/m]$는? (단, 자유공간의 유전율 $\varepsilon_0=\frac{10^{-9}}{36\pi}[F/m]$이다.)

① $-720\pi\vec{a}_z$

② $-360\vec{a}_z$

③ $-720\vec{a}_z$

④ $-360\pi\vec{a}_z$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 자유공간의 무한평면 전하가 만드는 전계의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 면전하밀도 $\sigma=20\times10^{-9}C/m^2$, 위치는 $z=10m$의 무한평면, 유전율은 $\varepsilon_0=\frac{10^{-9}}{36\pi}F/m$이다.
구해야 할 값은 원점에서의 전계이다.
양전하를 띤 무한평면의 전계는 평면 양쪽으로 수직 방향이며, 원점은 평면 아래쪽이므로 방향은 $-a_z$이다.

사용할 공식

무한평면 전하가 만드는 전계의 크기는 $E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전하가 점전하나 선전하가 아니라 넓이가 무한한 면에 균일하게 분포해 있기 때문이다.

계산 과정

전계의 크기는
$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}=\frac{20\times10^{-9}}{2\times\frac{10^{-9}}{36\pi}}=\frac{20\times36\pi}{2}=360\pi$
이다.
양전하 평면에서 전계는 바깥으로 향하므로, $z=10m$ 평면의 아래쪽인 원점에서는 $-a_z$ 방향이다.
따라서 원점에서의 전계는 $\vec{E}=-360\pi a_z V/m$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 크기가 720π로 두 배 크게 계산되었다. 틀린 표현은 $-720\pi a_z$이고, 올바르게는 $-360\pi a_z$이다. 이 값은 무한평면 공식을 σ/ε_0로 잘못 적용할 때 나온다.
② X: 방향은 맞지만 π가 빠져 크기가 잘못되었다. 틀린 표현은 $-360a_z$이고, 올바르게는 $-360\pi a_z$이다. 유전율 식의 36π를 끝까지 반영해야 한다.
③ X: 크기도 두 배이고 π도 빠졌다. 틀린 표현은 $-720a_z$이고, 올바르게는 $-360\pi a_z$이다. 1/2와 π를 함께 놓친 오답이다.
④ O: $E = \sigma/(2\varepsilon_0) = 360\pi$이고, 원점은 양전하 평면의 아래쪽이므로 방향이 $-a_z$가 된다. 따라서 $-360\pi a_z$가 맞다.

오답 포인트

무한평면 전하에서 도체 표면의 σ/ε_0와 일반 면전하의 $\sigma/(2\varepsilon_0)$를 혼동하기 쉽다. 또 원점이 평면의 위인지 아래인지 확인하지 않으면 방향 부호를 반대로 쓰기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

면전하 문제는 전하 분포가 무한평면인지부터 확인하고, 먼저 크기 공식을 정한 뒤 마지막에 관측점이 평면의 어느 쪽에 있는지 보고 방향 부호를 붙이면 된다.

암기 포인트

무한평면 전하의 전계는 $\sigma/(2\varepsilon_0)$, 양전하면 전계 방향은 평면에서 바깥쪽이다.

NoteBase

문 5. 전극 사이에 공기로 채워져 있고 면적 $S[\mathrm{m}^2]$인 도체판이 거리 $x[\mathrm{m}]$만큼 떨어져 있는 평행판 커패시터가 있다. 이 도체판이 전하량 $Q[\mathrm{C}]$로 대전되어 있을 때, 도체판에 작용하는 힘의 크기[N]는?

① $\frac{Q^2}{2\varepsilon_0 S}$
② $\frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$
③ $\frac{Q^2 S}{2\varepsilon_0}$
④ $\frac{QS}{2\varepsilon_0}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 평행판 커패시터의 면전하밀도와 전기적 압력을 이용해 도체판 한 장에 작용하는 힘을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 도체판의 면적 S, 판 사이 거리 x, 대전 전하량 Q, 공기 중 유전율 ε_0이다.
- 구해야 할 값: 도체판 한 장에 작용하는 힘 F이다.
- 주의할 조건: 힘은 전체 전기장 σ/ε_0가 아니라 마주 보는 다른 판이 만드는 전기장 $\sigma/(2\varepsilon_0)$으로 계산한다.

사용할 공식

$\sigma = \frac{Q}{S}$, $E_{\text{other}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, $F = QE_{\text{other}}$

이 문제는 평행판의 한 도체판이 다른 도체판이 만든 전기장에 의해 끌리는 상황이므로, 먼저 면전하밀도 σ를 구한 뒤 상대판의 전기장만을 곱해 힘을 구한다.

계산 과정

1. 도체판의 면전하밀도는 $\sigma = Q/S$이다.
2. 무한 평면도체 한 장이 만드는 전기장은 $\sigma/(2\varepsilon_0)$이므로, 상대판이 이 도체판에 주는 전기장은 $E = \sigma/(2\varepsilon_0)$이다.
3. 따라서 힘은 $F = QE = Q \cdot \sigma/(2\varepsilon_0)$이다.
4. $\sigma = Q/S$를 대입하면 $F = Q \cdot \frac{Q}{2\varepsilon_0 S} = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 S}$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 바로 $F = Q^2/(2\varepsilon_0 S)$이므로 옳다.
② X: Q가 제곱되지 않아 힘의 크기가 전하량에 비례하는 것으로 잘못 쓴 식이다. 힘은 Q와 전기장 E의 곱이고, E 안에도 Q가 들어가므로 Q^2가 되어야 한다. 올바르게는 $Q^2/(2\varepsilon_0 S)$이다.
③ X: S가 분자에 있으면 면적이 커질수록 힘이 커진다는 뜻이 되는데, 고정된 Q에서는 면적이 커질수록 면전하밀도 $\sigma = Q/S$가 작아져 힘은 오히려 줄어든다. 올바르게는 S가 분모에 있어 $Q^2/(2\varepsilon_0 S)$이다.
④ X: Q가 제곱되지 않은 점과 S가 분자에 있는 점이 모두 틀렸다. 힘은 $F = QE$이고 $E \propto Q/S$이므로 최종식은 반드시 Q^2/S 꼴이어야 한다. 올바르게는 $Q^2/(2\varepsilon_0 S)$이다.

오답 포인트

전체 판 사이 전기장 σ/ε_0와 한 판이 다른 판으로부터 받는 전기장 $\sigma/(2\varepsilon_0)$를 혼동하기 쉽다. 또한 $\sigma = Q/S$를 대입한 뒤 Q^2/S 꼴이 되어야 한다는 점을 놓치면 ②, ③, ④ 같은 오답을 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

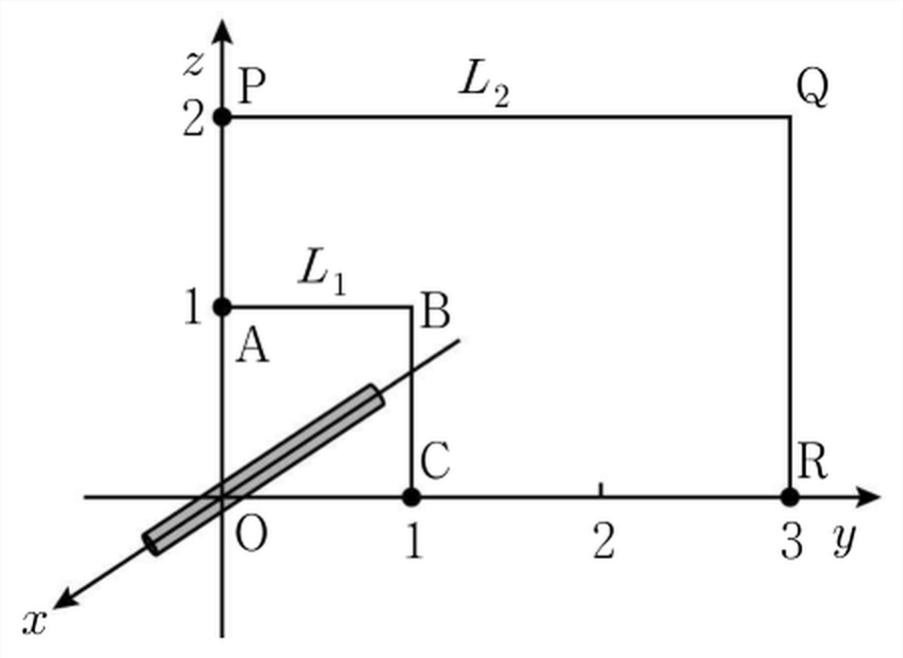
평행판에서 힘을 묻는 문제는 먼저 $\sigma = Q/S$로 바꾸고, 자기 자신이 아닌 상대판의 전기장 $\sigma/(2\varepsilon_0)$를 써서 $F = QE$를 적용한다. 마지막에는 결과가 Q^2/S 꼴인지 확인하면 빠르게 검산된다.

암기 포인트

평행판 한 장이 받는 힘은 전기적 압력 또는 상대판 전기장으로 계산하며, 결과는 $F = \sigma^2 S/(2\varepsilon_0) = Q^2/(2\varepsilon_0 S)$이다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 x축으로 무한직선도선이 설치되어 있고, 전류 $2[A]$가 $+x$ 방향으로 흐르고 있다. yz 평면상에 설정된 적분경로 $L_1(O-A-B-C-O)$ 및 $L_2(O-P-Q-R-O)$를 따라 자계벡터를 적분한 값의 차이 $(\oint_{L_2}\vec{H}\cdot d\vec{l}-\oint_{L_1}\vec{H}\cdot d\vec{l})$는?



① -0.25[A]

② 0[A]

③ 0.25[A]

④ 0.5[A]

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 yz 평면의 두 폐곡선이 x축 방향 전류를 각각 어떻게 감싸는지 보고 암페어 주회법칙 $\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l}=I_{\text{enclosed}}$를 적용하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ①의 값 $-0.25[A]$는 틀렸다. 적분경로 L_1과 L_2는 모두 x축의 도선을 한 번씩 감싸고, 진행 방향도 모두 시계방향이므로 두 폐곡선의 선적분값은 같은 부호와 같은 크기를 가진다.
- 틀린 표현은 '-0.25[A]'이고, 올바르게는 '두 선적분의 차는 0[A]이다'이다.

② O
- 암페어 주회법칙에 따르면 폐곡선 적분은 도선의 모양, 사각형의 크기, 원점으로부터의 거리 차가 아니라 그 폐곡선이 감싸는 총전류로만 결정된다.
- L_1과 L_2는 모두 전류 $2[A]$를 한 번씩 감싸므로 각 적분값은 서로 같고, 따라서 $\oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l} - \oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0[A]$가 된다.

③ X
- ③의 값 $0.25[A]$는 틀렸다. 두 경로의 적분 차이를 묻고 있으므로 한 경로가 더 크다고 보아 작은 양수 값을 둘 수 없다.
- 틀린 표현은 '0.25[A]'이고, 올바르게는 '0[A]'이다. 폐곡선 적분은 면적비나 변 길이 차이로 정해지지 않는다.

④ X
- ④의 값 $0.5[A]$도 틀렸다. 큰 사각형이 더 넓더라도 추가로 감싸는 전류가 없으므로 선적분값이 더 커지지 않는다.
- 틀린 표현은 '0.5[A]'이고, 올바르게는 '0[A]'이다.

오답 포인트

사각형의 크기가 다르면 선적분값도 달라진다고 착각하기 쉽다. 그러나 이 문항은 자계의 점값 $|\vec{H}|$를 묻는 것이 아니라 폐곡선 전체에 대한 선적분을 묻고 있으므로, 핵심은 경로의 크기가 아니라 감싼 전류의 개수와 방향이다.

다시 나오면 이렇게 판단

닫힌 적분경로가 보이면 먼저 그 경로가 전류를 몇 번 감싸는지와 진행 방향이 같은지를 본다. 감싼 전류와 방향이 같으면 도형의 크기나 모양이 달라도 $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$ 값은 같다고 판단할 수 있다.

암기 포인트

암페어 주회법칙의 폐곡선 적분은 경로의 크기가 아니라 감싼 전류로 결정된다.

NoteBase

문 7. 매질 내에서 전도전류밀도 크기가 변위전류밀도 크기의 10배일 때 전자기파의 주파수[Hz]는? (단, 매질의 투자율 $\mu = \mu_0[H/m]$, 유전율 $\varepsilon = 5\varepsilon_0[F/m]$, 도전율 $\sigma = 10[S/m]$이다)

① $\frac{1}{\pi\varepsilon_0\mu_0}$
② $\frac{1}{\pi\varepsilon_0}$
③ $\frac{1}{10\pi\varepsilon_0\mu_0}$
④ $\frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전도전류밀도 $J_c = \sigma E$와 변위전류밀도 $J_d = \omega\varepsilon E$의 비를 이용해 주파수 f를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\sigma = 10S/m$, $\varepsilon = 5\varepsilon_0 F/m$, $\mu = \mu_0 H/m$이다.
구해야 할 값: 전자기파의 주파수 f이다.
주의할 조건: 전도전류밀도가 변위전류밀도의 10배이므로 $J_c = 10J_d$를 써야 하며, 이 관계에서는 μ가 쓰이지 않는다.

사용할 공식

전도전류밀도는 $J_c = \sigma E$, 변위전류밀도는 $J_d = \omega\varepsilon E$이다.
따라서 $\frac{J_c}{J_d} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 두 전류밀도의 크기 비를 직접 주었기 때문이다.

계산 과정

$J_c = 10J_d$이므로
$\sigma E = 10\omega\varepsilon E$
이다.
전계 E를 약분하면
$\omega = \frac{\sigma}{10\varepsilon}$
이다.
또한 $\omega = 2\pi f$이므로
$f = \frac{\sigma}{20\pi\varepsilon} = \frac{10}{20\pi \cdot 5\varepsilon_0} = \frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $\frac{1}{\pi\varepsilon_0\mu_0}$는 μ_0를 불필요하게 포함한 값이다. 이 문제의 비식 $\frac{J_c}{J_d}=\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}$에는 μ가 들어가지 않는다.
- 틀린 표현은 주파수 계산에 μ_0가 필요하다는 점이고, 올바르게는 μ 없이 $f=\frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$로 정리된다.

② X
- $\frac{1}{\pi\varepsilon_0}$는 $\varepsilon=5\varepsilon_0$ 조건과 전도전류밀도가 10배라는 조건을 함께 반영하지 못한 값이다.
- 틀린 표현은 분모 계수가 빠진 점이고, 올바르게는 $f=\frac{\sigma}{20\pi\varepsilon}=\frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$이다.

③ X
- $\frac{1}{10\pi\varepsilon_0\mu_0}$도 ①과 같은 이유로 μ_0를 잘못 끼워 넣은 값이다.
- 틀린 표현은 주파수 계산에 μ_0가 들어간다는 점이고, 올바르게는 μ 없이 $f=\frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$이다.

④ O
- $J_c=10J_d$, $J_c=\sigma E$, $J_d=\omega\varepsilon E$를 쓰면 $f=\frac{\sigma}{20\pi\varepsilon}=\frac{1}{10\pi\varepsilon_0}$가 된다.
- 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

변위전류밀도 식 $J_d=\omega\varepsilon E$를 잊고 μ를 끼워 넣으면 ①, ③ 같은 오답으로 흐른다. 또 $\varepsilon=5\varepsilon_0$와 전도전류밀도가 10배라는 조건을 동시에 반영하지 않으면 ②처럼 분모 계수가 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전류밀도 비를 묻는 문제는 먼저 $J_c=\sigma E$, $J_d=\omega\varepsilon E$를 세운다. 그다음 비 조건으로 ω를 구하고 마지막에 $\omega=2\pi f$로 바꾸면 된다. 식에 μ가 실제로 들어가는지 한 번 더 확인하면 불필요한 상수 삽입을 막을 수 있다.

암기 포인트

전도 대 변위 전류밀도 비는 $\sigma:\omega\varepsilon$이고, 주파수 변환은 $\omega=2\pi f$이다.

NoteBase

문 8. 자유공간인 사무실에서 2.5[GHz] 신호를 이용하여 무선 네트워크를 구성하였다. 비유전율 $\varepsilon_r = 4.0$으로 만들어진 나무판을 이용하여 칸막이를 구성하려고 한다. 칸막이가 신호세기에 미치는 영향을 최소화하기 위한 나무판의 두께[cm]는? (단, 자유공간에서 전자파의 속도는 $3 \times 10^8 [m/s]$이고, 전자파는 칸막이에 수직으로 입사한다고 가정한다)

① 10

② 7.5

③ 5

④ 3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유전체 판 내부의 파장을 구한 뒤, 다중 반사 영향이 상쇄되어 투과가 최대가 되는 최소 두께를 찾는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 주파수 $f = 2.5GHz$, 자유공간 전자파 속도 $c = 3 \times 10^8 m/s$, 비유전율 $\varepsilon_r = 4.0$이다.
구해야 할 값: 신호세기 영향을 최소화하는 나무판의 두께이다.
주의할 조건: 전자파는 수직 입사하므로 판 내부 왕복 위상차가 2π의 정수배가 되면 투과가 최대가 된다.

사용할 공식

자유공간 파장은 $\lambda_0 = \frac{c}{f}$이고, 유전체 내부 파장은 $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$이다. 투과를 최대로 하는 최소 두께는 $d = \frac{\lambda}{2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 공기-유전체-공기 구조에서 수직 입사 시 판 내부를 왕복한 반사파가 같은 위상으로 합쳐지면 전체 반사 영향이 최소가 되고, 그 조건이 판 두께가 내부 반파장의 정수배일 때이기 때문이다.

계산 과정

1. 자유공간 파장은 $\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2.5 \times 10^9} = 0.12m = 12cm$이다.
2. 나무판 내부 파장은 $\lambda = \frac{12}{\sqrt{4}} = 6cm$이다.
3. 영향을 최소화하는 최소 두께는 내부 반파장이므로 $d = \frac{6}{2} = 3cm$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $10cm$는 내부 반파장 $3cm$의 정수배가 아니다. 투과 최대 조건을 만족하지 못하므로 틀리다. 올바르게는 $3cm$이어야 한다.
② X: $7.5cm$도 $3cm$의 정수배가 아니어서 반사 상쇄 조건이 맞지 않는다. 올바르게는 $3cm$이어야 한다.
③ X: $5cm$ 역시 내부 반파장 조건과 맞지 않는다. 자유공간 파장과 혼동한 값이 아니라 유전체 내부 파장을 기준으로 해야 하므로 올바르게는 $3cm$이어야 한다.
④ O: $3cm$는 유전체 내부 파장 $6cm$의 반파장이다. 판 내부 왕복 위상차가 2π가 되어 반사 영향이 최소가 되므로 맞다.

오답 포인트

자유공간 파장 $12cm$를 그대로 쓰거나, 유전체 내부 파장 $6cm$를 구하고도 반파장 조건 대신 사분파장 조건을 적용하면 오답이 나온다. 이 문항은 '영향 최소화'가 투과 최대 조건이라는 점을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

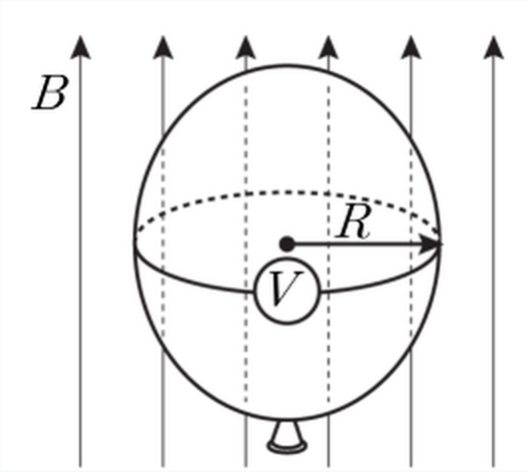
유전체판 두께 문제는 먼저 자유공간 파장을 구하고, 다음에 $\sqrt{\varepsilon_r}$로 나누어 내부 파장을 만든 뒤, 발문이 반사 최대인지 투과 최대인지에 따라 사분파장 또는 반파장 조건을 적용해 판단한다.

암기 포인트

유전체 내부 파장은 $\lambda_0/\sqrt{\varepsilon_r}$, 투과 최대의 최소 두께는 내부 반파장이다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 풍선에 감겨져 있는 탄성 도체 띠가 균일하고 일정한 자기장 B[T]에 수직으로 걸려 있다. 풍선에서는 공기가 P[m^3/s]만큼 빠져 나간다. 풍선의 반지름이 R[m]이 될 때, 띠에 유도되는 기전력[V]은? (단, 띠는 항상 구의 적도상에 있고, 풍선은 항상 완전한 구를 유지한다)



① $\frac{BP}{4R}$

② $\frac{P}{4RB}$

③ $\frac{BP}{2R}$

④ $\frac{P}{2RB}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 구의 부피 변화율을 반지름 변화율로 바꾼 뒤 패러데이 법칙으로 유도기전력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 자기장 $B[T]$, 공기 유출량 $P[m^3/s]$, 순간 반지름 $R[m]$이다.
구해야 할 값은 띠에 유도되는 기전력 V이다.
띠는 적도에 있으므로 폐회로 면적은 $A = \pi R^2$이고, 풍선은 완전한 구이므로 부피는 $\frac{4}{3}\pi R^3$이다.

사용할 공식

자기선속은 $\Phi = BA = B\pi R^2$이다.
유도기전력의 크기는 $e = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right|$이다.
구의 부피 변화율은 $\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right) = 4\pi R^2\frac{dR}{dt}$이다.
자기장 B는 일정하고 띠가 감싼 면적만 줄어드므로 선속 변화는 면적 변화로만 결정된다. 또한 공기 유출량 P는 구의 부피 감소율이므로 먼저 $\frac{dR}{dt}$로 바꾸어야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 풍선의 부피를 $V_s = \frac{4}{3}\pi R^3$라 두면 공기가 $P[m^3/s]$만큼 빠져나가므로 $\frac{dV_s}{dt} = -P$이다.
2. 따라서 $4\pi R^2 \frac{dR}{dt} = -P$이고, 크기로 쓰면 $\left|\frac{dR}{dt}\right| = \frac{P}{4\pi R^2}$이다.
3. 띠가 감싼 면적은 $A = \pi R^2$이므로 $\left|\frac{dA}{dt}\right| = 2\pi R \left|\frac{dR}{dt}\right| = 2\pi R \cdot \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{P}{2R}$이다.
4. 유도기전력의 크기는 $e = B\left|\frac{dA}{dt}\right| = B \cdot \frac{P}{2R} = \frac{BP}{2R}$이다.

선지 판단

1번 X: $\frac{BP}{4R}$은 $A = \pi R^2$를 미분할 때 $\frac{dA}{dt} = 2\pi R\frac{dR}{dt}$의 계수 2를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 $\frac{BP}{2R}$이다.
2번 X: 유도기전력은 패러데이 법칙에 따라 B에 비례해야 하는데 $\frac{P}{4RB}$는 B가 분모에 있어 관계 자체가 틀린 식이다. 올바르게는 $\frac{BP}{2R}$이다.
3번 O: 부피 감소율에서 $\left|\frac{dR}{dt}\right| = \frac{P}{4\pi R^2}$를 구하고 이를 선속 변화율에 대입하면 $e = \frac{BP}{2R}$가 된다.
4번 X: $\frac{P}{2RB}$는 계수는 맞아 보여도 B를 분모에 둔 점이 틀리다. 자기장이 클수록 선속 변화가 커지므로 기전력도 커져야 하며 올바르게는 $\frac{BP}{2R}$이다.
계산 결과 $e = \frac{BP}{2R}$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

공기 유출량 P를 곧바로 면적 변화율로 착각하거나 $A = \pi R^2$ 미분에서 계수 2를 빠뜨리면 1번으로 흐르기 쉽다. 또 패러데이 법칙의 비례관계를 놓치면 B를 분모에 둔 2번, 4번 같은 식에 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

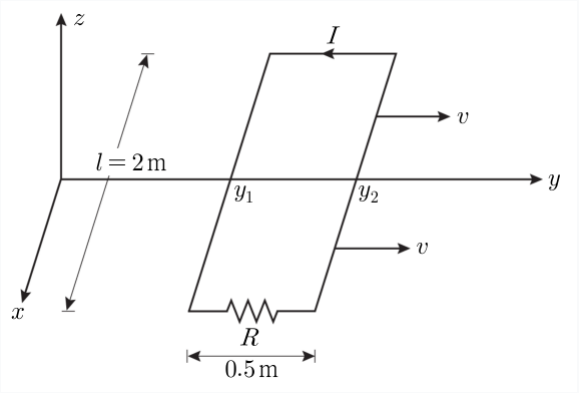
부피 변화가 주어지면 먼저 $\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right)$로부터 $\frac{dR}{dt}$를 구하고, 그다음 $A = \pi R^2$, $\Phi = BA$, $e = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right|$ 순서로 연결하면 된다.

암기 포인트

균일한 자기장에서는 $e = B\left|\frac{dA}{dt}\right|$이고, 구의 부피 감소율 P는 적도 원면적 변화율 $\frac{P}{2R}$로 이어진다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 직사각형 도체 루프는 xy평면에 있고, 자속밀도 $\vec{B} = 0.2e^{-0.1y}a_z[T]$ 내에서 원점으로부터 $\vec{v} = 5a_y[m/s]$로 멀어진다. $R = 5[\Omega]$이라고 하고 도체 루프의 두 변이 $y_1 = 2[m]$, $y_2 = 2.5[m]$에 있을 때의 전류 $[A]$는? (단, 도체 루프의 도선 저항은 무시한다)



① $\frac{2}{5}(e^{-0.2} - e^{-0.25})$

② $\frac{2}{5}(e^{-0.2} + e^{-0.25})$

③ $\frac{2}{5}(e^{-0.1} + e^{-0.15})$

④ $\frac{2}{5}(e^{-0.1} - e^{-0.15})$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 위치에 따라 달라지는 자속밀도 속에서 직사각형 루프가 이동할 때의 유도기전력과 전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $\vec{B} = 0.2e^{-0.1y}\vec{a}_z[T]$, $v = 5\vec{a}_y[m/s]$, $R = 5\Omega$, $l = 2m$, $y_1 = 2m$, $y_2 = 2.5m$
- 구해야 할 값: 루프에 흐르는 전류 I
- 주의할 조건: B는 y가 커질수록 감소하므로 두 세로변에서 생기는 유도기전력은 서로 반대방향이며 크기 차이만 남는다.

사용할 공식

$|\mathcal{E}| = lv\{B(y_1) - B(y_2)\}, \quad I = \frac{|\mathcal{E}|}{R}$

이 공식을 쓰는 이유는 속도 $\vec{v}$와 자속밀도 $\vec{B}$가 각각 $\vec{a}_y$, $\vec{a}_z$ 방향이어서 $\vec{v} \times \vec{B}$가 $\vec{a}_x$ 방향이 되고, x방향 길이를 가진 두 변에서만 운동기전력이 생기기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 변 위치의 자속밀도를 계산하면 $B(y_1) = 0.2e^{-0.2}, B(y_2) = 0.2e^{-0.25}$이다.
2. 전체 유도기전력의 크기는
$|\mathcal{E}| = lv\{B(y_1) - B(y_2)\} = 2 \times 5 \times 0.2(e^{-0.2} - e^{-0.25}) = 2(e^{-0.2} - e^{-0.25})$
이다.
3. 따라서 전류는
$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{2}{5}(e^{-0.2} - e^{-0.25})$
이다.
4. 루프가 $+y$방향으로 이동하면 $+z$방향 자속이 감소하므로 이를 보상하는 방향의 전류가 흐르며, 이는 그림의 화살표 방향과 일치한다.

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 바로 $\frac{2}{5}(e^{-0.2} - e^{-0.25})$이므로 옳다.
- 두 세로변의 유도기전력은 서로 반대방향이므로 차로 계산하는 것이 맞다.

② X
- $\frac{2}{5}(e^{-0.2} + e^{-0.25})$는 두 변의 기전력을 같은 방향으로 더한 값이다.
- 틀린 표현은 두 항을 더한 부분이다. 올바르게는 두 변이 서로 반대방향으로 작용하므로 $\frac{2}{5}(e^{-0.2} - e^{-0.25})$가 된다.

③ X
- 지수는 각 변의 실제 위치 $y_1 = 2, y_2 = 2.5$를 대입해 $-0.2, -0.25$가 되어야 한다.
- 틀린 표현은 $e^{-0.1}, e^{-0.15}$ 부분이다. 올바르게는 $e^{-0.2}, e^{-0.25}$를 써야 하며, 부호도 더하기가 아니라 빼기이다.

④ X
- ③과 같이 지수를 잘못 넣었고, ②와 같이 두 변의 기전력 차를 반영한 위치값도 틀렸다.
- 틀린 표현은 $e^{-0.1}, e^{-0.15}$ 부분이다. 올바르게는 $\frac{2}{5}(e^{-0.2} - e^{-0.25})$가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 세로변의 기전력을 무조건 더하는 실수와, $0.1y$에 실제 위치 $y = 2, 2.5$를 넣지 않고 폭 $0.5m$만 보고 지수를 잘못 쓰는 실수이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

운동유도 문제는 먼저 $\vec{v} \times \vec{B}$ 방향을 확인하고, 그 방향과 나란한 변만 골라 각 변 위치의 B값을 넣어 차인지 합인지 판단하면 된다.

암기 포인트

비균일 자계에서 움직이는 루프는 각 변의 B값이 다르므로 $I = \frac{lv}{R}\{B(y_1) - B(y_2)\}$ 형태로 정리된다.

NoteBase

문 11. 서로 다른 매질1과 매질2의 경계면에서, 정전계 및 정자계에 대한 아래 네 가지 경계조건 중 옳지 않은 것은? (단, ρ_s는 표면전하밀도, J_s는 표면전류밀도, μ_0는 자유공간의 투자율, 아래첨자 t는 경계면의 접선성분, 아래첨자 n은 경계면의 법선성분이다)

① $E_{1t} = E_{2t}$

② $D_{1n} - D_{2n} = \rho_s$

③ $H_{1t} - H_{2t} = J_s$

④ $B_{1n} - B_{2n} = \mu_0$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 서로 다른 두 매질의 경계면에서 전기장과 자계의 접선성분·법선성분 경계조건을 정확히 대응시키는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

정전계에서는 접선 전기장 E_t가 연속이어서 $E_{1t} = E_{2t}$이다.
전속밀도 D의 법선성분 차이는 표면전하밀도에 의해 정해져 $D_{1n} - D_{2n} = \rho_s$이다.
정자계에서는 자계 H의 접선성분 차이가 표면전류밀도에 의해 정해져 $H_{1t} - H_{2t} = J_s$이다.
자속밀도 B의 법선성분은 자기단극자가 없으므로 항상 연속이어서 $B_{1n} = B_{2n}$이다.

선지별 해설

① O
정전계에서 $\nabla \times E = 0$이므로 경계면을 가로지르는 접선 전기장은 불연속이 될 수 없다. 따라서 $E_{1t} = E_{2t}$는 옳다.

② O
가우스 법칙에 따라 전속밀도의 법선성분 차이는 표면전하밀도 ρ_s와 같다. 따라서 $D_{1n} - D_{2n} = \rho_s$는 옳다.

③ O
암페어 법칙에 따라 자계의 접선성분 차이는 표면전류밀도 J_s로 결정된다. 따라서 $H_{1t} - H_{2t} = J_s$는 옳다.

④ X
틀린 부분은 $B_{1n} - B_{2n} = \mu_0$라는 표현이다. 자속밀도 B의 법선성분 차이는 자유공간 투자율 μ_0가 아니라 0이므로, 올바르게는 $B_{1n} = B_{2n}$ 또는 $B_{1n} - B_{2n} = 0$이다.

NoteBase

오답 포인트

④는 H의 접선 경계조건과 B의 법선 경계조건을 섞어 놓은 함정이다. 학생들이 '자계'라는 말만 보고 μ_0를 반사적으로 연결하면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

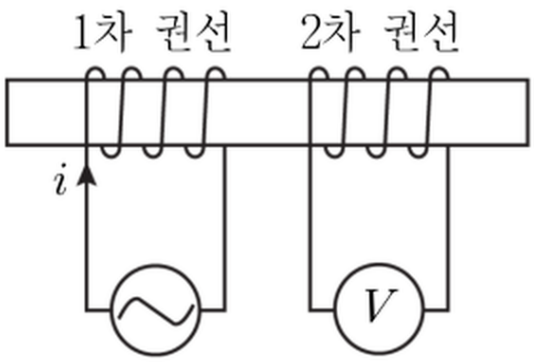
경계조건은 성분과 원인량을 짝지어 판단한다. 접선 E는 연속, 법선 D는 표면전하, 접선 H는 표면전류, 법선 B는 항상 연속이라는 순서로 대입하면 된다.

암기 포인트

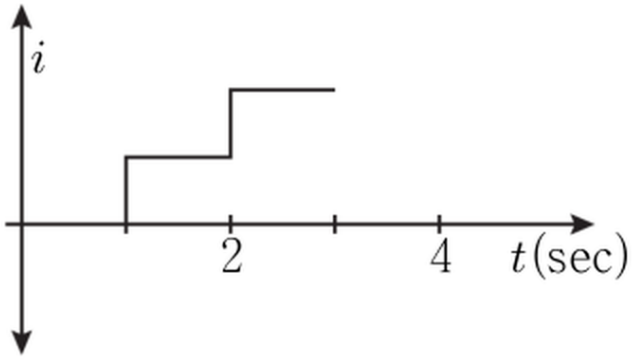
경계조건은 E_t 연속, D_n은 ρ_s, H_t는 J_s, B_n은 0차이로 묶어 기억한다.

NoteBase

문 12. <그림 1>과 같은 변압기가 있다. 변압기 1차 권선에 <그림 2>와 같은 계단파 전류가 입력되었다면, 변압기 2차 권선에 유도되는 전압 파형은?



<그림 1>



<그림 2>

① 삼각파

② 정현파

③ 계단파

④ 펄스파

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 변압기 2차 유도전압이 1차 전류 자체가 아니라 그 시간변화율 $\frac{di}{dt}$에 비례한다는 점을 도식으로 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 삼각파는 전압이 시간에 따라 기울기를 가지며 연속적으로 변하는 파형인데, 그림 2의 전류는 직선적으로 증가하지 않고 순간적으로 계단 상승한 뒤 일정하게 유지된다. 틀린 표현은 "삼각파"이고, 올바르게는 상승 순간에만 짧게 나타나는 펄스 성분이다.
② X: 정현파는 전류가 sin 함수처럼 연속적으로 주기 변화를 할 때 유도될 수 있는 파형인데, 이 문제의 전류는 주기적 연속파가 아니라 두 번의 계단 상승만 있는 비주기 입력이다. 틀린 표현은 "정현파"이고, 올바르게는 각 계단 변화 시점에서만 유도전압이 생긴다.
③ X: 계단파는 입력된 1차 전류의 모양이다. 2차 유도전압은 전류 i가 아니라 $\frac{di}{dt}$에 비례하므로, 전류가 일정한 구간에서는 0이고 변하는 순간에만 값이 생긴다. 틀린 표현은 "2차 권선의 유도전압이 계단파"라는 부분이고, 올바르게는 계단 변화 순간마다 짧은 펄스가 생긴다.
④ O: 이상적인 변압기에서 2차 유도전압은 자속의 시간변화율, 즉 1차 전류의 시간변화율에 비례한다. 따라서 그림 2처럼 전류가 두 번 급격히 증가하면 그 순간마다 짧은 전압 펄스가 발생하므로 펄스파가 맞다.

오답 포인트

전류 파형과 유도전압 파형을 그대로 같다고 보는 착각이 대표적 함정이다. 이 문항은 ③처럼 입력 전류의 계단 모양을 그대로 고르게 만들기 쉽지만, 변압기에서는 i가 아니라 $\frac{di}{dt}$를 봐야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

변압기나 코일의 유도전압을 묻는 문항은 먼저 입력 전류 또는 자속이 일정한지, 변하는지를 구분한다. 일정하면 유도전압은 0이고, 급변하면 그 순간에만 펄스가 생긴다고 판단한다.

암기 포인트

변압기 유도전압은 입력파형 자체가 아니라 변화하는 순간에 반응하므로 계단입력은 펄스출력으로 이어진다.

NoteBase

문 13. 서로 절연되어 있는 폭 $2[m]$의 철길 위를 열차가 시속 $72[km/h]$의 속도로 달리면서 바퀴축이 지구 자기장의 수직분력 $B = 2 \times 10^{-3}[T]$을 끊으면 철길 사이에 발생하는 기전력 $[V]$은?

① 2×10^{-2}

② 4×10^{-2}

③ 8×10^{-2}

④ 16×10^{-2}

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 도체가 자기장을 가로질러 운동할 때의 운동 기전력 공식을 이용해 철길 사이에 유기되는 전압을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 철길 간격 $l = 2m$, 열차 속도 $v = 72km/h$, 지구 자기장의 수직분력 $B = 2 \times 10^{-3}T$이다.
구해야 할 값은 철길 사이에 발생하는 기전력이다.
속도는 반드시 m/s로 바꾸어야 하므로 $72km/h = 20m/s$로 변환한다.

사용할 공식

운동 기전력은 $e = Blv$이다.
도체막대 역할을 하는 바퀴축이 자기장에 수직한 성분을 가로질러 이동하므로, 자기장 B, 유효 길이 l, 속도 v를 곱하는 공식이 그대로 적용된다.

계산 과정

1. 속도를 변환하면 $72km/h = 72 \times \frac{1000}{3600} = 20m/s$이다.
2. 공식에 대입하면 $e = Blv = (2 \times 10^{-3})(2)(20)$이다.
3. 계산하면 $e = 8 \times 10^{-2}V$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $2 \times 10^{-2} V$는 계산 결과와 다르다. 철길 간격 $2m$와 속도 $20m/s$를 모두 반영하면 $8 \times 10^{-2} V$가 되어야 한다. 틀린 값 $2 \times 10^{-2} V$ 대신 올바른 값은 $8 \times 10^{-2} V$이다.
② X: $4 \times 10^{-2} V$는 길이 $2m$ 또는 속도 변환을 일부만 반영했을 때 나오는 값이다. 운동 기전력은 B, l, v를 모두 곱해야 하므로 올바른 값은 $8 \times 10^{-2} V$이다.
③ O: $e = (2 \times 10^{-3})(2)(20) = 8 \times 10^{-2} V$이므로 계산 결과와 일치한다.
④ X: $16 \times 10^{-2} V$는 정답의 두 배이므로 값을 과대계산한 경우이다. 수직분력 $B = 2 \times 10^{-3} T$를 한 번만 써야 하므로 올바른 값은 $8 \times 10^{-2} V$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $72km/h$를 그대로 대입하는 단위 미변환과, 운동 기전력 공식에서 길이 l 또는 속도 v 하나를 빠뜨리는 계산 누락이다. 보기 ①, ②는 이런 누락을 노린 오답이고, ④는 값을 두 배로 과대계산하는 실수를 노린 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

열차·도체막대·레일처럼 도체가 자기장을 가로질러 움직이면 먼저 운동 기전력 $e = Blv$를 떠올리고, 다음에 속도를 m/s로 바꾼 뒤 B, l, v를 빠짐없이 곱해 판단한다.

암기 포인트

운동 기전력은 $e = Blv$이고, 속도 단위는 먼저 m/s로 맞춘다.

NoteBase

문 14. 평면 전자기파와 관련된 설명으로 옳지 않은 것은?

① 매질의 비유전율이 1000, 비투자율이 1인 경우, 전계벡터의 크기는 자계벡터의 크기보다 작다.

② 포인팅벡터의 방향은 전계벡터의 방향과 수직을 이룬다.

③ 매질의 비유전율이 커지면 위상속도는 줄어든다.

④ 전파전력 0.1[mW]은 -10[dBm]에 해당한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 평면 전자기파의 고유임피던스, 포인팅벡터의 방향, 위상속도, dBm 환산을 종합적으로 묻는 문제이다.

핵심 개념

평면 전자기파에서 전계와 자계의 크기비는 매질의 고유임피던스 $\eta = |E|/|H| = \sqrt{\mu/\varepsilon}$로 정해진다.
포인팅벡터는 $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$로 정의되므로 전계와 자계 모두에 수직인 진행방향을 나타낸다.
위상속도는 $v = 1/\sqrt{\mu\varepsilon} = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$이고, 전력의 dBm 값은 $10\log_{10}(P/1mW)$로 계산한다.

선지별 해설

① X: 평면파에서는 $|E|/|H| = \eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$이다. $\mu_r = 1, \varepsilon_r = 1000$이면 $\eta = 377\sqrt{1/1000} \approx 11.9$이므로 전계벡터의 수치적 크기가 자계벡터보다 크다. 틀린 표현은 "전계벡터의 크기는 자계벡터의 크기보다 작다"이다. 올바르게는 "전계벡터의 크기는 자계벡터의 크기보다 크다"이다.
② O: 포인팅벡터는 $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$이므로 전계벡터의 방향과 수직을 이루고, 동시에 자계벡터의 방향과도 수직이다.
③ O: 위상속도는 $v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$이므로 비유전율이 커지면 분모가 커져 위상속도는 줄어든다.
④ O: $0.1mW$를 dBm으로 바꾸면 $10\log_{10}(0.1) = -10$이므로 $-10dBm$이 맞다.

오답 포인트

①은 비유전율이 매우 크면 전계가 약해질 것 같다는 인상을 이용한 함정이다. 그러나 판단 기준은 절대적인 인상이 아니라 $|E|/|H| = \sqrt{\mu/\varepsilon}$라는 크기비 식이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 전자기파 문제는 먼저 $|E|/|H| = \eta$, $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$, $v = c/\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}$, $P[dBm] = 10\log_{10}(P[mW])$를 대응시켜 선지의 진위를 판단한다.

암기 포인트

고유임피던스는 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$, 위상속도는 $1/\sqrt{\mu\varepsilon}$, 포인팅벡터는 $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$이다.

NoteBase

문 15. 동일한 두 개의 축전기 A, B가 있다. A에는 10[V], B에는 20[V]를 가하여 축전시켰다. 두 축전기에 저장된 전하량의 비 Q_A/Q_B와 전기에너지의 비 W_A/W_B는?

① Q_A/Q_B: $\frac{1}{2}$, W_A/W_B: $\frac{1}{2}$
② Q_A/Q_B: $\frac{1}{2}$, W_A/W_B: $\frac{1}{4}$
③ Q_A/Q_B: 2, W_A/W_B: 2
④ Q_A/Q_B: 2, W_A/W_B: 4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 동일한 축전기에서 $Q = CV$, $W = \frac{1}{2}CV^2$를 적용해 전하량의 비와 저장 전기에너지의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: A의 전압은 $10V$, B의 전압은 $20V$이다.
구해야 할 값: Q_A/Q_B, W_A/W_B이다.
주의할 조건: 두 축전기는 동일하므로 정전용량 C가 서로 같다.

사용할 공식

전하량은 $Q = CV$, 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$이다.
같은 축전기에서는 C가 같으므로 전하량은 전압에 비례하고, 에너지는 전압의 제곱에 비례한다.

계산 과정

전하량의 비는 $\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{CV_A}{CV_B} = \frac{V_A}{V_B} = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}$이다.
전기에너지의 비는 $\frac{W_A}{W_B} = \frac{\frac{1}{2}CV_A^2}{\frac{1}{2}CV_B^2} = \frac{V_A^2}{V_B^2} = \frac{10^2}{20^2} = \frac{1}{4}$이다.
따라서 $(Q_A/Q_B, W_A/W_B) = (\frac{1}{2}, \frac{1}{4})$이다.

선지 판단

1번 X: 전하량의 비 Q_A/Q_B는 $\frac{1}{2}$로 맞지만, 에너지의 비는 전압에 비례하지 않고 전압의 제곱에 비례하므로 $\frac{1}{2}$가 아니다. 틀린 표현은 $W_A/W_B = \frac{1}{2}$이며, 올바르게는 $W_A/W_B = \frac{1}{4}$이다.
2번 O: $Q_A/Q_B = \frac{1}{2}$, $W_A/W_B = \frac{1}{4}$로 두 값이 모두 계산 결과와 일치한다.
3번 X: 전하량의 비를 거꾸로 보아 $Q_A/Q_B = 2$로 잡았고, 에너지의 비도 전압이 큰 쪽을 그대로 분자로 두어 $W_A/W_B = 2$로 잘못 판단한 선지이다. 틀린 표현은 $Q_A/Q_B = 2$, $W_A/W_B = 2$이며, 올바르게는 각각 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$이다.
4번 X: 두 비를 모두 역수로 적은 선지이다. 틀린 표현은 $Q_A/Q_B = 2$, $W_A/W_B = 4$이며, 올바르게는 각각 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$이다.

NoteBase

오답 포인트

같은 축전기에서 전하량과 에너지가 모두 전압에 비례한다고 섞어 생각하면 틀린다. 전하량은 V에 1차 비례하지만 저장 에너지는 V^2에 비례하므로 에너지 비를 구할 때 제곱을 한 번 더 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

동일한 축전기라는 조건이 보이면 먼저 C가 같다는 점을 확인하고, 전하량은 $Q = CV$로 전압비를 바로 쓰고, 에너지는 $W = \frac{1}{2}CV^2$로 전압비를 제곱해 판단한다.

암기 포인트

같은 축전기에서는 Q는 전압에 비례하고 W는 전압의 제곱에 비례한다.

NoteBase

문 16. 전송선로에서 $\frac{R}{L}=\frac{G}{C}$가 만족될 때 감쇠상수(α) 및 위상상수(β), 위상속도(v_p)는? (단, R, L, G, C는 전송선로의 단위길이당 저항, 인덕턴스, 컨덕턴스, 커패시턴스이다)

① $\alpha: R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta: \omega\frac{1}{\sqrt{LC}}$, $v_p: \sqrt{LC}$
② $\alpha: R\sqrt{\frac{L}{C}}$, $\beta: \omega\frac{1}{\sqrt{LC}}$, $v_p: \sqrt{LC}$
③ $\alpha: R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta: \omega\sqrt{LC}$, $v_p: \frac{1}{\sqrt{LC}}$
④ $\alpha: R\sqrt{\frac{L}{C}}$, $\beta: \omega\sqrt{LC}$, $v_p: \frac{1}{\sqrt{LC}}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전송선로의 무왜곡 조건 $\frac{R}{L}=\frac{G}{C}$에서 감쇠상수 α, 위상상수 β, 위상속도 v_p의 표준식을 정확히 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 $\frac{R}{L}=\frac{G}{C}$이다.
구해야 할 값은 α, β, v_p이다.
이 조건은 무왜곡선로 조건이므로 $\alpha=\sqrt{RG}$, $\beta=\omega\sqrt{LC}$, $v_p=\frac{\omega}{\beta}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$를 쓴다.

사용할 공식

$\alpha=\sqrt{RG}=R\sqrt{\frac{C}{L}}$
$\beta=\omega\sqrt{LC}$
$v_p=\frac{\omega}{\beta}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$
무왜곡 조건에서는 전파상수 γ를 정리하면 감쇠상수와 위상상수가 위 식으로 분리되므로 각 선지는 이 세 식과 직접 대조하면 된다.

계산 과정

1. 무왜곡 조건에서 $\alpha=\sqrt{RG}$이다.
2. $\frac{R}{L}=\frac{G}{C}$이므로 $RC=LG$이고, 따라서 $\sqrt{RG}=R\sqrt{\frac{C}{L}}=G\sqrt{\frac{L}{C}}$이다.
3. 같은 조건에서 $\beta=\omega\sqrt{LC}$이다.
4. 위상속도는 $v_p=\frac{\omega}{\beta}=\frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$이다.
5. 따라서 $\alpha=R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta=\omega\sqrt{LC}$, $v_p=\frac{1}{\sqrt{LC}}$를 모두 만족하는 3번이 정답이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$는 맞지만, β를 $\omega\frac{1}{\sqrt{LC}}$로 둔 부분이 틀리다. 올바르게는 $\beta = \omega\sqrt{LC}$이다. 또한 v_p도 $\sqrt{LC}$가 아니라 $\frac{1}{\sqrt{LC}}$이다.
② X: α를 $R\sqrt{\frac{L}{C}}$로 둔 부분이 틀리다. 올바르게는 $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$이다. β도 $\omega\frac{1}{\sqrt{LC}}$가 아니라 $\omega\sqrt{LC}$이고, v_p도 $\sqrt{LC}$가 아니라 $\frac{1}{\sqrt{LC}}$이다.
③ O: $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta = \omega\sqrt{LC}$, $v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$로 무왜곡선로의 표준식과 모두 일치한다.
④ X: $\beta = \omega\sqrt{LC}$, $v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$는 맞지만, α를 $R\sqrt{\frac{L}{C}}$로 둔 부분이 틀리다. 올바르게는 $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 β와 v_p를 서로 역수 관계로 보지 않고 뒤바꾸는 실수와, α에서 $\sqrt{\frac{C}{L}}$와 $\sqrt{\frac{L}{C}}$를 바꾸는 실수이다. 특히 $v_p = \frac{\omega}{\beta}$이므로 $\beta = \omega\sqrt{LC}$가 나오면 v_p는 자동으로 $\frac{1}{\sqrt{LC}}$가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

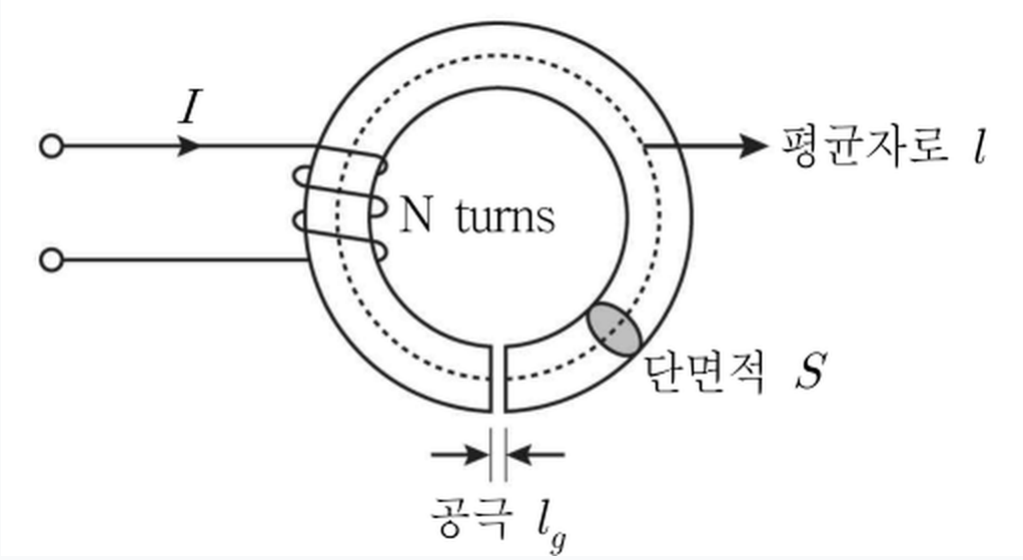
무왜곡 조건 $\frac{R}{L} = \frac{G}{C}$가 보이면 먼저 $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta = \omega\sqrt{LC}$를 바로 떠올리고, 이어서 $v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$인지 확인하면 된다. 즉 β에는 $\sqrt{LC}$가 곱해지고, v_p에는 $\sqrt{LC}$가 분모로 간다고 판단하면 된다.

암기 포인트

무왜곡선로는 $\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}}$, $\beta = \omega\sqrt{LC}$, $v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$이다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 비투자율 μ_r, 평균자로의 길이 $l[m]$, 단면적 $S[m^2]$인 환형 강자성체가 있다. 간격 $l_g[m]$인 미소공극을 만들면 자기저항은 공극이 없을 때의 몇 배인가? (단, $l \gg l_g$, $\mu_r \gg 1$로 가정한다)



① $1+\frac{\mu_r l_g}{l}$
② $1-\frac{\mu_r l_g}{l}$
③ $1+\frac{\mu_r l_g}{lS}$
④ $1-\frac{\mu_r l_g}{lS}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 환형 강자성체에 공극이 생길 때 전체 자기저항이 철심 자기저항과 공극 자기저항의 직렬합이 된다는 점을 이용해 자기저항의 배수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 비투자율 μ_r, 평균자로 길이 l, 단면적 S, 공극 길이 l_g이다.
구해야 할 값: 공극이 있을 때 자기저항이 공극이 없을 때의 몇 배인지이다.
주의할 조건: $l \gg l_g$, $\mu_r \gg 1$이므로 철심 부분 길이는 거의 l로 보고, 공극의 퍼짐자속 효과는 무시한다.

NoteBase

사용할 공식

자기저항은 $\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S}$이다.
철심의 투자율은 $\mu_0\mu_r$, 공극의 투자율은 μ_0이므로
$\mathcal{R}_0 = \frac{l}{\mu_0\mu_r S}$
$\mathcal{R}_g = \frac{l}{\mu_0\mu_r S} + \frac{l_g}{\mu_0 S}$
이 공식을 쓰는 이유는 철심과 공극이 자속 경로에서 직렬로 이어져 각 구간의 자기저항이 더해지기 때문이다.

계산 과정

1. 공극이 없을 때 자기저항은 $\mathcal{R}_0 = \frac{l}{\mu_0\mu_r S}$이다.
2. 공극이 있을 때는 철심 자기저항과 공극 자기저항을 더해 $\mathcal{R}_g = \frac{l}{\mu_0\mu_r S} + \frac{l_g}{\mu_0 S}$이다.
3. 배수를 구하면
$\frac{\mathcal{R}_g}{\mathcal{R}_0} = \frac{\frac{l}{\mu_0\mu_r S} + \frac{l_g}{\mu_0 S}}{\frac{l}{\mu_0\mu_r S}} = 1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$
따라서 자기저항은 $1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$배가 된다.

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$이므로 맞는 식이다. 공극이 생기면 자기저항은 기존값에 공극 자기저항만큼 더해져 반드시 증가한다.
② X: $1 - \frac{\mu_r l_g}{l}$는 공극이 생길수록 자기저항이 감소한다는 뜻이므로 물리적으로 맞지 않는다. 틀린 표현은 앞의 마이너스 부호이며, 올바르게는 $1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$이다.
③ X: $1 + \frac{\mu_r l_g}{lS}$는 단면적 S가 약분되는 사실을 놓친 식이다. 분자와 분모에 모두 S가 있으므로 배수식에는 S가 남지 않는다. 올바르게는 $1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$이다.
④ X: $1 - \frac{\mu_r l_g}{lS}$는 ③의 단면적 처리 오류에 더해 부호까지 틀린 식이다. 공극은 자기저항을 증가시키므로 마이너스가 될 수 없고, S도 소거된다. 올바르게는 $1 + \frac{\mu_r l_g}{l}$이다.

오답 포인트

공극이 추가되면 자기저항이 직렬로 더해진다는 구조를 놓치면 부호를 음수로 잘못 쓰기 쉽다. 또 배수를 구하는 과정에서 분자와 분모에 공통으로 들어 있는 μ_0와 S가 약분된다는 점을 놓치면 ③, ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기저항 배수 문제는 먼저 공극 유무에 따라 경로를 철심과 공극으로 나누고, 각 자기저항을 직렬합으로 쓴 뒤, 마지막에 원래 자기저항으로 나누어 공통 인자가 소거되는지 확인하면 된다.

암기 포인트

공극이 생기면 자기저항은 더해지고, 배수식에서는 공통 단면적 S가 소거된다.

NoteBase

문 18. 유전체 내에 원점을 중심으로 반지름 $2[m]$인 구에 균등하게 전하가 분포되어 있다. 구 표면의 전속밀도 크기가 $20[C/m^2]$이다. 구의 체적전하밀도$[C/m^3]$는?

① 7.5

② 15

③ 30

④ 60

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 구대칭 전하분포에서 가우스 법칙으로 구 표면의 전속밀도 D와 체적전하밀도 ρ_v의 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반지름 $r = 2m$, 구 표면 전속밀도 $D = 20C/m^2$이다.
구해야 할 값: 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$이다.
주의할 조건: 전하가 구 내부에 균일하게 분포하므로 총전하는 $Q = \rho_v \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$이다.

사용할 공식

$\oint DdS = Q$
$D \cdot 4\pi r^2 = \rho_v \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$
$D = \frac{\rho_v r}{3}$
이 공식을 쓰는 이유는 전하분포가 구대칭이고, 문제에서 구 표면의 전속밀도 값을 주었으므로 반지름 r인 구면에 가우스 법칙을 직접 적용할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 구 표면 $r = 2m$에서 $D = 20C/m^2$를 대입한다.
2. $D = \frac{\rho_v r}{3}$에서 $20 = \frac{\rho_v \cdot 2}{3}$이다.
3. 따라서 $\rho_v = 20 \times \frac{3}{2} = 30C/m^3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

값 $7.5C/m^3$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 체적전하밀도는 $30C/m^3$이다. 이 값은 구의 체적과 표면적의 비를 잘못 처리하거나 $\frac{3}{2}$를 반대로 곱한 경우에 나오기 쉬운 오답이다.

② X

값 $15C/m^3$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 체적전하밀도는 $30C/m^3$이다. 이는 20에 반지름 2를 그대로 나누기만 하고 가우스 법칙에서 생기는 계수 $\frac{3}{2}$를 빠뜨린 경우의 오답이다.

③ O

계산 결과가 정확히 $30C/m^3$이므로 옳다. 균일 체적전하를 가진 반지름 $2m$ 구에서는 표면 전속밀도 $20C/m^2$가 체적전하밀도 $30C/m^3$에 대응한다.

④ X

값 $60C/m^3$는 계산 결과의 두 배이므로 틀리다. 올바르게는 체적전하밀도는 $30C/m^3$이다. 이는 $\rho_v = \frac{3D}{r}$에서 $r = 2$를 나누지 않고 곱한 경우에 생기는 오답이다.

오답 포인트

전속밀도 D와 체적전하밀도 ρ_v를 바로 같은 차원처럼 취급하면 오답이 된다. 이 문항의 핵심 함정은 구대칭 가우스 면에서 표면적 $4\pi r^2$와 체적 $\frac{4}{3}\pi r^3$를 정리한 뒤 $D = \frac{\rho_v r}{3}$를 만들지 못하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

균일 체적전하가 구에 분포하고 표면의 D 또는 E를 주면 먼저 구면 가우스 법칙을 세운다. 그다음 표면적과 체적을 각각 써서 r에 대한 비례식으로 정리하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

균일 대전체 구의 표면에서는 $D = \frac{\rho_v r}{3}$이다.

NoteBase

문 19. 무손실 동축선의 단위길이당 정전용량 $C=\frac{2}{3}$[nF/m]이고, 내·외도체 사이에 비유전율 $\varepsilon_r=3$, 비투자율 $\mu_r=3$인 매질이 채워져 있을 때, 주파수 $f=100$[MHz]에서 이 전송선로의 특성 임피던스[Ω]는?

① $\frac{2}{3}\times 10$
② $\frac{2}{3}\times 10^2$
③ $\frac{3}{2}\times 10$
④ $\frac{3}{2}\times 10^2$

정답 3번

출제 포인트

무손실 전송선로에서 $v=1/\sqrt{LC}$, $Z_0=\sqrt{L/C}=1/(vC)$ 관계를 이용해 특성 임피던스를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 단위길이당 정전용량 $C=\frac{2}{3}\times 10^{-9}F/m$, 비유전율 $\varepsilon_r=3$, 비투자율 $\mu_r=3$
구해야 할 값: 특성 임피던스 Z_0
주의할 조건: 무손실 선로이므로 $R=0, G=0$이다. 주파수 $100MHz$는 무손실 선로의 Z_0 계산에 직접 필요하지 않다.

사용할 공식

무손실 전송선로에서는 $v=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{c}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}}$, $Z_0=\sqrt{\frac{L}{C}}=\frac{1}{vC}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 C와 매질의 μ_r, ε_r를 주었으므로 먼저 전파속도 v를 구한 뒤 $Z_0=1/(vC)$로 바로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 전파속도는 $v=\frac{3\times 10^8}{\sqrt{3\times 3}}=\frac{3\times 10^8}{3}=10^8 m/s$이다.
2. 특성 임피던스는 $Z_0=\frac{1}{vC}=\frac{1}{10^8\times\left(\frac{2}{3}\times 10^{-9}\right)}$이다.
3. 따라서 $Z_0=\frac{1}{\frac{2}{3}\times 10^{-1}}=15\Omega=\frac{3}{2}\times 10\Omega$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과는 15Ω이므로 $\frac{2}{3} \times 10\Omega$와 다르다. 틀린 표현은 값 자체이며, 올바르게는 $\frac{3}{2} \times 10\Omega$이다.

② X
계산 결과는 15Ω이므로 $\frac{2}{3} \times 10^2\Omega$와 다르다. 틀린 표현은 값 자체이며, 올바르게는 $\frac{3}{2} \times 10\Omega$이다.

③ O
계산한 특성 임피던스가 15Ω이므로 $\frac{3}{2} \times 10\Omega$와 일치한다.

④ X
계산 결과는 15Ω이므로 $\frac{3}{2} \times 10^2\Omega$와 다르다. 틀린 표현은 값 자체이며, 올바르게는 $\frac{3}{2} \times 10\Omega$이다.

오답 포인트

주파수 $100MHz$가 보이면 주파수를 직접 식에 넣어야 한다고 오해하기 쉽다. 이 문항은 무손실 선로의 특성 임피던스를 묻는 문제이므로 μ_r, ε_r로 전파속도를 구하고, 이미 주어진 C와 결합해 $Z_0 = 1/(vC)$를 쓰면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

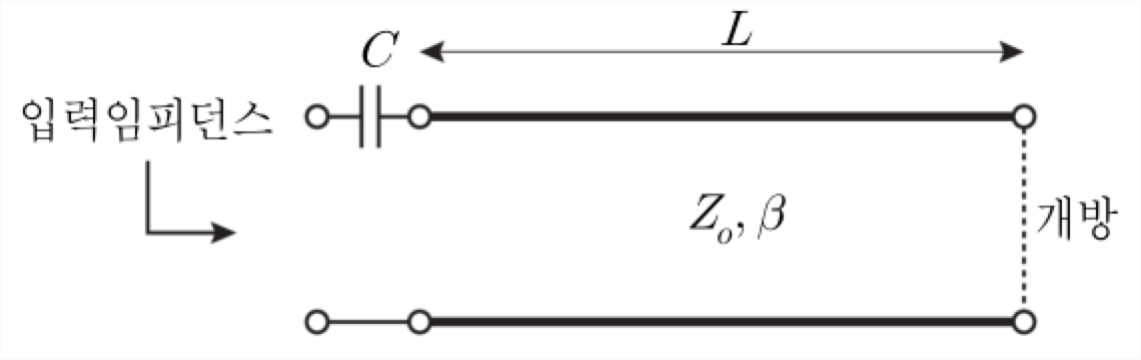
무손실 전송선로에서 C와 매질 상수가 함께 주어지면 먼저 $v = c/\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$를 계산하고, 이어서 $Z_0 = 1/(vC)$ 또는 $Z_0 = \sqrt{L/C}$로 연결해 판단한다.

암기 포인트

무손실 선로는 $v = 1/\sqrt{LC}$, $Z_0 = \sqrt{L/C} = 1/(vC)$ 관계로 연결된다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 특성임피던스가 Z_0[Ω], 위상상수가 β[rad/m]인 무손실 전송선로의 끝이 개방되어 있다. 개방된 지점으로부터 길이 L[m]만큼 떨어진 지점에 커패시터를 직렬 연결할 경우, 입력 임피던스의 허수 부분이 0이 될 조건은? (단, ω는 각속도이고 커패시터의 길이는 무시한다)



① $C = -\frac{1}{\omega Z_0 \tan \beta L}$
② $C = -\frac{1}{\omega Z_0 \cot \beta L}$
③ $C = -\frac{\sin \beta L}{\omega Z_0}$
④ $C = -\frac{\cos \beta L}{\omega Z_0}$

정답 2번

출제 포인트

개방 종단 무손실 전송선로의 입력임피던스 $Z_{in} = -jZ_0\cot(\beta L)$와 직렬 커패시터의 리액턴스 $-j/(\omega C)$가 서로 상쇄되는 조건을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 특성임피던스 Z_0, 위상상수 β인 무손실 전송선로의 끝은 개방되어 있고, 개방단에서 L만큼 떨어진 위치에 커패시터 C가 직렬 연결되어 있다.
구해야 할 값: 입력임피던스의 허수 부분이 0이 되게 하는 C이다.
주의할 조건: 개방 종단 전송선로의 입력임피던스는 tan이 아니라 cot가 들어간다.

NoteBase

사용할 공식

개방 종단 길이 L인 무손실 전송선로의 입력임피던스는
$Z_{stub} = -jZ_0\cot(\beta L)$
직렬 커패시터의 임피던스는
$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$
따라서 전체 입력임피던스는 직렬합으로 계산한다.
$Z_{in} = Z_C + Z_{stub}$
이 공식을 쓰는 이유: 커패시터가 전송선로와 직렬이고, 전송선로 오른쪽 끝이 개방 종단이므로 개방 종단 입력임피던스 공식을 그대로 적용하면 된다.

계산 과정

1. 개방 종단 전송선로 부분의 입력임피던스를 $Z_{stub} = -jZ_0\cot(\beta L)$로 둔다.
2. 커패시터 임피던스를 $Z_C = -j/(\omega C)$로 둔다.
3. 직렬합을 구하면
$Z_{in} = -j\left(\frac{1}{\omega C} + Z_0\cot(\beta L)\right)$
4. 허수 부분이 0이 되려면 괄호 안이 0이어야 하므로
$\frac{1}{\omega C} + Z_0\cot(\beta L) = 0$
5. 정리하면
$C = -\frac{1}{\omega Z_0\cot(\beta L)}$
이 된다.

선지별 해설

① X: $C = -1/(\omega Z_0\tan(\beta L))$는 개방 종단 식에서 cot를 tan으로 잘못 바꾼 값이다. 개방 종단 전송선로의 입력임피던스는 $-jZ_0\cot(\beta L)$이므로 올바르게는 $C = -1/(\omega Z_0\cot(\beta L))$이다.
② O: 직렬 커패시터와 개방 종단 전송선로의 허수 성분을 합쳐 0으로 두면 $C = -1/(\omega Z_0\cot(\beta L))$가 된다. 정답 식과 일치한다.
③ X: $C = -\sin(\beta L)/(\omega Z_0)$는 $-1/\cot(\beta L) = -\tan(\beta L)$를 정리하는 과정에서 분모의 $\cos(\beta L)$를 빠뜨린 식이다. 올바르게는 $C = -\sin(\beta L)/(\omega Z_0\cos(\beta L))$ 또는 $C = -\tan(\beta L)/(\omega Z_0)$이다.
④ X: $C = -\cos(\beta L)/(\omega Z_0)$는 $\tan(\beta L) = \sin(\beta L)/\cos(\beta L)$ 관계를 잘못 단순화한 식이다. 올바르게는 $\cos(\beta L)$만 남는 것이 아니라 $C = -\sin(\beta L)/(\omega Z_0\cos(\beta L))$가 되어야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 개방 종단과 단락 종단의 입력임피던스 공식을 뒤바꾸는 것이다. 이 문제에서는 개방 종단이므로 $jZ_0\tan(\beta L)$가 아니라 $-jZ_0\cot(\beta L)$를 써야 하며, 마지막에 $1/\cot(\beta L) = \tan(\beta L)$로 바꾸는 과정에서 $\cos(\beta L)$를 빠뜨리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로에 리액턴스 소자가 직렬로 붙으면 먼저 종단 조건으로 전송선로 입력임피던스를 정하고, 그다음 직렬 임피던스를 더한 뒤 허수부만 따로 0으로 두면 된다. 개방 종단이면 cot, 단락 종단이면 tan이라는 기준으로 바로 판별할 수 있다.

암기 포인트

개방 종단은 $Z_{in} = -jZ_0\cot(\beta L)$, 단락 종단은 $Z_{in} = jZ_0\tan(\beta L)$이다.

NoteBase