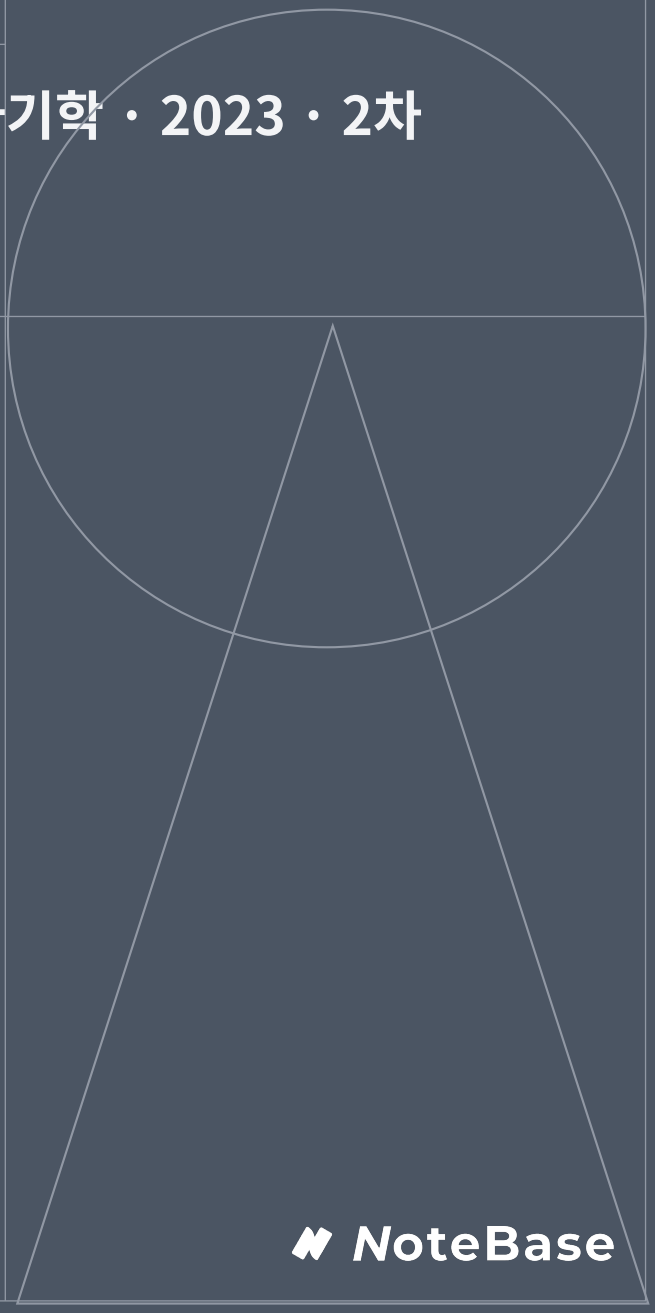
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2023 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2023 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전기자기학 · 2023 · 2차

문 1. 정전계 경계조건에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 두 유전체 사이 경계면에서 전계의 법선 성분은 연속이다.

② 두 유전체 사이 경계면에서 전속밀도의 접선 성분은 연속이다.

③ 완전 도체와 자유공간 사이 경계면에서 전계의 접선 성분은 영이다.

④ 완전 도체와 자유공간 사이 경계면에서 전계의 법선 성분은 도체상의 표면전하밀도와 같다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유전체 경계와 도체 경계에서 연속이 되는 성분과 0이 되는 성분을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

전계 E는 전하에 작용하는 힘의 세기를 나타내는 장이고, 경계에서 접선 성분은 정전계에서 연속이다.
전속밀도 D는 유전율이 반영된 전기 플럭스 밀도이고, 경계에서 법선 성분은 자유 표면전하밀도와 연결된다.
완전 도체 내부는 정전평형에서 $E = 0$이므로 도체 표면 바로 바깥에서는 접선 성분이 0이고, 법선 성분은 표면전하에 의해 결정된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
두 유전체 사이 경계에서 연속인 것은 전계의 접선 성분이다. 틀린 표현은 "전계의 법선 성분은 연속"이다. 올바르게는 "자유 표면전하가 없으면 전속밀도의 법선 성분이 연속"이다.

② X
두 유전체 사이 경계에서 전속밀도의 접선 성분은 일반적으로 연속 조건이 아니다. 틀린 표현은 "전속밀도의 접선 성분은 연속"이다. 올바르게는 "전계의 접선 성분이 연속"이다.

③ O
완전 도체와 자유공간의 경계면에서는 정전평형 때문에 도체 표면의 접선 방향 전계가 존재할 수 없다. 따라서 전계의 접선 성분은 0이 된다.

④ X
완전 도체 표면에서 표면전하밀도와 직접 연결되는 것은 전속밀도의 법선 성분 D_n이다. 틀린 표현은 "전계의 법선 성분은 도체상의 표면전하밀도와 같다"이다. 올바르게는 "전속밀도의 법선 성분이 도체상의 표면전하밀도와 같다"이다.

오답 포인트

①과 ②는 E와 D, 법선과 접선을 서로 바꾸어 놓은 전형적인 혼동 선지이다. ④도 표면전하밀도와 연결되는 물리량이 E인지 D인지 바꾸어 놓아 헷갈리게 만든다.

다시 나오면 이렇게 판단

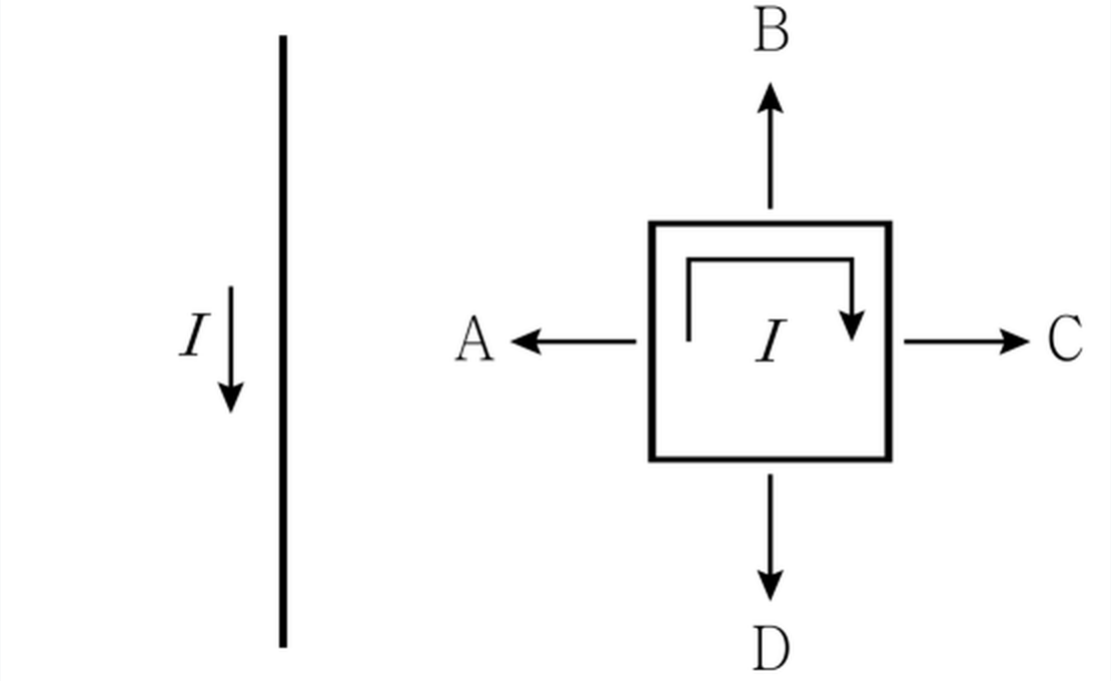
경계조건 문제는 먼저 "접선은 E, 법선은 D"를 기준으로 본다. 도체가 나오면 추가로 "도체 표면의 접선 전계는 0"을 바로 적용하면 된다.

암기 포인트

접선은 E, 법선은 D, 도체 표면 접선 E는 0이다.

NoteBase

문 2. 무한히 긴 직선 도선과 정사각형 루프 도선이 동일한 평면에 있고, 동일한 크기의 전류 I[A]가 그림에 주어진 방향으로 각각 흐를 때, 정사각형 루프 도선이 받는 알짜 자기력의 방향은?



① A

② B

③ C

④ D

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 직선 도선이 만드는 자기장의 방향과 루프 각 변에 작용하는 $\mathbf{F} = I\mathbf{l} \times \mathbf{B}$의 방향을 비교하여 정사각형 루프의 알짜 자기력 방향을 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
A는 왼쪽, 즉 직선 도선 쪽이다. 직선 도선의 오른쪽 영역에서는 자기장이 종이 바깥쪽을 향한다. 루프 전류는 시계방향이므로 왼쪽 변 전류는 위쪽, 오른쪽 변 전류는 아래쪽이다.
가까운 왼쪽 변은 직선 도선과 반평행 전류라 반발력으로 오른쪽 힘을 크게 받고, 먼 오른쪽 변은 왼쪽 힘을 받지만 자기장이 더 약해 크기가 작다. 따라서 알짜힘은 A가 아니다.
틀린 표현은 "왼쪽으로 힘을 받는다"이다. 올바르게는 "오른쪽 힘이 더 크게 작용한다"이다.

② X
위쪽 변에는 오른쪽 방향 전류가 흐르므로 아래쪽 힘을 받고, 아래쪽 변에는 왼쪽 방향 전류가 흘러 위쪽 힘을 받는다. 두 힘은 같은 분포의 자기장 안에서 서로 상쇄된다.
따라서 위쪽 알짜힘은 생기지 않는다.
틀린 표현은 "위쪽 성분이 남는다"이다. 올바르게는 "위아래 힘은 서로 상쇄된다"이다.

③ O
C는 오른쪽이다. 루프의 왼쪽 변은 직선 도선에 더 가까워 자기장이 강하므로 오른쪽 반발력을 크게 받고, 오른쪽 변은 더 멀어 왼쪽 힘이 작다. 위쪽 변과 아래쪽 변의 수직 힘은 서로 상쇄되므로 전체 알짜힘은 오른쪽이 된다.

④ X
D는 아래쪽이다. 아래쪽 힘은 위쪽 변에서만 보이는 것이 아니라, 아래쪽 변에서 같은 크기의 위쪽 힘이 함께 생긴다. 따라서 수직 성분은 남지 않는다.
틀린 표현은 "아래쪽 힘이 알짜힘이 된다"이다. 올바르게는 "수직 성분은 상쇄되고 수평 성분만 남는다"이다.

오답 포인트

직선 도선과 가까운 변, 먼 변의 힘 크기가 다르다는 점을 놓치면 좌우 힘이 상쇄된다고 오판하기 쉽다. 또 위쪽 변과 아래쪽 변의 힘 방향만 보고 B나 D를 고르면, 두 수직 성분이 서로 상쇄된다는 점을 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 직선 도선이 만드는 자기장의 방향을 오른손법칙으로 정한다. 다음으로 루프 각 변의 전류 방향을 잡고 $\mathbf{F} = I \times \mathbf{B}$로 힘 방향을 정한다. 마지막으로 도선에 가까운 변과 먼 변의 자기장 세기를 비교하면 알짜힘 방향을 바로 판단할 수 있다.

암기 포인트

직선 도선 옆 루프의 알짜힘은 가까운 평행변의 힘이 지배하고, 위아래 변의 힘은 서로 상쇄된다.

NoteBase

문 3. TEM 모드로 동작하는 무손실 전송선로에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 특성 임피던스는 주파수에 따라 변한다.

② 감쇠 상수와 특성 임피던스는 모두 영이다.

③ 위상 속도는 전송선로를 구성하는 절연체의 유전율 및 투자율과 관계없다.

④ 위상 상수는 전송선로를 구성하는 절연체의 유전율 및 투자율과 주파수에 따라 결정된다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 무손실 TEM 전송선로에서 특성 임피던스, 감쇠 상수, 위상 속도, 위상 상수가 무엇으로 결정되는지를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

특성 임피던스는 진행파의 전압과 전류의 비로서 무손실 선로에서는 $Z_0 = \sqrt{L/C}$로 주파수와 무관하다.
감쇠 상수는 파의 크기가 줄어드는 정도로서 무손실 선로에서는 $\alpha = 0$이다.
위상 속도는 파가 진행하는 속도로서 $v_p = 1/\sqrt{LC} = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$이다.
위상 상수는 위상의 공간적 변화량으로서 $\beta = \omega\sqrt{LC} = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$이므로 주파수와 매질 상수에 따라 결정된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
무손실 TEM 선로의 특성 임피던스는 $Z_0 = \sqrt{L/C}$이므로 주파수에 따라 변하지 않는다.
틀린 표현은 "주파수에 따라 변한다"이다. 올바르게는 "무손실 선로의 특성 임피던스는 선로 정수 L, C에 의해 정해진다"이다.

② X
무손실 선로에서는 감쇠 상수 α는 0이지만, 특성 임피던스 Z_0는 0이 아니라 $\sqrt{L/C}$라는 유한한 값을 가진다.
틀린 표현은 "감쇠 상수와 특성 임피던스는 모두 영"이다. 올바르게는 "감쇠 상수만 0이고 특성 임피던스는 0이 아니다"이다.

③ X
위상 속도는 $v_p = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$이므로 절연체의 유전율과 투자율에 직접 관계된다.
틀린 표현은 "관계없다"이다. 올바르게는 "위상 속도는 유전율과 투자율이 커질수록 작아진다"이다.

④ O
위상 상수는 $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$이므로 전송선로를 이루는 절연체의 유전율, 투자율, 그리고 주파수에 따라 결정된다.
무손실 TEM 선로의 위상 특성을 정확히 설명한 선지이다.

오답 포인트

감쇠 상수 α가 0이라는 사실과 특성 임피던스 Z_0까지 0이라는 주장을 혼동하기 쉽다. 또 위상 속도 v_p와 위상 상수 β를 모두 주파수 의존량으로 묶어 외우면 ③과 ④를 뒤바꾸기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

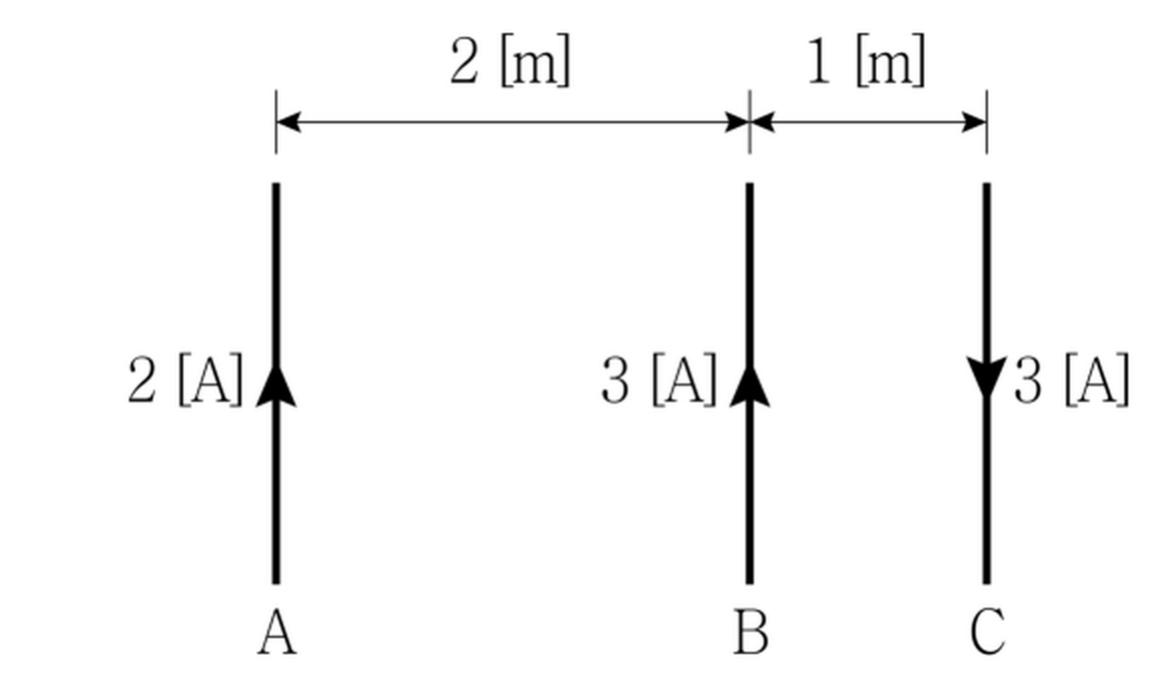
무손실 TEM 선로가 나오면 먼저 $R = G = 0$에서 $\alpha = 0$, $Z_0 = \sqrt{L/C}$, $v_p = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$, $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$를 대응시켜 본다. 그다음 주파수에 따라 변하는 것은 β이고, 매질과 관계되는 것은 v_p와 β라는 점을 대조하면 된다.

암기 포인트

무손실 TEM 선로는 $\alpha = 0$, Z_0는 주파수와 무관, v_p는 $\mu\varepsilon$로 결정, β는 $\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$이다.

NoteBase

문 4. 자유공간에 무한히 긴 3개의 직선 도선 A, B, C가 동일한 평면 내에 서로 평행하게 배치되어 있고, 전류가 그림과 같이 각각 흐를 때, 가장 큰 알짜 자기력을 받는 도선은?



① A

② B

③ C

④ 모두 동일하다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평행 도선 사이의 자기력 크기가 $F/L \propto I_1 I_2/d$에 비례한다는 관계와, 전류 방향이 같으면 인력이고 반대면 척력이라는 원리를 이용해 각 도선의 알짜 힘을 비교하는 문제이다.

조건 정리

도선 A에는 위쪽으로 $2A$, 도선 B에는 위쪽으로 $3A$, 도선 C에는 아래쪽으로 $3A$가 흐른다.
거리 조건은 $AB = 2m$, $BC = 1m$, $AC = 3m$이다.
같은 방향 전류는 서로 끌어당기고, 반대 방향 전류는 서로 밀어낸다.

NoteBase

사용할 공식

무한 평행 도선 사이의 단위길이당 자기력은 $F/L = \mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)$이다.
세 도선의 상대적 크기만 비교하면 되므로 공통상수 $\mu_0/(2\pi)$는 생략하고 $I_1 I_2/d$만 계산하면 된다.

계산 과정

A와 B 사이 힘의 크기는 2 × 3/2 = 3이다.
B와 C 사이 힘의 크기는 3 × 3/1 = 9이다.
A와 C 사이 힘의 크기는 2 × 3/3 = 2이다.
A는 B에게는 인력으로 오른쪽 3, C에게는 척력으로 왼쪽 2를 받아 알짜힘 크기가 1이다.
B는 A에게는 인력으로 왼쪽 3, C에게는 척력으로 왼쪽 9를 받아 알짜힘 크기가 12이다.
C는 B에게는 척력으로 오른쪽 9, A에게는 척력으로 오른쪽 2를 받아 알짜힘 크기가 11이다.

선지 판단

1번 X: A의 알짜힘 크기는 1이므로 가장 크지 않다. 틀린 표현은 "A가 가장 큰 알짜 자기력을 받는다"이고, 올바르게는 "A는 가장 작은 알짜 자기력을 받는다"이다.
2번 O: B는 왼쪽으로 3과 9가 같은 방향으로 더해져 알짜힘 크기가 12가 된다. 세 도선 중 가장 크므로 옳다.
3번 X: C의 알짜힘 크기는 11로 크지만 B의 12보다 작다. 틀린 표현은 "C가 가장 큰 알짜 자기력을 받는다"이고, 올바르게는 "C는 두 번째로 큰 알짜 자기력을 받는다"이다.
4번 X: 세 도선의 알짜힘 크기는 각각 1, 12, 11로 서로 다르다. 틀린 표현은 "모두 동일하다"이고, 올바르게는 "도선마다 전류 방향과 거리 조건이 달라 알짜힘 크기가 다르다"이다.

오답 포인트

B와 C 사이 거리 $1m$가 가장 짧아 힘이 크게 작용한다는 점을 놓치기 쉽다. 또 B는 A와는 같은 방향이라 끌리고 C와는 반대 방향이라 밀리는데, 두 힘이 모두 왼쪽으로 작용해 더해진다는 방향 판단을 틀리면 C를 정답으로 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

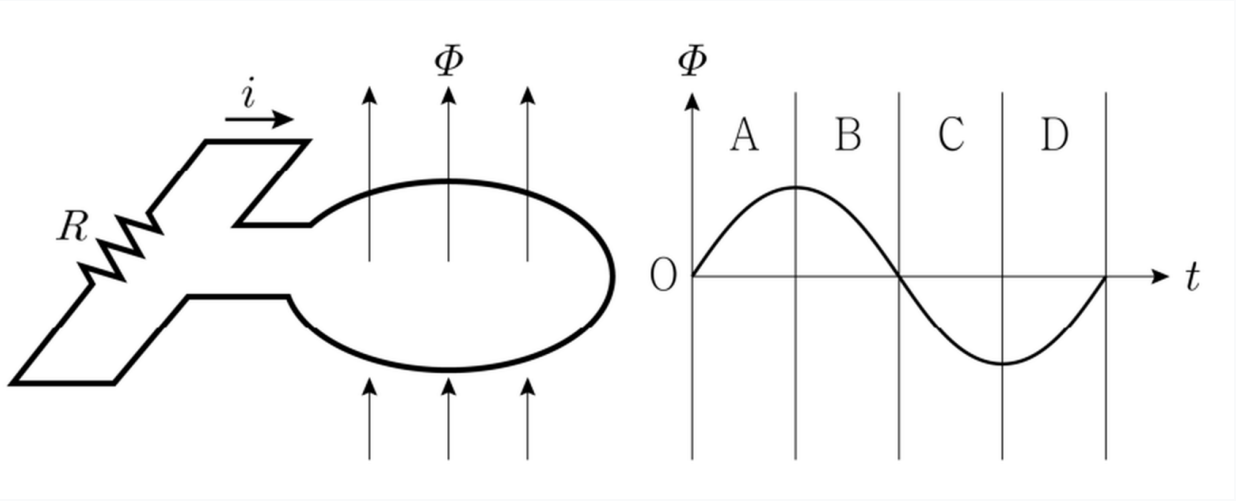
평행 도선 문제는 먼저 각 도선 쌍마다 전류 방향이 같은지 반대인지로 인력·척력을 정한 뒤, $I_1 I_2/d$로 힘의 상대 크기를 구하고, 마지막에 같은 방향 힘은 더하고 반대 방향 힘은 빼서 알짜힘을 비교하면 된다.

암기 포인트

평행 도선 자기력은 같은 방향이면 인력, 반대 방향이면 척력이고, 크기는 $I_1 I_2/d$에 비례한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같이 원형 루프 도선에 쇄교하는 자속 Φ[Wb]가 시간에 따라 정현적으로 변할 때, 이 원형 루프 도선에 유도되는 전류 i[A]가 양(+)으로 흐르는 구간은? (단, 그림에 보인 i의 방향을 양(+)으로 정하며, 원형 루프의 전압과 전류는 동상이다)



① A와 B

② B와 C

③ C와 D

④ D와 A

정답 4번

출제 포인트

유도전류의 방향을 렌츠의 법칙으로 판단하는 문제이다. 그림의 +Φ는 위쪽 방향이고, 그림의 +i 방향으로 전류가 흐를 때 루프가 만드는 자속은 오른손 법칙상 +Φ와 반대방향이므로, +Φ가 증가하는 구간에서만 +i가 흐른다.

NoteBase

선지별 해설

① X
A에서는 Φ가 증가하므로 이를 막기 위해 $+i$가 흐른다. 그러나 B에서는 Φ가 감소하므로 감소를 막기 위해 $-i$가 흘러야 한다. 틀린 표현은 'B에서도 양전류가 흐른다'이고, 올바르게는 B에서는 음전류가 흐른다.

② X
B와 C는 모두 그래프의 기울기가 음수인 구간으로 $d\Phi/dt < 0$이다. 이때는 감소하는 $+\Phi$를 보상하려고 $+\Phi$ 방향의 자속을 만드는 전류가 필요하므로 전류 부호는 $-$가 된다. 틀린 표현은 'B와 C에서 양전류가 흐른다'이고, 올바르게는 B와 C에서는 음전류가 흐른다.

③ X
C에서는 Φ가 감소하므로 음전류가 흐르고, D에서는 Φ가 증가하므로 양전류가 흐른다. 따라서 두 구간이 함께 정답이 될 수 없다. 틀린 표현은 'C도 양전류 구간이다'이고, 올바르게는 C는 음전류 구간이다.

④ O
D와 A는 모두 Φ가 증가하는 구간으로 $d\Phi/dt > 0$이다. 증가하는 $+\Phi$를 방해하려면 루프는 반대방향 자속을 만들어야 하고, 그 방향이 바로 그림에서 정한 $+i$ 방향이므로 두 구간 모두 양전류가 흐른다.

오답 포인트

많이 틀리는 지점은 i의 부호를 단순히 $-d\Phi/dt$와만 연결하고, 그림에서 정한 $+i$가 어떤 자속 방향을 만드는지 확인하지 않는 점이다. 이 문제는 $+i$가 $+\Phi$와 같은 방향이 아니라 반대방향 자속을 만든다는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 그림에서 정한 $+i$ 방향이 어떤 방향의 자속을 만드는지 오른손 법칙으로 정한다. 그다음 Φ-t 그래프에서 증가 구간과 감소 구간을 나누고, 변화에 반대하는 방향으로 유도전류 부호를 결정하면 된다.

암기 포인트

유도전류는 항상 자속의 '현재 방향'이 아니라 '변화'를 막는다. 부호는 $d\Phi/dt$만 보지 말고, 문제에서 정한 $+i$가 만드는 자속 방향부터 맞춰야 한다.

NoteBase

문 6. 특성 임피던스가 $Z_0[\Omega]$, 위상 상수가 $\beta[rad/m]$인 무손실 전송선로가 부하 임피던스 $Z_L[\Omega]$로 종단되어 있다. 부하로부터 $\ell[m]$만큼 떨어진 지점에서 입력 임피던스 $Z_{in}[\Omega]$에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, λ는 전송선로에서 전파하는 신호의 파장이다)

① 부하로부터 $\ell = \frac{\lambda}{4}$인 지점에서 $Z_{in} = \frac{Z_L^2}{Z_0}$이다.

② 부하가 단락 회로이면, $Z_{in} = jZ_0\tan(\beta\ell)$이다.

③ 부하가 개방 회로이면, $Z_{in} = -jZ_0\cot(\beta\ell)$이다.

④ 부하가 전송선로의 특성 임피던스에 정합되어 있으면, $Z_{in} = Z_0$이다.

정답 1번

출제 포인트

무손실 전송선로의 입력 임피던스 일반식과 단락, 개방, 정합, $\lambda/4$ 선로의 특수 결과를 정확히 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 특성 임피던스가 Z_0, 위상 상수가 β인 무손실 전송선로가 부하 임피던스 Z_L로 종단되었다는 점이다.
구하는 내용은 부하로부터 ℓ만큼 떨어진 지점의 입력 임피던스 Z_{in}에 대한 선지의 옳고 그름이다.
발문은 '옳지 않은 것'을 고르는 형태이므로 틀린 식 하나를 찾으면 된다.

사용할 공식

무손실 전송선로의 입력 임피던스는
$Z_{in} = Z_0\frac{Z_L + jZ_0\tan(\beta\ell)}{Z_0 + jZ_L\tan(\beta\ell)}$
이다.
이 식에 특수 조건을 대입하면 $\lambda/4$ 선로, 단락 종단, 개방 종단, 정합 종단의 결과를 바로 판정할 수 있다.

계산 과정

1. $\ell = \lambda/4$이면 $\beta\ell = 2\pi(\ell/\lambda) = \pi/2$이므로 $\tan(\beta\ell)$는 무한대로 발산하는 형태가 된다.
2. 이때 일반식의 지배항만 보면
$Z_{in} \approx Z_0\frac{jZ_0\tan(\beta\ell)}{jZ_L\tan(\beta\ell)} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$
이므로 $\lambda/4$ 변환기의 결과는 Z_L^2/Z_0가 아니라 Z_0^2/Z_L이다.
3. 단락 종단은 $Z_L = 0$, 개방 종단은 $Z_L \to \infty$, 정합 종단은 $Z_L = Z_0$를 대입하여 바로 확인할 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$\ell = \lambda/4$인 지점의 입력 임피던스는 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$이다. 선지의 틀린 표현은 Z_L^2/Z_0이며, 올바르게는 '부하로부터 $\ell = \lambda/4$인 지점에서 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$이다'가 된다.

② O

부하가 단락이면 $Z_L = 0$이므로 일반식에 대입하면

$Z_{in} = Z_0\frac{jZ_0\tan(\beta\ell)}{Z_0} = jZ_0\tan(\beta\ell)$

이 된다. 단락 종단 입력 임피던스 식을 정확히 쓴 선지이다.

③ O

부하가 개방이면 $Z_L \to \infty$로 볼 수 있으므로 지배항을 정리하면

$Z_{in} = Z_0\frac{Z_L}{jZ_L\tan(\beta\ell)} = -jZ_0\cot(\beta\ell)$

이 된다. 개방 종단에서 tan이 아니라 $-\cot$으로 바뀐다는 점까지 맞는 선지이다.

④ O

부하가 특성 임피던스에 정합되면 $Z_L = Z_0$이다. 이때 반사가 없으므로 선로 어느 지점에서도 입력 임피던스는 Z_0로 유지된다. 따라서 $Z_{in} = Z_0$는 옳다.

오답 포인트

$\lambda/4$ 선로의 결과를 외울 때 분자와 분모를 뒤집는 실수가 가장 흔하다. 이 문항의 ①은 바로 그 혼동을 노린 선지이며, $\lambda/4$ 변환기는 '부하를 역수 형태로 변환한다'는 점을 놓치면 쉽게 속게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로 입력 임피던스 문항은 먼저 일반식 Z_{in}을 기준으로 두고, 그다음 $Z_L = 0$, $Z_L \to \infty$, $Z_L = Z_0$, $\ell = \lambda/4$ 같은 특수 조건을 바로 대입해 판단하면 된다. $\lambda/4$가 보이면 변환 결과가 Z_0^2/Z_L인지부터 가장 먼저 확인하는 방식이 유효하다.

암기 포인트

$\lambda/4$ 선로는 임피던스를 $Z_{in} = Z_0^2/Z_L$로 역변환하고, 단락은 $jZ_0\tan$, 개방은 $-jZ_0\cot$, 정합은 항상 Z_0이다.

NoteBase

문 7. 비투자율이 $\mu_r = 5$인 자성체 내에 자속밀도가 $\mathbf{B} = \mathbf{a}_y 10x[\mathrm{Wb/m^2}]$일 때, 자화체적전류밀도 $\mathbf{J}_b[\mathrm{A/m^2}]$는? (단, μ_0는 자유공간의 투자율이다)

① $\mathbf{a}_x \frac{8}{\mu_0}$

② $-\mathbf{a}_x \frac{8}{\mu_0}$

③ $\mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$

④ $-\mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 선형 자성체에서 $\mathbf{M}$을 구한 뒤 자화체적전류밀도 $\mathbf{J}_b = \nabla \times \mathbf{M}$를 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 비투자율 $\mu_r = 5$, 자속밀도 $\mathbf{B} = \mathbf{a}_y 10x[Wb/m^2]$이다.
구해야 할 값은 자화체적전류밀도 $\mathbf{J}_b[A/m^2]$이다.
선형 자성체이므로 $\mu = \mu_0\mu_r$, $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$, $\mathbf{M} = \chi_m\mathbf{H} = (\mu_r - 1)\mathbf{H}$를 사용한다.

사용할 공식

$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0\mu_r}$, $\mathbf{M} = (\mu_r - 1)\mathbf{H}$, $\mathbf{J}_b = \nabla \times \mathbf{M}$이다.
이 문제는 자속밀도 분포가 먼저 주어졌고 물질의 μ_r가 일정하므로 $\mathbf{H}$와 $\mathbf{M}$을 순서대로 구한 뒤 컬을 취하면 된다.

계산 과정

1. $\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0\mu_r} = \frac{\mathbf{a}_y 10x}{5\mu_0} = \mathbf{a}_y \frac{2x}{\mu_0}$이다.
2. $\chi_m = \mu_r - 1 = 4$이므로 $\mathbf{M} = \chi_m\mathbf{H} = 4 \cdot \mathbf{a}_y \frac{2x}{\mu_0} = \mathbf{a}_y \frac{8x}{\mu_0}$이다.
3. $\mathbf{M} = \mathbf{a}_y \frac{8x}{\mu_0}$이므로
$\nabla \times \mathbf{M} = \mathbf{a}_z\left(\frac{\partial M_y}{\partial x} - \frac{\partial M_x}{\partial y}\right) = \mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$
이다.
따라서 $\mathbf{J}_b = \mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$이다.

선지별 해설

1번 X: 계산 결과 방향은 $\mathbf{a}_z$이므로 $\mathbf{a}_x \frac{8}{\mu_0}$는 방향이 틀렸다. 틀린 표현은 $\mathbf{a}_x$이고, 올바르게는 $\mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$이다.
2번 X: 방향도 $\mathbf{a}_x$로 틀리고 부호도 음수가 아니다. 틀린 표현은 $-\mathbf{a}_x \frac{8}{\mu_0}$이고, 올바르게는 $\mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$이다.
3번 O: $\mathbf{M} = \mathbf{a}_y \frac{8x}{\mu_0}$에서 x에 대한 변화율만 남으므로 $\nabla \times \mathbf{M} = \mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$가 된다.
4번 X: 크기 $\frac{8}{\mu_0}$는 맞지만 컬의 방향이 $+\mathbf{a}_z$이므로 음수 부호가 틀렸다. 틀린 표현은 $-\mathbf{a}_z$이고, 올바르게는 $\mathbf{a}_z \frac{8}{\mu_0}$이다.

NoteBase

오답 포인트

자화전류를 $\mathbf{J}_b = \nabla \times \mathbf{M}$ 대신 $\mathbf{B}$에 바로 컬을 취해 구하거나, $\mathbf{a}_y$ 성분의 컬 방향을 $\mathbf{a}_x$로 잘못 잡으면 오답이 된다. 특히 $\nabla \times (\mathbf{a}_y f(x)) = \mathbf{a}_z \frac{df}{dx}$라는 방향 판단에서 많이 틀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

선형 자성체 문제는 $\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{H} \rightarrow \mathbf{M} \rightarrow \nabla \times \mathbf{M}$ 순서로 정리하면 된다. 마지막에는 어떤 성분이 어느 변수에 따라 변하는지만 보고 컬의 방향과 부호를 확인하면 된다.

암기 포인트

$\mathbf{J}_b = \nabla \times \mathbf{M}$, $\mathbf{M} = (\mu_r - 1)\mathbf{H}$, $\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$를 연결하면 자화전류 문제를 바로 풀 수 있다.

NoteBase

문 8. 비유전율 $\varepsilon_r = 9$인 무손실 비자성 매질을 진행하는 균일 평면 전자기파의 전계가 $\mathbf{E}(y, z, t) = \mathbf{a}_x 2\cos(5 \times 10^8 t + 4y - k_z z)[V/m]$일 때, z축 방향의 위상 상수 $k_z[rad/m]$는? (단, 자유공간에서 광속은 $3 \times 10^8[m/s]$이다)

① 3

② 4

③ 5

④ 6

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 균일 평면파의 전체 위상상수 β와 방향별 위상상수 성분의 관계를 이용해 k_z를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\varepsilon_r = 9, \mu_r = 1, \omega = 5 \times 10^8 rad/s$, 자유공간 광속 $c = 3 \times 10^8 m/s$이다.
전계는 $E(y, z, t) = a_x 2\cos(5 \times 10^8 t + 4y - k_z z)[V/m]$이다.
구해야 할 값은 z축 방향의 위상상수 k_z이다.
주의할 조건은 매질이 비자성이므로 파속 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$이고, 전체 위상상수는 공간항 계수들의 벡터 크기라는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}, \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r}}{c}, \beta^2 = k_y^2 + k_z^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 식이 y, z축 방향으로 진행하는 균일 평면파의 위상식이므로, 매질에서의 전체 위상상수 β를 먼저 구한 뒤 각 축 성분의 제곱합으로 분해할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 파속은 $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{9}} = 10^8[m/s]$이다.
2. 전체 위상상수는 $\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{5 \times 10^8}{10^8} = 5[rad/m]$이다.
3. 위상식의 y축 성분 크기는 $4[rad/m]$이므로 $\beta^2 = 4^2 + k_z^2$이다.
4. 따라서 $k_z = \sqrt{5^2 - 4^2} = \sqrt{9} = 3[rad/m]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
계산 결과 $k_z = 3[rad/m]$이므로 옳다.

② X
틀린 표현은 $k_z = 4[rad/m]$라는 값이다. $4[rad/m]$는 식에 이미 주어진 y축 방향 위상상수 성분이고, 올바르게는 $k_z = 3[rad/m]$이다.

③ X
틀린 표현은 $k_z = 5[rad/m]$라는 값이다. $5[rad/m]$는 전체 위상상수 β이며 z축 성분이 아니다. 올바르게는 $k_z = \sqrt{\beta^2 - 4^2} = 3[rad/m]$이다.

④ X
틀린 표현은 $k_z = 6[rad/m]$라는 값이다. 성분의 크기는 전체 위상상수보다 클 수 없으므로 $6 > \beta = 5$가 되어 물리적으로 맞지 않는다. 올바르게는 $k_z = 3[rad/m]$이다.

오답 포인트

식의 $+4y$를 보고 4를 바로 k_z로 착각하기 쉽다. 또 전체 위상상수 β와 축방향 성분 k_z를 구분하지 못하면 5를 답으로 고르기 쉽다. 이 문제의 함정은 전체 크기와 성분을 혼동하게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 평면파 문제는 먼저 $v \to \beta$를 구한 뒤, 위상식에서 읽은 축방향 성분들과 $\beta^2 = \sum k_i^2$ 관계를 적용해 남은 성분을 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

비자성 유전체에서는 $\beta = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon_r}}{c}$이고, 방향 성분은 전체 위상상수의 벡터 성분이다.

NoteBase

문 9. 자유공간에서 $x = 4[m]$ 평면에 면전하밀도 $3[nC/m^2]$의 무한 면전하가 놓여 있고, $x = -2[m]$, $z = 0$에 선전하밀도 $6[nC/m]$의 무한 선전하가 존재한다. 원점에서 전계 $\mathbf{E}[V/m]$는? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이다)

① $\mathbf{a}_x \frac{3\times10^{-9}}{4\varepsilon_0}\left(1+\frac{2}{\pi}\right)$
② $\mathbf{a}_x \frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}\left(1+\frac{1}{\pi}\right)$
③ $-\mathbf{a}_x \frac{3\times10^{-9}}{4\varepsilon_0}\left(1-\frac{2}{\pi}\right)$
④ $-\mathbf{a}_x \frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}\left(1-\frac{1}{\pi}\right)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 무한 면전하와 무한 선전하가 만드는 전계를 중첩하여 원점의 합성 전계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $x = 4m$ 평면에 면전하밀도 $\sigma = 3\times10^{-9}C/m^2$, $x = -2m$, $z = 0$인 무한 선전하에 선전하밀도 $\lambda = 6\times10^{-9}C/m$이다.
구해야 할 값: 원점에서의 전계 $\vec{E}$이다.
주의할 조건: 양전하이므로 전계 방향은 전하로부터 멀어지는 방향이며, 두 전계는 모두 x축 방향 성분만 가진다.

사용할 공식

무한 면전하의 전계는 $\vec{E}_{\text{sheet}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$이며 면에 수직으로 바깥쪽을 향한다.
무한 선전하의 전계는 $\vec{E}_{\text{line}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$이며 선전하에서 반☒ 방향으로 바깥쪽을 향한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 전하 분포가 각각 무한 평면과 무한 직선이기 때문이다.

계산 과정

원점은 $x = 4m$ 평면의 왼쪽에 있으므로 면전하가 만드는 전계는 $-a_x$ 방향이다.
$\vec{E}_{\text{sheet}} = -a_x \frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}$
원점은 $x = -2m$ 선전하의 오른쪽으로 $\rho = 2m$ 떨어져 있으므로 선전하가 만드는 전계는 $+a_x$ 방향이다.
$\vec{E}_{\text{line}} = a_x \frac{6\times10^{-9}}{2\pi\varepsilon_0\cdot 2} = a_x \frac{3\times10^{-9}}{2\pi\varepsilon_0}$
따라서 합성 전계는
$\vec{E} = \vec{E}_{\text{sheet}} + \vec{E}_{\text{line}} = -a_x \frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0} + a_x \frac{3\times10^{-9}}{2\pi\varepsilon_0} = -a_x \frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}\left(1-\frac{1}{\pi}\right)$
최종적으로 $-a_x$ 방향이므로 4번 식과 일치한다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$+a_x$ 방향으로 쓴 점이 틀렸고, 면전하 항의 계수도 잘못되었다. 원점에서 면전하 전계는 $+a_x$가 아니라 $-a_x$ 방향이며 크기는 $\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}$이다. 틀린 표현은 $+a_x\frac{3\times10^{-9}}{4\varepsilon_0}(1+\frac{2}{\pi})$이고, 올바르게는 $-a_x\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}(1-\frac{1}{\pi})$이다.

② X

선전하 항 $\frac{1}{\pi}$는 맞지만 전체 방향을 $+a_x$로 본 점이 틀렸다. 면전하 전계의 크기가 더 커서 합성 결과는 $-a_x$ 방향이 된다. 틀린 표현은 $+a_x\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}(1+\frac{1}{\pi})$이고, 올바르게는 $-a_x\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}(1-\frac{1}{\pi})$이다.

③ X

전체 방향은 $-a_x$로 보았지만 면전하 항을 $\frac{3\times10^{-9}}{4\varepsilon_0}$처럼 절반으로 잘못 잡았다. 선전하까지 묶은 계수 정리도 맞지 않는다. 틀린 표현은 $-a_x\frac{3\times10^{-9}}{4\varepsilon_0}(1-\frac{2}{\pi})$이고, 올바르게는 $-a_x\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}(1-\frac{1}{\pi})$이다.

④ O

면전하는 $-a_x$ 방향으로 $\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}$, 선전하는 $+a_x$ 방향으로 $\frac{3\times10^{-9}}{2\pi\varepsilon_0}$를 만든다. 두 전계를 중첩하면 $-a_x\frac{3\times10^{-9}}{2\varepsilon_0}(1-\frac{1}{\pi})$가 되어 정답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 면전하 전계의 방향을 잘못 잡거나, 선전하 거리 $\rho=2m$를 분모에 넣은 뒤 계수를 정리하면서 $\frac{1}{\pi}$를 $\frac{2}{\pi}$로 바꾸는 실수이다. 이 문항은 방향과 계수 정리를 동시에 점검하는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

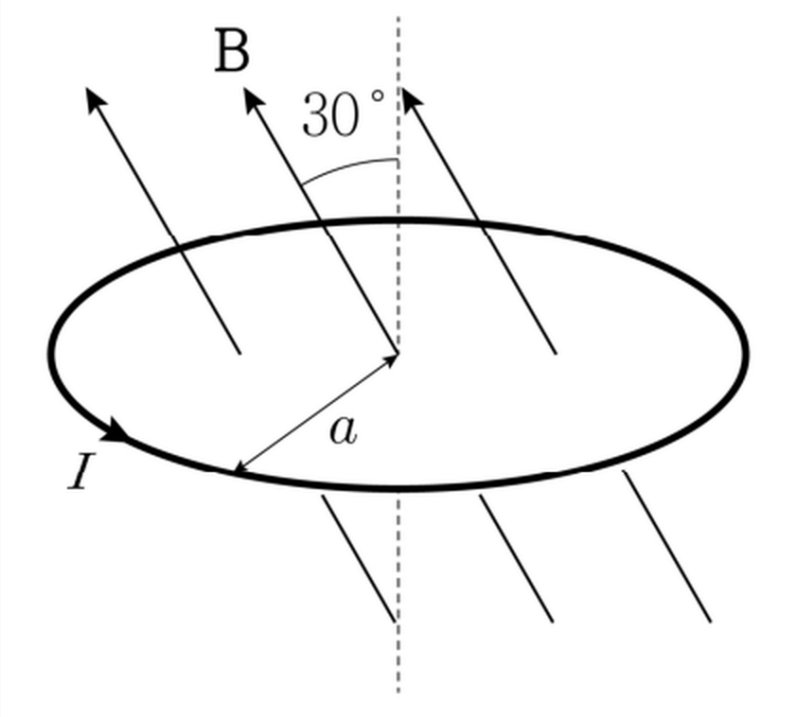
무한 전하 분포 문제는 각 전하가 만드는 전계의 방향을 먼저 정한 뒤, 면전하는 $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, 선전하는 $\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0\rho}$를 각각 계산하고 마지막에 벡터 부호까지 포함해 중첩하면 된다.

암기 포인트

무한 면전하는 항상 $\sigma/2\varepsilon_0$, 무한 선전하는 항상 $\lambda/2\pi\varepsilon_0\rho$이며, 양전하의 전계 방향은 전하에서 멀어지는 쪽이다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 자유공간에서 균일한 자속밀도 B[Wb/m^2]가 존재하고, 자속밀도 방향과 30 °의 각도를 이루고 있는 반지름이 a[m]인 원형 도선에 전류 I[A]가 흐를 때, 이 도선이 받는 토크의 크기 [N · m]는?



① $\frac{\pi a^2 IB}{2}$
② $\frac{\pi a^2 IB}{\sqrt{2}}$
③ $\frac{\sqrt{3}\pi a^2 IB}{2}$
④ $\sqrt{2}\pi a^2 IB$

정답 1번

출제 포인트

원형 전류 고리의 토크 공식을 적용하여 자기모멘트와 자속밀도 사이의 각으로 토크를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 반지름 a, 전류 I, 자속밀도 B이다.
원형 도선의 면적은 $A = \pi a^2$이다.
그림의 30 °는 도선 면의 법선벡터, 즉 자기모멘트 방향과 B 사이의 각이다.

NoteBase

사용할 공식

전류 고리가 받는 토크의 크기는 $\tau = mB\sin\theta = IAB\sin\theta$이다.
이 문제는 균일한 자계 속 전류 고리의 회전효과를 묻고 있으므로 자기모멘트 $m = IA$와 자속밀도 B 사이의 각을 쓰는 이 공식을 적용한다.

계산 과정

1. 원형 도선의 면적은 $A = \pi a^2$이다.
2. 자기모멘트와 자속밀도 사이의 각은 $\theta = 30^\circ$이다.
3. 따라서
$\tau = IAB\sin\theta = I(\pi a^2)B\sin 30^\circ = I(\pi a^2)B \cdot \frac{1}{2} = \frac{\pi a^2 IB}{2}$
이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $\frac{\pi a^2 IB}{2}$이므로 맞다.
② X: $\frac{\pi a^2 IB}{\sqrt{2}}$는 $\sin 30^\circ$ 대신 $\sin 45^\circ$에 해당하는 값을 잘못 넣은 형태이다. 올바르게는 $\tau = \frac{\pi a^2 IB}{2}$이다.
③ X: $\frac{\sqrt{3}\pi a^2 IB}{2}$는 $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ$를 써서 각을 잘못 해석한 값이다. 그림의 30°는 법선과 B의 각이므로 올바르게는 $\sin 30^\circ$를 써서 $\tau = \frac{\pi a^2 IB}{2}$가 된다.
④ X: $\sqrt{2}\pi a^2 IB$는 토크 계수 $\sin\theta$가 1보다 클 수 없다는 점에서 바로 배제된다. 올바르게는 $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$를 곱한 $\tau = \frac{\pi a^2 IB}{2}$이다.

오답 포인트

도선의 면과 B의 각을 쓰는지, 도선 면의 법선과 B의 각을 쓰는지를 혼동하기 쉽다. 토크 공식 $\tau = IAB\sin\theta$의 θ는 항상 자기모멘트 방향, 즉 면의 법선과 자계 사이의 각이다.

다시 나오면 이렇게 판단

전류 고리 토크 문제는 먼저 면적 A를 구하고, 다음으로 그림에서 법선벡터와 자계 사이의 각을 찾은 뒤 $\tau = IAB\sin\theta$에 대입하면 된다.

암기 포인트

전류 고리 토크는 $\tau = IAB\sin\theta$이고, 여기서 θ는 도선 면이 아니라 법선과 자계의 각이다.

NoteBase

문 11. 전속밀도 $\mathbf{D} = 2xz\mathbf{a}_x - z^2\mathbf{a}_y - xy\mathbf{a}_z[C/m^2]$일 때, 점 $(1, 1, 1)[m]$에서 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$는?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 전속밀도의 발산을 구해 체적전하밀도 ρ_v를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전속밀도는 $\mathbf{D} = \mathbf{a}_x 2xz - \mathbf{a}_y z^2 - \mathbf{a}_z xy[C/m^2]$이다.
구해야 할 값은 점 $(1, 1, 1)[m]$에서의 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$이다.
체적전하밀도는 전속밀도의 발산이므로 각 성분을 자기 변수로 미분해야 한다.

사용할 공식

사용할 공식은 $\rho_v = \nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 체적전하밀도가 맥스웰 방정식 $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$로 정의되기 때문이다.

계산 과정

$D_x = 2xz, D_y = -z^2, D_z = -xy$이다.
따라서 $\frac{\partial D_x}{\partial x} = 2z, \frac{\partial D_y}{\partial y} = 0, \frac{\partial D_z}{\partial z} = 0$이다.
그러므로 $\rho_v = 2z$이다.
점 $(1, 1, 1)$에서 $z = 1$이므로 $\rho_v = 2[C/m^3]$이다.

선지별 해설

1번 O: 계산 결과 체적전하밀도는 $2[C/m^3]$이므로 옳다.
2번 X: $4[C/m^3]$는 발산을 구하지 않고 각 성분에 $(1, 1, 1)$을 대입한 뒤 $2 + 1 + 1$처럼 크기만 더할 때 나오는 오답이다. 체적전하밀도는 4가 아니라 2이다.
3번 X: $6[C/m^3]$는 $\frac{\partial D_x}{\partial x} = 2z$만 남는다는 점을 놓치고 다른 항까지 임의로 더한 값이다. 실제로 $\frac{\partial D_y}{\partial y} = 0, \frac{\partial D_z}{\partial z} = 0$이므로 체적전하밀도는 6이 아니라 2이다.
4번 X: $8[C/m^3]$는 발산의 정의와 맞지 않는 값이다. 이 문제의 발산은 $2z$뿐이어서 점 $(1, 1, 1)$에서 8이 될 수 없다. 체적전하밀도는 8이 아니라 2이다.

NoteBase

오답 포인트

전속밀도 성분값을 그대로 더하면 안 되고, 반드시 발산을 구해야 한다는 점이 함정이다. 특히 $-z^2$를 y로 미분하면 0이고, $-xy$를 z로 미분해도 0이라는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터장이 주어지면 먼저 D_x, D_y, D_z를 분리한 뒤 각 성분을 자기 변수로만 미분해 발산을 만든다. 그다음 마지막에 좌표값을 대입하면 계산 실수가 줄어든다.

암기 포인트

체적전하밀도는 $\rho_v = \nabla \cdot \mathbf{D}$이며, 발산은 각 성분을 자기 변수로만 미분한다.

NoteBase

문 12. 고유 임피던스가 $(1+j)[\Omega]$인 액체 안에서 주파수 $1[MHz]$의 균일 평면 전자기파가 전파되고 있을 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 전계와 자계의 위상차는 45°이다.

② 액체의 전기 전도도는 0보다 크다.

③ 전계와 자계는 수직을 이루지 않는다.

④ 전파 거리에 따라서 전계의 크기는 지수함수적으로 감소한다.

정답 3번

출제 포인트

고유 임피던스의 복소수 형태에서 전계와 자계의 위상차, 손실 매질 여부, 전파 시 감쇠 특성을 함께 판별하는 문제이다.

핵심 개념

고유 임피던스 $\eta = E/H$는 평면 전자기파에서 전계와 자계의 비이다.
η가 복소수이면 손실 매질이므로 전계와 자계 사이에 위상차가 생기고, 전파하면서 크기는 감쇠한다.
다만 위상차가 생겨도 균일 평면파에서 전계와 자계의 방향은 서로 수직이다.

선지별 해설

① O
$\eta = 1+j = \sqrt{2}\angle 45^\circ\,[\Omega]$이므로 고유 임피던스의 위상각은 45°이다. 따라서 전계와 자계의 위상차는 45°이다.

② O
손실이 없는 유전체라면 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$처럼 순실수이다. η가 $1+j$처럼 복소수라는 것은 $\eta = \sqrt{j\omega\mu/(\sigma+j\omega\varepsilon)}$에서 전도도 σ가 0보다 큰 손실 매질임을 뜻한다.

③ X
틀린 부분은 "수직을 이루지 않는다"이다. 균일 평면파에서는 손실 매질이어도 전계와 자계의 방향은 서로 수직이고, 달라지는 것은 방향 관계가 아니라 위상 관계이다.

④ O
손실 매질에서는 전파정수 $\gamma = \alpha + j\beta$에서 감쇠정수 $\alpha > 0$가 되어 전계 크기가 $e^{-\alpha z}$ 꼴로 줄어든다. 따라서 전파 거리에 따라 전계의 크기는 지수함수적으로 감소한다.

NoteBase

오답 포인트

③은 위상차와 방향의 수직성을 섞어 놓은 함정이다. 전계와 자계가 같은 위상이 아니어도 균일 평면파에서는 서로 직교하고, 복소 고유 임피던스는 위상차와 감쇠를 뜻할 뿐 직교성 파괴를 뜻하지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

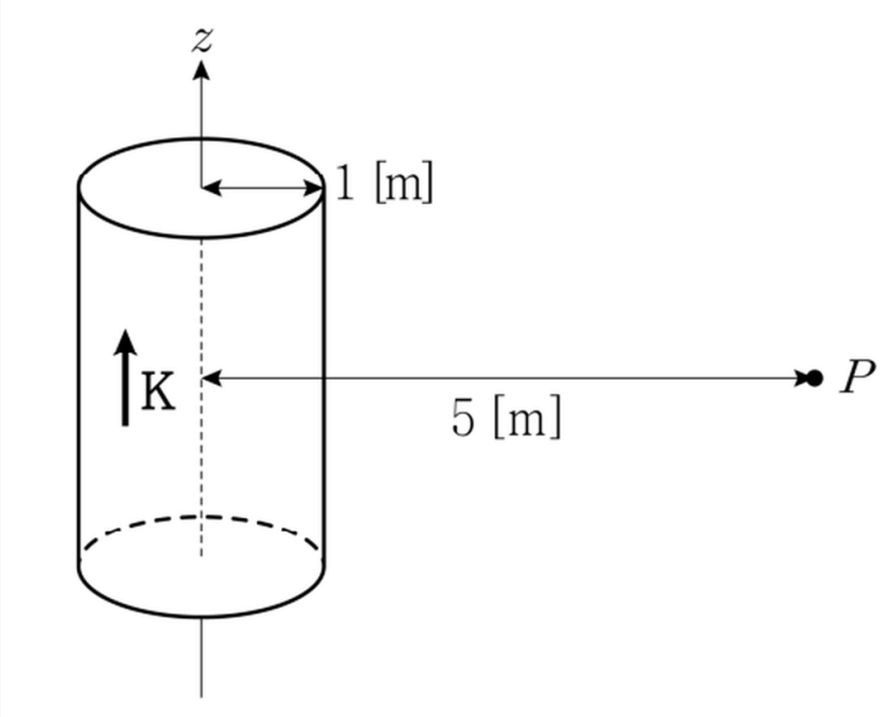
고유 임피던스가 순실수인지 복소수인지부터 본다. 순실수이면 무손실 매질, 복소수이면 손실 매질로 보고 $\angle\eta$에서 전계-자계 위상차를 읽고, 손실 매질이면 감쇠를 떠올리되 전계와 자계의 직교성은 그대로 유지된다고 판단하면 된다.

암기 포인트

복소 η는 손실 매질, $\angle\eta$는 전계-자계 위상차, 전계와 자계의 직교성은 그대로이다.

NoteBase

문 13. 자유공간에 놓인 반지름이 $1[m]$이고 z축으로 무한히 길고 속이 빈 도체 원통의 표면에 $K = a_z 5[A/m]$의 균일한 면전류가 흐른다. z축으로부터 $5[m]$ 떨어진 지점 P에서 자속밀도 $B[Wb/m^2]$는? (단, μ_0는 자유공간의 투자율이다)



① $a_\phi \frac{5\mu_0}{2\pi}$

② $a_\phi \mu_0$

③ $a_z \frac{5\mu_0}{2\pi}$

④ $a_z \mu_0$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 원통 표면의 균일한 면전류에 대해 암페어 법칙을 적용하여 바깥점의 자속밀도 **B**의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 반지름은 $a = 1m$이다.
- 면전류밀도는 $\mathbf{K} = 5\mathbf{a}_z[A/m]$이다.
- 점 P는 축으로부터 $r = 5m$ 떨어진 바깥 영역이다.
- 구해야 할 값은 점 P에서의 자속밀도 **B**이다.

NoteBase

사용할 공식

$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{enc}, \qquad \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$

원통 대칭이므로 자기장은 원주방향 $\mathbf{a}_\phi$이고 크기는 반지름 r에서 일정하다. 따라서 $r > a$인 경우 포획전류는 원통 표면 전체 면전류의 합인 $I_{enc} = K \cdot 2\pi a$가 된다.

계산 과정

1. 포획전류는 $I_{enc} = K \cdot 2\pi a = 5 \cdot 2\pi \cdot 1 = 10\pi[A]$이다.
2. 암페어 법칙으로 $H_\phi \cdot 2\pi r = I_{enc}$이므로 $H_\phi = \frac{10\pi}{2\pi \cdot 5} = 1[A/m]$이다.
3. 따라서 $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = \mu_0 \mathbf{a}_\phi [Wb/m^2]$이다.

선지별 해설

① X

- 방향은 $\mathbf{a}_\phi$로 맞지만 크기 $\frac{5\mu_0}{2\pi}$는 틀리다. 바깥점에서는 $r = 5m$를 넣어 $H = 1[A/m]$가 되어야 하므로 $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{a}_\phi$가 된다.
- 틀린 표현은 $\frac{5\mu_0}{2\pi}$이다. 올바르게는 μ_0이다.

② O

- 원통 표면 전류가 $+z$방향으로 흐르면 오른손법칙에 따라 자기장은 축을 둘러싸는 $\mathbf{a}_\phi$방향이다.
- 암페어 법칙 계산 결과 크기도 μ_0이므로 $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{a}_\phi$가 맞다.

③ X

- 크기 $\frac{5\mu_0}{2\pi}$도 틀리고 방향을 $\mathbf{a}_z$로 둔 것도 틀리다. 자기장은 전류와 같은 축방향이 아니라 축을 감싸는 원주방향으로 생긴다.
- 틀린 표현은 $\mathbf{a}_z$와 $\frac{5\mu_0}{2\pi}$이다. 올바르게는 $\mathbf{a}_\phi \mu_0$이다.

④ X

- 크기 μ_0는 맞지만 방향을 $\mathbf{a}_z$로 둔 것이 틀리다. 이 문제의 자기장은 원통 축 주위를 도는 $\mathbf{a}_\phi$방향이다.
- 틀린 표현은 $\mathbf{a}_z$이다. 올바르게는 $\mathbf{a}_\phi$이다.

오답 포인트

면전류 $K[A/m]$를 선전류처럼 바로 대입하거나, 자기장 방향을 전류 방향과 같은 $\mathbf{a}_z$로 오해하면 오답이 된다. 이 문제에서는 포획전류를 $K \cdot 2\pi a$로 바꾼 뒤 바깥점 반지름 $r = 5m$를 다시 넣어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 면전류 문제는 먼저 자기장 방향이 $\mathbf{a}_\phi$인지 확인하고, 그다음 암페어 경로 반지름과 도체 반지름을 구분해 $I_{enc} = K \cdot 2\pi a$, $H = I_{enc}/(2\pi r)$ 순서로 판단한다.

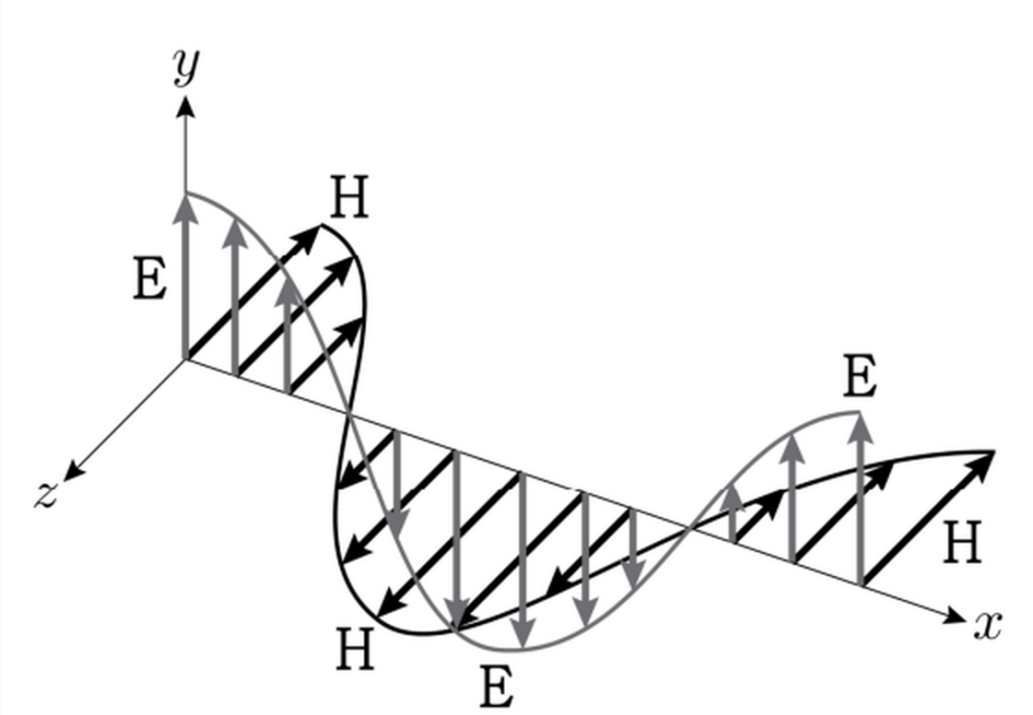
NoteBase

암기 포인트

축방향 전류가 흐르는 원통의 자기장은 원주방향이고, 바깥영역에서는 $H = Ka/r$가 된다.

NoteBase

문 14. 그림은 자유공간에서 진행하는 균일 평면 전자기파의 전계(E)와 자계(H)의 편파 방향을 나타내고 있다. 이 전자기파의 진행 방향은?



① +x축

② -x축

③ +y축

④ -y축

정답 2번

출제 포인트

자유공간의 균일 평면파에서는 진행 방향이 전력 흐름 방향인 **E** × **H**로 정해진다. 그림에서 전계는 $+y$ 방향, 자계는 $-z$ 방향이므로 진행 방향은 $-x$ 방향이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $+x$축은 $+y \times (-z) = -x$와 반대이다. 틀린 표현은 "+x축"이며, 올바르게는 "-x축"이다.
② O: 그림의 회색 전계 화살표는 위쪽이므로 $+y$ 방향이고, 검은 자계 화살표는 z축 화살표의 반대쪽을 향하므로 $-z$ 방향이다. 따라서 $\mathbf{E} \times \mathbf{H} = +y \times (-z) = -x$가 되어 맞다.
③ X: $+y$축은 전계의 방향일 뿐 진행 방향이 아니다. 틀린 표현은 "+y축"이며, 올바르게는 전계는 $+y$, 진행 방향은 $-x$이다.
④ X: $-y$축도 진행 방향이 아니라 전계 축을 잘못 읽은 경우이다. 틀린 표현은 "-y축"이며, 올바르게는 전계는 $+y$, 진행 방향은 $-x$이다.

오답 포인트

전계 방향을 곧바로 진행 방향으로 착각하거나, 자계 방향을 $+z$로 잘못 읽는 함정이 있다. 이 그림에서는 z축 화살표가 왼쪽 아래로 향하므로, 자계의 검은 화살표는 그 반대인 $-z$ 방향이다.

다시 나오면 이렇게 판단

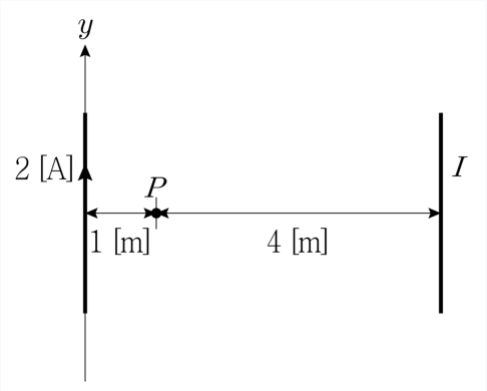
먼저 그림에서 E와 H가 각각 어느 축의 양의 방향인지 음의 방향인지 읽는다. 그다음 오른손법칙으로 $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$를 계산하면 진행 방향이 바로 결정된다.

암기 포인트

평면 전자기파의 진행 방향은 항상 $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$이다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 무한히 긴 두 평행도선과 점 P가 xy평면 내에 있고, 왼쪽 도선에 +y축 방향으로 2 [A]의 전류가 흐르고 있다. 왼쪽 도선과 오른쪽 도선에서 각각 1 [m], 4 [m] 떨어진 점 P에서 측정한 자계가 0일 때, 오른쪽 도선에 흐르는 전류 I[A]의 크기와 방향은?



① 크기: 4, 방향: +y축

② 크기: 8, 방향: +y축

③ 크기: 4, 방향: -y축

④ 크기: 8, 방향: -y축

정답 2번

출제 포인트

무한 직선도선의 자기장 크기 공식 $B = \mu_0 I/(2\pi r)$와 오른손법칙을 함께 적용해 점 P에서 자기장이 상쇄되도록 하는 전류의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

조건 정리

왼쪽 도선에는 $+y$축 방향으로 $2A$가 흐른다.
점 P는 왼쪽 도선에서 $1m$, 오른쪽 도선에서 $4m$ 떨어져 있다.
점 P에서 측정한 합성 자기장이 0이므로 두 도선이 만드는 자기장의 크기는 같고 방향은 서로 반대여야 한다.

사용할 공식

무한 직선도선이 만드는 자기장 크기는 $B = \mu_0 I/(2\pi r)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 도선이 모두 무한히 긴 직선도선이고, 점 P에서 각 도선까지의 수직거리와 전류가 주어졌기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

왼쪽 도선이 점 P에 만드는 자기장 크기는 $B_L = \mu_0 \cdot 2/(2\pi \cdot 1) = \mu_0/\pi$이다.
왼쪽 도선의 전류가 $+y$축이고 점 P가 도선의 오른쪽에 있으므로, 오른손법칙에 따라 B_L의 방향은 종이 안쪽이다.
합성 자기장이 0이 되려면 오른쪽 도선이 만드는 자기장은 종이 바깥쪽이어야 한다. 점 P는 오른쪽 도선의 왼쪽에 있으므로 이 방향이 나오려면 오른쪽 도선의 전류도 $+y$축이어야 한다.
크기 조건은 $\mu_0 I/(2\pi \cdot 4) = \mu_0/\pi$이므로 $I/8 = 1$, 따라서 $I = 8A$이다.

선지 판단

1번 X: 크기 $4A$는 틀리다. 계산 결과는 $8A$이고, 방향만 $+y$축으로 맞다. 틀린 표현은 크기 4이며, 올바르게는 $8A$이다.
2번 O: 자기장 상쇄 조건으로 구한 전류는 $8A$이고, 점 P에서 종이 바깥쪽 자기장을 만들려면 방향은 $+y$축이어야 하므로 옳다.
3번 X: 크기 $4A$도 틀리고 방향 $-y$축도 틀리다. $-y$축이면 점 P에서 자기장이 종이 안쪽이 되어 왼쪽 도선의 자기장과 더해진다. 올바르게는 $8A$, $+y$축이다.
4번 X: 크기 $8A$는 맞지만 방향 $-y$축이 틀리다. 틀린 표현은 방향 $-y$축이며, 올바르게는 $+y$축이다.

오답 포인트

거리 비가 $1:4$이므로 전류도 그대로 $1:4$로 작아진다고 거꾸로 판단하면 4번 또는 1번으로 흐르기 쉽다. 자기장 크기는 I/r에 비례하므로, 거리가 4배 멀면 같은 자기장을 만들기 위해 전류는 4배 커져야 한다. 또 점 P가 오른쪽 도선의 왼쪽에 있다는 점을 놓치면 방향을 $-y$축으로 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

직선도선 자기장 문제는 먼저 각 도선이 점에서 만드는 자기장의 방향을 오른손법칙으로 정한 뒤, 합성 조건이 0인지 더해지는지부터 판단한다. 그 다음 $B = \mu_0 I/(2\pi r)$에서 I/r 비례만 비교해 크기를 정하면 된다.

암기 포인트

무한 직선도선의 자기장은 $B \propto I/r$이고, 상쇄 조건에서는 방향을 먼저 맞춘 뒤 거리만큼 전류를 보정한다.

NoteBase

문 16. 인덕턴스가 $4[\mu H]$이고 커패시턴스는 $100[pF]$이며 길이가 $2[m]$인 무손실 동축케이블이 있다. 동작 주파수가 $10[MHz]$일 때, 특성 임피던스 $Z_0[\Omega]$와 위상 상수 $\beta[rad/m]$는?

① Z_0: 100, β: 0.2π

② Z_0: 100, β: 0.4π

③ Z_0: 200, β: 0.2π

④ Z_0: 200, β: 0.4π

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무손실 동축케이블의 특성임피던스 $Z_0 = \sqrt{L'/C'}$와 위상상수 $\beta = \omega\sqrt{L'C'}$를 이용해 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전체 인덕턴스 $L = 4\mu H$, 전체 커패시턴스 $C = 100pF$, 길이 $l = 2m$, 주파수 $f = 10MHz$이다.
구해야 할 값은 특성임피던스 Z_0와 위상상수 $\beta[rad/m]$이다.
위상상수는 단위길이당 정수 L', C'를 사용해야 하므로 먼저 $L' = L/l$, $C' = C/l$로 바꿔야 한다.

사용할 공식

무손실 전송선로에서는
$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$
$\beta = \omega\sqrt{L'C'} = 2\pi f\sqrt{L'C'}$
를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 저항과 누설컨덕턴스가 없는 무손실 동축케이블이라고 했으므로 전송선로의 기본식이 그대로 적용되기 때문이다.

계산 과정

1. 단위길이당 정수를 구하면 $L' = \frac{4 \times 10^{-6}}{2} = 2 \times 10^{-6} H/m$, $C' = \frac{100 \times 10^{-12}}{2} = 50 \times 10^{-12} F/m$이다.
2. 특성임피던스는 $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-12}}} = \sqrt{4 \times 10^4} = 200\Omega$이다.
3. 위상상수는 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 10^7$이므로
$\beta = 2\pi \times 10^7 \times \sqrt{2 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-12}} = 2\pi \times 10^7 \times 10^{-8} = 0.2\pi rad/m$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\beta = 0.2\pi rad/m$는 맞지만 $Z_0 = 100\Omega$가 틀렸다. 특성임피던스는 길이에 비례해 반으로 줄지 않으므로 $100\Omega \rightarrow 200\Omega$로 고쳐야 한다.
② X: $Z_0 = 100\Omega$, $\beta = 0.4\pi rad/m$가 모두 틀렸다. Z_0를 길이에 따라 나눈 것이 첫 번째 오류이고, β를 전체 L, C로 바로 계산해 단위길이 조건을 놓친 것이 두 번째 오류이다. 올바르게는 200Ω, $0.2\pi rad/m$이다.
③ O: $Z_0 = 200\Omega$, $\beta = 0.2\pi rad/m$로 계산 결과와 일치한다.
④ X: $Z_0 = 200\Omega$는 맞지만 $\beta = 0.4\pi rad/m$가 틀렸다. $0.4\pi rad/m$는 전체 $L = 4\mu H$, $C = 100pF$를 그대로 넣어 생기는 오답값이고, 올바르게는 단위길이당 값으로 계산한 $0.2\pi rad/m$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 길이 $2m$를 보고 Z_0까지 길이에 따라 변한다고 착각하는 점과, β를 구할 때 전체 L, C를 바로 넣어 0.4π를 만드는 점이다. Z_0는 비율식이라 길이가 소거되고, β는 반드시 단위길이당 정수로 계산된다.

다시 나오면 이렇게 판단

전송선로 계산형 문제는 먼저 전체값인지 단위길이당 값인지부터 구분한다. 그다음 Z_0는 $\sqrt{L/C}$ 비율식으로, β는 $2\pi f\sqrt{L'C'}$ 식으로 계산하면 길이 반영 여부를 헷갈리지 않는다.

암기 포인트

Z_0는 길이와 무관하고, β는 단위길이당 L', C'로 구한다.

NoteBase

문 17. 무손실 비자성의 유전체 매질에서 진행하는 균일 평면 전자기파의 전계가 $\mathbf{E}(z,t)=\mathbf{a}_x 4\cos\left(10^8 t-\frac{z}{2}\right)[V/m]$일 때, 이 전자기파가 전달하는 시간평균 전력밀도의 크기 $[W/m^2]$는? (단, 자유공간에서 광속은 $3\times10^8[m/s]$이고, 고유 임피던스는 $120\pi[\Omega]$이다)

① $\frac{1}{5\pi}$
② $\frac{1}{10\pi}$
③ $\frac{1}{15\pi}$
④ $\frac{1}{20\pi}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 파동식에서 ω와 β를 읽어 매질의 위상속도와 고유 임피던스를 구한 뒤 시간평균 전력밀도 $\langle S\rangle$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 전계의 최대값은 $E_0=4V/m$이다.
- 각주파수는 $\omega=10^8 rad/s$이다.
- 위상상수는 $\beta=1/2 rad/m$이다.
- 비자성 매질이므로 $\mu_r=1$이다.

구해야 할 값:
- 시간평균 전력밀도 $\langle S\rangle$의 크기이다.

주의할 조건:
- 식에 주어진 4는 최대값이므로 RMS값과 구분해야 한다.

사용할 공식

$v=\omega/\beta$, $v=c/\sqrt{\varepsilon_r}$, $\eta=\eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$, $\langle S\rangle=E_0^2/(2\eta)$를 사용한다.

이 공식을 쓰는 이유:

주어진 파동식이 비손실 비자성 유전체에서의 균일 평면파이므로 먼저 ω와 β로 위상속도를 구하고, 그 값으로 유전율과 매질의 고유 임피던스를 복원한 뒤 평균 포인팅 벡터 공식을 적용해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. $\beta = 1/2 rad/m$, $\omega = 10^8 rad/s$이므로 위상속도는 $v = \omega/\beta = 10^8/(1/2) = 2 \times 10^8 m/s$이다.
2. 비자성 유전체에서 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$이므로 $\sqrt{\varepsilon_r} = 3 \times 10^8/2 \times 10^8 = 1.5$, 따라서 $\varepsilon_r = 2.25$이다.
3. 매질의 고유 임피던스는 $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r} = 120\pi/1.5 = 80\pi\Omega$이다.
4. 시간평균 전력밀도는 $\langle S \rangle = E_0^2/(2\eta) = 4^2/(2 \times 80\pi) = 16/(160\pi) = 1/(10\pi) W/m^2$이다.

선지별 해설

① X: $1/(5\pi)$는 $\langle S \rangle = E_0^2/\eta$로 계산해 시간평균의 1/2를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 $\langle S \rangle = E_0^2/(2\eta)$를 써야 한다.
② O: 계산 결과가 정확히 $1/(10\pi) W/m^2$이므로 옳다.
③ X: $1/(15\pi)$는 $\eta = 120\pi\Omega$로 두어 자유공간 고유 임피던스를 그대로 쓴 값이다. 올바르게는 매질의 위상속도에서 $\sqrt{\varepsilon_r} = 1.5$를 구해 $\eta = 80\pi\Omega$를 써야 한다.
④ X: $1/(20\pi)$는 이미 평균 포인팅 벡터 식을 쓴 뒤 다시 1/2를 한 번 더 곱한 값이다. 올바르게는 최대값 기준이면 $\langle S \rangle = E_0^2/(2\eta)$ 한 번만 적용한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 자유공간 값 $120\pi\Omega$를 그대로 대입하는 실수와 최대값을 RMS값처럼 처리해 평균 계수를 중복하거나 누락하는 실수이다. 파동식의 β를 읽고 매질 속도를 먼저 구하지 않으면 ③으로 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면파 계산형은 파동식에서 ω와 β를 먼저 읽어 $v = \omega/\beta$를 구하고, 비자성 유전체이면 $v \to \sqrt{\varepsilon_r} \to \eta$ 순서로 연결한 뒤 마지막에 $\langle S \rangle = E_0^2/(2\eta)$를 적용하면 된다.

암기 포인트

비손실 비자성 유전체 평면파는 $v = \omega/\beta$, $\eta = \eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$, $\langle S \rangle = E_0^2/(2\eta)$의 세 줄로 정리된다.

NoteBase

문 18. $\mathbf{E} = \mathbf{a}_x y + \mathbf{a}_y x\ [V/m]$**인 전계 내에서** $-3[C]$**의 전하를 점** $A(-1, 2, 1)\ [m]$**에서 점** $B(2, 8, 1)\ [m]$**로** $y = 2x^2$**의 경로를 따라 이동시키는 데 필요한 일** $[J]$**은?**

① 9

② 18

③ 42

④ 54

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전계의 선적분으로 전계가 한 일과 외력이 해 주어야 하는 일을 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전계는 $\mathbf{E} = y\mathbf{a}_x + x\mathbf{a}_y[V/m]$이다.
전하는 $q = -3[C]$이다.
출발점은 $A(-1, 2, 1)$, 도착점은 $B(2, 8, 1)$이다.
경로는 $y = 2x^2$이지만, 이 전계는 $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = ydx + xdy = d(xy)$가 되어 경로와 무관하게 계산된다.

사용할 공식

$\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_A^B (ydx + xdy) = \int_A^B d(xy) = xy|_A^B$
$W_{\text{field}} = q\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$
$W_{\text{required}} = -W_{\text{field}}$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 묻는 값이 전하를 이동시키는 데 필요한 일이고, 먼저 전계가 하는 일을 구한 뒤 그 반대부호로 외력이 해야 할 일을 구해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. A와 B에서의 xy 값을 구하면 $xy_A = (-1)(2) = -2$, $xy_B = (2)(8) = 16$이다.
2. 따라서 $\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = xy_B - xy_A = 16 - (-2) = 18$이다.
3. 전계가 전하에 하는 일은 $W_{\text{field}} = q\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = (-3)(18) = -54[J]$이다.
4. 필요한 외력의 일은 그 반대부호이므로 $W_{\text{required}} = 54[J]$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
9는 계산 결과와 일치하지 않는다. 올바르게는 필요한 일은 54 J이다.

② X
18은 $\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ 값만 쓴 값으로, 전하량 $-3[C]$와 외력의 부호를 반영하지 않은 오답이다. 올바르게는 필요한 일은 54 J이다.

③ X
42는 계산 결과와 일치하지 않는다. 올바르게는 필요한 일은 54 J이다.

④ O
전계가 하는 일은 $-54[J]$이고, 이를 따라 실제로 이동시키기 위해 필요한 외력의 일은 반대부호인 54 J이므로 맞다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 18을 바로 답으로 두는 것이다. 이 값은 전계의 선적분값일 뿐이고, 전하량 $q = -3$을 곱해 전계가 한 일을 구한 뒤, 문제에서 묻는 '필요한 일'이 외력의 일인지까지 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

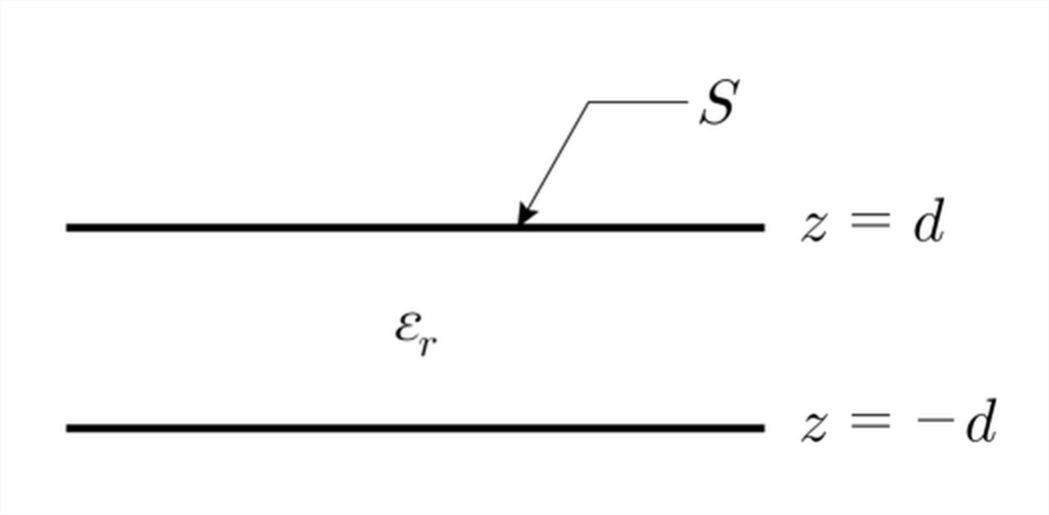
전계에서 일을 묻는 문제는 먼저 $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$의 선적분으로 전위차 관련 값을 구하고, 다음에 전하량을 곱해 전계가 한 일을 구한 뒤, 문제 문장이 '전계가 한 일'인지 '외력이 해 주어야 할 일'인지에 따라 마지막 부호를 결정한다.

암기 포인트

$W_{\text{required}} = -q\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$이다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 $z=-d[m]$와 $z=d[m]$ 평면에 동일한 면적 $S[m^2]$를 갖는 두 도체판이 평행평판을 형성하고 있다. 두 도체 평판 사이를 비유전율이 $\varepsilon_r=2+\frac{z}{d}$인 비균질 유전체로 채웠을 때, 이 평행평판의 정전용량$[F]$은? (단, ε_0는 자유공간의 유전율이고, 가장자리 효과는 무시한다)



① $\frac{\varepsilon_0 S}{2d\ln 3}$
② $\frac{\varepsilon_0 S}{2d\ln 2}$
③ $\frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 3}$
④ $\frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 2}$

정답 3번

출제 포인트

비유전율이 z에 따라 변할 때 D는 일정하고, $V=\int E dz$로 전위차를 적분해 정전용량을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 평판 위치: $z=-d, z=d$
- 면적: S
- 비유전율: $\varepsilon_r = 2 + \frac{z}{d}$
- 유전율: $\varepsilon(z) = \varepsilon_0\left(2 + \frac{z}{d}\right)$

구해야 할 값:
- 정전용량 C

주의할 조건:
- 가장자리 효과는 무시한다.
- 비균질 유전체이므로 전기장은 일정하지 않고, 자유전하가 없으므로 전속밀도 D가 일정하다.

사용할 공식

$C = \frac{Q}{V}, \quad V = \int_{-d}^{d} E(z)dz, \quad E(z) = \frac{D}{\varepsilon(z)}, \quad D = \frac{Q}{S}$

이 공식을 쓰는 이유:
비유전율이 위치에 따라 달라져 E를 상수로 둘 수 없으므로, 일정한 D를 이용해 $E(z)$를 구한 뒤 전위차를 적분해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. $D = Q/S$이므로
$E(z) = \frac{D}{\varepsilon_0(2+\frac{z}{d})}$
이다.

2. 전위차는
$V = \int_{-d}^{d} E(z)dz = \frac{D}{\varepsilon_0}\int_{-d}^{d} \frac{dz}{2+\frac{z}{d}}$
이다. 치환 $u = 2 + \frac{z}{d}$, $dz = d du$를 쓰면 $z = -d \to u = 1$, $z = d \to u = 3$이므로
$V = \frac{Dd}{\varepsilon_0}\int_{1}^{3} \frac{du}{u} = \frac{Dd\ln 3}{\varepsilon_0}$
이다.

3. $D = Q/S$를 대입하면
$V = \frac{Qd\ln 3}{\varepsilon_0 S}$
이므로
$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 3}$
이다. 따라서 ③과 일치한다.

선지별 해설

① X
- 제시식 $\frac{\varepsilon_0 S}{2d\ln 3}$는 정답식의 분모에 2를 불필요하게 한 번 더 곱한 값이다.
- 틀린 표현은 $2d\ln 3$이다. 올바르게는 $d\ln 3$이므로 $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 3}$이다.

② X
- $\ln 2$는 적분구간을 잘못 잡았을 때 나오는 값이다. 이 문제의 적분한계는 $z = -d$부터 $z = d$까지이므로 치환 후 구간은 1에서 3이다.
- 틀린 표현은 $2d\ln 2$이다. 올바르게는 치환구간이 1에서 3이어서 $d\ln 3$이 된다.

③ O
- $\varepsilon(z) = \varepsilon_0\left(2+\frac{z}{d}\right)$를 써서 전위차를 적분하면 $V = \frac{Qd\ln 3}{\varepsilon_0 S}$가 되고, 따라서 $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 3}$이다.
- 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.

④ X
- $\ln 2$를 사용한 시점에서 적분구간 설정이 틀렸다. 정답은 전체 구간 $z = -d$부터 $z = d$까지를 적분한 $\ln 3$가 들어가야 한다.
- 틀린 표현은 $d\ln 2$이다. 올바르게는 $d\ln 3$이므로 $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d\ln 3}$이다.

NoteBase

오답 포인트

균질 유전체처럼 전기장을 일정하다고 보고 처리하거나, 치환 후 적분구간을 1에서 2로 잘못 잡으면 $\ln 2$가 나온다. 이 문제는 거리 $2d$ 자체보다 $\int dz/\varepsilon_r(z)$의 적분 결과가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

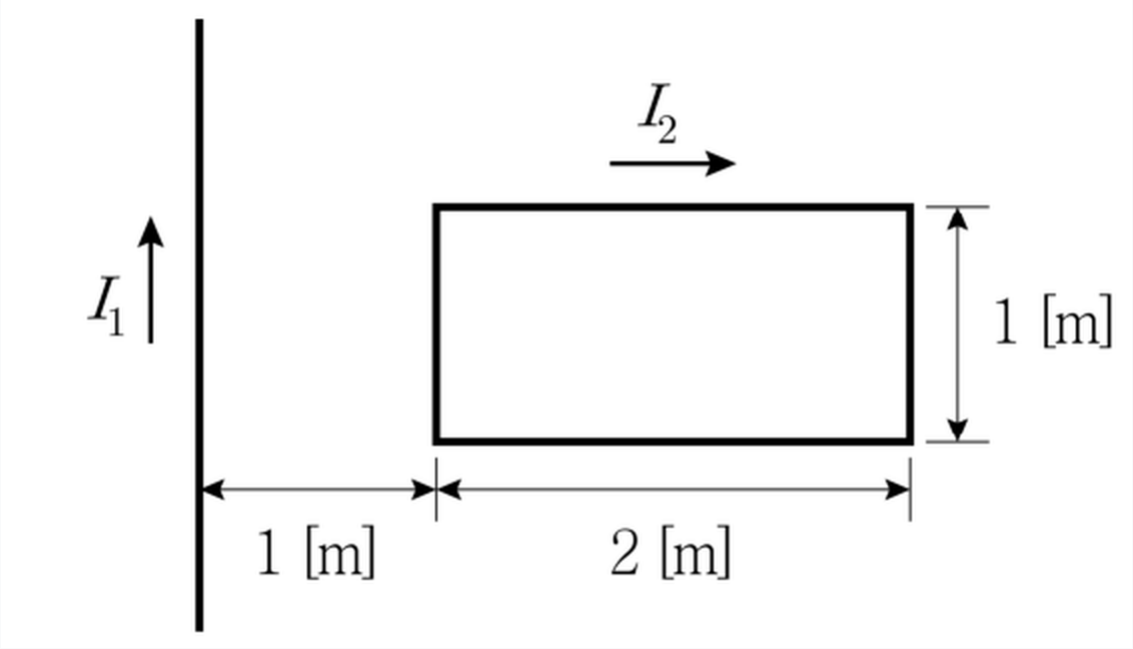
비유전율이 위치에 따라 변하면 먼저 D를 일정량으로 두고 $E = D/\varepsilon(z)$를 만든 다음, $V = \int E dz$를 적분해서 $C = Q/V$로 마무리하면 된다.

암기 포인트

비균질 평판 유전체는 E가 아니라 D를 일정하게 두고 $V = \int \frac{D}{\varepsilon(z)} dz$로 푼다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 자유공간에 무한히 긴 도선과 100회 감긴 직사각형 코일이 동일 평면에 놓여 있고, 각각 전류 I_1[A]과 I_2[A]가 흐를 때, 이 도선과 코일 사이의 상호 인덕턴스[H]는? (단, μ_0는 자유공간의 투자율이다)



① $\frac{50\mu_0}{\pi}\ln 2$
② $\frac{100\mu_0}{\pi}\ln 2$
③ $\frac{50\mu_0}{\pi}\ln 3$
④ $\frac{100\mu_0}{\pi}\ln 3$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선도선이 만드는 자계를 직사각형 코일 면적에 적분하여 상호 인덕턴스 M를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

코일 권수는 100회이다.
코일의 높이는 $1m$, 가로 길이는 $2m$이다.
도선에서 코일의 가까운 변까지 거리는 $1m$이고, 먼 변까지 거리는 $3m$이다.
상호 인덕턴스는 $M = \frac{N\Phi}{I_1}$이므로 I_2의 값과는 무관하다.

NoteBase

사용할 공식

무한 직선도선에서 거리 x인 점의 자계는
$B(x) = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}$
이다.
코일을 지나는 1회 자속은
$\Phi = \int B(x) dS = \int_1^3 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} \cdot 1 dx$
이고, 상호 인덕턴스는
$M = \frac{N\Phi}{I_1}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 도선의 자계가 거리 x에 따라 달라지므로 코일 전체에 같은 자계를 곱할 수 없고, 면적분이 필요하기 때문이다.

계산 과정

1. 코일 높이가 $1m$이므로 면적요소는 $dS = 1dx$이다.
2. 1회 자속은
$\Phi = \int_1^3 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi} \ln \frac{3}{1} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi} \ln 3$
이다.
3. 권수 100회를 곱해 자속쇄교수를 구하면
$N\Phi = 100 \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi} \ln 3$
이다.
4. 따라서 상호 인덕턴스는
$M = \frac{N\Phi}{I_1} = \frac{100\mu_0}{2\pi} \ln 3 = \frac{50\mu_0}{\pi} \ln 3$
이다.

선지 판단

1번 X: $\frac{50\mu_0}{\pi} \ln 2$는 로그 구간을 잘못 잡은 값이다. 코일은 도선에서 $1m$부터 $3m$까지 놓여 있으므로 $\ln \frac{3}{1} = \ln 3$이 나와야 한다. 틀린 표현은 `$\ln 2$`이고, 올바르게는 `$\ln 3$`이다.
2번 X: $\frac{100\mu_0}{\pi} \ln 2$는 `$\ln 2$`도 틀리고, 직선도선 자계식의 분모 2π를 빠뜨려 계수도 2배 크게 만든 값이다. 올바르게는 `$\frac{50\mu_0}{\pi} \ln 3$`이다.
3번 O: 적분 구간을 $1 \to 3$으로 잡고 $B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}$를 적용하면 $M = \frac{50\mu_0}{\pi} \ln 3$이 된다.
4번 X: `$\ln 3$`은 맞지만 계수 `$\frac{100\mu_0}{\pi}$`는 2배 크다. 틀린 표현은 계수 부분이고, 올바르게는 `$\frac{50\mu_0}{\pi} \ln 3$`이다.

오답 포인트

가로 길이가 $2m$라는 이유만으로 $\ln 2$를 쓰기 쉽지만, 적분은 길이 자체가 아니라 도선으로부터의 거리 $1m$와 $3m$ 사이에서 한다. 또 무한 직선도선의 자계식 $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$의 2를 빠뜨리면 계수가 바로 2배로 틀어진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

직선도선과 코일의 상호 인덕턴스 문제는 먼저 가까운 변과 먼 변의 거리를 잡고, 다음에 $B(r)=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$를 면적에 적분한 뒤, 마지막에 $M=\frac{N\Phi}{I}$로 정리하면 된다.

암기 포인트

무한 직선도선과 직사각형 코일의 상호 인덕턴스는 `거리비의 로그`가 핵심이므로 $\ln\frac{r_2}{r_1}$ 꼴로 기억하면 된다.

NoteBase

문 21. 액체 유전체를 넣은 커패시터의 정전용량이 $20[\mu F]$이다. 여기에 $500[kV]$의 전압을 가했을 때 누설 전류$[A]$는? (단, 액체의 유전율은 $20 \times 10^{-12}[F/m]$, 비저항은 $10^{11}[\Omega \cdot m]$이다)

① 0.2

② 0.5

③ 2

④ 5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 액체 유전체를 넣은 커패시터의 정전용량과 유전율, 비저항의 관계를 이용해 누설 전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 정전용량은 $C = 20 \times 10^{-6}F$, 전압은 $V = 500 \times 10^{3}V$, 유전율은 $\varepsilon = 20 \times 10^{-12}F/m$, 비저항은 $\rho = 10^{11}\Omega \cdot m$이다.
구해야 할 값: 누설 전류 I이다.
주의할 조건: 커패시터의 기하학적 치수 A, d는 정전용량식과 저항식에서 소거된다.

사용할 공식

누설 전류는 $I = V/R$이다.
또한 액체 유전체가 채워진 평행판 커패시터에서 $C = \varepsilon A/d$, 누설 경로 저항은 $R = \rho d/A$이므로 $CR = \varepsilon\rho$가 되어 $I = CV/(\varepsilon\rho)$로 정리된다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 정전용량 C, 유전율 ε, 비저항 ρ, 전압 V만 주어졌고 판의 면적과 간격은 주어지지 않았기 때문이다.

계산 과정

1. $\varepsilon\rho$를 계산하면 $(20 \times 10^{-12})(10^{11}) = 2$이다.
2. CV를 계산하면 $(20 \times 10^{-6})(500 \times 10^{3}) = 10$이다.
3. 따라서
$I = \frac{CV}{\varepsilon\rho} = \frac{10}{2} = 5A$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 틀린 표현은 누설 전류가 $0.2A$라는 값이라는 점이다. 주어진 수치를 대입하면 $I = 5A$가 되므로 올바르게는 $5A$이다.
② X: 틀린 표현은 누설 전류가 $0.5A$라는 값이라는 점이다. $CV = 10$, $\varepsilon\rho = 2$이므로 $I = 10/2 = 5A$이다. 올바르게는 $5A$이다.
③ X: 틀린 표현은 누설 전류가 $2A$라는 값이라는 점이다. 계산 결과는 $5A$이므로 이 값과 일치하지 않는다. 올바르게는 $5A$이다.
④ O: $I = CV/(\varepsilon\rho)$에 값을 넣으면 $5A$가 되므로 옳다.

오답 포인트

정전용량 C의 μ와 유전율 ε의 10^{-12}를 함께 볼 때 지수 계산을 틀리기 쉽다. 또 $C = \varepsilon A/d$, $R = \rho d/A$를 따로 두고 면적과 간격을 없애지 못하면 식 정리가 막힌다.

다시 나오면 이렇게 판단

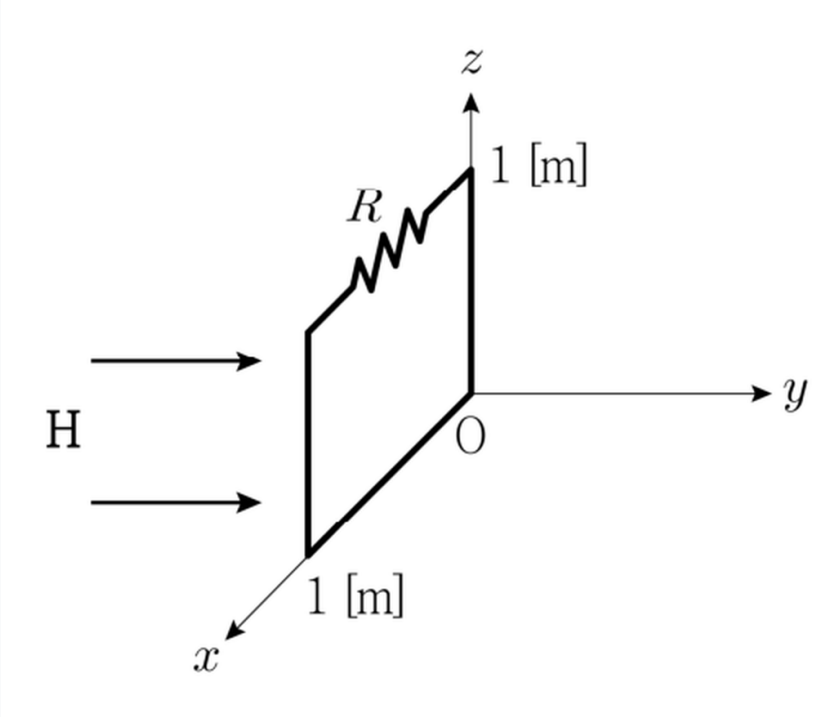
유전체의 누설 전류 문제는 먼저 $I = V/R$를 놓고, $C = \varepsilon A/d$와 $R = \rho d/A$를 결합해 $I = CV/(\varepsilon\rho)$로 바꾼 뒤 지수와 단위를 검산하면 된다.

암기 포인트

유전체 누설 전류는 $CR = \varepsilon\rho$를 이용해 $I = CV/(\varepsilon\rho)$로 바로 계산한다.

NoteBase

문 22. 그림과 같이 자유공간에 있는 정사각형 루프에 시변 자계 $H = a_y 10\cos(10t)[A/m]$가 가해질 때, 이 루프에 유도되는 유도기전력[V]은? (단, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$이다)



① $100\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$

② $200\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$

③ $300\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$

④ $400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자계가 정사각형 루프에 만드는 자속을 구하고 패러데이 법칙으로 유도기전력을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 자계는 H=10(10t) a_y [A/m]이다.
루프: 한 변이 $1m$인 정사각형이므로 면적은 $A = 1m^2$이다.
방향: 루프는 x-z 평면에 있어 면의 법선 방향이 ± a_y이고, 자계가 면에 수직으로 통과한다.

NoteBase

사용할 공식

자속밀도는 $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$이다.
자속은 $\Phi = BA$이다.
유도기전력은 $e = -\frac{d\Phi}{dt}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 균일한 시간변화 자계가 루프 면을 수직으로 통과하므로 자속을 먼저 구한 뒤 그 시간미분으로 유도기전력을 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $B(t) = \mu_0 H(t) = 4\pi \times 10^{-7} \times 10\cos(10t) = 40\pi \times 10^{-7}\cos(10t)[T]$이다.
2. 루프 면적이 $1m^2$이므로 자속은 $\Phi(t) = B(t)A = 40\pi \times 10^{-7}\cos(10t)$이다.
3. 따라서 $e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(40\pi \times 10^{-7}\cos(10t)) = 400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)[V]$이다.
부호는 루프의 기준방향 선택에 따라 달라질 수 있으나, 보기에서는 크기와 파형이 일치하는 값을 묻고 있다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $100\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$가 아니라 $400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$이다. $\cos(10t)$를 미분할 때 내부 미분값 10을 빠뜨리거나 일부만 반영하면 이런 값이 나온다. 틀린 표현은 계수 $100\pi \times 10^{-7}$이고, 올바르게는 $400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$이다.
② X: 계산 결과보다 절반 작다. 자속 미분에서 내부 미분 10은 반영했더라도 $B = \mu_0 H$에서 $H = 10\cos(10t)$의 계수 10 또는 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$의 계수 4를 일부 누락하면 이런 값이 나온다. 틀린 표현은 계수 $200\pi \times 10^{-7}$이고, 올바르게는 $400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$이다.
③ X: 계산 결과보다 $100\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$만큼 작다. μ_0와 시간미분 계수, 면적 중 하나를 불완전하게 반영하면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 계수 $300\pi \times 10^{-7}$이고, 올바르게는 $400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)$이다.
④ O: $B = \mu_0 H$, $\Phi = BA$, $e = -d\Phi/dt$를 순서대로 적용하면 $e = 400\pi \times 10^{-7}\sin(10t)[V]$가 되어 계산값과 일치한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 자속을 미분할 때 $\cos(10t)$의 내부 미분값 10을 빠뜨리거나, H의 계수 10과 μ_0의 계수 4를 따로 관리하지 못하는 데 있다. 그림이 있어도 핵심은 도식 해석이 아니라 면적 $1m^2$와 법선 방향을 확인한 뒤 계산식을 정확히 세우는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

시간변화 자계가 루프를 통과하면 먼저 루프 면의 법선 방향과 면적을 확인하고,
$H \rightarrow B = \mu H \rightarrow \Phi = BA \rightarrow e = -d\Phi/dt$ 순서로 계산한다. 마지막에는 삼각함수 미분에서 내부 계수까지 반영되었는지 검산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

균일 자계 루프 유도기전력은 $e = -A\mu dH/dt$로 바로 정리할 수 있고, $\cos(\omega t)$를 미분하면 계수 ω가 반드시 따라 나온다.

NoteBase

문 23. 벡터자기포텐셜 $A = a_x yz + a_y xy - a_z xz$ [Wb/m]가 존재할 때, $y = 0$, $0 \le x \le 2$ [m], $0 \le z \le 2$ [m] 영역을 $+y$축 방향으로 통과하는 자속[Wb]은?

① 0

② 2

③ 4

④ 6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 벡터자기퍼텐셜 $\mathbf{A}$에서 자속밀도 $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$를 구한 뒤, $y = 0$ 평면을 지나는 자속을 적분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 벡터자기퍼텐셜은 $\mathbf{A} = \mathbf{a}_x yz + \mathbf{a}_y xy - \mathbf{a}_z xz$[Wb/m]이다.
구해야 할 값은 $y = 0, 0 \le x \le 2$[m], $0 \le z \le 2$[m] 영역을 $+y$축 방향으로 지나는 자속이다.
면의 법선 방향이 $+y$이므로 $\mathbf{B}$의 y성분만 적분하면 된다.

사용할 공식

자속밀도는 $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$이다.
이 문제에서는 행렬식 전개 대신 성분식으로 쓰면 $(\nabla \times \mathbf{A})_y = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}$를 사용한다.
자속은 $\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$이고, 이 문제의 면은 $y = 0$ 평면이므로 $d\mathbf{S} = \mathbf{a}_y dxdz$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 값이 자기벡터퍼텐셜이고, 면의 방향까지 제시되어 자속밀도 성분을 구해 면적분하는 구조이기 때문이다.

계산 과정

먼저 회전을 계산하면
$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{a}_x\left(\frac{\partial(-xz)}{\partial y} - \frac{\partial(xy)}{\partial z}\right) + \mathbf{a}_y\left(\frac{\partial(yz)}{\partial z} - \frac{\partial(-xz)}{\partial x}\right) + \mathbf{a}_z\left(\frac{\partial(xy)}{\partial x} - \frac{\partial(yz)}{\partial y}\right)$
$= \mathbf{a}_x(0 - 0) + \mathbf{a}_y(y - (-z)) + \mathbf{a}_z(y - z) = \mathbf{a}_y(y + z) + \mathbf{a}_z(y - z)$
따라서 y성분은 $B_y = y + z$이다.
문제의 면은 $y = 0$이므로 $B_y = z$가 된다.
이제 자속은
$\Phi = \int_0^2 \int_0^2 z dxdz = \int_0^2 2z dz = [z^2]_0^2 = 4$[Wb]
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산된 자속은 0이 아니라 4[Wb]이다. 틀린 표현은 '자속이 0'이라는 값이며, 올바르게는 '자속은 4[Wb]'이다.
② X: 면의 법선이 $+y$이므로 $B_y = z$를 x, z에 대해 끝까지 적분해야 한다. 계산 결과가 2가 될 수 없고, 틀린 표현은 '자속이 2'라는 값이며, 올바르게는 '자속은 4[Wb]'이다.
③ O: $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$에서 $B_y = y + z$, $y = 0$에서 $B_y = z$이므로 $\Phi = \int_0^2 \int_0^2 z dx dz = 4$[Wb]가 된다.
④ X: $y = 0$ 조건을 대입한 뒤 y성분만 적분해야 하므로 자속은 6이 아니다. 틀린 표현은 '자속이 6'이라는 값이며, 올바르게는 '자속은 4[Wb]'이다.

오답 포인트

회전 $\nabla \times \mathbf{A}$를 구할 때 성분 위치를 바꾸거나, 면의 법선이 $+y$인데도 B_z까지 섞어 적분하는 실수가 자주 나온다. 또 $B_y = y + z$를 구해 놓고도 $y = 0$ 대입을 빼먹으면 오답값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

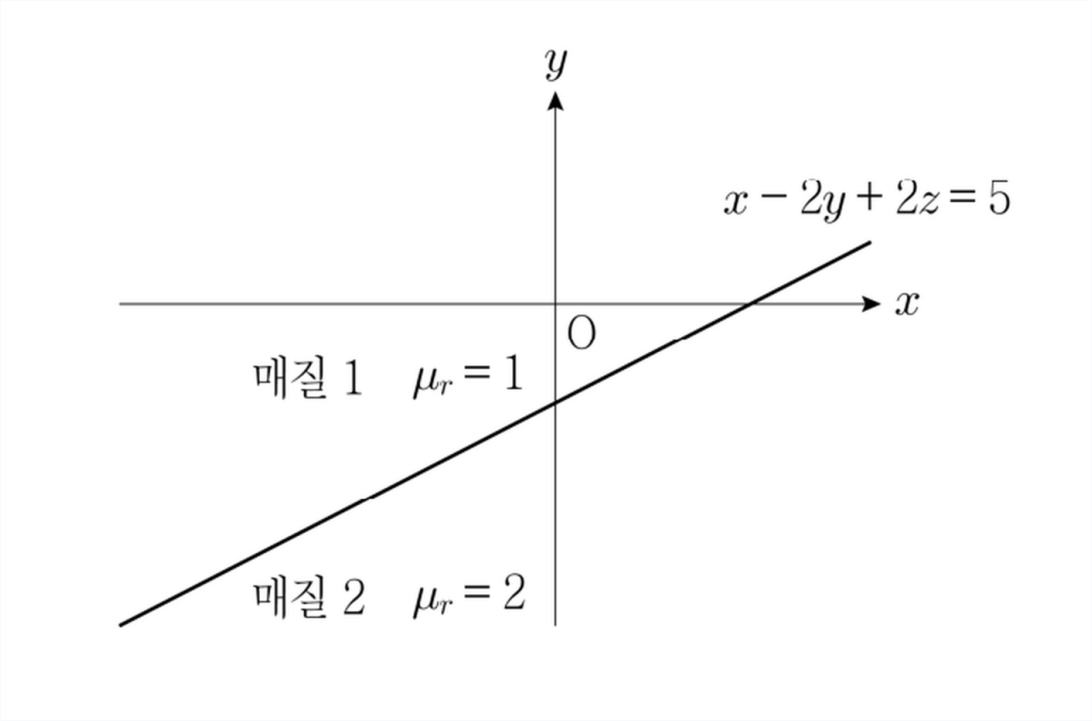
벡터퍼텐셜 문제는 먼저 $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$로 바꾸고, 그다음 면의 법선 방향과 일치하는 성분만 남긴 뒤 경계조건을 대입하여 면적분하면 된다.

암기 포인트

벡터퍼텐셜 $\mathbf{A}$가 주어지면 자속은 '회전으로 $\mathbf{B}$ 계산 → 면의 법선 성분 선택 → 면적분' 순서로 정리된다.

NoteBase

문 24. 그림과 같이 매질 1은 비투자율 $\mu_r = 1$, 매질 2는 비투자율 $\mu_r = 2$인 자성체 매질이고, 경계는 $x - 2y + 2z = 5$로 주어진다. 경계면에 전류밀도는 없고, 매질 1에 자계가 $\mathbf{H}_1 = \mathbf{a}_x[A/m]$로 주어진 경우, 매질 2에서의 자계 $\mathbf{H}_2[A/m]$는?



① $\frac{1}{9}(\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$

② $\frac{1}{9}(\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$

③ $\frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$

④ $\frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 경계면에서의 자기장 경계조건을 이용해 매질 2의 자기장 $\mathbf{H}_2$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 매질 1의 비투자율 $\mu_{r1} = 1$, 매질 2의 비투자율 $\mu_{r2} = 2$, 경계면 $x - 2y + 2z = 5$, 그리고 $\mathbf{H}_1 = \mathbf{a}_x[A/m]$이다.
구해야 할 값은 매질 2에서의 자기장 $\mathbf{H}_2$이다.
주의할 조건은 경계면 전류밀도가 0이므로 접선 성분의 $\mathbf{H}$는 연속이고, 법선 성분의 $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$는 연속이라는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

경계면의 단위 법선벡터는 $\hat{n} = \frac{\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z}{3}$이다.
법선 성분은 $\mathbf{H}_{1n} = (\mathbf{H}_1 \cdot \hat{n})\hat{n}$, 접선 성분은 $\mathbf{H}_{1t} = \mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_{1n}$으로 분해한다.
경계조건은 $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$, $\mu_1 \mathbf{H}_{1n} = \mu_2 \mathbf{H}_{2n}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 매질의 경계면에서 표면전류가 없을 때 자기장의 접선 성분과 자속밀도의 법선 성분이 각각 연속이기 때문이다.

계산 과정

1. 경계면의 법선벡터는 $\nabla(x - 2y + 2z - 5) = \mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z$이므로 단위 법선벡터는 $\hat{n} = \frac{\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z}{3}$이다.
2. $\mathbf{H}_1 = \mathbf{a}_x$를 법선 성분과 접선 성분으로 나누면
$\mathbf{H}_{1n} = (\mathbf{H}_1 \cdot \hat{n})\hat{n} = \frac{1}{3}\hat{n} = \frac{1}{9}(\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$
$\mathbf{H}_{1t} = \mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_{1n} = \frac{1}{9}(8\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$
3. 접선 성분은 그대로 연속이므로 $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$이다. 또 $\mu_1 = \mu_0$, $\mu_2 = 2\mu_0$이므로
$\mathbf{H}_{2n} = \frac{\mu_1}{\mu_2}\mathbf{H}_{1n} = \frac{1}{2}\mathbf{H}_{1n} = \frac{1}{18}(\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$
4. 따라서
$\mathbf{H}_2 = \mathbf{H}_{2t} + \mathbf{H}_{2n} = \frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)[A/m]$
이므로 정답은 4번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
$\frac{1}{9}(\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$는 $\mathbf{H}_1$의 법선 성분 $\mathbf{H}_{1n}$만 쓴 값이다. 매질 2의 자기장은 접선 성분 $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$까지 더해야 하므로 틀리다. 틀린 표현은 전체 $\mathbf{H}_2$를 법선 성분 하나로 본 점이며, 올바르게는 $\mathbf{H}_2 = \mathbf{H}_{1t} + \frac{\mu_1}{\mu_2}\mathbf{H}_{1n}$이다.

② X
$\frac{1}{9}(\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$는 법선 성분과 접선 성분의 결합을 잘못 처리한 값이다. 특히 x성분이 실제 값 $\frac{17}{18}$보다 크게 작고, 경계조건 $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$, $\mu_1\mathbf{H}_{1n} = \mu_2\mathbf{H}_{2n}$를 동시에 만족하지 못한다. 틀린 표현은 성분별 연속 조건을 일관되게 적용하지 않은 점이며, 올바르게는 $\mathbf{H}_2 = \frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$이다.

③ X
$\frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$는 정답과 y, z성분의 부호가 반대이다. 이는 법선벡터 $\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z$의 부호를 접선 성분 계산에 잘못 반영할 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 $-2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z$를 그대로 최종 부호로 둔 점이며, 올바르게는 $+2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z$가 된다.

④ O
경계면 법선 성분을 $\mathbf{H}_{1n} = \frac{1}{9}(\mathbf{a}_x - 2\mathbf{a}_y + 2\mathbf{a}_z)$, 접선 성분을 $\mathbf{H}_{1t} = \frac{1}{9}(8\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$로 두고, $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$, $\mathbf{H}_{2n} = \frac{1}{2}\mathbf{H}_{1n}$를 적용하면 $\mathbf{H}_2 = \frac{1}{18}(17\mathbf{a}_x + 2\mathbf{a}_y - 2\mathbf{a}_z)$가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $\mathbf{H}$ 자체가 모두 연속이라고 착각하는 점과, 법선 성분은 $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$의 연속으로 처리해야 한다는 점을 놓치는 데 있다. 또 경계면의 법선벡터를 구한 뒤 접선 성분을 $\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_{1n}$으로 빼는 과정에서 y, z성분 부호를 자주 반대로 적는다.

다시 나오면 이렇게 판단

매질 경계의 자기장 문제는 먼저 경계면에서 법선벡터를 구하고, 주어진 $\mathbf{H}$를 법선 성분과 접선 성분으로 분해한 다음, $\mathbf{H}_t$ 연속과 $\mathbf{B}_n$ 연속을 각각 적용해 다시 합치는 순서로 판단한다.

암기 포인트

표면전류가 없으면 $\mathbf{H}_t$는 그대로, $\mathbf{H}_n$은 μ비율로 바뀐다. 즉 $\mathbf{H}_{2t} = \mathbf{H}_{1t}$, $\mathbf{H}_{2n} = \frac{\mu_1}{\mu_2}\mathbf{H}_{1n}$이다.

문 25. 비유전율 $\varepsilon_r = 4$인 무손실 비자성 매질에서 진행하는 균일 평면 전자기파의 전계가 $\mathbf{E}(z, t) = \mathbf{a}_x \cos(\omega t - 10\pi z)[V/m]$일 때, 이 전자기파의 자계 $\mathbf{H}[A/m]$는? (단, 자유공간에서 광속은 $3 \times 10^8[m/s]$이고, 고유 임피던스는 $120\pi[\Omega]$이다)

① $\mathbf{a}_y \frac{1}{60\pi} \cos(15\pi \times 10^8 t - 10\pi z)$

② $\mathbf{a}_y \frac{1}{60\pi} \cos(30\pi \times 10^8 t - 10\pi z)$

③ $\mathbf{a}_z \frac{1}{30\pi} \cos(15\pi \times 10^8 t - 10\pi z)$

④ $\mathbf{a}_z \frac{1}{30\pi} \cos(30\pi \times 10^8 t - 10\pi z)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 비유전율이 주어진 무손실 비자성 매질에서 파속, 위상정수, 고유 임피던스를 이용해 자계의 방향과 식을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\varepsilon_r = 4, \mu_r = 1, \mathbf{E}(z, t) = \mathbf{a}_x \cos(\omega t - 10\pi z)[V/m]$

구해야 할 값: 자계 $\mathbf{H}(z, t)[A/m]$

주의할 조건: 무손실 비자성 매질이므로 파속은 자유공간보다 느려지고, 고유 임피던스는 $\eta_0/\sqrt{\varepsilon_r}$로 계산된다.

사용할 공식

$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}, \quad \eta = \eta_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}, \quad \beta = \frac{\omega}{v}, \quad \mathbf{H} = \frac{1}{\eta} \hat{\mathbf{z}} \times \mathbf{E}$

이 공식을 쓰는 이유: 주어진 전계식에서 10π는 위상정수 β이고, 균일 평면파의 자계는 진행방향과 전계 방향의 벡터곱 및 매질의 고유 임피던스로 바로 정해지기 때문이다.

계산 과정

1. 파속은 $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{4}} = 1.5 \times 10^8[m/s]$이다.
2. 위상정수 $\beta = 10\pi[rad/m]$이므로 $\omega = \beta v = 10\pi \times 1.5 \times 10^8 = 15\pi \times 10^8[rad/s]$이다.
3. 고유 임피던스는 $\eta = 120\pi \sqrt{\frac{1}{4}} = 60\pi[\Omega]$이다.
4. 파는 $+z$ 방향으로 진행하고 전계가 x축 방향이므로 자계 방향은 $\mathbf{a}_z \times \mathbf{a}_x = \mathbf{a}_y$이다.
5. 따라서 $\mathbf{H}(z, t) = \mathbf{a}_y \frac{1}{60\pi} \cos(15\pi \times 10^8 t - 10\pi z)[A/m]$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: $\eta = 60\pi[\Omega]$, $\omega = 15\pi \times 10^8[rad/s]$, 자계 방향은 $\mathbf{a}_y$이므로 제시식이 정확하다.
② X: 진동수 항을 $30\pi \times 10^8 t$로 둔 점이 틀리다. 이는 매질 내 파속을 자유공간 광속 $3 \times 10^8[m/s]$로 잘못 쓴 경우의 값이다. 틀린 표현은 $30\pi \times 10^8 t$이고, 올바르게는 $15\pi \times 10^8 t$이다.
③ X: 자계 방향과 크기가 모두 틀리다. 균일 평면파에서 $+z$ 진행, $\mathbf{E} \parallel \mathbf{a}_x$이면 $\mathbf{H} \parallel \mathbf{a}_y$이어야 하므로 $\mathbf{a}_z$는 될 수 없다. 또 계수 $\frac{1}{30\pi}$는 $\eta = \frac{120\pi}{4}$처럼 $\sqrt{\varepsilon_r}$ 대신 ε_r로 잘못 나눈 경우이다. 올바르게는 $\mathbf{a}_y \frac{1}{60\pi}\cos(15\pi \times 10^8 t - 10\pi z)$이다.
④ X: 자계 방향을 $\mathbf{a}_z$로 둔 점과 각주파수를 $30\pi \times 10^8$로 둔 점, 계수를 $\frac{1}{30\pi}$로 둔 점이 모두 틀리다. 올바르게는 방향이 $\mathbf{a}_y$, 각주파수가 $15\pi \times 10^8$, 계수가 $\frac{1}{60\pi}$이다.

오답 포인트

비유전율이 4이면 파속과 고유 임피던스가 각각 1/2배가 된다는 점을 섞어 틀리기 쉽다. ω는 v를 잘못 써서 두 배로 만들고, η는 η_0/ε_r로 오해해 $1/(30\pi)$를 만드는 함정이 대표적이다.

다시 나오면 이렇게 판단

균일 평면파 문제는 먼저 위상항에서 β와 진행방향을 읽고, 다음에 $v = c/\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}$, $\eta = \eta_0\sqrt{\mu_r/\varepsilon_r}$를 구한 뒤, 마지막에 $\mathbf{H} = (1/\eta)\hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{E}$로 방향과 크기를 동시에 판단한다.

암기 포인트

비자성 유전체에서는 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$, $\eta = 120\pi/\sqrt{\varepsilon_r}$, 방향은 진행방향 × 전계 방향이 자계 방향이다.

NoteBase