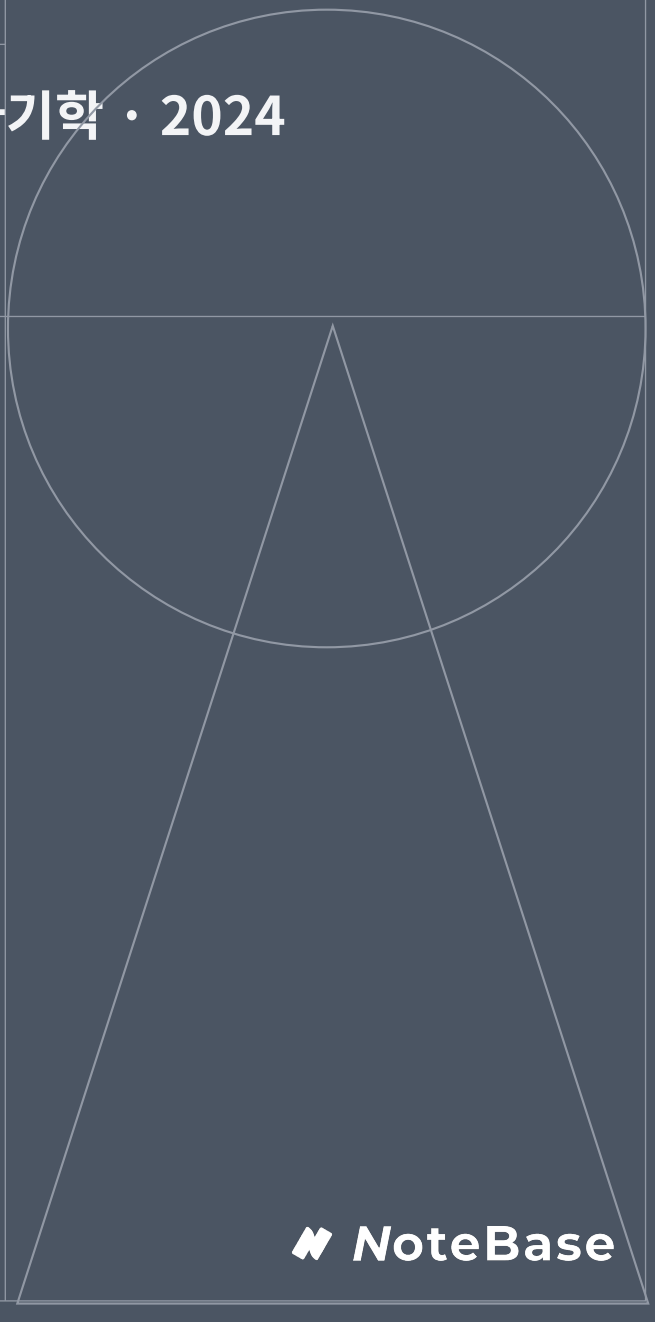
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2024



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2024

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2024

문 1. 자기 인덕턴스가 0.5[H]인 인덕터에 전류 10[A]를 인가할 경우, 인덕터에 축적되는 에너지의 값[J]은?

① 10

② 15

③ 20

④ 25

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 인덕터의 저장 에너지 공식 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 이용해 축적 에너지를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 자기 인덕턴스 $L = 0.5H$, 전류 $I = 10A$
구해야 할 값: 인덕터에 축적되는 에너지 W
주의할 조건: 저장 에너지는 전류 I에 비례하지 않고 I^2에 비례한다.

사용할 공식

$W = \frac{1}{2}LI^2$
이 공식을 쓰는 이유: 자기 인덕턴스를 가진 인덕터에 전류가 흐를 때 자기장에 저장되는 에너지를 구하는 기본식이기 때문이다.

계산 과정

1. 전류를 제곱하면 $I^2 = 10^2 = 100$이다.
2. 공식에 대입하면 $W = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 100$ 이다.
3. $\frac{1}{2} \times 0.5 = 0.25$이므로 $W = 0.25 \times 100 = 25J$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 25J이므로 10 J는 틀리다. 틀린 표현은 "축적 에너지가 10 J이다"이고, 올바르게는 "축적 에너지가 25 J이다"이다. 공식 자체를 잘못 외우거나 전류의 제곱 항을 누락하면 접근이 틀어진다.
2번 X: 계산 결과는 25J이므로 15 J는 틀리다. 틀린 표현은 "축적 에너지가 15 J이다"이고, 올바르게는 "축적 에너지가 25 J이다"이다. 계수 곱셈이나 중간 계산을 부정확하게 처리하면 나올 수 있는 오답이다.
3번 X: 계산 결과는 25J이므로 20 J는 틀리다. 틀린 표현은 "축적 에너지가 20 J이다"이고, 올바르게는 "축적 에너지가 25 J이다"이다. 0.25×100의 마지막 곱셈을 잘못 처리하면 생길 수 있는 오답이다.
4번 O: 계산 결과가 25J이므로 옳다. 저장 에너지가 공식 $W = \frac{1}{2}LI^2$에 정확히 일치한다.
계산 결과 $W = 25$J이므로 정답은 4번이다.

오답 포인트

인덕터 저장 에너지를 LI처럼 선형 관계로 착각하거나, 전류를 제곱하지 않고 그대로 대입하면 틀린다. 또한 $\frac{1}{2} \times 0.5 = 0.25$ 계산 뒤 마지막 곱셈을 끝까지 확인하지 않으면 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 전자기 문제는 주어진 L, I를 먼저 정리한 뒤 $W = \frac{1}{2}LI^2$에 대입하고, 전류 제곱과 마지막 곱셈을 순서대로 검산하면 된다.

암기 포인트

인덕터 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$이고, 전류는 반드시 제곱한다.

NoteBase

문 2. 투자율이 $10^{-3}[H/m]$인 철심이 들어있는 환상 솔레노이드가 있다. 권선수는 100[회], 평균 자로의 길이는 $0.5[m]$, 철심의 단면적은 $10[cm^2]$이다. 이 솔레노이드에 $3[A]$의 전류를 흘렸을 때, 축적되는 자기에너지의 값[J]은?

① 0.02

② 0.09

③ 0.18

④ 0.2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 환상 솔레노이드의 인덕턴스를 구한 뒤 자기에너지 W=12LI^2를 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 투자율 $\mu = 10^{-3}H/m$, 권선수 $N = 100$, 평균 자로 길이 $l = 0.5m$, 단면적 $A = 10cm^2 = 10^{-3}m^2$, 전류 $I = 3A$이다.
구해야 할 값: 축적되는 자기에너지 W이다.
주의할 조건: 단면적을 cm^2에서 m^2로 바꾸고, 먼저 인덕턴스 L를 구한 뒤 W=12LI^2를 적용한다.

사용할 공식

환상 솔레노이드의 인덕턴스는 $L = \frac{N^2\mu A}{l}$ 이고, 자기에너지는 W=12LI^2 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 평균 자로 길이와 단면적, 투자율, 권선수가 주어진 철심 환상 솔레노이드이므로 인덕턴스를 먼저 구한 뒤 그 인덕턴스에 저장되는 에너지를 계산할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 단면적을 변환하면 $10cm^2 = 10 \times 10^{-4} = 10^{-3}m^2$ 이다.
2. 인덕턴스는 $L = \frac{100^2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{0.5} = 0.02H$ 이다.
3. 자기에너지는 W=12×0.02×3^2=0.09 J 이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 0.02는 자기에너지가 아니라 먼저 계산되는 인덕턴스 L 값이다. 틀린 표현은 자기에너지를 0.02 J로 둔 부분이며, 올바르게는 인덕턴스가 0.02 H이고 자기에너지는 0.09 J이다.
2번 O: 계산 결과 자기에너지는 $0.09J$ 이므로 맞다.
3번 X: 0.18은 LI^2까지 계산하고 12를 빠뜨리면 나오는 값이다. 틀린 표현은 자기에너지를 0.18 J로 둔 부분이며, 올바르게는 12LI^2를 적용한 0.09 J이다.
4번 X: 0.2는 소수점이나 단위 변환을 거칠게 처리할 때 혼동하기 쉬운 값이지만, 주어진 조건으로 계산한 자기에너지와 일치하지 않는다. 틀린 표현은 자기에너지를 0.2 J로 둔 부분이며, 올바르게는 0.09 J이다.

오답 포인트

단면적 $10cm^2$를 $10^{-3}m^2$로 바꾸지 않거나, 인덕턴스 L과 자기에너지 W를 같은 값으로 보면 틀린다. 또 W=12LI^2에서 12를 빠뜨리면 0.18 J가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

환상 솔레노이드 계산형은 조건을 μ, N, A, l, I로 정리한 뒤 $L = \frac{N^2 \mu A}{l}$를 먼저 구하고, 마지막에 W=12LI^2를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

환상 솔레노이드의 자기에너지는 인덕턴스를 먼저 구한 뒤 W=12LI^2로 마무리하며, $10cm^2 = 10^{-3}m^2$ 변환을 함께 기억한다.

NoteBase

문 3. 균일한 물질로 이루어졌으며 단면의 지름이 $2[mm]$인 원통형 전선이 있다. 전선 방향으로 $100[V/m]$의 전계를 가하였을 때 총 $60\pi[A]$의 정상전류가 흐른다면 전선을 구성하는 물질의 전기전도도의 값$[S/m]$은?

① 1.5×10^3

② 6×10^3

③ 1.5×10^5

④ 6×10^5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 도체의 전류식 $I = \sigma EA$를 이용해 전기전도도 σ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전계 $E = 100V/m$, 전류 $I = 60\pi A$, 지름 $d = 2mm$이다. 구해야 할 값은 전기전도도 σ이다.
단면의 지름이므로 반지름은 $1mm = 10^{-3}m$로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

균일한 도체에서는 전류밀도 $J = \sigma E$이고 전체 전류는 $I = JA$이므로 $I = \sigma EA$가 된다. 전선의 단면적과 전계, 전류가 모두 주어졌으므로 이 공식을 바로 적용할 수 있다.

계산 과정

단면적은 $A = \pi r^2 = \pi(10^{-3})^2 = \pi \times 10^{-6} m^2$이다. 따라서 $60\pi = \sigma \times 100 \times \pi \times 10^{-6}$이다. 이를 정리하면 $\sigma = \frac{60\pi}{100\pi \times 10^{-6}} = 6 \times 10^5 S/m$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $6 \times 10^5 S/m$이므로 1.5×10^3은 틀리다. 틀린 표현은 '전기전도도는 $1.5 \times 10^3 S/m$이다'이며, 올바르게는 '전기전도도는 $6 \times 10^5 S/m$이다'가 된다.
② X: 계산 결과와 비교하면 6×10^3은 100배 작아 틀리다. 틀린 표현은 '전기전도도는 $6 \times 10^3 S/m$이다'이며, 올바르게는 '전기전도도는 $6 \times 10^5 S/m$이다'가 된다.
③ X: 계산 결과와 비교하면 1.5×10^5은 4배 작아 틀리다. 틀린 표현은 '전기전도도는 $1.5 \times 10^5 S/m$이다'이며, 올바르게는 '전기전도도는 $6 \times 10^5 S/m$이다'가 된다.
④ O: $\sigma = 6 \times 10^5 S/m$로 계산되므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

지름 2mm를 그대로 반지름으로 넣거나, mm를 m로 바꾸지 않으면 단면적에서 10^{-6}이 틀어져 오답이 나온다. 또 $I = \sigma EA$에서 A를 빼먹으면 값의 자릿수가 크게 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 전선 문제는 먼저 반지름과 단면적을 SI 단위로 바꾼 뒤 $J = \sigma E$, $I = JA$를 연결해 $I = \sigma EA$로 정리하면 된다. 마지막에는 자릿수가 10^5 수준인지 검산하면 된다.

암기 포인트

도체 전류는 $I = \sigma EA$, 원형 단면적은 $A = \pi r^2$, 지름이 주어지면 반지름부터 구한다.

NoteBase

문 4. 전계의 세기가 $A[kV/m]$인 지점에서 비유전율을 3에서 5로 증가시킬 경우, 분극의 세기의 변화로 가장 옳은 것은?

① 변함 없다.

② 0.5배가 된다.

③ 2.0배가 된다.

④ 4.0배가 된다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전계의 세기가 일정할 때 분극의 세기 P가 비유전율 변화에 따라 어떻게 달라지는지를 식으로 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전계의 세기 $E = A[kV/m]$로 일정하다.
변하는 값: 비유전율이 3에서 5로 증가한다.
구해야 할 값: 분극의 세기 변화 비율이다.
주의할 조건: 전계 E가 일정하므로 분극은 $(\varepsilon_r - 1)$의 변화만 비교하면 된다.

사용할 공식

분극의 세기는 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 선형 유전체에서 분극은 전기감수율 $\chi_e = \varepsilon_r - 1$에 비례하므로, 전계가 일정하면 $(\varepsilon_r - 1)$의 비만 계산하면 된다.

계산 과정

1. 처음 분극의 세기는 $P_1 = \varepsilon_0(3 - 1)E = 2\varepsilon_0 E$이다.
2. 바뀐 뒤 분극의 세기는 $P_2 = \varepsilon_0(5 - 1)E = 4\varepsilon_0 E$이다.
3. 변화 비율은 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{4\varepsilon_0 E}{2\varepsilon_0 E} = 2$이다.
4. 따라서 분극의 세기는 2.0배가 된다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: '변함 없다'는 틀리다. P는 전계가 일정할 때 $(\varepsilon_r - 1)$에 비례하므로 비유전율이 3에서 5로 바뀌면 분극은 커진다. 틀린 표현은 '변함 없다'이고, 올바르게는 '2.0배가 된다'이다.
2번 X: '0.5배가 된다'는 틀리다. $(\varepsilon_r - 1)$가 2에서 4로 증가하므로 분극은 절반이 아니라 두 배가 된다. 틀린 표현은 '0.5배'이고, 올바르게는 '2.0배가 된다'이다.
3번 O: $\frac{P_2}{P_1} = 2$이므로 옳다. 비유전율 자체를 바로 비교하는 것이 아니라 $(\varepsilon_r - 1)$의 비를 비교해야 한다.
4번 X: '4.0배가 된다'는 틀리다. 새 분극이 $4\varepsilon_0 E$라는 값만 보고 처음 값을 빼먹으면 4배로 오해할 수 있으나, 처음 값도 $2\varepsilon_0 E$이므로 실제 변화 비율은 2이다. 틀린 표현은 '4.0배'이고, 올바르게는 '2.0배가 된다'이다.

오답 포인트

분극이 ε_r 자체에 비례한다고 착각하거나, 바뀐 뒤 식의 계수 4만 보고 처음 계수 2를 비교하지 않으면 오답이 된다. 이 문항의 함정은 $(\varepsilon_r - 1)$와 ε_r를 혼동하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 변화 문제는 먼저 무엇을 묻는지 구분한 뒤, 분극이면 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$를 쓴다. 그다음 고정된 항을 소거하고 변화하는 항의 비만 계산하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

전계가 일정한 선형 유전체에서는 분극이 $P \propto (\varepsilon_r - 1)$이다.

NoteBase

문 5. 자유공간에서 $f = 14\text{GHz}$인 5G 이동통신 서비스를 제공하고 있다. 이 주파수에 대하여 전파정수 k와 전자파의 속도 $v_0[m/s]$의 값을 옳게 짝지은 것은? (단, $\pi = 3.14$이고, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$, $\mu_r = \varepsilon_r = 1$, $\sigma = 0$이다.)

① k: $293.07 - j0$, v_0: 3×10^8

② k: $293.07 - j0$, v_0: 4×10^8

③ k: $586.13 - j0$, v_0: 3×10^8

④ k: $586.13 - j0$, v_0: 4×10^8

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 자유공간의 무손실 전파 조건에서 $v_0 = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$, $k = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = 2\pi f/v_0$를 이용해 전파정수와 전자파 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $f = 14\text{GHz}$, $\mu_r = \varepsilon_r = 1$, $\sigma = 0$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\text{F/m}$이다.
구해야 할 값은 전파정수 k와 전자파의 속도 v_0이다.
주의할 조건은 자유공간이므로 속도는 주파수와 무관하게 일정하고, $\sigma = 0$이므로 감쇠 성분이 0이라는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$, $k = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = \frac{2\pi f}{v_0}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자유공간이면서 $\mu_r = \varepsilon_r = 1$인 무손실 매질이므로 위상속도와 전파정수를 기본 상수만으로 바로 계산할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 자유공간의 속도는 $v_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$이다.
2. $\mu_0\varepsilon_0 = (4\pi \times 10^{-7})\left(\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\right) = \frac{1}{9} \times 10^{-16}$이므로 $\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = \frac{1}{3} \times 10^{-8}$이다. 따라서 $v_0 = 3 \times 10^8\text{m/s}$이다.
3. $k = \frac{2\pi f}{v_0} = \frac{2 \times 3.14 \times 14 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 293.07$이다. 손실이 없으므로 감쇠정수 $\alpha = 0$이고, 문항의 선지 표기대로 쓰면 $k = 293.07 - j0$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: O. 계산 결과 $k = 293.07 - j0$, $v_0 = 3 \times 10^8$m/s이므로 선지와 일치한다.
2번: X. $k = 293.07 - j0$는 맞지만 $v_0 = 4 \times 10^8$m/s가 틀리다. 자유공간의 속도는 3×10^8m/s가 맞다.
3번: X. $v_0 = 3 \times 10^8$m/s는 맞지만 $k = 586.13 - j0$가 틀리다. 전파정수는 $k = 293.07 - j0$가 맞고, 586.13은 2π를 한 번 더 곱한 값처럼 두 배로 계산한 오답이다.
4번: X. $k = 586.13 - j0$, $v_0 = 4 \times 10^8$m/s가 모두 틀리다. 올바른 값은 $k = 293.07 - j0$, $v_0 = 3 \times 10^8$m/s이다.

오답 포인트

자유공간의 전자파 속도는 주파수가 14 GHz여도 3×10^8m/s로 고정된다는 점을 놓치기 쉽다. 또 $k = 2\pi/\lambda = 2\pi f/v_0$인데 2π를 중복해서 곱하면 586.13처럼 두 배 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유공간·무손실 조건이 보이면 먼저 $v_0 = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = 3 \times 10^8$m/s를 확정하고, 다음에 $k = 2\pi f/v_0$를 계산해 선지와 비교하면 된다.

암기 포인트

자유공간에서는 $v_0 = c = 3 \times 10^8$m/s이고, 무손실이면 $k = 2\pi f/c$이며 감쇠 성분은 0이다.

NoteBase

문 6. 변압기나 발전기 등 에너지 변환기기에서 사용되는 강자성체의 특징으로 가장 옳지 않은 것은?

① 강자성체는 높은 투자율을 가진다.

② 자기포화 현상이 발생하면, 투자율은 더욱 증가된다.

③ 외부 자계에 의해서 자성체 내부의 자기모멘트가 정렬된다.

④ 철, 코발트, 니켈은 강자성체에 해당된다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 강자성체의 기본 성질과 자기포화 시 투자율 변화를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

강자성체는 외부 자계가 가해지면 내부 자기모멘트가 같은 방향으로 잘 정렬되어 큰 자화를 나타내는 물질이다. 핵심 판단축은 높은 투자율과 자기포화의 의미이다. 자기포화는 자화가 한계에 가까워져 자계를 더 키워도 자속밀도가 비례해서 잘 늘지 않는 상태이다.

선지별 해설

1번: O. 강자성체는 자화가 매우 잘 일어나므로 투자율이 크다. 변압기 철심에 강자성체를 쓰는 이유도 작은 자계로 큰 자속을 만들기 쉽기 때문이다.
2번: X. 틀린 표현은 "투자율은 더욱 증가된다"이다. 자기포화가 발생하면 자화 증가가 둔화되어 $B-H$ 곡선의 기울기가 작아지므로 투자율은 커지지 않고 오히려 감소하거나 거의 증가하지 않는다.
3번: O. 강자성체 내부에는 자기모멘트들이 있고, 외부 자계가 가해지면 이들이 자계 방향으로 정렬되어 큰 자화를 만든다.
4번: O. 철, 코발트, 니켈은 대표적인 강자성체이다. 전자기기 자성재료의 기본 예시로 자주 출제된다.

오답 포인트

자기포화를 단순히 "자계가 커졌으니 자화도 더 잘 된다"로 이해하면 2번에 속기 쉽다. 포화는 더 잘 자화되는 상태가 아니라 더 이상 잘 늘지 않는 한계 상태라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

강자성체 문제는 먼저 높은 투자율, 자기모멘트 정렬, 대표 물질을 확인하고, 포화라는 말이 나오면 "증가 한계에 도달해 기울기가 둔화된다"는 방향으로 판단한다.

암기 포인트

강자성체는 잘 자화되고, 자기포화가 되면 더 잘 자화되는 것이 아니라 자화 증가가 둔화된다.

NoteBase

문 7. 안쪽 도체의 반지름이 a이고 바깥 도체의 내반지름이 b인 무한히 긴 동축 케이블에 V_0의 전압을 인가하여 부하 저항에 I의 전류를 흘리고 있다. 두 도체 사이에 유전율 ε의 유전체가 채워져 있을 때, 중심으로부터 $r(a<r<b)$만큼 떨어진 점에서 형성된 전계와 자계에 의한 포인팅 벡터 $\vec{P}$의 크기는?

① $\frac{V_0}{r\ln(b/a)}$
② $\frac{V_0 I}{2\pi r^2 \ln(b/a)}$
③ $\frac{V_0 I}{2\pi\varepsilon \ln(b/a)}$
④ $\frac{V_0 I}{2\pi\varepsilon}\ln(b/a)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 동축 케이블 내부에서 전계 E와 자계 H를 구한 뒤 포인팅 벡터의 크기 $|\vec{P}| = |\vec{E} \times \vec{H}|$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 안쪽 도체 반지름 a, 바깥 도체의 내반지름 b, 인가 전압 V_0, 전류 I, 관찰 위치 $r(a<r<b)$이다.
구해야 할 값은 반지름 r에서의 포인팅 벡터 크기이다.
유전체의 유전율 ε는 전계 유도 과정에는 등장하지만, 전압 V_0가 이미 주어졌으므로 최종 $E(r)$ 식에는 직접 남지 않는다.

사용할 공식

사용할 식은 $E(r) = \frac{V_0}{r\ln(b/a)}$, $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$, $|\vec{P}| = EH$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 동축 케이블의 전계는 반지름 방향으로만 생기고, 전류 I가 만드는 자계는 원주 방향으로 생기므로 두 벡터가 서로 수직이어서 포인팅 벡터의 크기가 단순히 EH가 되기 때문이다.

계산 과정

1. 동축 케이블의 전위차 식 $V_0 = \int_a^b E dr$로부터 $E(r) = \frac{V_0}{r\ln(b/a)}$를 얻는다.
2. 암페어 법칙으로 $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$를 얻는다.
3. 따라서 포인팅 벡터의 크기는
$|\vec{P}| = EH = \frac{V_0}{r\ln(b/a)} \cdot \frac{I}{2\pi r} = \frac{V_0 I}{2\pi r^2 \ln(b/a)}$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{V_0}{r\ln(b/a)}$는 전계 $E(r)$의 크기만 나타낸 식이다. 포인팅 벡터는 전계와 자계의 곱이어야 하므로 자계 $H(r)=\frac{I}{2\pi r}$가 빠져 있다. 틀린 표현은 포인팅 벡터를 전계만으로 쓴 점이며, 올바르게는 $\frac{V_0 I}{2\pi r^2\ln(b/a)}$이다.

② O: $E(r)=\frac{V_0}{r\ln(b/a)}$, $H(r)=\frac{I}{2\pi r}$이므로 $|\vec{P}|=EH=\frac{V_0 I}{2\pi r^2\ln(b/a)}$가 된다. 계산 결과와 정확히 일치한다.

③ X: 식에 ε가 들어가 있고 r^2가 빠져 있어 차원이 맞지 않는다. 전압 V_0가 직접 주어진 경우 $E(r)$는 $\frac{V_0}{r\ln(b/a)}$로 정리되므로 최종 포인팅 벡터 식에 ε가 남지 않는다. 틀린 표현은 분모를 $2\pi\varepsilon\ln(b/a)$로 둔 점이며, 올바르게는 $2\pi r^2\ln(b/a)$가 분모가 된다.

④ X: $\ln(b/a)$가 분자에 있고 ε가 남아 있어 식의 구조가 반대이다. 이는 전위차 적분 관계를 뒤집거나 E 식을 잘못 정리한 경우의 오답이다. 틀린 표현은 $\ln(b/a)$를 곱하고 ε를 남긴 점이며, 올바르게는 $\frac{V_0 I}{2\pi r^2\ln(b/a)}$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 ①처럼 전계 식만 답으로 고르거나, ③·④처럼 선전하밀도 λ를 거쳐 $E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon r}$를 쓴 뒤 λ와 V_0의 관계를 정리하면서 r 또는 $\ln(b/a)$ 위치를 틀리는 데 있다. 포인팅 벡터는 반드시 $E\times H$까지 곱해 보아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

동축 케이블에서 에너지 흐름을 묻는 계산형 문제는 먼저 $E(r)$를 전압 조건으로, 다음 $H(r)$를 전류 조건으로 구한 뒤, 마지막에 $|\vec{P}|=EH$를 적용하는 순서로 판단한다. 중간에 ε가 보이더라도 전압 V_0로 이미 정리된 식인지 다시 확인하면 오답을 줄일 수 있다.

암기 포인트

동축 케이블의 에너지 흐름은 $E(r)=\frac{V_0}{r\ln(b/a)}$, $H(r)=\frac{I}{2\pi r}$, 따라서 $|\vec{P}|=\frac{V_0 I}{2\pi r^2\ln(b/a)}$이다.

문 8. 직각좌표계에서 점 $P_1(x, y, z) = (-3, -1, 1)$에 전하량 $1[nC]$의 전하 Q_1이 놓여 있고, 점 $P_2(x, y, z) = (1, 3, 1)$에 전하량 $9[nC]$의 전하 Q_2가 놓여 있다. 점 P_3에 놓인 전하량 $2[nC]$의 전하 Q_3가 Q_1, Q_2로부터 받는 총 힘의 크기가 0일 때 P_3의 좌표는?

① $(-2, 0, 1)$

② $(-2, 1, 1)$

③ $(-1, 0, 1)$

④ $(-1, 1, 1)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 쿨롱의 법칙과 두 점전하 사이의 내분 관계를 이용해 합력이 0이 되는 좌표를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P_1 = (-3, -1, 1), Q_1 = 1\text{nC}, P_2 = (1, 3, 1), Q_2 = 9\text{nC}, Q_3 = 2\text{nC}$이다.
구해야 할 값: Q_3가 받는 총힘이 0이 되는 P_3의 좌표이다.
주의할 조건: Q_1, Q_2가 모두 양전하이므로 상쇄점은 두 전하를 잇는 선분 위에서만 생긴다.

사용할 공식

전기력의 크기는 $F = k\frac{|Qq|}{r^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: Q_3가 받는 두 힘의 합이 0이 되려면 두 힘의 방향이 반대이고 크기가 같아야 하는데, 같은 부호의 두 전하에서는 그 점이 두 전하를 잇는 직선 위에 놓인다.

NoteBase

계산 과정

$P_2 - P_1 = (4, 4, 0)$이므로 상쇄점은 P_1과 P_2를 잇는 선분 위에 있다.
두 힘의 크기가 같아야 하므로
$k\frac{Q_1 Q_3}{r_1^2} = k\frac{Q_2 Q_3}{r_2^2}$
$\frac{1}{r_1^2} = \frac{9}{r_2^2} \Rightarrow r_2 = 3r_1$
또한 두 점 사이 거리는
$P_1P_2 = \sqrt{4^2 + 4^2} = 4\sqrt{2}$
이므로
$r_1 + r_2 = 4\sqrt{2}, \quad r_2 = 3r_1$
$4r_1 = 4\sqrt{2} \Rightarrow r_1 = \sqrt{2}, \quad r_2 = 3\sqrt{2}$
따라서 P_3는 P_1에서 P_2 방향으로 선분의 14 지점이다.
P_3=(-3,-1,1)+14(4,4,0)=(-2,0,1)
계산 결과 $P_3 = (-2, 0, 1)$이므로 정답은 1번이다.

선지 판단

1번 O: $(-2, 0, 1)$에서는 P_1까지 거리가 $\sqrt{2}$, P_2까지 거리가 $3\sqrt{2}$가 되어 거리비 $1 : 3$을 만족한다. 두 힘의 방향도 반대이므로 합력이 0이 된다.
2번 X: $(-2, 1, 1)$에서는 P_1까지 거리제곱이 5, P_2까지 거리제곱이 13이어서 $r_2 = 3r_1$ 조건을 만족하지 않는다. 틀린 표현은 상쇄점의 y좌표를 1로 본 판단이며, 올바르게는 $P_3 = (-2, 0, 1)$이다.
3번 X: $(-1, 0, 1)$에서도 P_1까지 거리제곱이 5, P_2까지 거리제곱이 13이어서 두 힘의 크기가 같지 않다. 틀린 표현은 상쇄점의 x좌표를 -1로 본 판단이며, 올바르게는 P_1에서 선분의 14 지점인 $x = -2$가 되어야 한다.
4번 X: $(-1, 1, 1)$은 두 점의 중점이라 두 거리만 같을 뿐이다. 전하량이 $1 : 9$이므로 힘의 크기는 같아지지 않는다. 틀린 표현은 중점이면 합력이 0이라는 판단이며, 올바르게는 같은 부호 두 전하의 상쇄점은 작은 전하 쪽에 더 가까운 점이다.

오답 포인트

전하량비가 $1 : 9$일 때 거리비를 그대로 $1 : 9$로 보거나, 같은 부호 두 전하의 상쇄점을 무조건 중점으로 보는 실수가 자주 나온다. 힘의 크기는 $\frac{1}{r^2}$에 비례하므로 거리비는 전하량비의 제곱근으로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 부호 두 점전하의 합력 0점은 먼저 두 전하를 잇는 선분 위에 놓고, 그다음 $k\frac{Q}{r^2}$를 같게 두어 거리비 $r_1 : r_2 = \sqrt{Q_1} : \sqrt{Q_2}$를 만든 뒤 내분점 좌표로 옮기면 된다.

암기 포인트

같은 부호 두 전하의 상쇄점은 작은 전하 쪽에 가깝고, 거리비는 전하량비가 아니라 전하량의 제곱근비이다.

NoteBase

문 9. 내구의 반지름이 a, 외구의 내반지름이 b인 동심 구도체간에 유전율이 ε이고 비저항이 ρ인 저항물질이 채워져 있을 때, 내외구 사이의 저항의 값[Ω]은?

① $\frac{4\pi\varepsilon}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}$
② $\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$
③ $\frac{4\pi\varepsilon\rho}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}$
④ $\frac{\rho}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 동심 구도체 사이에 전류가 반지름 방향으로 흐를 때의 미소저항을 적분하여 전체 저항을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내구 반지름 a, 외구의 내반지름 b, 비저항 ρ, 유전율 ε이다. 구해야 할 값은 내구와 외구 사이의 저항이다. 정상 전도에서 저항은 비저항과 도전 경로로 결정되므로 ε는 저항식에 직접 들어가지 않는다.

사용할 공식

반지름 r에서의 전류 단면적은 구면적 $4\pi r^2$이므로 미소저항은 $dR=\frac{\rho dr}{4\pi r^2}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전류가 중심에서 바깥으로 구면 대칭으로 퍼지므로 각 반지름에서의 통전 면적이 $4\pi r^2$가 되기 때문이다.

계산 과정

전체 저항은
$R=\int_a^b dR=\int_a^b \frac{\rho dr}{4\pi r^2}=\frac{\rho}{4\pi}\int_a^b r^{-2}dr$
이다.
적분하면
$R=\frac{\rho}{4\pi}\left[-\frac{1}{r}\right]_a^b=\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$
가 된다. 계산 결과와 일치하는 선지는 2번이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $\frac{4\pi\varepsilon}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}$는 동심 구도체의 정전용량 식이다. 틀린 표현은 저항을 유전율 ε로 나타낸 부분이다. 올바르게는 저항은 $R=\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$이다.
2번 O: $\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$는 미소저항 적분 결과와 정확히 일치한다.
3번 X: $\frac{4\pi\varepsilon\rho}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}$는 정전용량 식에 다시 ρ를 곱한 형태로 저항식이 아니다. 틀린 표현은 분모에 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}$를 두고 ε를 포함한 부분이다. 올바르게는 ε가 빠지고 $\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$가 된다.
4번 X: $\frac{\rho}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$는 정답식에 ε를 추가로 나눈 형태이다. 틀린 표현은 유전율을 저항식에 넣은 부분이다. 올바르게는 ε 없이 $\frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$이다.

오답 포인트

동심 구도체라는 말 때문에 정전용량 식 $C=\frac{4\pi\varepsilon}{\frac{1}{a}-\frac{1}{b}}$를 바로 떠올리면 1번이나 3번으로 흔들리기 쉽다. 이 문항은 유전체가 아니라 비저항 ρ를 가진 저항물질의 전도 문제이므로, 먼저 통전 면적이 반지름에 따라 $4\pi r^2$로 변한다는 점을 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

구면이나 원통처럼 단면적이 위치에 따라 변하는 저항 문제는 먼저 전류 방향을 정하고, 그 위치의 단면적 $A(r)$를 쓴 뒤 $dR=\rho dr/A(r)$를 적분하는 순서로 판단한다. 식에 ε가 보이면 정전용량 문제와 혼동한 것은 아닌지 다시 점검한다.

암기 포인트

동심 구도체 저항은 $dR=\rho dr/(4\pi r^2)$를 적분하고, ε가 들어가면 저항이 아니라 정전용량 계열 식일 가능성이 크다.

NoteBase

문 10. 서로 다른 종류의 금속 A와 B를 접합하여 하나의 폐회로를 만든 후에 두 접합점의 온도를 다르게 할 경우, 폐회로에 전류가 흐르는 현상은?

① 제벡 현상
② 압전 현상
③ 톰슨 현상
④ 펠티에 현상

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 열전 현상인 제벡 효과, 톰슨 효과, 펠티에 효과의 성립 조건을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

제벡 현상은 서로 다른 두 금속으로 폐회로를 만들고 두 접합점의 온도를 다르게 하면 열기전력이 생겨 전류가 흐르는 현상이다. 압전 현상은 결정에 기계적 압력을 가할 때 전압이 생기는 현상이다. 톰슨 현상은 한 종류의 도체 내부에 온도 기울기가 있을 때 전류가 흐르면서 열의 흡수 또는 방출이 나타나는 현상이다. 펠티에 현상은 서로 다른 두 물질의 접합부에 전류가 흐를 때 접합부에서 흡열 또는 발열이 나타나는 현상이다.

선지별 해설

1번 O: 서로 다른 금속 A와 B를 접합해 폐회로를 만들고 두 접합점의 온도를 다르게 했을 때 전류가 흐르는 현상은 제벡 현상이다. 문제의 조건과 정확히 일치한다.
2번 X: 틀린 표현은 "압전 현상"이다. 압전 현상은 압력이나 변형을 가했을 때 전압이 생기는 현상이며, 온도차로 폐회로 전류가 생기는 현상이 아니다. 이 문장은 제벡 현상으로 고쳐야 한다.
3번 X: 틀린 표현은 "톰슨 현상"이다. 톰슨 현상은 한 도체 내부의 온도 기울기와 전류에 따른 흡열·발열 현상이지, 서로 다른 두 금속 접합점의 온도차로 열기전력이 생기는 현상이 아니다. 이 문장은 제벡 현상으로 고쳐야 한다.
4번 X: 틀린 표현은 "펠티에 현상"이다. 펠티에 현상은 전류가 먼저 흐를 때 접합부에서 냉각 또는 가열이 생기는 현상이다. 문제처럼 온도차 때문에 전류가 생기는 경우는 제벡 현상이다.

오답 포인트

제벡 현상과 펠티에 현상은 모두 서로 다른 두 물질의 접합부가 등장하므로 혼동하기 쉽다. 구별 기준은 원인과 결과이다. 온도차가 원인이고 전류가 결과이면 제벡 현상이고, 전류가 원인이고 접합부의 흡열·발열이 결과이면 펠티에 현상이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 현상의 원인이 온도차인지, 압력인지, 전류인지부터 본다. 서로 다른 두 금속의 접합점 온도차로 기전력이나 전류가 생기면 제벡 현상으로 판단한다. 전류가 먼저 주어지고 접합부의 열 변화가 나타나면 펠티에 현상으로 판단한다.

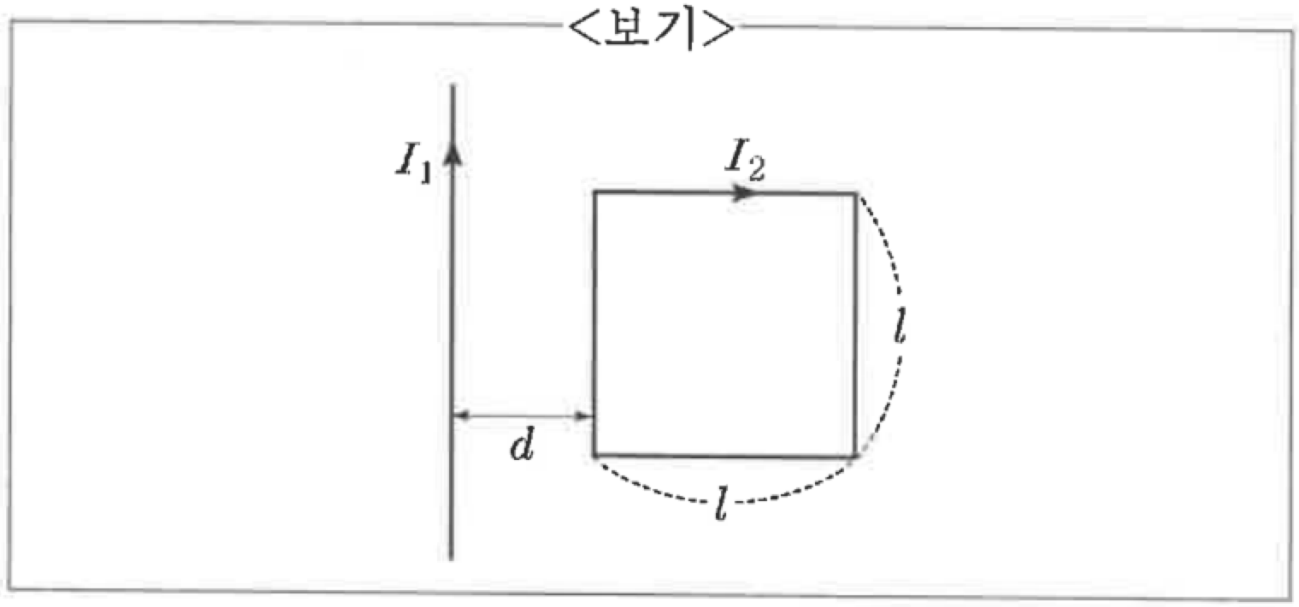
암기 포인트

서로 다른 금속 + 두 접합점 온도차 + 전류 발생은 제벡 현상이다. 전류 인가 후 접합부 냉각·가열은 펠티에 현상이고, 한 도체 내부의 열 흡수·방출은 톰슨 현상이다.

NoteBase

문 11. <보기>와 같이 무한히 긴 가는 도선에 전류 I_1[A]이 흐르고 있고, 그 옆에는 한 변의 길이가 l[m]인 정사각형 루프가 놓여 있으며, 루프의 두 변은 도선과 나란하다. 루프에는 시계방향으로 전류 I_2[A]가 흐르고 있고, 루프의 가까운 변과 도선 사이는 거리 d[m]만큼 떨어져 있을 때, 루프와 도선 사이에 작용하는 힘의 크기[N]는?

<보기>



① $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{\pi}\left[\frac{1}{d}+\frac{1}{d+l}\right]$
② $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi}\left[\frac{1}{d}+\frac{1}{d+l}\right]$
③ $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d(d+l)}$
④ $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d^2}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 무한 직선도선이 만드는 자기장 $B=\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$을 이용해 정사각형 루프의 두 수직변에 작용하는 힘의 차를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 무한 직선도선에 전류 I_1, 한 변의 길이가 l인 정사각형 루프에 시계방향 전류 I_2가 흐른다. 루프의 가까운 수직변은 도선에서 d, 먼 수직변은 $d+l$만큼 떨어져 있다.
구해야 할 값: 루프와 도선 사이의 알짜힘의 크기이다.
주의할 조건: 위아래 수평변의 힘은 서로 반대 방향이어서 상쇄되고, 수직변 두 개의 수평방향 힘만 남는다.

NoteBase

사용할 공식

직선도선에서 거리 r인 점의 자기장은 $B(r) = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$이다. 자기장 속 길이 l의 도선이 받는 힘의 크기는 $F = I_2 l B$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 루프의 왼쪽변과 오른쪽변은 직선도선과 나란한 평행도선 구간이므로, 각 변에서의 자기장을 구한 뒤 $F = IlB$로 힘을 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 가까운 수직변은 직선도선과 전류 방향이 같으므로 인력이 작용한다. 크기는 $F_1 = I_2 l \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$이다.
2. 먼 수직변은 직선도선과 전류 방향이 반대이므로 척력이 작용한다. 크기는 $F_2 = I_2 l \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2\pi (d+l)} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi (d+l)}$이다.
3. 두 힘은 서로 반대 방향이므로 알짜힘의 크기는 차이이다.
$F = F_1 - F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+l}\right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d(d+l)}$
따라서 루프는 도선 쪽으로 끌리며, 크기는 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d(d+l)}$이다.

선지 판단

1번: X
식 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{\pi}\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d+l}\right)$은 두 수직변의 힘을 같은 방향으로 더했고 계수도 $\frac{1}{2\pi}$가 아니라 $\frac{1}{\pi}$로 잘못 두었다. 틀린 표현은 "합"이고, 올바르게는 두 힘의 차 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d+l}\right)$가 되어야 한다.
2번: X
식 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi}\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d+l}\right)$은 계수는 맞지만 가까운 변의 인력과 먼 변의 척력을 더한 점이 틀렸다. 틀린 표현은 "+"이고, 올바르게는 방향이 반대이므로 "-"가 되어야 한다.
3번: O
$\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d(d+l)}$는 $\frac{1}{d} - \frac{1}{d+l} = \frac{l}{d(d+l)}$를 정리한 결과와 일치한다. 가까운 변과 먼 변의 힘 차를 정확히 반영한 식이다.
4번: X
식 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi d}$은 차원상으로도 부자연스럽고, 실제로는 가까운 변의 힘 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$만 남기거나 l을 잘못 한 번 더 곱한 형태이다. 틀린 표현은 먼 변 효과의 누락이고, 올바르게는 먼 변의 척력 $\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi (d+l)}$도 빼 주어야 한다.

오답 포인트

가까운 변과 먼 변의 힘을 무조건 더하면 틀린다. 이 문항의 함정은 두 수직변의 전류 방향이 서로 반대이므로 한쪽은 인력, 다른 쪽은 척력이라는 점이다. 또한 $\frac{1}{d} - \frac{1}{d+l}$를 통분하면 $\frac{l}{d(d+l)}$가 된다는 정리를 놓치면 3번 형태를 못 고른다.

다시 나오면 이렇게 판단

직선도선 옆 루프 문제는 먼저 힘이 남는 변과 상쇄되는 변을 구분하고, 남는 평행변에 대해 가까운 변의 힘과 먼 변의 힘을 각각 계산한 뒤 방향이 같으면 더하고 반대면 뺀다. 마지막에 $\frac{1}{d}$ 형태를 통분해 선지식과 비교하면 된다.

NoteBase

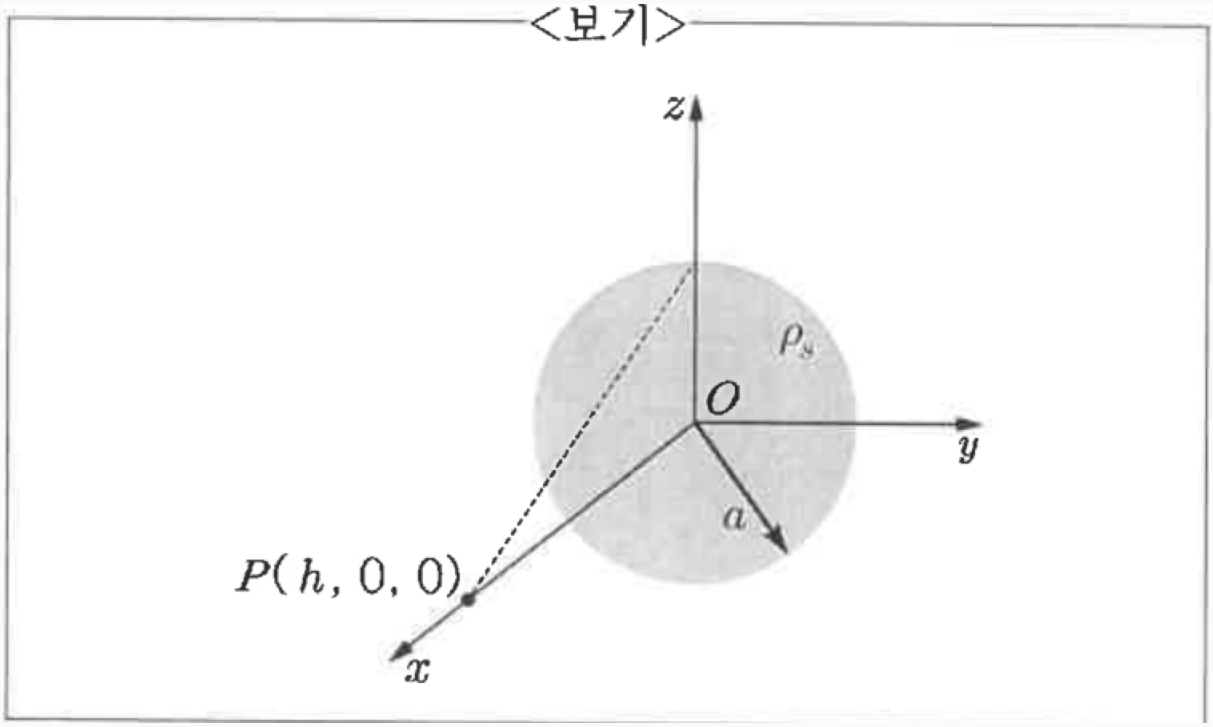
암기 포인트

직선도선 옆 사각 루프의 알짜힘은 수평변 상쇄, 수직변 차이이다. 즉 $\frac{1}{d} - \frac{1}{d+l}$가 핵심이며 결과는 가까운 변 쪽 인력으로 남는다.

NoteBase

문 12. <보기>와 같이 중심이 원점에 있고, 반지름이 $a[m]$인 원판 전하가 yz평면에 놓여 있다. 면전하밀도가 $\rho_s[C/m^2]$이라고 할 때, x축상에 있는 점 $P(h, 0, 0)$에서의 전계 $\vec{E}[V/m]$는?

<보기>



① $\frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$
② $\frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}-\frac{1}{h}\right)\vec{a}_x$
③ $\frac{\rho_s h}{4\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h}-\frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$
④ $\frac{\rho_s h}{4\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}-\frac{1}{h}\right)\vec{a}_x$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 yz평면 위의 균일한 원판 전하가 축상 점 $P(h, 0, 0)$에 만드는 전계를 대칭성과 고리 적분으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 반지름 a, 면전하밀도 ρ_s, 관측점 $P(h, 0, 0)$이다.
구해야 할 값은 x축상의 전계 $\vec{E}$이다.
원판이 yz평면에 있으므로 대칭에 의해 y, z성분은 상쇄되고 x성분만 남는다.

NoteBase

사용할 공식

반지름 r, 두께 dr인 미소 고리를 잡으면 $dq = \rho_s 2\pi r dr$이다.
고리에서 점 P까지의 거리 $R = \sqrt{r^2 + h^2}$이고, 축방향 성분만 남으므로
$dE_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{R^2}\cos\theta = \frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\frac{rdr}{(r^2+h^2)^{3/2}}$
이 공식을 쓰는 이유는 원판 전하를 동심원 고리들의 합으로 볼 수 있고, 각 고리의 전계에서 축과 수직인 성분은 대칭으로 상쇄되기 때문이다.

계산 과정

고리 적분을 하면
$E_x = \frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\int_0^a \frac{rdr}{(r^2+h^2)^{3/2}}$
이고,
$\int \frac{rdr}{(r^2+h^2)^{3/2}} = -\frac{1}{\sqrt{r^2+h^2}}$
이므로
$E_x = \frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)$
이다.
따라서
$\vec{E} = \frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$
가 된다.

선지별 해설

① O
계산 결과와 정확히 일치한다. 괄호 안은 $\frac{1}{h} > \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}$이므로 양수이고, 양전하가 $x > 0$축 점에 만드는 전계 방향도 $+x$방향이어서 식과 방향이 모두 맞다.

② X
괄호의 순서가 뒤집혀 $\left(\frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}} - \frac{1}{h}\right)$가 되어 음수가 된다. 이는 전계가 $-x$방향이라는 뜻이므로 틀리다. 틀린 표현은 괄호의 부호 순서이고, 올바르게는 $\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)$이다.

③ X
괄호는 맞지만 계수가 $\frac{\rho_s h}{4\varepsilon_0}$로 되어 있어 실제값의 절반이다. 쿨롱상수 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$와 고리 전하 $dq = \rho_s 2\pi r dr$를 곱하면 앞계수는 $\frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}$가 남아야 한다. 틀린 표현은 $4\varepsilon_0$이고, 올바르게는 $2\varepsilon_0$이다.

④ X
계수도 $\frac{1}{4\varepsilon_0}$로 잘못되었고 괄호 순서도 뒤집혀 있다. 따라서 크기와 방향이 모두 틀리다. 올바르게는 $\frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$이다.

NoteBase

오답 포인트

원판 전계는 최종식만 외우면 ②처럼 부호를 뒤집기 쉽고, 적분 앞계수를 정리할 때 2π를 빠뜨리면 ③처럼 $\frac{1}{4\varepsilon_0}$가 나온다. 이 문항은 방향 판단과 계수 정리를 동시에 점검하는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

축상 원판 전계 문제는 먼저 대칭으로 축방향 성분만 남긴 뒤, 원판을 미소 고리로 나누어 $dq = \rho_s 2\pi r dr$를 세운다. 그다음 dE_x를 적분해 앞계수가 $\frac{1}{2\varepsilon_0}$인지, 최종 부호가 관측점 방향과 맞는지까지 확인하면 된다.

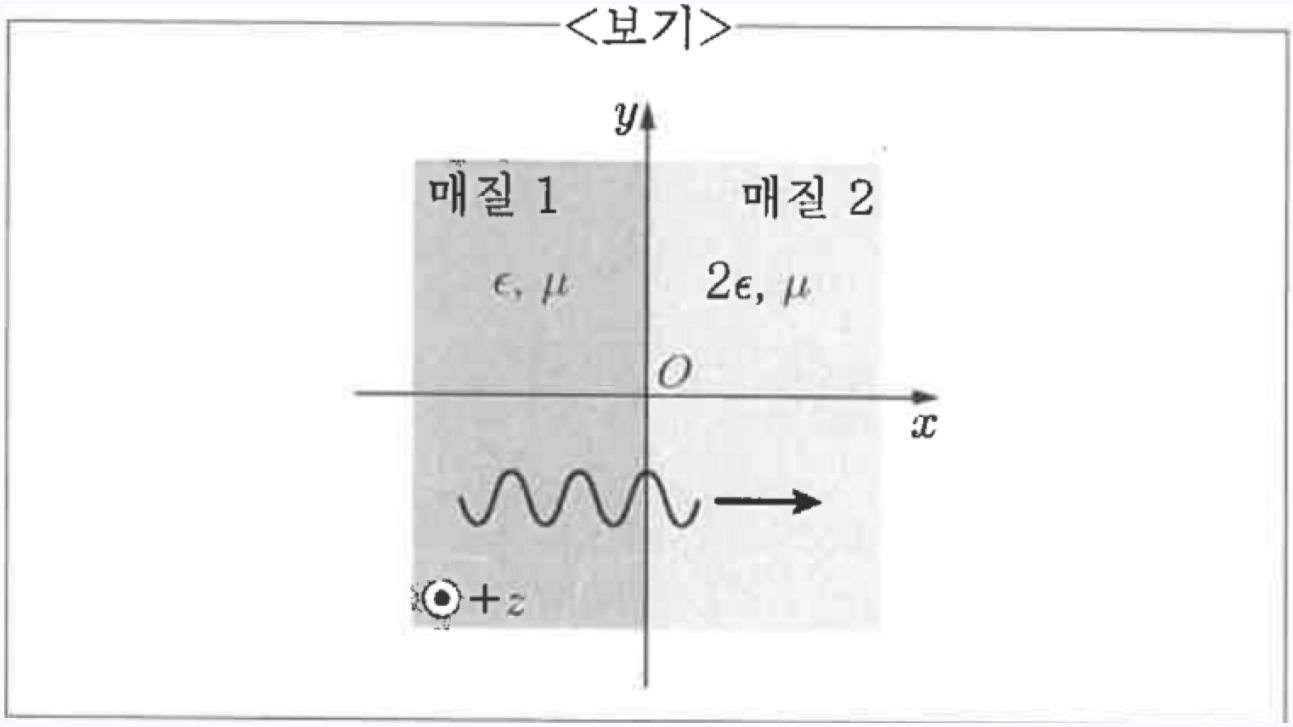
암기 포인트

원판 축상 전계는 $\vec{E} = \frac{\rho_s}{2\varepsilon_0}\left(1 - \frac{h}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$이고, 보기형으로는 $\frac{\rho_s h}{2\varepsilon_0}\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right)\vec{a}_x$와 같다.

NoteBase

문 13. <보기>와 같이 두 종류의 무손실 매질이 평면 $x = 0$을 경계로 하고 있으며, $x < 0$의 매질 1은 유전율과 투자율이 각각 ε, μ이고, $x > 0$의 매질 2는 유전율과 투자율이 각각 $2\varepsilon, \mu$이다. 균일 평면파가 매질 1에서 매질 2로 진행하고, 파의 전기장이 매질 1에서 $\vec{E} = 2\sin(2\pi \times 10^6 t - 2x)\vec{a}_z$[V/m]로 표현될 때, 매질 2에서 파의 진행 속도[m/s]는?

<보기>



① $\frac{\pi}{2} \times 10^6$

② $\frac{\pi}{\sqrt{2}} \times 10^6$

③ $\pi \times 10^6$

④ 3×10^8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 균일 평면파의 위상속도 관계 $v = \omega/\beta = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$를 이용해 매질 2의 전파 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 매질 1의 유전율과 투자율이 각각 ε, μ, 매질 2의 유전율과 투자율이 각각 $2\varepsilon, \mu$라는 점이다. 매질 1의 전기장은 $\vec{E} = 2\sin(2\pi \times 10^6 t - 2x)\vec{a}_z[V/m]$이므로 각주파수는 $\omega = 2\pi \times 10^6$, 위상정수는 $\beta_1 = 2$이다. 구해야 할 값은 매질 2에서의 파의 진행 속도이다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 공식은 $v = \omega/\beta = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$이다. 손실이 없는 균일 매질에서 평면파의 속도는 $\mu\varepsilon$의 곱으로 정해지므로, 주파수는 같고 매질 상수만 바뀌는 경계 통과 문제에 그대로 적용된다.

계산 과정

매질 1에서 $v_1 = \omega/\beta_1 = (2\pi \times 10^6)/2 = \pi \times 10^6 [m/s]$이다. 매질 2에서는 투자율은 같고 유전율만 2ε로 2배가 되므로 $v_2 = 1/\sqrt{\mu \cdot 2\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 1/\sqrt{\mu\varepsilon} = v_1/\sqrt{2}$이다. 따라서 $v_2 = (\pi/\sqrt{2}) \times 10^6 [m/s]$이다.

선지 판단

1번 X: $(\pi/2) \times 10^6$은 속도가 정확히 절반으로 줄었다고 본 값이다. 유전율이 2배가 되면 속도는 $1/\sqrt{2}$배가 되므로 틀리다. 틀린 표현은 "유전율 2배이면 속도 1/2배"이고, 올바르게는 "유전율 2배이면 속도 $1/\sqrt{2}$ 배"이다.
2번 O: 계산 결과 매질 2의 진행 속도는 $(\pi/\sqrt{2}) \times 10^6 [m/s]$이므로 옳다.
3번 X: $\pi \times 10^6$은 매질 1에서의 속도 v_1를 그대로 쓴 값이다. 경계를 지나면서 유전율이 ε에서 2ε로 바뀌므로 매질 2의 속도는 더 작아져야 한다. 틀린 표현은 "매질이 바뀌어도 속도는 그대로"이고, 올바르게는 "매질 2의 속도는 $v_1/\sqrt{2}$"이다.
4번 X: $3 \times 10^8 [m/s]$은 진공 중 전자파 속도에 해당하는 대표값이다. 이 문제에서는 매질 1의 속도부터 이미 $\pi \times 10^6 [m/s]$로 주어지므로 진공 속도를 적용할 수 없다. 틀린 표현은 "항상 전자파 속도는 3×10^8"이고, 올바르게는 "매질 속 전파 속도는 $1/\sqrt{\mu\varepsilon}$로 달라진다"이다.

오답 포인트

유전율이 2배가 되면 속도도 절반이 된다고 단순 비례로 처리하면 1번에 끌린다. 또 매질 1에서 구한 v_1를 그대로 쓰면 3번, 전자파 속도를 무조건 3×10^8으로 외우면 4번에 걸린다. 이 문제의 함정은 속도가 ε에 반비례가 아니라 $\sqrt{\varepsilon}$에 반비례한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

매질 경계 전파 속도 문제는 먼저 파식에서 ω와 β를 읽어 기준 속도 $v = \omega/\beta$를 구한 뒤, 바뀐 매질 상수에 따라 $v \propto 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$ 비율만 다시 적용하면 된다.

암기 포인트

전자파 속도는 $v = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$이며, μ가 같을 때 ε이 2배이면 속도는 $1/\sqrt{2}$배가 된다.

NoteBase

문 14. 자유공간에서 반지름이 3[cm]와 2[cm]인 두 도체구에 각각 4[μC]와 -6[μC]의 전하가 대전되어 있다. 두 구를 접속시켰을 때, 반지름 3[cm]의 도체구에 남는 전하량의 값[μC]은? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$[F/m]이다.)

① -2.4

② -1.2

③ -1.1

④ 2.4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 두 도체구를 접속했을 때 전위가 같아지는 조건과 총전하 보존을 이용해 각 구에 재분배되는 전하를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 반지름 $r_1 = 3cm$, $r_2 = 2cm$, 초기 전하 $Q_{1i} = 4\mu C$, $Q_{2i} = -6\mu C$이다.
구해야 할 값: 접속 후 반지름 3cm 도체구에 남는 전하 Q_1이다.
주의할 조건: 접속 후 두 도체구의 전위는 같고, 전체 전하는 보존된다.

사용할 공식

고립된 도체구의 전위는 $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$이다.
접속 후에는 $V_1 = V_2$이므로 $\frac{Q_1}{r_1} = \frac{Q_2}{r_2}$가 된다.
또한 총전하 보존으로 $Q_1 + Q_2 = 4 + (-6) = -2\mu C$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 도체구를 도선으로 연결하면 전하가 이동하여 전위가 같아지는 평형 상태가 되기 때문이다.

계산 과정

1. 전위 평형 조건에서 $\frac{Q_1}{3} = \frac{Q_2}{2}$이므로 $Q_1 : Q_2 = 3 : 2$이다.
2. 따라서 $Q_1 = 3k$, $Q_2 = 2k$로 둘 수 있다.
3. 총전하 보존을 적용하면 $3k + 2k = -2\mu C$이므로 $5k = -2\mu C$, $k = -0.4\mu C$이다.
4. 그러므로 $Q_1 = 3k = 3 \times (-0.4) = -1.2\mu C$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $-1.2\mu C$이므로 틀리다. $-2.4\mu C$이면 다른 구의 전하는 $+0.4\mu C$가 되어 총전하는 맞아도 $Q_1 : Q_2 = 3 : 2$의 전위 평형 조건을 만족하지 않는다. 틀린 표현은 전하량 값 자체이며, 올바르게는 반지름 3cm 구에 $-1.2\mu C$가 남는다.
② O: 전위 평형과 총전하 보존을 함께 적용하면 반지름 3cm 구의 전하는 $-1.2\mu C$가 된다.
③ X: 계산 결과와 다르므로 틀리다. $-1.1\mu C$는 비율식이나 총전하 보존식을 부정확하게 처리한 값이다. 틀린 표현은 최종 수치이며, 올바르게는 $-1.2\mu C$이다.
④ X: 총전하가 전체적으로 $-2\mu C$이므로 접속 후 두 구의 전하는 모두 음전하가 된다. $+2.4\mu C$는 부호를 잘못 판단한 값이다. 틀린 표현은 부호와 크기 모두이며, 올바르게는 $-1.2\mu C$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 큰 구에 전하가 더 많이 간다는 사실만 기억하고 부호나 총전하 보존을 놓치는 데 있다. 접속 후에는 전위가 같아져야 하므로 전하 비는 반지름 비 $3 : 2$가 되지만, 전체 전하가 $-2\mu C$이므로 최종 전하의 부호는 음수여야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

도체를 접속하는 계산형 문제는 먼저 총전하를 합산하고, 다음에 전위 같음 조건으로 전하비를 세운 뒤, 마지막에 비례식과 총합을 동시에 맞춰 값을 정하면 된다.

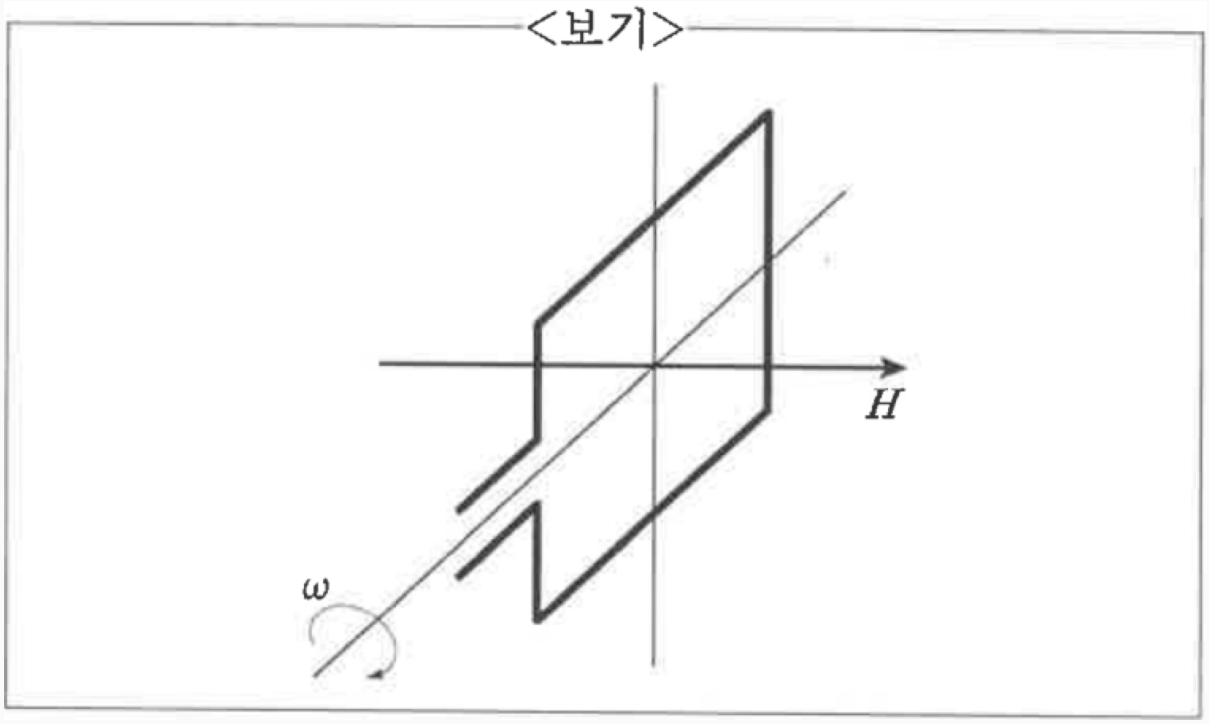
암기 포인트

접속된 도체구는 전위가 같고, 고립구에서는 $Q \propto r$이므로 최종 전하는 반지름 비로 나뉜다.

NoteBase

문 15. <보기>와 같이 한 변의 길이가 10[cm]인 정사각형 코일을 $H = 1{,}000$[A/m]인 균일 자계 안에서 $\omega = 1{,}000$[rad/s]의 각속도로 회전시킬 때, 코일에서 발생하는 전압의 최댓값[V]은? (단, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$[H/m], $\mu_r = 1$이다.)

<보기>



① $4\pi \times 10^{-9}$

② $2\pi \times 10^{-6}$

③ $4\pi \times 10^{-6}$

④ $4\pi \times 10^{-3}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 $B = \mu_0 \mu_r H$로 자속밀도를 구한 뒤 $e_{max} = BA\omega$를 적용해 회전 코일의 최대 유도기전력을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 한 변 $l = 10cm = 0.1m$, 자계 $H = 1000A/m$, 각속도 $\omega = 1000rad/s$, $\mu_r = 1$이다.
구해야 할 값: 코일에서 발생하는 전압의 최대값 e_{max}이다.
주의할 조건: 정사각형 코일의 면적은 $A = l^2 = (0.1)^2 = 10^{-2}m^2$이고, rad/s는 이미 SI 단위이므로 추가 변환이 없다.

NoteBase

사용할 공식

$B = \mu_0 \mu_r H$

$e_{\max} = BA\omega$

이 공식을 쓰는 이유: 균일 자계 안에서 코일이 일정한 각속도로 회전하면 자속이 $\Phi = BA\cos\theta$로 변하고, 그 시간미분의 최대값이 $BA\omega$가 되기 때문이다.

계산 과정

1. 자속밀도는 $B = \mu_0 \mu_r H = 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1000 = 4\pi \times 10^{-4} T$이다.
2. 코일 면적은 $A = (0.1)^2 = 10^{-2} m^2$이다.
3. 최대 유도기전력은 $e_{\max} = BA\omega = (4\pi \times 10^{-4})(10^{-2})(10^3) = 4\pi \times 10^{-3} V$이다.

선지 판단

1번 X: $4\pi \times 10^{-9} V$는 $1000 rad/s$를 잘못 10^{-3}처럼 처리했을 때 나올 수 있는 값이다. 각속도는 이미 1000을 그대로 곱해야 하므로 올바른 값은 $4\pi \times 10^{-3} V$이다.
2번 X: $2\pi \times 10^{-6} V$는 정사각형 면적을 절반으로 잘못 보거나 최대 자속을 반만 계산한 값에 가깝다. 실제 면적은 $10^{-2} m^2$이며, 전압의 최대값은 $4\pi \times 10^{-3} V$이다.
3번 X: $4\pi \times 10^{-6}$은 BA까지만 계산한 최대 자속 $\Phi_{\max}$이다. 유도기전력 최대값은 여기에 ω를 더 곱한 $e_{\max} = BA\omega$이므로 올바른 값은 $4\pi \times 10^{-3} V$이다.
4번 O: $B = 4\pi \times 10^{-4} T$, $A = 10^{-2} m^2$, $\omega = 10^3 rad/s$를 대입하면 $e_{\max} = 4\pi \times 10^{-3} V$가 되어 정답이다.

오답 포인트

자계의 세기 H와 자속밀도 B를 바로 같은 것으로 두면 틀린다. 또한 $10 cm$를 $0.1 m$로 바꾼 뒤 면적을 제곱해야 하고, BA가 자속인지 $BA\omega$가 전압인지 단위를 보고 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

회전 코일 문제는 먼저 $B = \mu H$로 자속밀도를 구하고, 다음에 면적 A를 계산한 뒤, 마지막에 최대 유도기전력 공식 $e_{\max} = BA\omega$를 적용하는 순서로 판단한다. 중간 결과의 단위가 Wb이면 자속이고 V이면 전압이다.

암기 포인트

회전 1회전 코일의 최대 유도기전력은 $e_{\max} = BA\omega$이고, 최대 자속은 $\Phi_{\max} = BA$이다.

NoteBase

문 16. $10[\mathrm{nC}]$, $-10[\mathrm{nC}]$, $20[\mathrm{nC}]$**의 점전하가 각각 점** $(x, y, z) = (1, 1.5, 1), (1, -1, 0), (1, 0.1, 2)$**에 놓여 있을 때, 원점을 중심으로 하는 반지름이** $2[\mathrm{m}]$**인 구로부터 나오는 총 전기 선속의 값**$[\mathrm{nC}]$**은?**

① -10

② 0

③ 10

④ 30

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 가우스 법칙으로 반지름 2m 구면 내부에 포함된 전하만 골라 총 전기 선속을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 전하는 $10\mathrm{nC}$, $-10\mathrm{nC}$, $20\mathrm{nC}$이다. 각 위치의 원점으로부터 거리는 순서대로 $\sqrt{1^2 + 1.5^2 + 1^2} = \sqrt{4.25}$, $\sqrt{1^2 + (-1)^2 + 0^2} = \sqrt{2}$, $\sqrt{1^2 + 0.1^2 + 2^2} = \sqrt{5.01}$이다. 구의 반지름은 $2\mathrm{m}$이므로 $\sqrt{2} < 2$인 $-10\mathrm{nC}$만 구 내부에 있고 나머지 두 전하는 구 밖에 있다.

사용할 공식

폐곡면을 지나는 총 전기 선속은 그 면이 감싸는 전하량과 같다. $\Psi = Q_{\mathrm{enc}}$ 이 공식을 쓰는 이유는 원점을 중심으로 한 닫힌 구면에서 총 전기 선속을 묻고 있고, 가우스 법칙은 구 안에 포함된 전하만 선속에 반영하기 때문이다.

계산 과정

1. 첫째 전하의 위치는 $\sqrt{4.25} \approx 2.06\mathrm{m}$이므로 구 밖이다.
2. 둘째 전하의 위치는 $\sqrt{2} \approx 1.41\mathrm{m}$이므로 구 안이다.
3. 셋째 전하의 위치는 $\sqrt{5.01} \approx 2.24\mathrm{m}$이므로 구 밖이다.
4. 따라서 포함 전하는 $-10\mathrm{nC}$ 하나뿐이어서 $Q_{\mathrm{enc}} = -10\mathrm{nC}$, $\Psi = -10\mathrm{nC}$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 계산 결과 총 전기 선속은 -10nC이므로 맞다.
2번 X: 0은 구 내부 전하의 합을 0으로 잘못 본 값이다. 틀린 표현은 총 전기 선속이 0이라는 판단이고, 올바르게는 -10nC만 포함되므로 총 전기 선속은 -10nC이다.
3번 X: 10은 내부 전하의 부호를 무시하고 절댓값만 취했을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 총 전기 선속이 $+10\text{nC}$라는 판단이고, 올바르게는 포함 전하가 음전하이므로 -10nC이다.
4번 X: 30은 세 전하를 모두 구 안에 있다고 잘못 합한 값이다. 틀린 표현은 모든 점전하가 선속에 기여한다는 판단이고, 올바르게는 구 내부 전하만 합하므로 -10nC이다.

오답 포인트

반지름 2m보다 큰지 작은지를 좌표별로 비교하지 않고 전하 세 개를 모두 더하면 30을 고르기 쉽다. 또 내부 전하가 음전하라는 점을 놓치면 절댓값 10이나 0으로 오판하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

구면 가우스 법칙 문제는 각 전하의 원점거리 계산 -> 반지름과 비교해 내부 전하만 선별 -> 그 전하량의 부호까지 포함해 합산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

가우스 폐곡면의 총 전기 선속은 모든 전하의 합이 아니라 폐곡면 내부 전하의 대수합이다.

NoteBase

문 17. 자유공간에서의 투자율 μ_0이 $4\pi \times 10^{-7}$[H/m]일 때, 비투자율 μ_r의 물질로 채워진 솔레노이드의 중심에서 자속밀도의 크기가 $50[\mu\text{Wb/m}^2]$이다. 솔레노이드에 흐르는 전류의 크기가 20[mA]이고, 솔레노이드의 권선수와 길이가 각각 1,000 [회]와 50[cm]일 때 μ_r은? (단, 솔레노이드의 길이는 반지름보다 충분히 크다.)

① $\frac{5}{4\pi}$
② $\frac{25}{16\pi}$
③ $\frac{25}{8\pi}$
④ $\frac{25}{\pi}$

정답 3번

출제 포인트

긴 솔레노이드의 자속밀도 공식 $B = \mu_0\mu_r\frac{N}{\ell}I$를 적용해 비투자율 μ_r를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $B = 50 \times 10^{-6}\text{T}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$, $N = 1000$, $\ell = 0.5\text{m}$, $I = 0.02\text{A}$이다.
구해야 할 값: μ_r이다.
주의할 조건: 50cm는 0.5m로, 20 mA는 0.02 A로 바꿔 넣어야 한다.

사용할 공식

긴 솔레노이드 중심의 자속밀도는 $B = \mu_0\mu_r nI = \mu_0\mu_r\frac{N}{\ell}I$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 솔레노이드의 길이가 반지름보다 충분히 크다고 했으므로 긴 솔레노이드 근사를 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

$B = \mu_0\mu_r\frac{N}{\ell}I$
$50 \times 10^{-6} = 4\pi \times 10^{-7} \cdot \mu_r \cdot \frac{1000}{0.5} \cdot 0.02$
$\frac{1000}{0.5} = 2000, \quad 2000 \cdot 0.02 = 40$
$50 \times 10^{-6} = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 40 \cdot \mu_r = 16\pi \times 10^{-6}\mu_r$
$\mu_r = \frac{50 \times 10^{-6}}{16\pi \times 10^{-6}} = \frac{50}{16\pi} = \frac{25}{8\pi}$

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{5}{4\pi} = \frac{10}{8\pi}$이므로 계산값 $\frac{25}{8\pi}$보다 작다. 정답값과 일치하지 않으므로 틀리며, 올바른 값은 $\frac{25}{8\pi}$이다.
② X: $\frac{25}{16\pi}$는 정답의 절반이므로 계산 결과와 맞지 않는다. 권선밀도 $\frac{N}{\ell}$나 전류를 실제보다 크게 잡으면 이런 반값 오답이 나온다. 올바른 값은 $\frac{25}{8\pi}$이다.
③ O: 계산 결과가 $\mu_r = \frac{25}{8\pi}$이므로 옳다.
④ X: $\frac{25}{\pi}$는 계산값의 8배로 지나치게 크다. μ_0의 계수 4나 권선밀도를 잘못 처리하면 커진 값이 나오지만, 이 문항의 올바른 값은 $\frac{25}{8\pi}$이다.

오답 포인트

이 문항은 단위 변환과 권선밀도 $\frac{N}{\ell}$ 계산에서 많이 틀린다. 특히 50cm를 0.5m로 바꾸지 않거나 $\frac{1000}{0.5} = 2000$을 놓치면 선지 ①, ②, ④ 같은 오답값으로 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

긴 솔레노이드 문제는 $B = \mu_0\mu_r\frac{N}{\ell}I$를 먼저 세우고, 길이와 전류를 SI 단위로 바꾼 뒤 $\frac{N}{\ell} \to \mu_0 nI \to \mu_r$ 순서로 정리하면 된다.

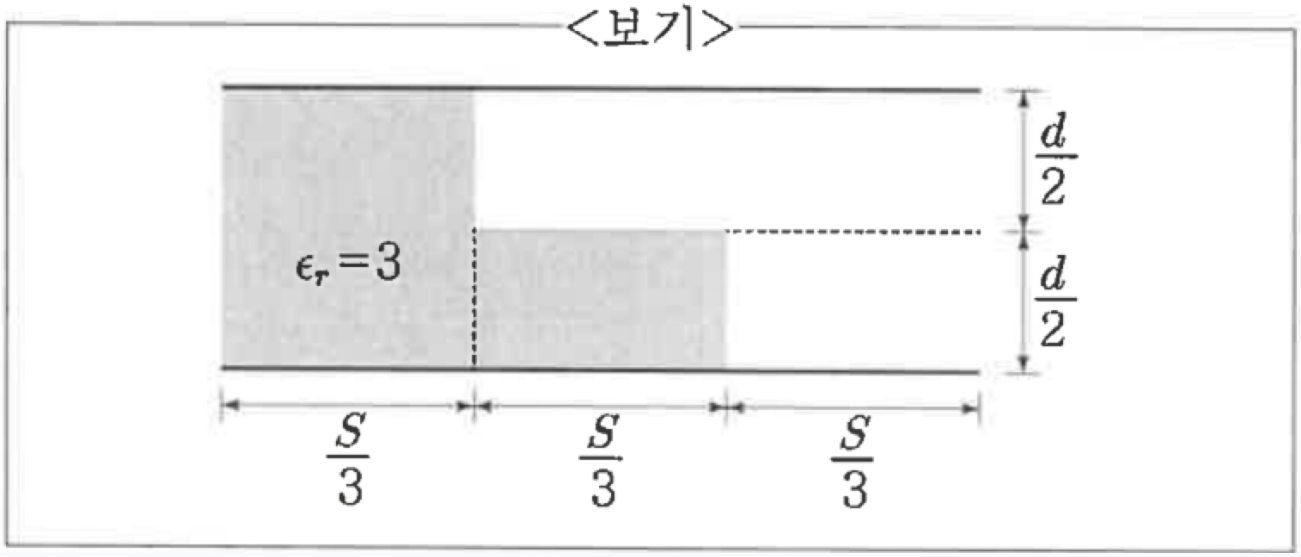
암기 포인트

긴 솔레노이드 중심은 $B = \mu_0\mu_r nI$이고, $n = \frac{N}{\ell}$만 정확히 넣으면 된다.

NoteBase

문 18. <보기>와 같이 유전체($\varepsilon_r = 3$)를 평행판 커패시터에 채웠을 경우, 정전용량으로 옳은 것은? (단, $d \ll S$이고, 초기 정전용량은 C_0이며, 전기장은 균일하다.)

<보기>



① $\frac{11}{6}C_0$

② $\frac{9}{4}C_0$

③ $\frac{9}{2}C_0$

④ $4C_0$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 유전체가 부분적으로 채워진 평행판 커패시터를 병렬 부분과 직렬 부분으로 나누어 등가 정전용량을 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 평행판 커패시터의 정전용량은 $C_0 = \varepsilon_0 S/d$이다.
전체 면적은 가로로 $S/3$씩 세 부분으로 나뉜다.
왼쪽 $S/3$은 비유전율 $\varepsilon_r = 3$ 유전체가 두 판 사이 전체 두께 d를 채운다.
가운데 $S/3$은 아래 절반 $d/2$만 유전체이고 위 절반 $d/2$는 공기이다.
오른쪽 $S/3$은 전부 공기이다.

NoteBase

사용할 공식

평행판 커패시터는 $C = \varepsilon S/d$를 사용한다.
같은 전압이 걸리는 가로 분할 부분은 병렬이므로 정전용량을 그대로 더한다.
두께 방향으로 공기층과 유전체층이 겹친 가운데 부분은 직렬이므로 $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 그림이 면적 방향으로는 병렬 연결, 두께 방향으로는 직렬 연결 구조이기 때문이다.

계산 과정

왼쪽 부분의 정전용량은 $C_L = \varepsilon_0\varepsilon_r(S/3)/d = 3\varepsilon_0(S/3)/d = C_0$이다.
가운데 부분의 아래 유전체층은 $C_{M1} = \varepsilon_0\varepsilon_r(S/3)/(d/2) = 2C_0$이다.
가운데 부분의 위 공기층은 $C_{M2} = \varepsilon_0(S/3)/(d/2) = \frac{2}{3}C_0$이다.
가운데 부분은 직렬이므로 $C_M = \frac{C_{M1}C_{M2}}{C_{M1}+C_{M2}} = \frac{(2C_0)(\frac{2}{3}C_0)}{2C_0+\frac{2}{3}C_0} = \frac{1}{2}C_0$이다.
오른쪽 부분의 정전용량은 $C_R = \varepsilon_0(S/3)/d = \frac{1}{3}C_0$이다.
전체는 병렬합이므로 $C = C_L + C_M + C_R = C_0 + \frac{1}{2}C_0 + \frac{1}{3}C_0 = \frac{11}{6}C_0$이다.

선지 판단

1번: O. 전체 정전용량이 $\frac{11}{6}C_0$로 계산되므로 옳다.
2번: X. 총 정전용량을 $\frac{9}{4}C_0$로 본 부분이 틀렸다. 올바르게는 $\frac{11}{6}C_0$이다. 이 값은 가운데 $S/3$ 부분을 직렬이 아니라 단순 가산으로 처리할 때 나오기 쉬운 오답이다.
3번: X. 총 정전용량을 $\frac{9}{2}C_0$로 본 부분이 틀렸다. 올바르게는 $\frac{11}{6}C_0$이다. 이 값은 유전체가 채워진 영역에 비유전율 3을 과도하게 곱해 전체를 거의 한꺼번에 증대시킨 것으로 보는 실수에 가깝다.
4번: X. 총 정전용량을 $4C_0$로 본 부분이 틀렸다. 올바르게는 $\frac{11}{6}C_0$이다. 전체 면적이 그대로인 평행판에서 전부 유전체로 꽉 차도 $3C_0$를 넘지 않으므로 $4C_0$는 물리적으로도 성립하지 않는다.

오답 포인트

가운데 $S/3$ 부분을 두께 방향 직렬 구조로 보지 않고 병렬처럼 더하면 오답이 된다. 또 면적이 $S/3$로 줄어든 사실을 빼먹고 비유전율 3만 곱하면 실제보다 큰 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

부분 유전체 문제는 먼저 같은 전압이 걸리는 면적 분할인지, 전기력선 방향으로 층이 쌓인 두께 분할인지부터 구분한다. 면적 분할은 병렬합, 두께 분할은 직렬합으로 계산하면 된다.

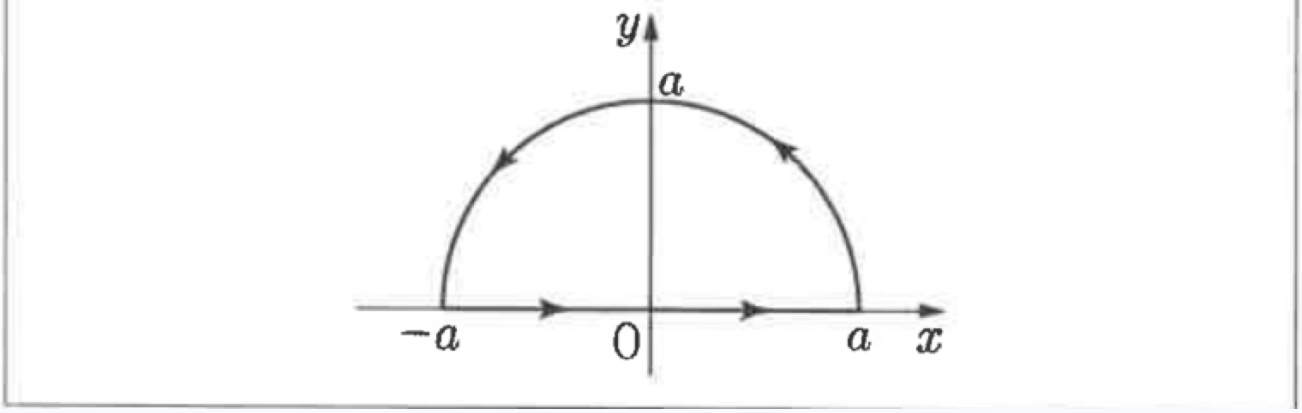
암기 포인트

평행판 부분유전체는 가로로 나뉘면 병렬, 세로로 겹치면 직렬이라는 기준으로 판단한다.

NoteBase

문 19. <보기>와 같이 반지름이 a인 반원 형태의 닫힌 경로를 따라 반시계 방향으로 벡터장 $\vec{A} = y\vec{a}_x - x\vec{a}_y$를 선적분한 값은?

<보기>



① 0

② $-\frac{\pi a^2}{2}$

③ $-\pi a^2$

④ $-4\pi a$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 벡터장 $\vec{A} = y\vec{a}_x - x\vec{a}_y$를 반원 닫힌 경로에 대해 선적분할 때 그린 정리 또는 호의 매개화로 값을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 경로는 반지름 a인 상반원과 지름 구간으로 이루어진 반시계 방향의 닫힌 경로이다.
주어진 벡터장은 $\vec{A} = (y,\ -x)$이다.
구해야 할 값은 $\oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l}$이다.

사용할 공식

평면에서 $\oint_C (Pdx + Qdy) = \iint_S \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right) dS$를 사용한다.
이 문제의 경로는 반시계 방향의 단순 폐곡선이므로 그린 정리를 바로 적용할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

$P = y, Q = -x$이므로
$\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} = -1 - 1 = -2$
상반원의 면적은 $\frac{\pi a^2}{2}$이므로
$\oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} = \iint_S (-2) dS = -2 \cdot \frac{\pi a^2}{2} = -\pi a^2$
같은 결과를 직접 적분으로도 확인할 수 있다. 지름 구간에서는 $y = 0, dy = 0$이어서 적분값이 0이고, 호 구간에서는 적분값이 $-\pi a^2$가 된다.

선지 판단

1번 X: 선적분값은 0이 아니다. 지름 구간만 보면 0이지만 상반원 호 구간의 기여가 남으므로 전체 값은 $-\pi a^2$이다. 틀린 표현 0 → 올바르게는 $-\pi a^2$이다.
2번 X: $-\frac{\pi a^2}{2}$는 상반원 면적만 적고 회전량 -2를 반영하지 않은 값이다. 틀린 표현 $-\frac{\pi a^2}{2}$ → 올바르게는 $-\pi a^2$이다.
3번 O: 그린 정리로 구하면 -2에 둘러싼 면적 $\frac{\pi a^2}{2}$를 곱해 $-\pi a^2$가 되므로 맞다.
4번 X: 결과의 차원부터 맞지 않는다. 이 적분값은 a^2차로 나와야 하므로 $-4\pi a$는 될 수 없다. 틀린 표현 $-4\pi a$ → 올바르게는 $-\pi a^2$이다.

오답 포인트

상반원 면적만 보고 $-\frac{\pi a^2}{2}$로 끝내거나, 지름 구간의 적분이 0이라는 사실만 보고 전체 적분도 0으로 착각하기 쉽다. 또한 반시계 방향 폐곡선에서는 부호를 포함한 $\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}$를 끝까지 유지해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평면 벡터장의 폐곡선 선적분이 나오면 먼저 $Pdx + Qdy$ 꼴로 놓고 그린 정리를 쓸 수 있는지 본다. 그다음 회전량 $\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}$와 둘러싼 면적, 진행 방향의 부호를 곱해 판단한다.

암기 포인트

$\vec{A} = (y, -x)$에 대한 반시계 방향 폐곡선 선적분은 회전량이 항상 -2이므로 값은 $-2 \times$둘러싼 면적이다.

NoteBase

문 20. 공간에 점전하 Q[C]가 존재하고 점전하로부터 r[m] 떨어진 점에서 전위가 발생되고 있을 때, 점전하로 인해 발생되는 등전위면에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 전위가 같은 점들끼리 이어서 만들어진 하나의 면을 등전위면이라고 한다.

② 등전위면은 폐곡면을 형성하며, 등전위면과 전기력선은 항상 직교한다.

③ 두 개의 서로 다른 등전위면은 교차하지 않는다.

④ 전하가 등전위면을 따라 이동할 경우 전하가 한 일은 거리에 비례한다.

정답 4번

출제 포인트

등전위면의 정의, 전기력선과의 관계, 등전위면을 따라 이동할 때의 일을 묻는 문제이다.

핵심 개념

등전위면은 전위가 같은 점들의 집합으로 이루어진 면이다. 전기장은 전위가 가장 빨리 감소하는 방향이므로 전기력선은 등전위면에 수직이다. 등전위면 위의 두 점은 전위차가 0이므로 그 면을 따라 전하를 이동시킬 때의 일도 0이다.

선지별 해설

① O. 전위가 같은 점들을 연결하여 만든 면이 등전위면이라는 정의 그대로이다.
② O. 점전하의 등전위면은 중심을 점전하에 둔 구면이므로 폐곡면이 되고, 전기력선은 등전위면과 항상 직교한다.
③ O. 서로 다른 두 등전위면이 교차하면 교차점의 전위가 두 값을 동시에 가져야 하므로 모순이다. 따라서 서로 다른 등전위면은 교차하지 않는다.
④ X. 틀린 부분은 '한 일은 거리에 비례한다'이다. 실제로는 등전위면을 따라 이동하면 전위차가 0이므로 전하가 한 일은 이동 거리와 무관하게 0이다.

오답 포인트

④는 이동 거리가 길어지면 일이 커질 것처럼 보이게 만든 선지이다. 전기장에서의 일은 거리 자체가 아니라 전위차로 결정되므로, 등전위면 위 이동은 언제나 일이 0이라는 점을 놓치면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

등전위면 문제는 먼저 같은 전위인지, 전기력선과 수직인지, 그 경로의 전위차가 0인지로 판단한다. 전위차가 0이면 일은 0이고, 서로 다른 등전위면은 교차할 수 없다.

NoteBase

암기 포인트

등전위면은 같은 전위의 면, 전기력선과 수직, 면을 따라 이동한 일은 0이다.

NoteBase