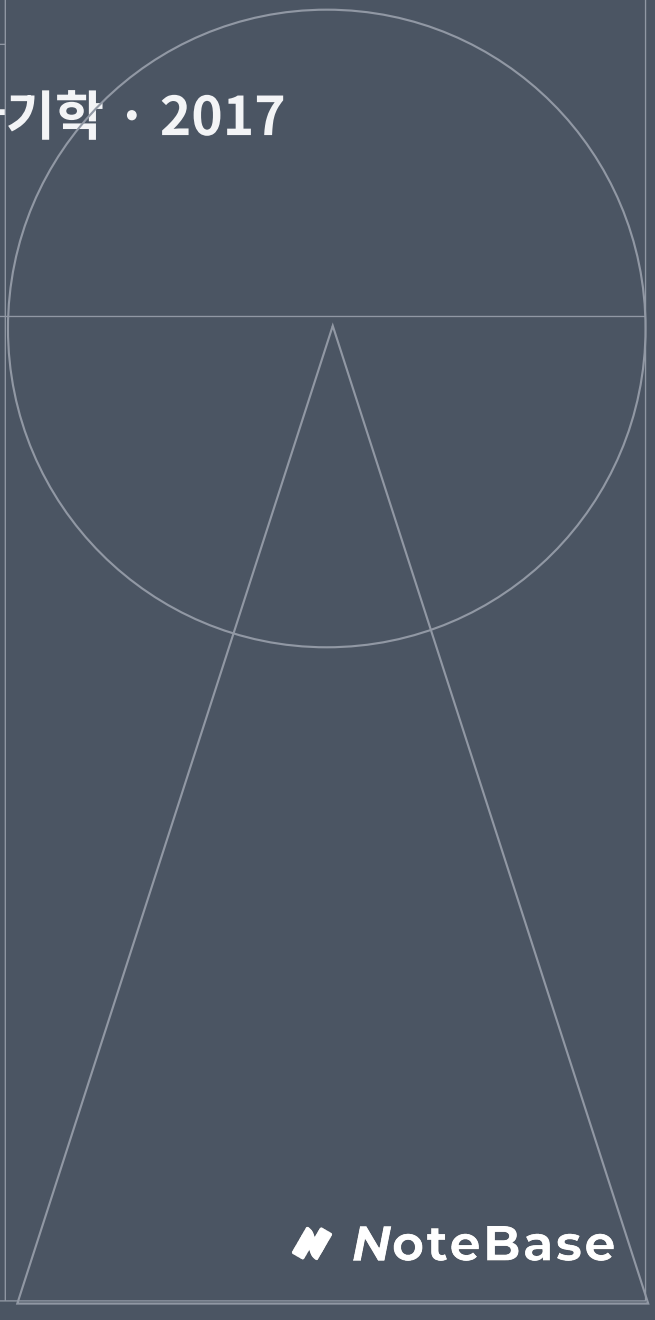
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2017

공무원/서울시/7급 · 전기자기학 · 2017

문 1. 무한한 길이의 선전하가 $(-a, 0, 0)$에 z축과 나란히 놓여 있다. 선전하 밀도는 ρ_l로 균일하다. x축 위의 두 점 $(b, 0, 0)$와 $(c, 0, 0)$ 사이의 전압차 $V(b, 0, 0) - V(c, 0, 0)$는? (단, $c > b > 0$, $a > 0$이다.)

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

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 무한 선전하의 전계 $E = \rho_l/(2\pi\varepsilon_0 r)$를 적분하여, 선전하에서 각각 $b + a$, $c + a$만큼 떨어진 두 점 사이의 전위차를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 선전하는 $(-a, 0, 0)$을 지나며 z축과 나란하고, 선전하 밀도는 ρ_l이다.
구해야 할 값: $V(b, 0, 0) - V(c, 0, 0)$이다.
주의할 조건: 기준 거리는 원점이 아니라 선전하의 위치 $(-a, 0, 0)$에서 재야 하므로 각 점까지의 거리는 각각 $b + a$, $c + a$이다.

사용할 공식

$E(r) = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0 r}$
$V(r_1) - V(r_2) = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{r_1}$
이 공식을 쓰는 이유: 무한 선전하 주위의 전계는 거리 r에 반비례하고, 전위차는 그 전계를 두 점 사이에서 적분하면 로그형으로 나온다.

NoteBase

계산 과정

1. 점 $(b, 0, 0)$에서 선전하까지의 거리는 $r_b = b + a$이다.
2. 점 $(c, 0, 0)$에서 선전하까지의 거리는 $r_c = c + a$이다.
3. 따라서
$V(b, 0, 0) - V(c, 0, 0) = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_c}{r_b} = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{c+a}{b+a}$
4. 계산 결과가 ②와 일치한다.

선지별 해설

① X: $\ln(c/b)$는 선전하가 원점에 있을 때의 거리 비를 쓴 값이다. 이 문제에서 틀린 표현은 거리 b, c를 그대로 사용한 점이다. 올바르게는 선전하가 $(-a, 0, 0)$에 있으므로 거리 비를 $(c + a)/(b + a)$로 써야 한다.
② O: 선전하까지의 실제 거리가 각각 $b + a, c + a$이고, 무한 선전하의 전위차는 로그형이므로 $\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{c+a}{b+a}$가 맞다.
③ X: $\frac{1}{b+a} - \frac{1}{c+a}$ 형태는 점전하 전위차나 $1/r^2$형 전계를 적분할 때 나오는 형태이다. 이 문제에서 틀린 표현은 로그가 아니라 역수 차로 쓴 점이다. 올바르게는 무한 선전하이므로 로그형 $\ln \frac{c+a}{b+a}$가 되어야 한다.
④ X: $\frac{1}{b} - \frac{1}{c}$는 점전하 전위차 형태를 쓴 데다, 선전하의 위치 이동 a도 반영하지 못했다. 틀린 표현은 역수 차와 거리 b, c를 그대로 쓴 점이다. 올바르게는 $\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{c+a}{b+a}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 선전하가 원점에 있지 않다는 조건을 놓쳐 거리 b, c를 그대로 넣는 실수와, 무한 선전하의 전위차를 점전하 전위처럼 역수 차로 착각하는 실수이다. 이 문항은 두 함정을 ①, ③, ④에 나누어 배치하였다.

다시 나오면 이렇게 판단

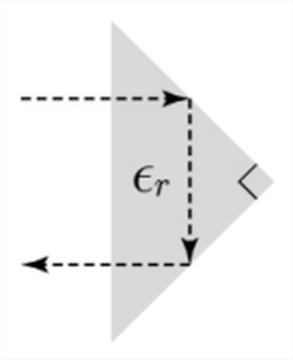
선전하 전위차 문제는 먼저 전하선의 실제 위치에서 각 점까지의 거리를 구하고, 그다음 $E \propto 1/r$인지 확인한 뒤 전위차가 로그형인지 판단하면 된다. 거리 이동이 있으면 반드시 x좌표 차이를 반영한 r로 바꿔 써야 한다.

암기 포인트

무한 선전하는 전계가 $1/r$, 전위차가 $\ln(r_2/r_1)$ 형태이며, 위치가 이동하면 r부터 다시 잡아야 한다.

NoteBase

문 2. 그림과 같은 이등변 삼각형 모양의 유전체를 고려한다. 수직입사하는 전자기파가 매질을 통과한 후 입사파와 반대 방향으로 반사되어 나온다. 이때 에너지 손실이 최소가 되는 매질의 상대 유전율 ε_r은? (단, 유전체 외 공간은 자유공간이다.)



① $\varepsilon_r = 2$

② $\varepsilon_r = 4$

③ $\varepsilon_r = \sqrt{2}$

④ $\varepsilon_r = \frac{\sqrt{3}}{2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 직각 이등변삼각형 도식에서 내부 입사각을 읽어 전반사 조건을 맞추고, 그중 입출사 경계의 반사손실까지 가장 작게 만드는 상대 유전율을 고르는 문제이다.

조건 정리

그림의 꼭짓각이 직각이므로 두 빗변은 각각 수평선과 45도를 이룬다. 전자기파는 왼쪽 수직면으로 수직 입사하므로 매질 내부에서는 수평으로 진행하고, 윗면과 아랫면에서의 내부 입사각은 모두 45도이다. 입사파와 반대 방향으로 나오려면 두 빗변에서 모두 전반사가 일어나야 한다.

사용할 공식

유전체 → 자유공간 경계의 전반사 임계각은 $\sin\theta_c = n_2/n_1 = 1/\sqrt{\varepsilon_r}$이다. 또한 왼쪽 수직면의 수직 입출사 반사손실은 ε_r가 1에 가까울수록 작다. 따라서 손실을 최소로 하려면 전반사 조건을 만족하는 값들 중 ε_r가 가장 작은 값을 고르면 된다.

NoteBase

계산 과정

내부 입사각이 45도이므로 전반사 최소 조건은 $\theta_c = 45^\circ$이다.
$\sin\theta_c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$
따라서
$\sqrt{\varepsilon_r} = \sqrt{2}, \quad \varepsilon_r = 2$
이 값이면 빗변 두 곳에서 전반사가 막 성립하고, 이보다 큰 ε_r는 전반사는 되지만 왼쪽 수직면에서의 임피던스 불일치가 더 커져 전체 손실이 더 커진다.

선지별 해설

① O: $\varepsilon_r = 2$이면 임계각이 45°가 되어 빗변 두 곳에서 전반사가 성립한다. 동시에 전반사를 만족하는 선택지 중 ε_r가 가장 작아서 입구와 출구의 반사손실도 가장 작다.
② X: $\varepsilon_r = 4$이면 임계각은 30°이므로 전반사는 성립한다. 다만 $\varepsilon_r = 2$보다 유전율이 더 커서 왼쪽 수직면 입출사 시 임피던스 차이가 더 커지고, 최소 손실 조건은 아니다. 틀린 표현은 '최소 손실'에 해당한다고 본 점이고, 올바르게는 '전반사는 되지만 최소 손실 값은 아니다'이다.
③ X: $\varepsilon_r = \sqrt{2}$이면 임계각은 약 57.2°이므로 내부 입사각 45°에서 전반사가 일어나지 않는다. 따라서 그림과 같은 역방향 진행 경로가 만들어지지 않는다. 올바르게는 '전반사가 되려면 ε_r가 최소 2이어야 한다'이다.
④ X: $\varepsilon_r = \sqrt{3}/2$는 1보다 작아 문제의 일반적인 유전체 설정과 맞지 않고, 이 경우에는 자유공간으로의 전반사 조건도 성립하지 않는다. 올바르게는 '자유공간보다 굴절률이 큰 유전체여야 하며, 최소 조건은 $\varepsilon_r = 2$이다'이다.

오답 포인트

②를 고르는 실수가 가장 흔하다. 전반사만 되면 손실이 최소라고 생각하면 $\varepsilon_r = 4$도 맞아 보이지만, 실제 손실은 빗변뿐 아니라 입구와 출구의 수직 경계에서도 생긴다. 따라서 전반사를 만족하는 값 중 가장 작은 유전율을 골라야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

도식형 전자기파 문제는 먼저 경계면의 기하각에서 내부 입사각을 읽고, 다음으로 전반사 필요 여부를 판단한 뒤, 마지막에 '최소' 조건이면 그 경계조건을 막 만족하는 최소 매질값을 고르면 된다.

암기 포인트

전반사 최소 조건은 '내부 입사각 = 임계각'으로 두고 구한 뒤, 최소 손실이면 그 조건을 만족하는 가장 작은 ε_r를 선택한다.

NoteBase

문 3. x축 크기가 a, y축 크기가 $2a$인 직사각형 도파관(rectangular waveguide)에서 가장 낮은 주파수를 사용하는 모드와 주파수는? (단, 도파관은 자유공간으로 채워져 있으며, c는 자유공간 빛의 속도이다.)

① $f=\frac{c}{4a}, TM_{01}$
② $f=\frac{c}{2a}, TE_{10}$
③ $f=\frac{c}{4a}, TE_{01}$
④ $f=\frac{c}{4a}, TM_{11}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 직사각형 도파관의 차단주파수 공식과 TE/TM 모드의 허용 조건을 이용해 최저 차단모드와 주파수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: x축 크기는 a, y축 크기는 $2a$이다.
구해야 할 값: 가장 낮은 주파수를 사용하는 모드와 그 차단주파수이다.
주의할 조건: 직사각형 도파관에서 TE 모드는 한 인덱스가 0이어도 되지만, TM 모드는 m, n이 모두 1 이상이어야 한다.

사용할 공식

직사각형 도파관의 차단주파수는
$f_c=\frac{c}{2}\sqrt{(\frac{m}{a})^2+(\frac{n}{b})^2}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 각 모드의 차단주파수를 계산해 가장 작은 값을 비교하는 형태이므로 도파관 변의 길이와 모드 지수 m, n을 대입하면 된다.

NoteBase

계산 과정

1. y 축 크기가 $2a$이므로 식에서 $b = 2a$이다.
2. TE_{10}의 차단주파수는
$f_{c,10} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2} = \frac{c}{2a}$
이다.
3. TE_{01}의 차단주파수는
$f_{c,01} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{2a}\right)^2} = \frac{c}{4a}$
이다.
4. TM_{11}의 차단주파수는
$f_{c,11} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{2a}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}c}{4a}$
이다.
5. TM_{01}은 TM 모드에서 $m = 0$이므로 허용되지 않는다. 따라서 가장 작은 유효 차단주파수는 TE_{01}의 $c/4a$이다.

선지 판단

1번: X. TM_{01}은 TM 모드에서 허용되지 않는다. 틀린 표현은 "TM01"이고, 올바르게는 $f = c/4a$에서 가능한 최저 모드는 TE_{01}이다.
2번: X. TE_{10}은 존재하지만 차단주파수가 $c/2a$이므로 $c/4a$보다 크다. 틀린 표현은 "가장 낮은 주파수"이고, 올바르게는 TE_{10}은 TE_{01}보다 높은 차단주파수를 갖는다.
3번: O. TE_{01}은 허용되는 TE 모드이고 차단주파수가 $c/4a$이므로 가장 낮은 주파수를 사용하는 모드가 맞다.
4번: X. TM_{11}은 존재하지만 차단주파수는 $c/4a$가 아니라 $\sqrt{5}\,c/4a$이다. 틀린 표현은 "f=c/4a, TM11"이고, 올바르게는 TM_{11}의 차단주파수는 $\sqrt{5}\,c/4a$이다.

오답 포인트

TM 모드에도 0 인덱스를 넣을 수 있다고 착각하면 1번에 끌리기 쉽다. 또 긴 변에 대응하는 1차 TE 모드의 차단주파수가 더 낮아진다는 점을 놓치면 2번을 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

직사각형 도파관 문제는 먼저 변의 길이를 a, b로 정리한 뒤 TE_{10}, TE_{01} 같은 저차 모드의 차단주파수를 비교한다. 그다음 TM 모드는 m, n이 모두 1 이상인지부터 걸러 내면 된다.

암기 포인트

직사각형 도파관의 최저 차단모드는 더 긴 변에 대응하는 TE 1차 모드이고, TM 모드는 0 인덱스를 가질 수 없다.

NoteBase

문 4. 어떤 coil에 3[sec] 동안 전류가 2[A]에서 0.5[A]로 균일하게 감소할 때, 4[mV]의 Faraday 유도전압이 발생하였다면, 이 coil의 인덕턴스[mH]는?

① 2

② 4

③ 8

④ 12

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Faraday 유도전압과 코일 인덕턴스의 관계식 $e = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$를 이용해 인덕턴스를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 전류는 3초 동안 2A에서 0.5A로 감소한다.
구해야 할 값: 코일의 인덕턴스이다.
주의할 조건: 전류 변화량은 $\Delta I = 2 - 0.5 = 1.5A$ 이고, 유도전압 4mV는 $0.004V$로 바꾸어 계산한다.

사용할 공식

$e = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 코일의 자기유도 전압은 전류 변화율에 비례하므로, 주어진 유도전압과 전류 변화량 및 시간을 이용하면 L을 바로 구할 수 있다.

계산 과정

1. 전류 변화량은 $\Delta I = |2 - 0.5| = 1.5A$ 이다.
2. 유도전압은 $e = 4mV = 0.004V$, 변화시간은 $\Delta t = 3s$ 이다.
3. 따라서 $L = e\frac{\Delta t}{\Delta I} = 0.004 \times \frac{3}{1.5} = 0.008H = 8mH$ 이다.

선지 판단

1번 X: 2mH는 계산 결과와 다르다. 올바른 값은 8mH이다.
2번 X: 4mH는 계산 결과의 절반으로, 전류 감소량 1.5A나 시간 3초를 잘못 반영한 값이다. 올바른 값은 8mH이다.
3번 O: 계산 결과가 $8mH$이므로 옳다.
4번 X: 12mH는 전류 변화량 1.5A를 1A처럼 잘못 두었을 때 나올 수 있는 값으로 계산 결과와 다르다. 올바른 값은 8mH이다.

NoteBase

오답 포인트

전류가 2A에서 0.5A로 감소하면 끝값 자체를 넣는 것이 아니라 감소량 1.5A를 넣어야 한다. 또한 4mV를 0.004 V로 바꾸지 않거나 H를 mH로 환산하지 않으면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

코일 유도전압 문제는 전류의 처음값과 끝값에서 변화량 ΔI를 먼저 구한 뒤, $e = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$에 대입하고 마지막에 H와 mH를 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

인덕턴스는 $L = e\frac{\Delta t}{\Delta I}$ 이며, 전류의 절대값이 아니라 변화량 ΔI를 넣는다.

NoteBase

문 5. 어떤 저항체를 통과하는 전류가 t=0[sec]일 때 2[mA]에서 1[sec]당 2[mA]씩 선형적으로 증가하고 있다. 0[sec]에서 10[sec] 동안 저항체를 통과한 자유전자의 총 전하량[mC]은?

① 120

② 150

③ 180

④ 210

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 선형적으로 증가하는 전류를 적분하여 총 전하량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $t = 0$에서 전류는 2 mA이고, 매초 2 mA씩 선형적으로 증가한다.
구해야 할 값: 0초부터 10초까지 흐른 총 전하량이다.
주의할 조건: 총 전하량은 전류를 시간에 대해 적분한 값이며, 1 mA·s는 1 mC와 같다.

사용할 공식

전류가 시간에 따라 $I(t) = 2 + 2t$ mA로 변하므로 총 전하량은
$Q = \int_0^{10} I(t)dt = \int_0^{10} (2 + 2t)dt$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
전하량은 일정 전류이면 $Q = It$로 구하지만, 이 문제는 전류가 시간에 따라 계속 증가하므로 구간 전체를 적분해야 한다.

계산 과정

1. 전류식을 세우면 $I(t) = 2 + 2t$ mA이다.
2. 이를 0초부터 10초까지 적분하면
$Q = \int_0^{10} (2 + 2t)dt = [2t + t^2]_0^{10}$
이다.
3. 값을 대입하면
$Q = (2 \times 10 + 10^2) - 0 = 20 + 100 = 120$
이므로 총 전하량은 120 mC이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과 총 전하량은 120 mC이므로 옳다.

② X
- 150 mC는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 값 150이다. 올바르게는 총 전하량이 120 mC이다.
- 이런 오답은 전류 증가를 대충 평균 내거나 적분값을 잘못 더할 때 나오기 쉽다.

③ X
- 180 mC는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 값 180이다. 올바르게는 총 전하량이 120 mC이다.
- 이런 오답은 최종 전류에 시간만 곱하는 식으로 변화 전류를 일정 전류처럼 처리할 때 나오기 쉽다.

④ X
- 210 mC는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 값 210이다. 올바르게는 총 전하량이 120 mC이다.
- 이런 오답은 적분식 $2t + t^2$ 계산을 잘못하거나 단순 합산을 과대평가할 때 나오기 쉽다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전류가 변하는데도 $Q = It$를 일정 전류 공식처럼 바로 적용하는 데 있다. 시작 전류 2 mA와 증가율 2mA/s를 함께 반영해 전류식을 만든 뒤 적분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전류가 시간에 따라 변하면 먼저 $I(t)$를 식으로 만든다. 그다음 구간 적분으로 총 전하량을 구하고, 마지막에 mA·s와 mC의 단위 대응을 확인한다.

암기 포인트

총 전하량은 전류-시간 그래프 아래 넓이이며, 선형 변화 전류는 $Q = \int I(t)dt$로 처리한다.

NoteBase

문 6. 직교좌표계에서 임의 위치에서의 전압이 $V(x, y, z) = x^2y - z$[V]일 때, 점 $(1, 2, -2)$에서의 전기장의 크기[V/m]는?

① $\sqrt{14}$
② $\sqrt{18}$
③ $\sqrt{20}$
④ $\sqrt{24}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 전위 $V(x, y, z)$에서 전기장 $\vec{E}$를 구한 뒤 그 크기까지 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 전위는 $V(x, y, z) = x^2y - z$이다.
구해야 할 값은 점 $(1, 2, -2)$에서의 전기장 크기이다.
전기장은 전위의 음의 기울기이므로 성분을 각각 편미분해서 구해야 한다.

사용할 공식

전기장은 $\vec{E} = -\nabla V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{z}\right)$
크기는 $|\vec{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ 이다.
이 문제는 위치에 따른 전위가 주어졌으므로 전기장을 직접 미분으로 구하는 상황에 해당한다.

계산 과정

먼저 전위를 편미분하면 $\frac{\partial V}{\partial x} = 2xy$, $\frac{\partial V}{\partial y} = x^2$, $\frac{\partial V}{\partial z} = -1$ 이다.
따라서 전기장은 $\vec{E} = -(2xy\hat{x} + x^2\hat{y} - \hat{z}) = -2xy\hat{x} - x^2\hat{y} + \hat{z}$ 이다.
점 $(1, 2, -2)$를 대입하면 $\vec{E} = (-4, -1, 1)$ 이다.
그러므로 크기는 $|\vec{E}| = \sqrt{(-4)^2 + (-1)^2 + 1^2} = \sqrt{16 + 1 + 1} = \sqrt{18}$ 이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $\sqrt{18}$이므로 $\sqrt{14}$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "전기장 크기가 $\sqrt{14}$이다"이고, 올바르게는 "전기장 크기는 $\sqrt{18}\,\mathrm{V/m}$이다"이다.
2번 O: 전기장 성분이 $(-4,\ -1,\ 1)$이므로 크기는 $\sqrt{18}$이다. 보기의 수치와 일치하므로 옳다.
3번 X: 계산 결과는 $\sqrt{18}$이므로 $\sqrt{20}$은 맞지 않는다. 틀린 표현은 "전기장 크기가 $\sqrt{20}$이다"이고, 올바르게는 "전기장 크기는 $\sqrt{18}\,\mathrm{V/m}$이다"이다.
4번 X: 계산 결과는 $\sqrt{18}$이므로 $\sqrt{24}$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "전기장 크기가 $\sqrt{24}$이다"이고, 올바르게는 "전기장 크기는 $\sqrt{18}\,\mathrm{V/m}$이다"이다.

오답 포인트

전기장을 구할 때 $\vec{E} = -\nabla V$의 음수를 빠뜨리거나, z에 대한 편미분 $\frac{\partial V}{\partial z} = -1$을 놓치면 성분 하나가 빠져 크기를 틀리게 계산한다. 전위 자체에 점을 바로 대입하는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전위가 주어지면 먼저 x, y, z에 대해 각각 편미분해서 ∇V를 구하고, 여기에 음수를 붙여 전기장 성분을 만든 다음, 마지막에 성분 제곱합의 제곱근으로 크기를 계산한다.

암기 포인트

전위가 보이면 전기장은 $\vec{E} = -\nabla V$, 크기는 성분의 제곱합에 루트를 씌운 값이다.

NoteBase

문 7. 평행판 커패시터(capacitor)에 5[V]가 인가되어 10[mC]의 전하가 충전되었을 경우, 이때 분극 벡터의 세기[C/m^2]는? (단, 커패시터(capacitor)의 극판면적은 100[mm^2], 사용된 유전체의 비유전율 상수는 5라고 가정한다.)

① 20

② 40

③ 60

④ 80

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전속밀도 D와 분극 벡터 P의 관계를 이용해 분극 벡터의 세기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전압 5 V, 전하량 10 mC, 극판면적 100mm^2, 비유전율 5이다.
구해야 할 값: 분극 벡터의 세기 P이다.
주의할 조건: $10mC = 10^{-2}C$, $100mm^2 = 10^{-4}m^2$로 단위 변환을 해야 한다.

사용할 공식

전속밀도는 $D = \frac{Q}{S}$이다.
분극 벡터는 $D = \varepsilon_0 E + P$, $D = \varepsilon E = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$에서 $P = D - \varepsilon_0 E = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right)D$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 전하량과 극판면적, 비유전율이 주어졌으므로 먼저 D를 구한 뒤 유전체 내부에서의 분극 성분 P를 분리할 수 있다.

계산 과정

1. 전속밀도를 구하면 $D = \frac{Q}{S} = \frac{10^{-2}}{10^{-4}} = 100C/m^2$ 이다.
2. 진공 성분은 $\varepsilon_0 E = \frac{D}{\varepsilon_r} = \frac{100}{5} = 20C/m^2$ 이다.
3. 따라서 분극 벡터는 $P = D - \varepsilon_0 E = 100 - 20 = 80C/m^2$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

20 C/m^2는 $\varepsilon_0 E = D/\varepsilon_r$ 값이다. 이는 유전체의 분극 P가 아니라 진공 성분이므로 틀리다. 값을 20으로 본 판단이 틀렸고, 올바르게는 $P = 80C/m^2$이다.

② X

40 C/m^2는 $D = P + \varepsilon_0 E$ 관계를 만족하지 않는다. $P = 40C/m^2$라면 $\varepsilon_0 E$가 60이어야 하는데 실제 $\varepsilon_0 E$는 20이다. 값을 40으로 본 판단이 틀렸고, 올바르게는 $P = 80C/m^2$이다.

③ X

60 C/m^2도 $D = 100C/m^2$, $\varepsilon_0 E = 20C/m^2$ 계산과 맞지 않는다. 값을 60으로 두면 $D = P + \varepsilon_0 E = 80C/m^2$가 되어 주어진 전하량에서 구한 D와 어긋난다. 값을 60으로 본 판단이 틀렸고, 올바르게는 $P = 80C/m^2$이다.

④ O

$D = 100C/m^2$, $\varepsilon_0 E = 20C/m^2$이므로 $P = 100 - 20 = 80C/m^2$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

전속밀도 D와 분극 벡터 P를 같은 값으로 보거나, D/ε_r를 바로 분극으로 착각하면 20을 고르게 된다. 또 면적 단위를 mm^2에서 m^2로 바꾸지 않으면 전속밀도 자체가 틀어져 전체 계산이 무너진다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체 평행판 문제는 먼저 Q/S로 D를 구하고, 그다음 $D = \varepsilon_0 E + P$ 또는 $P = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right)D$를 적용하는 순서로 판단한다. 전하량과 면적의 단위 변환을 마지막에 다시 검산하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

유전체에서 $P = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r}\right)D$이며, $D = Q/S$를 먼저 구하면 분극은 바로 정리된다.

NoteBase

문 8. 유전체의 비유전율상수 $\varepsilon_r = 10$, 상부 및 하부전극의 면적이 각각 $15[\mathrm{mm}^2]$, 상하부전극 사이의 간격이 $d[\mathrm{mm}]$인 평행판 커패시터(capacitor)의 값이 약 $2[\mathrm{mF}]$이었다. 이 평행판 커패시터(capacitor)에서 비유전율상수 $\varepsilon_r = 20$인 유전체로 대치하고, 상하부전극의 면적이 $45[\mathrm{mm}^2]$으로 각각 증가, 상하부전극 사이의 간격을 2배 증가시켰을 경우 변화된 평행판 커패시터(capacitor)의 값$[\mathrm{mF}]$은? (단, 상하부전극 사이는 유전체로 완전히 채워졌다고 가정한다.)

① 4

② 6

③ 8

④ 10

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평행판 커패시터의 정전용량이 $C \propto \varepsilon_r A/d$에 비례한다는 관계를 이용해 변화된 정전용량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 처음에는 비유전율상수 $\varepsilon_r = 10$, 전극 면적 $A = 15\mathrm{mm}^2$, 간격 d, 정전용량 2 mF이다.
변경 후 조건: 비유전율상수는 20으로 2배, 전극 면적은 45 mm^2로 3배, 전극 간격은 $2d$로 2배가 된다.
구해야 할 값: 변경 후 평행판 커패시터의 정전용량이다.

사용할 공식

평행판 커패시터의 정전용량은 $C = \varepsilon A/d$이고, 같은 구조에서는 $C \propto \varepsilon_r A/d$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 유전체의 비유전율상수, 전극 면적, 전극 간격만 바꾸었으므로 정전용량의 비를 바로 비교할 수 있다.

계산 과정

$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}} \times \frac{A_2}{A_1} \times \frac{d_1}{d_2}$
$\frac{C_2}{2} = \frac{20}{10} \times \frac{45}{15} \times \frac{d}{2d} = 2 \times 3 \times \frac{1}{2} = 3$
따라서 $C_2 = 2 \times 3 = 6$ mF이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
4 mF는 계산 결과와 다르다. 정전용량은 최종적으로 3배가 되므로 4 mF가 아니라 6 mF이다.
틀린 표현은 선택값 4 mF이고, 올바르게는 6 mF이다.

② O
비유전율상수 2배, 면적 3배, 간격 2배 증가이므로 전체 배수는 $2 \times 3 \times \frac{1}{2} = 3$이다. 처음 2 mF의 3배이므로 6 mF가 맞다.

③ X
8 mF는 간격이 2배로 늘어나 정전용량이 절반으로 줄어드는 효과를 반영하지 못한 값이다. 올바르게는 8 mF가 아니라 6 mF이다.
틀린 표현은 선택값 8 mF이고, 올바르게는 6 mF이다.

④ X
10 mF는 비유전율상수와 면적 증가만 크게 보고 간격 증가 효과를 무시한 값이다. 올바르게는 10 mF가 아니라 6 mF이다.
틀린 표현은 선택값 10 mF이고, 올바르게는 6 mF이다.

오답 포인트

면적과 비유전율상수는 정전용량을 키우고, 전극 간격은 정전용량을 줄인다는 방향을 함께 보아야 한다. 특히 간격이 2배가 되면 정전용량은 1/2배가 되는데, 이를 빠뜨리면 8 mF나 10 mF 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행판 커패시터 계산형은 먼저 $C \propto \varepsilon_r A/d$를 세우고, 각 조건이 몇 배로 바뀌는지 곱셈과 나눗셈으로 정리한 뒤 마지막에 원래 정전용량에 적용하면 된다.

암기 포인트

평행판 커패시터는 비유전율상수와 면적에 비례하고 간격에 반비례하므로 $\varepsilon_r \uparrow$, $A \uparrow$, $d \uparrow$ 중 $d \uparrow$만 정전용량을 줄인다.

NoteBase

문 9. 다음 중 벡터량(Vector quantity)을 나타내는 경우는?

① 수하물 5[kg]

② 동풍 65[km/h]

③ 실내온도 21[°C]

④ 전하량 3[C]

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 스칼라량과 벡터량의 차이를 묻는 문제이다. 벡터량은 크기와 방향을 함께 가지며, 스칼라량은 크기만 가진다.

핵심 개념

스칼라량: 크기만으로 정해지는 물리량이다. 질량, 온도, 전하량이 이에 해당한다.
벡터량: 크기와 방향이 함께 정해져야 의미가 완성되는 물리량이다. 속도, 힘, 전기장 등이 이에 해당한다.
이 문제의 결정 차이축은 방향 정보의 포함 여부이다.

선지별 해설

① X
수하물 5 kg은 질량의 크기만 나타내므로 스칼라량이다.
틀린 표현은 벡터량으로 볼 수 있다는 판단이다. 올바르게는 방향 정보가 없는 질량은 스칼라량이다.

② O
동풍 65km/h는 바람의 세기 65km/h와 함께 동풍이라는 방향 정보가 포함되므로 벡터량이다.
바람은 속력만이 아니라 어느 방향으로 부는지가 함께 정해져야 물리량이 완성된다.

③ X
실내온도 21 °C는 온도의 크기만 나타내므로 스칼라량이다.
틀린 표현은 온도를 방향이 있는 양으로 보는 점이다. 올바르게는 온도는 방향 성분이 없는 스칼라량이다.

④ X
전하량 3 C는 전하의 양을 나타내는 값으로, 공간적인 방향을 가지지 않으므로 스칼라량이다.
틀린 표현은 전하량을 벡터량으로 보는 점이다. 올바르게는 전하량은 크기와 부호는 가질 수 있어도 방향은 없는 스칼라량이다.

NoteBase

오답 포인트

속력과 속도를 혼동하면 틀리기 쉽다. ②는 단순한 수치 65km/h만이 아니라 동풍이라는 방향 정보가 붙어 있으므로 벡터량이다. ④도 전기와 관련된 양이라 방향이 있을 것처럼 보이지만, 전하량 자체는 전기장의 방향과 달리 스칼라량이다.

다시 나오면 이렇게 판단

물리량을 볼 때 먼저 방향이 반드시 필요한지 확인한다. 방향이 없으면 스칼라량이고, 크기만으로 부족하고 방향까지 있어야 뜻이 정해지면 벡터량이다.

암기 포인트

질량·온도·전하량은 스칼라량, 방향이 붙은 바람과 속도는 벡터량이다.

NoteBase

문 10. 10[MHz]의 균일평면파가 비투자율이 1, 도전율이 1[S/m]인 매질을 통과할 때, 침투 깊이는?

① $\frac{1}{2}[m]$

② $\frac{1}{2\pi}[m]$

③ $1[m]$

④ $\frac{1}{\pi}[m]$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 도체 내 균일평면파의 침투 깊이 δ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 주파수 $f = 10\text{MHz} = 10^7\text{Hz}$, 비투자율 $\mu_r = 1$, 도전율 $\sigma = 1\text{S/m}$이다.
구해야 할 값: 침투 깊이 δ이다.
주의할 조건: 비투자율이 1이므로 $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$를 사용한다.

사용할 공식

좋은 도체에서 침투 깊이는
$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 문제가 도전율이 주어진 매질에서 평면파가 얼마나 깊이 감쇠하는지를 묻는 전형적인 표피깊이 계산이기 때문이다.

계산 과정

$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi \times 10^7 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1}}$
$= \frac{1}{\sqrt{4\pi^2}} = \frac{1}{2\pi}\text{m}$
따라서 침투 깊이는 $\frac{1}{2\pi}\text{m}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
침투 깊이를 $\frac{1}{2}$m로 본 값이다. 계산에서 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$의 π를 빠뜨리면 나올 수 있는 오답이다. 틀린 표현은 "침투 깊이가 $\frac{1}{2}$m이다"이고, 올바르게는 "침투 깊이는 $\frac{1}{2\pi}$m이다"이다.

② O
계산 결과가 정확히 $\frac{1}{2\pi}$m이므로 옳다.

③ X
침투 깊이를 1m로 본 값이다. 주파수와 투자율을 반영하지 않고 막연히 1로 두면 생기는 오답이다. 틀린 표현은 "침투 깊이가 1m이다"이고, 올바르게는 "침투 깊이는 $\frac{1}{2\pi}$m이다"이다.

④ X
침투 깊이를 $\frac{1}{\pi}$m로 본 값이다. $\sqrt{4\pi^2} = 2\pi$를 π로 잘못 계산하면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 "침투 깊이가 $\frac{1}{\pi}$m이다"이고, 올바르게는 "침투 깊이는 $\frac{1}{2\pi}$m이다"이다.

오답 포인트

표피깊이 공식 자체보다도 $\mu = \mu_0\mu_r$ 대입과 $\sqrt{4\pi^2} = 2\pi$ 계산에서 실수가 많이 난다. 특히 $10^7 \times 10^{-7} = 1$만 보고 π와 4를 함께 정리하지 않으면 ①, ④ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

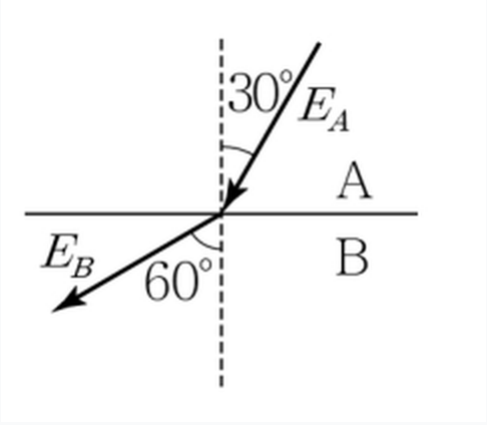
침투 깊이 문제는 먼저 $\delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$를 떠올리고, 다음으로 $\mu = \mu_0\mu_r$를 대입한 뒤, 마지막에 지수항과 π를 따로 정리하면 안정적으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

좋은 도체의 침투 깊이는 $\delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$이며, f, μ, σ가 클수록 침투 깊이는 작아진다.

NoteBase

문 11. 상부 A유전체와 하부 B유전체가 있고, 두 개의 유전체 사이에 전하가 없을 때 E_A의 값이 5 [V/m]이면, E_B의 크기 [V/m]는?



① $\frac{5}{\sqrt{3}}$
② $5\sqrt{3}$
③ $\frac{10}{\sqrt{3}}$
④ $10\sqrt{3}$

정답 1번

출제 포인트

유전체 경계면에서 전계의 접선 성분이 연속이라는 조건을 이용해 다른 유전체 쪽 전계의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $E_A = 5\text{V/m}$, E_A는 법선과 30°, E_B는 법선과 60°를 이룬다.
구해야 할 값: E_B의 크기이다.
주의할 조건: 두 유전체 사이에 자유전하가 없으므로 경계면에 평행한 전계 성분은 서로 같다.

사용할 공식

$E_A \sin 30^\circ = E_B \sin 60^\circ$
이 공식을 쓰는 이유는 그림의 각도가 법선 기준이므로 접선 성분이 $E\sin\theta$가 되고, 유전체 경계면에서 접선 방향 전계는 연속이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. A유전체 쪽 접선 성분은 $E_A \sin 30^\circ = 5 \times \frac{1}{2} = 2.5$이다.
2. 경계면에서 접선 성분이 같으므로 $E_B \sin 60^\circ = 2.5$이다.
3. 따라서 $E_B \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2.5$이므로 $E_B = \frac{5}{\sqrt{3}}$V/m이다.

선지별 해설

① O

- 계산 결과가 바로 $\frac{5}{\sqrt{3}}$V/m이므로 맞다.

② X

- $5\sqrt{3}$는 $E_B = E_A \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}$처럼 사인 비를 거꾸로 놓았을 때 나오는 값이다. 올바르게는 $E_B = \frac{5}{\sqrt{3}}$V/m이다.

③ X

- $\frac{10}{\sqrt{3}}$는 $E_A \sin 30^\circ$를 먼저 구하지 않고 $E_B = \frac{5}{\sin 60^\circ}$처럼 접선 성분 조건을 빠뜨렸을 때 나오는 값이다.
올바르게는 $E_B = \frac{5}{\sqrt{3}}$V/m이다.

④ X

- $10\sqrt{3}$는 사인값을 역수로 잘못 처리해 전계를 과대계산한 값이다. 경계면 조건에 맞는 계산 결과는 $10\sqrt{3}$V/m가 아니라 $\frac{5}{\sqrt{3}}$V/m이다.

오답 포인트

그림의 30°, 60°를 경계면 기준 각도로 착각하거나, 법선 기준 각도인데도 접선 성분 식을 거꾸로 세우면 ②, ③, ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

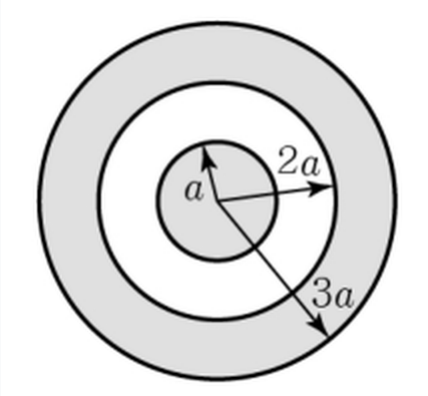
유전체 경계 문제는 먼저 각도가 법선 기준인지 경계면 기준인지 확인한 뒤, 경계면에 평행한 전계 성분 E_t 연속 조건으로 식을 세우고 마지막에 사인과 코사인 선택을 검산하면 된다.

암기 포인트

법선과 이루는 각이 주어지면 접선 성분은 $E \sin\theta$이고, 유전체 경계면에서는 E_t가 연속이다.

NoteBase

문 12. 그림과 같은 동심 구형 도체가 있다. 작은 도체의 반지름은 a, 큰 도체의 안쪽 반지름은 $2a$, 바깥쪽 반지름은 $3a$이다. 구 사이가 진공으로 이루어져 있을 때, 동심구 사이의 정전용량은?



① $\pi\varepsilon_0 a$

② $2\pi\varepsilon_0 a$

③ $4\pi\varepsilon_0 a$

④ $8\pi\varepsilon_0 a$

정답 4번

출제 포인트

동심구 축전기의 전위차를 구해 정전용량 $C = Q/V$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 안쪽 도체 반지름은 a, 바깥 도체의 안쪽 반지름은 $2a$, 두 도체 사이는 진공이다.
구해야 할 값: 동심구 사이의 정전용량이다.
주의할 조건: 전기장은 $a < r < 2a$ 구간에만 존재하므로 바깥 도체의 바깥 반지름 $3a$는 용량 계산에 직접 들어가지 않는다.

사용할 공식

동심구 축전기의 용량은 $C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 구대칭이므로 전위차가 $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$로 정리되고, 따라서 $C = Q/V$로 바로 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{2a} = \frac{Q}{8\pi\varepsilon_0 a}$
따라서
$C = \frac{Q}{V} = 8\pi\varepsilon_0 a$
가 된다.

선지별 해설

① X: $\pi\varepsilon_0 a$는 계산값과 다르다. 틀린 표현은 용량값 $\pi\varepsilon_0 a$이고, 올바르게는 $8\pi\varepsilon_0 a$이다.
② X: $2\pi\varepsilon_0 a$는 계산값의 4분의 1에 불과하다. 틀린 표현은 용량값 $2\pi\varepsilon_0 a$이고, 올바르게는 $8\pi\varepsilon_0 a$이다.
③ X: $4\pi\varepsilon_0 a$는 고립된 반지름 a 구도체의 용량과 같은 값이라서 헷갈리기 쉽지만, 이 문제는 반지름 $2a$인 바깥 도체와의 전위차로 정해지므로 값이 더 커진다. 틀린 표현은 용량값 $4\pi\varepsilon_0 a$이고, 올바르게는 $8\pi\varepsilon_0 a$이다.
④ O: $8\pi\varepsilon_0 a$는 $C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{a \cdot 2a}{2a - a}$ 또는 $C = Q/V$ 계산 결과와 일치한다. 따라서 옳다.

오답 포인트

바깥 도체의 바깥 반지름 $3a$까지 식에 넣거나, 고립 구도체의 공식 $C = 4\pi\varepsilon_0 a$를 그대로 적용하면 ③처럼 틀리기 쉽다. 이 문제는 두 도체 사이의 반지름 a와 $2a$만으로 전위차를 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

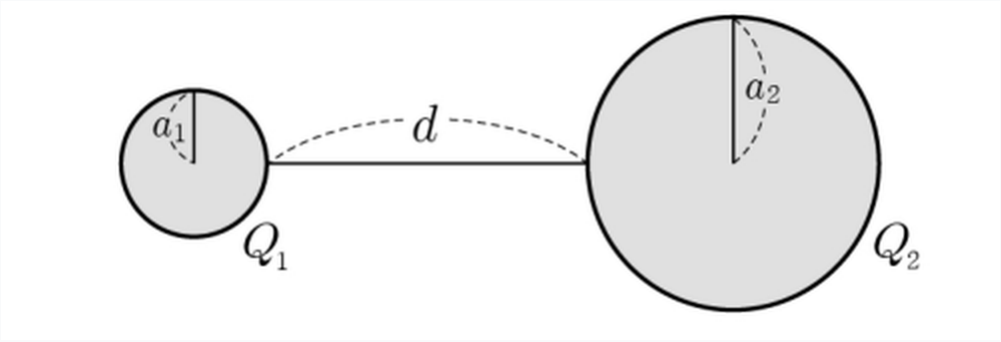
동심구 용량 문제는 먼저 전기장이 존재하는 구간의 안쪽 반지름과 바깥쪽 반지름을 잡고, 그다음 $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ 또는 $C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$를 적용해 판단한다.

암기 포인트

동심구 축전기는 $C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{ab}{b - a}$이고, 바깥 도체의 두께는 용량이 아니라 차폐에만 영향을 준다.

NoteBase

문 13. 총 전하량 Q가 분포되어 있는 두 개의 구도체가 완전도체로 연결되어 있다. 하나의 구도체의 반경은 a_1, 다른 구도체의 반경은 a_2이다. 이때, 두 개의 구도체의 간격 d가 구도체의 반경보다 무한히 큰 경우에 두 개의 구도체에서의 전하량은?



① $Q_1 = a_1 Q,\ Q_2 = a_2 Q$

② $Q_1 = a_2 Q,\ Q_2 = a_1 Q$

③ $Q_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q,\ Q_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q$

④ $Q_1 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q,\ Q_2 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 완전도체로 연결된 두 구도체의 전위가 같아진다는 조건을 이용해 각 구도체의 전하 분배비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 두 구도체의 반경은 각각 a_1, a_2이고 총전하량은 Q이다.
구해야 할 값: 각 구도체의 전하량 Q_1, Q_2이다.
주의할 조건: d가 반경보다 매우 크므로 서로의 영향은 무시하고, 각 구도체를 거의 고립구처럼 보아 $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q}{a}$를 적용할 수 있다.

사용할 공식

완전도체로 연결되어 있으므로 두 구도체의 전위는 같다.
$V_1 = V_2,\quad \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_1}{a_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_2}{a_2}$
또한 총전하량 보존으로
$Q_1 + Q_2 = Q$
가 성립한다.
이 공식을 쓰는 이유는 도체가 연결되면 전하가 이동하여 전체가 같은 전위가 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전위평형 조건에서
$\frac{Q_1}{a_1} = \frac{Q_2}{a_2}$
이므로
$Q_1 : Q_2 = a_1 : a_2$
가 된다.
2. 따라서 $Q_1 = a_1 k$, $Q_2 = a_2 k$로 둘 수 있다.
3. 총전하량 조건 $Q_1 + Q_2 = Q$를 대입하면
$a_1 k + a_2 k = (a_1 + a_2)k = Q$
이므로
$k = \frac{Q}{a_1 + a_2}$
이다.
4. 따라서
$Q_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q, \quad Q_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q$
가 된다.

선지별 해설

① X: $Q_1 = a_1 Q$, $Q_2 = a_2 Q$로 두면 합이 $(a_1 + a_2)Q$가 되어 총전하량 Q와 맞지 않는다. 반지름에 비례한다는 방향은 맞지만 비례상수 정리가 빠졌다. 올바르게는 $Q_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q$, $Q_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q$이다.
② X: 연결된 두 도체는 전위가 같아야 하므로 전하량은 반지름에 비례한다. 따라서 큰 구도체일수록 더 큰 전하를 가진다. 이 선지는 비례관계를 거꾸로 쓴 것이 틀린 표현이다. 올바르게는 $Q_1 : Q_2 = a_1 : a_2$이다.
③ O: 전위평형으로 $Q_1 : Q_2 = a_1 : a_2$, 총전하량 보존으로 $Q_1 + Q_2 = Q$를 적용하면 $Q_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q$, $Q_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q$가 되어 맞다.
④ X: 분모 $a_1 + a_2$는 맞지만 분자가 서로 바뀌어 있다. 반지름이 큰 구도체 a_2가 더 큰 전하를 가져야 하므로 Q_2 쪽에 a_2가 와야 한다. 올바르게는 $Q_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} Q$, $Q_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} Q$이다.

오답 포인트

전하량이 반지름에 비례한다는 사실만 기억하고 비례상수를 정리하지 않으면 ①처럼 쓰기 쉽다. 또한 전위가 같다는 조건을 전하량이 같다는 뜻으로 오해하거나, 큰 구가 더 많은 전하를 가진다는 방향을 놓치면 ②, ④처럼 분자를 뒤바꾸기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

연결된 도체 문제가 나오면 먼저 전위평형 $V_1 = V_2$를 세우고, 구도체이면 $V \propto \frac{Q}{a}$를 적용해 전하비를 구한다. 그다음 총전하량 보존식까지 묶어 실제 Q_1, Q_2를 결정하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

멀리 떨어진 연결 구도체는 전위가 같고 전하량은 반지름에 비례하므로 $Q_1 : Q_2 = a_1 : a_2$이다.

NoteBase

문 14. 인덕터(Inductor)에 $2[mA]$를 인가했을 때, 인덕터에 저장되는 자기에너지가 $10 \times 10^{-9}[J]$이라면, 인덕터의 유도용량 $L[H]$은?

① 1×10^{-3}

② 2×10^{-3}

③ 4×10^{-3}

④ 5×10^{-3}

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 인덕터의 자기 에너지 공식으로부터 유도용량 L를 역산할 수 있는지를 묻는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전류 $I = 2 \times 10^{-3}\text{A}$, 자기 에너지 $W = 10 \times 10^{-9}\text{J}$이다.
구해야 할 값: 유도용량 L이다.
주의할 조건: $2\text{mA} = 2 \times 10^{-3}\text{A}$로 단위를 바꾸어 계산한다.

사용할 공식

인덕터에 저장되는 자기 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$이다.
따라서 유도용량은 $L = \frac{2W}{I^2}$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 전류와 저장 에너지가 직접 주어졌으므로 에너지식에서 바로 L를 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 전류의 제곱은 $I^2 = (2 \times 10^{-3})^2 = 4 \times 10^{-6}$이다.
2. 에너지식의 분자는 $2W = 2 \times 10 \times 10^{-9} = 2 \times 10^{-8}$이다.
3. 따라서 $L = \frac{2 \times 10^{-8}}{4 \times 10^{-6}} = \frac{1}{2} \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-3}\text{H}$이다.

선지 판단

1번: X. 선택지의 $1 \times 10^{-3}\text{H}$는 계산값과 다르다. 올바르게는 $L = 5 \times 10^{-3}\text{H}$이다.
2번: X. 선택지의 $2 \times 10^{-3}\text{H}$는 계산값과 다르다. 올바르게는 $L = 5 \times 10^{-3}\text{H}$이다.
3번: X. 선택지의 $4 \times 10^{-3}\text{H}$는 계산값과 다르다. 올바르게는 $L = 5 \times 10^{-3}\text{H}$이다.
4번: O. 에너지 공식을 적용한 계산 결과가 $5 \times 10^{-3}\text{H}$이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

오답은 $W = \frac{1}{2}LI^2$의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리거나, 2mA를 A로 바꾸지 않은 채 계산할 때 나오기 쉽다. 또한 $10^{-8} \div 10^{-6} = 10^{-2}$ 다음에 앞의 계수 $\frac{1}{2}$를 반영해 5×10^{-3}으로 정리해야 한다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

인덕터 에너지 문제는 먼저 전류를 A 단위로 바꾸고, $W = \frac{1}{2}LI^2$를 세운 뒤, $L = \frac{2W}{I^2}$로 정리하여 지수와 단위를 끝까지 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

인덕터 자기 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$이며, 전류가 제곱되므로 mA를 A로 바꾸는 단위 변환이 핵심이다.

NoteBase

문 15. 전력용 유입커패시터가 있다. 기름의 비유전율이 $\varepsilon_r = 2$이고, 인가된 전계가 $E = 200\sin\omega t[V/m]$일 때, 커패시터 내의 유전체에 흐르는 변위전류밀도$[A/m^2]$는?

① $200\omega\cos\omega t$

② $200\varepsilon_0\omega\sin\omega t$

③ $400\omega\cos\omega t$

④ $400\varepsilon_0\omega\cos\omega t$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 변위전류밀도 식 $J_d = \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$를 이용해 유전체에 흐르는 변위전류밀도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 기름의 비유전율 $\varepsilon_r = 2$, 전계 $E = 200\sin\omega t[V/m]$이다.
구해야 할 값: 유전체 내 변위전류밀도 $J_d[A/m^2]$이다.
주의할 조건: 절대유전율은 $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r = 2\varepsilon_0$이고, $\sin\omega t$를 시간 미분하면 $\omega\cos\omega t$가 된다.

사용할 공식

$J_d = \frac{\partial D}{\partial t} = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t} = \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{\partial E}{\partial t}$
이 공식을 쓰는 이유: 변위전류밀도는 전계 그 자체가 아니라 전속밀도 D의 시간변화율로 정의되며, 선형 유전체에서는 $D = \varepsilon E$이므로 $\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$로 계산한다.

계산 과정

1. $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r = 2\varepsilon_0$로 둔다.
2. 전계를 시간 미분하면 $\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}(200\sin\omega t) = 200\omega\cos\omega t$이다.
3. 따라서 $J_d = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t} = 2\varepsilon_0 \cdot 200\omega\cos\omega t = 400\varepsilon_0\omega\cos\omega t[A/m^2]$이다.

선지별 해설

① X: $200\omega\cos\omega t$는 시간 미분은 맞지만 유전체의 유전율 $2\varepsilon_0$가 빠져 있다. 틀린 표현은 유전율 항이 없는 점이며, 올바르게는 $400\varepsilon_0\omega\cos\omega t$이다.
② X: $200\varepsilon_0\omega\sin\omega t$는 $\sin\omega t$를 그대로 두어 시간 미분 결과가 아니고, 비유전율 2도 반영하지 않았다. 틀린 표현은 위상과 계수 모두이며, 올바르게는 $400\varepsilon_0\omega\cos\omega t$이다.
③ X: $400\omega\cos\omega t$는 비유전율 2는 반영했지만 절대유전율 ε_0가 빠져 있다. 틀린 표현은 ε_0 누락이며, 올바르게는 $400\varepsilon_0\omega\cos\omega t$이다.
④ O: $J_d = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t} = 2\varepsilon_0 \cdot 200\omega\cos\omega t = 400\varepsilon_0\omega\cos\omega t$이므로 맞는 선지이다.

NoteBase

오답 포인트

변위전류밀도를 전계 E 자체와 혼동하면 $\sin \omega t$를 그대로 두는 오답이 나온다. 또한 ε_r만 보거나 ε_0를 빼먹으면 ①, ③ 같은 형태의 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

유전체의 변위전류밀도를 묻는 문제는 먼저 $J_d = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$를 떠올리고, 다음에 $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$를 대입한 뒤, 마지막으로 전계를 시간 미분해 sin과 cos의 위상 변화를 확인하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

변위전류밀도는 전계의 크기보다 전계의 시간변화율에 비례하며, 유전체에서는 $J_d = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E}{\partial t}$로 정리된다.

NoteBase

문 16. 벡터 $\vec{A} = 2a_x - 6a_y + 3a_z$, $\vec{B} = a_x + 2a_y + a_z$일 때, 벡터 $\vec{B}$의 $\vec{A}$ 방향에 대한 스칼라 성분은?

① -1

② -3

③ -5

④ -7

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 벡터 $\vec{B}$를 벡터 $\vec{A}$의 방향으로 정사영할 때의 스칼라 성분을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\vec{A} = 2a_x - 6a_y + 3a_z, \vec{B} = a_x + 2a_y + a_z$
구해야 할 값: $\vec{B}$의 $\vec{A}$ 방향 스칼라 성분
주의할 조건: 스칼라 성분은 내적값 자체가 아니라 $\vec{A}$ 방향의 단위벡터로 투영한 값이다.

사용할 공식

벡터 $\vec{B}$의 $\vec{A}$ 방향 스칼라 성분은
$\text{comp}_{\vec{A}}\vec{B} = \vec{B} \cdot \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}|}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 특정 방향에 대한 스칼라 성분은 그 방향의 단위벡터에 내적한 값이기 때문이다.

계산 과정

1. 내적을 구하면
$\vec{A} \cdot \vec{B} = 2 \cdot 1 + (-6) \cdot 2 + 3 \cdot 1 = 2 - 12 + 3 = -7$
이다.
2. $\vec{A}$의 크기를 구하면
$|\vec{A}| = \sqrt{2^2 + (-6)^2 + 3^2} = \sqrt{4 + 36 + 9} = \sqrt{49} = 7$
이다.
3. 따라서 스칼라 성분은
$\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}|} = \frac{-7}{7} = -1$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 -1이므로 맞는 값이다.
② X: -3은 $\vec{A}$ 방향 스칼라 성분이 아니다. $\vec{A}$의 크기 7로 나누지 않거나 $\vec{B}$의 크기로 잘못 나누면 이런 오답에 가까워진다. 올바르게는 -1이다.
③ X: -5는 내적 계산이나 크기 계산에서 산술 오류가 들어간 값이다. $2-12+3=-7$이고, 다시 7로 나누어야 하므로 올바르게는 -1이다.
④ X: -7은 $\vec{A}\cdot\vec{B}$인 내적값 자체이다. 방향에 대한 스칼라 성분은 내적값을 $|\vec{A}|$로 한 번 더 나눈 값이므로 올바르게는 -1이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 내적값과 스칼라 성분을 같은 것으로 착각하는 지점이다. 특히 ④처럼 -7을 바로 고르면 정사영의 길이를 묻는 문제에서 단위벡터로 나누는 마지막 단계를 빠뜨린 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

벡터의 어느 방향 성분을 묻는 문제는 먼저 내적을 구한 뒤, 그 방향 벡터의 크기로 나누는지 확인하면 된다. 방향 성분이면 단위벡터와의 내적, 단순 내적이면 나누기 없이 끝난다.

암기 포인트

벡터 $\vec{B}$의 $\vec{A}$ 방향 스칼라 성분은 $\frac{\vec{A}\cdot\vec{B}}{|\vec{A}|}$이다.

NoteBase

문 17. N회 감긴 환상코일의 단면적이 $S[\mathrm{m}^2]$, 평균자로의 길이가 $l[\mathrm{m}]$이다. 이 코일의 권수를 2배로 하고 인덕턴스는 일정하게 하고자 할 때 다음 중 옳은 것은?

① 단면적을 $\frac{1}{4}$배로 한다.

② 평균자로의 길이를 $\frac{1}{4}$배로 한다.

③ 단면적을 $\frac{1}{2}$배로 한다.

④ 평균자로의 길이를 $\frac{1}{2}$배로 한다.

정답 1번

출제 포인트

환상코일의 인덕턴스가 권수의 제곱에 비례하고 단면적에 비례하며 평균자로의 길이에 반비례한다는 관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 권수는 N, 단면적은 $S(m^2)$, 평균자로의 길이는 $l(m)$이다.
바뀌는 조건: 권수를 2배로 한다.
구해야 할 판단: 인덕턴스를 일정하게 유지하려면 S 또는 l를 어떻게 바꿔야 하는지 판단하는 문제이다.

사용할 공식

같은 코어 재질과 투자율 조건에서는 환상코일의 인덕턴스가 $L \propto \frac{N^2 S}{l}$의 관계를 따른다.
이 공식을 쓰는 이유는 보기들이 모두 권수 변화에 맞추어 단면적 또는 평균자로 길이를 어떻게 조정해야 하는지를 묻고 있기 때문이다.

계산 과정

권수를 2배로 하면 N^2는 4배가 된다.
따라서 다른 조건이 그대로이면 인덕턴스도 4배가 되려는 방향으로 변한다.
인덕턴스를 일정하게 유지하려면 $\frac{S}{l}$ 값이 기존의 $\frac{1}{4}$가 되어야 한다.
보기 중 이를 만족하는 것은 단면적을 $\frac{1}{4}$배로 하는 경우이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 단면적 S를 $\frac{1}{4}$배로 하면 N^2의 4배 증가와 정확히 상쇄되어 L이 일정하게 유지된다.
② X: 평균자로의 길이 l를 $\frac{1}{4}$배로 하면 분모가 줄어들어 인덕턴스는 오히려 4배 더 커진다. 틀린 표현은 "평균자로의 길이를 $\frac{1}{4}$배로 한다"이고, 올바르게는 "평균자로의 길이를 4배로 한다"이다.
③ X: 단면적을 $\frac{1}{2}$배로 하면 전체적으로 L은 2배가 되어 일정하지 않다. 틀린 표현은 "단면적을 $\frac{1}{2}$배로 한다"이고, 올바르게는 "단면적을 $\frac{1}{4}$배로 한다"이다.
④ X: 평균자로의 길이를 $\frac{1}{2}$배로 하면 분모가 절반이 되어 인덕턴스는 2배 더 커진다. 틀린 표현은 "평균자로의 길이를 $\frac{1}{2}$배로 한다"이고, 올바르게는 "평균자로의 길이를 4배로 한다"이다.

오답 포인트

권수를 2배로 하면 인덕턴스도 2배라고 착각하면 오답이 된다. 이 문제의 핵심은 N이 아니라 N^2가 들어간다는 점이며, 단면적은 비례하고 평균자로의 길이는 반비례라는 방향까지 함께 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

자기회로 계산형 문제는 먼저 비례식의 방향을 정리하고, 그다음 권수 변화가 N인지 N^2인지 확인한 뒤, 증가한 배수를 다른 항에서 역으로 상쇄하는 방식으로 판단한다.

암기 포인트

환상코일 인덕턴스는 $L \propto \frac{N^2 S}{l}$이므로 권수 2배는 효과가 4배이다.

NoteBase

문 18. 자유공간 내의 점 $P_1(1, -1, -3)$에 $Q_1 = 300[\mu C]$이 있고, $P_2(3, -3, -2)$에 $Q_2[\mu C]$이 있다. $Q_2[\mu C]$에 의해서 $Q_1[\mu C]$이 받는 힘은 $\vec{F}_1 = 8a_x - 8a_y + 4a_z[N]$이다. $Q_2[\mu C]$는? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$로 한다.)

① -4

② 4

③ -40

④ 40

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 쿨롱의 법칙 벡터식을 이용해 힘의 방향과 크기에서 미지 전하 Q_2를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $P_1(1, -1, -3), Q_1 = 300\mu\text{C}, P_2(3, -3, -2), \vec{F}_1 = 8\mathbf{a}_x - 8\mathbf{a}_y + 4\mathbf{a}_z\text{N}$이다.
구해야 할 값은 Q_2이다.
자유공간이므로 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$를 사용한다.

사용할 공식

점전하가 받는 힘은 $\vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{R^3}\vec{R}_{21}$ 이다.
이 문제는 두 점전하의 위치와 힘의 벡터 성분이 함께 주어졌으므로, 힘의 방향으로 전하의 부호를 판단하고 크기로 전하량을 계산할 수 있다.

계산 과정

위치벡터는 $\vec{R}_{21} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 = (1-3, -1-(-3), -3-(-2)) = (-2, 2, -1)$이다.
따라서 $|\vec{R}_{21}| = \sqrt{(-2)^2 + 2^2 + (-1)^2} = 3$이다.
주어진 힘 $\vec{F}_1 = (8, -8, 4)$는 $(-2, 2, -1)$의 정확히 반대방향이므로 $Q_1Q_2 < 0$이고, $Q_1 > 0$이어서 $Q_2 < 0$이다.
성분비교로 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{3^3} = -4$ 이다.
여기에 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9, Q_1 = 300 \times 10^{-6}\text{C}$를 대입하면
$9 \times 10^9 \cdot \frac{(300 \times 10^{-6})Q_2}{27} = -4$
$10^5 Q_2 = -4$
$Q_2 = -4 \times 10^{-5}\text{C} = -40\mu\text{C}$
따라서 정답은 ③이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: -4μC는 계산값 -40μC보다 10배 작다. 틀린 표현은 "-4"이고, 올바르게는 "-40μC"이다. 이 값은 μC 변환이나 상수 계산을 10배 잘못 적용할 때 나올 수 있다.
② X: 4μC는 부호와 크기가 모두 틀리다. 힘의 방향이 $\vec{R}_{21}$의 반대이므로 Q_2는 음전하이어야 한다. 틀린 표현은 "+4"이고, 올바르게는 "-40μC"이다.
③ O: -40μC는 힘의 반대방향 조건으로 음전하가 되어야 한다는 점과, 벡터식 계산 결과의 크기 40μC를 모두 만족한다.
④ X: 40μC는 크기는 맞지만 부호가 틀리다. 틀린 표현은 "+40"이고, 올바르게는 "-40μC"이다. 방향 판단을 빠뜨리면 이 오답을 고르기 쉽다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 크기 계산만 하고 부호를 놓치는 데 있다. 40μC까지는 쉽게 구해도, 힘 벡터가 $\vec{R}_{21}$와 반대방향이라는 사실을 확인하지 않으면 ④로 오판하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

점전하 힘 문제는 위치벡터 $\vec{R}$를 먼저 구하고, 힘 벡터가 $\vec{R}$와 같은 방향인지 반대방향인지로 전하 부호를 판단한 뒤, 마지막에 크기를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

쿨롱힘은 방향으로 부호를 판단하고, 크기로 전하량을 계산한다.

NoteBase

문 19. 자유공간상의 두 점 $P_1(-2, 1, 5)$과 $P_2(1, 3, -1)$에 각각 $Q_1 = 3[\mu C]$, $Q_2 = 7[\mu C]$의 점전하가 놓여 있다. 이 전하들을 배치하기 위해 필요한 에너지[mJ]는? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$로 한다.)

① 21

② 23

③ 25

④ 27

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 두 점전하 사이 거리와 전기적 위치에너지 공식을 이용해 전하를 배치하는 데 필요한 에너지를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P_1(-2, 1, 5), P_2(1, 3, -1), Q_1 = 3\mu C, Q_2 = 7\mu C$
구해야 할 값: 두 점전하를 자유공간에 배치할 때 필요한 에너지
주의할 조건: $\mu C = 10^{-6} C$로 바꾸고, 두 점 사이 거리 r를 먼저 구한 뒤 $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r}$를 적용한다.

사용할 공식

공식: $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r}$
이 공식을 쓰는 이유: 자유공간에서 두 점전하를 무한대에서 해당 위치까지 옮겨 놓는 데 필요한 일이 곧 두 전하의 전기적 위치에너지이기 때문이다.

계산 과정

1. 두 점 사이 거리를 구한다.

$$r = \sqrt{(1-(-2))^2 + (3-1)^2 + (-1-5)^2} = \sqrt{3^2 + 2^2 + (-6)^2} = \sqrt{49} = 7m$$

2. 쿨롱상수를 계산한다.

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}} = 9 \times 10^9$$

3. 위치에너지를 계산한다.

$$U = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6} \times 7 \times 10^{-6}}{7} = 27 \times 10^{-3} J = 27mJ$$

NoteBase

선지 판단

1번(X): 계산 결과는 21 mJ가 아니라 27 mJ이다. 21 mJ는 $3 \times 7 = 21$만 보고 분모의 거리 7과 전하량의 7이 약분되는 구조를 끝까지 정리하지 못하면 흔들리기 쉬운 값이다. 올바르게는 필요한 에너지가 27 mJ이다.
2번(X): 계산 결과는 23 mJ가 아니다. 좌표 차 제곱합은 $9 + 4 + 36 = 49$이므로 거리는 정확히 7m이다. 거리를 잘못 읽거나 중간 계산을 틀리면 다른 수치가 나오지만, 올바르게는 필요한 에너지가 27 mJ이다.
3번(X): 계산 결과는 25 mJ가 아니다. $\mu C = 10^{-6} C$ 단위 변환과 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$를 함께 적용해야 하므로 25 mJ는 성립하지 않는다. 올바르게는 필요한 에너지가 27 mJ이다.
4번(O): 두 점 사이 거리가 7m이고 위치에너지 공식에 대입하면 $U = 27mJ$가 되므로 옳다.

오답 포인트

좌표 문제에서는 거리 계산 뒤에 공식을 바로 대입하되, 분모의 거리 7과 전하량 $Q_2 = 7\mu C$의 7이 약분된다는 점을 놓치지 않아야 한다. 이 약분을 놓치면 21 mJ 같은 오답으로 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

공간 좌표의 점전하 문제는 좌표 차로 거리를 구하고, 전하량을 C 단위로 바꾼 뒤, $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r}$에 대입해 약분과 단위까지 함께 검산하면 된다.

암기 포인트

두 점전하 배치 에너지는 거리 → 쿨롱상수 → 위치에너지 공식 순서로 정리하면 계산 실수를 줄일 수 있다.

NoteBase

문 20. 자유공간에서 1 [m] 떨어진 2개의 무한 평행도선에 단위 길이당 $4 \times 10^{-7}[N]$의 반발력이 작용할 때 그 도선에 흐르는 전류에 대해 다음 중 옳은 것은? (단, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}[H/m]$로 한다.)

① 각 도선에 2[A]가 반대 방향으로 흐른다.

② 각 도선에 2[A]가 같은 방향으로 흐른다.

③ 각 도선에 $\sqrt{2}[A]$가 반대 방향으로 흐른다.

④ 각 도선에 $\sqrt{2}[A]$가 같은 방향으로 흐른다.

정답 3번

출제 포인트

평행도선 사이의 단위길이당 힘 공식 $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$와 전류 방향에 따른 인력·반발력을 함께 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 도선 간 거리 $d = 1\text{m}$, 단위길이당 힘 $\frac{F}{l} = 4 \times 10^{-7}\text{N/m}$, 투자율 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$이다.
구해야 할 값: 각 도선에 흐르는 전류의 크기와 방향이다.
주의할 조건: 반발력이므로 두 전류 방향은 서로 반대이다.

사용할 공식

$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$
두 도선의 전류 크기가 같으므로 $I_1 = I_2 = I$로 둘 수 있다. 문제에서 도선 사이 거리와 단위길이당 힘을 주었으므로 평행도선 사이 힘 공식을 바로 적용하면 된다.

계산 과정

$4 \times 10^{-7} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot I^2}{2\pi \cdot 1}$
$4 \times 10^{-7} = 2 \times 10^{-7} I^2$
$I^2 = 2$
$I = \sqrt{2}\text{A}$
또한 평행도선의 전류가 같은 방향이면 인력이 작용하고, 반대 방향이면 반발력이 작용한다. 따라서 각 도선에는 $\sqrt{2}\text{A}$가 반대 방향으로 흐른다.

NoteBase

선지별 해설

① X: '2[A]'가 틀린 표현이다. 전류가 반대 방향인 판단은 맞지만, $I = 2\text{A}$이면 $\frac{F}{l} = 8 \times 10^{-7}\text{N/m}$가 되어 주어진 힘보다 크다. 올바르게는 '각 도선에 $\sqrt{2}\text{A}$가 반대 방향으로 흐른다'이다.
② X: '같은 방향'이 틀린 표현이다. 같은 방향 전류 사이에는 인력이 작용하므로 반발력 조건과 모순된다. 크기도 2A가 아니라 $\sqrt{2}\text{A}$이다. 올바르게는 '각 도선에 $\sqrt{2}\text{A}$가 반대 방향으로 흐른다'이다.
③ O: $I = \sqrt{2}\text{A}$이고, 반발력 조건 때문에 방향은 서로 반대이다. 크기와 방향이 모두 맞다.
④ X: '$\sqrt{2}[A]$가 같은 방향'이 틀린 표현이다. 전류 크기는 맞지만 같은 방향이면 인력이 작용한다. 올바르게는 '각 도선에 $\sqrt{2}\text{A}$가 반대 방향으로 흐른다'이다.

오답 포인트

반발력인지 인력인지를 먼저 읽지 않으면 ④처럼 전류 크기만 맞고 방향을 틀리기 쉽다. 또 2A는 공식을 대입한 뒤 검산하지 않아 생기는 전형적 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행도선 문제는 먼저 힘의 방향으로 전류 방향을 정하고, 다음에 $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$에 값을 넣어 크기를 계산한 뒤 선지의 크기와 방향을 함께 대조하면 된다.

암기 포인트

평행도선은 같은 방향이면 인력, 반대 방향이면 반발력이며, 힘의 크기는 $\frac{F}{l} \propto \frac{I_1 I_2}{d}$이다.

NoteBase