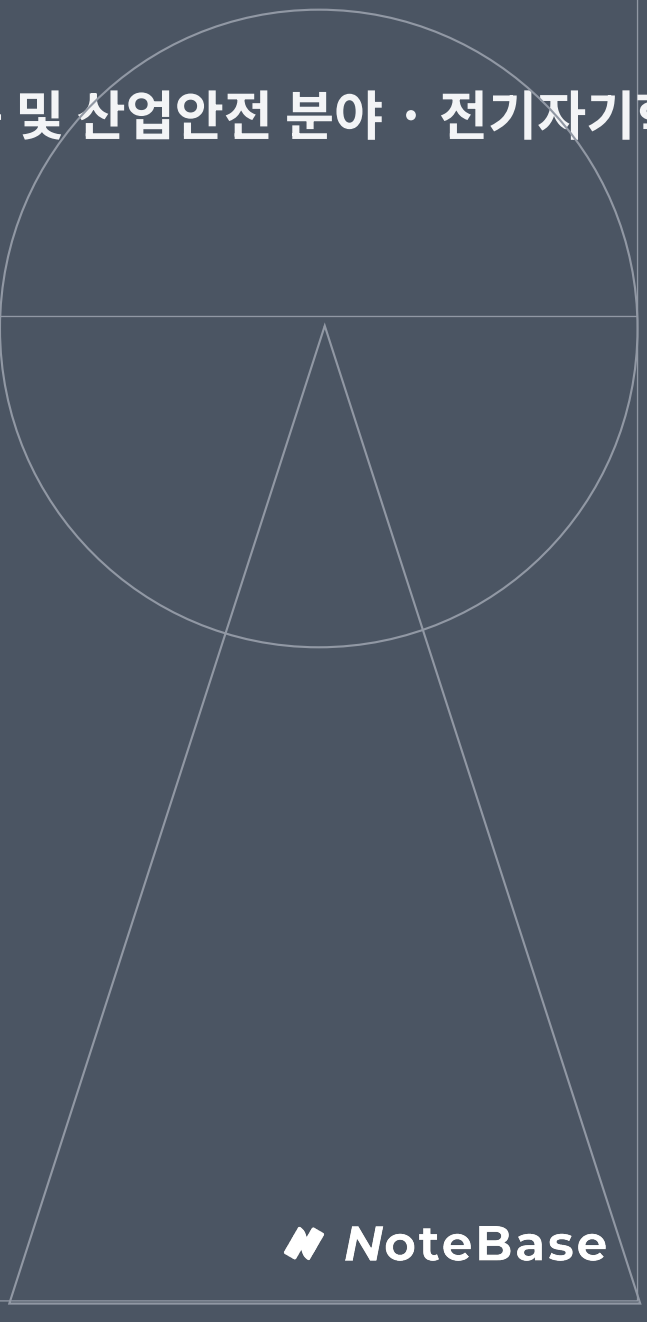
# 기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전기자기학 · 2



NoteBase

# 기출OX 해설집

## 공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전기자기학 · 2025 · 2차

**공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전기자기학 · 2025 · 2차**

**문 1. 전계 $\vec{E} = 2\vec{a}_x - 3\vec{a}_y + 4\vec{a}_z[V/m]$ 내에서 전하 $Q = 2[\mu C]$를 원점 O(0, 0, 0)에서 자유공간의 한 점 P(3, 0, -2)로 옮기는 데 필요한 일[J]은? (단, 좌표상의 거리는 [m] 기준이다)**

① $4 \times 10^{-6}$

② $4 \times 10^{-3}$

③ $4 \times 10^{3}$

④ $4 \times 10^{6}$

**정답 1번**

**출제 포인트**

균일한 전계에서 전위차를 구한 뒤 $W_{\text{ext}} = q\Delta V$로 외력이 해야 할 일을 계산하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 전계 $\vec{E} = 2\vec{a}_x - 3\vec{a}_y + 4\vec{a}_z[V/m]$, 전하 $q = 2\mu C = 2 \times 10^{-6} C$
출발점: $O(0, 0, 0)$
도착점: $P(3, 0, -2)$
구해야 할 값: 전하를 옮기는 데 필요한 일
주의할 조건: '필요한 일'은 전계가 한 일이 아니라 외력이 공급해야 하는 일이다.

**사용할 공식**

$\Delta V = V_P - V_O = -\int_O^P \vec{E} \cdot d\vec{l}$
$W_{\text{ext}} = \Delta U = q\Delta V$
이 문제는 균일한 전계 안에서 점전하를 옮기는 상황이므로, 선적분으로 전위차를 구한 뒤 외력이 해야 할 일을 계산하면 된다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 위치 변화는 $\Delta\vec{r} = (3, 0, -2)m$이다.
2. 선적분 값은 $\int_O^P \vec{E} \cdot d\vec{l} = \vec{E} \cdot \Delta\vec{r} = 2 \cdot 3 + (-3) \cdot 0 + 4 \cdot (-2) = 6 - 8 = -2V$이다.
3. 따라서 전위차는 $\Delta V = -(-2) = 2V$이다.
4. 필요한 일은 $W_{\text{ext}} = q\Delta V = (2 \times 10^{-6})(2) = 4 \times 10^{-6}J$이다.

### 선지별 해설

① O

- 계산 결과가 $4 \times 10^{-6}J$이므로 맞다.

② X

- $4 \times 10^{-3}J$는 전하 $2\mu C$를 $2 \times 10^{-3}C$처럼 잘못 바꾸거나 접두어를 틀리게 적용했을 때 나오는 값이다. 올바른 값은 $4 \times 10^{-6}J$이다.

③ X

- $4 \times 10^{3}J$는 $\mu$를 무시하고 크기를 반대로 키운 값으로, 전계와 이동거리로 생기는 전위차가 $2V$뿐이라는 조건과 맞지 않는다. 올바른 값은 $4 \times 10^{-6}J$이다.

④ X

- $4 \times 10^{6}J$는 $\mu C$를 $10^{6}$배 크게 해석한 단위 오독이다. 올바른 값은 $4 \times 10^{-6}J$이다.

### 오답 포인트

전계가 한 일 $W_{\text{field}} = -q\Delta V$와 외력이 해야 할 일 $W_{\text{ext}} = q\Delta V$의 부호를 바꾸기 쉽고, $\mu C = 10^{-6}C$ 단위 변환을 틀리면 오답으로 바로 이어진다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

균일 전계 이동 문제는 먼저 $\vec{E} \cdot \Delta\vec{r}$로 선적분 값을 구하고, $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta\vec{r}$를 만든 뒤, 문제에서 묻는 일이 외력의 일인지 전계의 일인지 확인하여 부호를 결정한다.

### 암기 포인트

균일 전계에서는 $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta\vec{r}$, 외력이 필요한 일은 $q\Delta V$이다.

NoteBase

**문 2. 자유공간에서 점전하 $Q = 6[nC]$이 원점에 있을 때, 점전하로부터 거리 $r = 2[m]$에서의 전위$[V]$는? (단, 무한원점에서의 전위는 $V = 0[V]$이고, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다)**

① -54

② -27

③ 27

④ 54

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 자유공간의 점전하가 만드는 전위를 $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$로 계산할 수 있는지를 묻는다.

**조건 정리**

주어진 값: $Q = 6 \times 10^{-9}C$, $r = 2m$, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}F/m$이다.
구해야 할 값: 점전하로부터 2m 떨어진 점의 전위 $V$이다.
주의할 조건: 무한원점에서 $V = 0$이므로 점전하 전위 공식을 그대로 적용할 수 있고, $Q$가 양전하이므로 전위의 부호도 양수이다.

**사용할 공식**

공식은 $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 자유공간에서 점전하 1개가 만드는 전위를 무한원점 기준으로 묻는 전형적인 쿨롱 전위 문제이기 때문이다.

**계산 과정**

1. $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}} = 9 \times 10^9$이다.
2. 이를 공식에 대입하면 $V = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-9}}{2}$이다.
3. 따라서 $V = 27V$이다.

**선지 판단**

① X: $-54V$는 부호를 음수로 잘못 두고 거리 $r = 2$도 반영하지 못한 값이다. 주어진 전하는 양전하이므로 전위는 양수이고, 올바르게는 $27V$이다.
② X: $-27V$는 크기는 맞지만 부호를 반대로 둔 값이다. 양전하가 만드는 전위는 무한원점 기준으로 양수이므로 올바르게는 $27V$이다.
③ O: $V = 27V$이므로 계산 결과와 정확히 일치한다.
④ X: $54V$는 $r = 2m$로 나누지 않고 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}Q$까지만 계산한 값이다. 올바르게는 $27V$이다.

NoteBase

**오답 포인트**

양전하인지 음전하인지에 따라 전위의 부호가 먼저 결정된다는 점과, 전위가 거리 $r$에 반비례한다는 점을 동시에 놓치기 쉽다. 특히 ④처럼 거리로 나누는 단계를 빠뜨리면 값이 두 배로 커진다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

점전하 전위 문제는 전하의 부호를 먼저 보고, $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r}$에 값을 대입한 뒤, 마지막에 거리로 나누었는지와 부호가 맞는지를 함께 검산하면 된다.

**암기 포인트**

점전하 전위는 $V \propto \frac{Q}{r}$이므로 양전하는 양전위, 음전하는 음전위를 만든다.

NoteBase

**문 3. 무한균질의 두 등방성 유전체가 $z=0$인 평면을 경계로 접해 있고, $z \geq 0$인 영역에는 비유전율 $\varepsilon_{r1}=4$인 매질, $z<0$에는 비유전율 $\varepsilon_{r2}=3$인 매질이 놓여 있다. $z \geq 0$인 영역에서의 전계 $\vec{E}_1=5\vec{a}_x-2\vec{a}_y+3\vec{a}_z[\mathrm{kV/m}]$라고 할 때, $z<0$에서의 전계 $\vec{E}_2[\mathrm{kV/m}]$는? (단, 두 매질의 경계면에 존재하는 표면전하밀도 $\rho_s=0[\mathrm{C/m^2}]$이다)**

① $\vec{a}_x-3\vec{a}_y$

② $\vec{a}_x-3\vec{a}_y+4\vec{a}_z$

③ $5\vec{a}_x-2\vec{a}_y$

④ $5\vec{a}_x-2\vec{a}_y+4\vec{a}_z$

**정답 4번**

### 출제 포인트

유전체 경계면에서 자유 표면전하가 없을 때 접선 전계는 연속이고 법선 전속밀도는 연속이라는 경계조건을 적용하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값:
- 경계면은 $z=0$이다.
- $z \geq 0$ 영역의 비유전율은 $\varepsilon_{r1}=4$이다.
- $z<0$ 영역의 비유전율은 $\varepsilon_{r2}=3$이다.
- $\vec{E}_1=5\vec{a}_x-2\vec{a}_y+3\vec{a}_z[kV/m]$이다.
- 표면전하밀도는 $\rho_s=0$이다.

구해야 할 값:
- $z<0$에서의 전계 $\vec{E}_2$이다.

주의할 조건:
- $x, y$ 성분은 접선 성분이므로 그대로 이어진다.
- $z$ 성분은 법선 성분이므로 $\varepsilon_1 E_{1n}=\varepsilon_2 E_{2n}$을 적용한다.

### 사용할 공식

유전체 경계조건은 다음과 같다.

$E_{1t}=E_{2t}$

$D_{1n}=D_{2n} \Rightarrow \varepsilon_1 E_{1n}=\varepsilon_2 E_{2n}$

이 공식을 쓰는 이유:

문제는 두 유전체가 평면 경계로 접하고 있고 자유 표면전하가 없다고 주어졌으므로, 접선 전계 연속조건과 법선 전속밀도 연속조건을 바로 적용하는 상황이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. $\vec{E}_1$의 접선 성분은 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$이므로 $\vec{E}_2$의 $x, y$ 성분도 그대로 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$이다.
2. 법선 성분은 $z$축 방향이므로 $E_{1n} = 3[kV/m]$이다.
3. $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$에서 $4 \times 3 = 3 \times E_{2n}$이다.
4. 따라서 $E_{2n} = 4[kV/m]$이고, $z$ 성분은 $+4\vec{a}_z$이다.
5. 최종적으로

$\vec{E}_2 = 5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + 4\vec{a}_z[kV/m]$

이다.

**선지 판단**

① X

- $\vec{a}_x$와 $\vec{a}_y$의 계수가 각각 1, -3으로 바뀌어 접선 전계 연속조건을 어긴다.
- 또한 법선 성분 $+4\vec{a}_z$가 빠져 있다.
- 틀린 표현은 $\vec{a}_x - 3\vec{a}_y$이고, 올바르게는 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$이다.

② X

- $+4\vec{a}_z$는 맞지만 접선 성분이 $\vec{a}_x - 3\vec{a}_y$로 바뀌어 있다.
- 접선 성분은 경계면에서 그대로 이어져야 하므로 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$가 되어야 한다.
- 틀린 표현은 $\vec{a}_x - 3\vec{a}_y$이고, 올바르게는 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$이다.

③ X

- 접선 성분 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$는 맞지만 법선 성분 $+4\vec{a}_z$가 빠져 있다.
- $\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}$를 적용하면 $E_{2n} = 4$가 반드시 포함된다.
- 틀린 표현은 법선 성분의 누락이고, 올바르게는 $+4\vec{a}_z$를 더한 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$이다.

④ O

- 접선 성분은 $5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y$로 유지되고, 법선 성분은 $4 \times 3 = 3 \times E_{2n}$에서 $E_{2n} = 4$가 되어 정확하다.
- 계산 결과 $\vec{E}_2 = 5\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + 4\vec{a}_z$이므로 정답 선지이다.

**오답 포인트**

이 문제의 함정은 모든 성분이 그대로 연속된다고 착각하거나, 반대로 모든 성분이 비유전율 비로 바뀐다고 착각하는 데 있다. 접선 성분은 $\vec{E}$가 그대로 이어지고, 법선 성분만 $\vec{D}$ 연속조건으로 조정된다는 점이 핵심이다.

NoteBase

### 다시 나오면 이렇게 판단

유전체 경계 문제는 먼저 경계면에 평행한 성분과 수직인 성분을 나눈다. 그다음 $\rho_s = 0$이면 접선 성분은 $\vec{E}$ 연속, 법선 성분은 $\varepsilon E$ 연속으로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

유전체 경계에서 $\rho_s = 0$이면 $E_t$는 그대로, $E_n$은 $\varepsilon$에 반비례하여 바뀐다.

NoteBase

**문 4.** $-3[C]$**의 점전하가 전계** $\vec{E} = \vec{a}_x - 2\vec{a}_y + \vec{a}_z[V/m]$ **내에 있을 때, 점전하에 작용하는 힘** $\vec{F}$**[N]은?**

① $-2\vec{a}_x + 4\vec{a}_y - 2\vec{a}_z$

② $2\vec{a}_x - 4\vec{a}_y + 2\vec{a}_z$

③ $-3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$

④ $3\vec{a}_x - 6\vec{a}_y + 3\vec{a}_z$

**정답 3번**

### 출제 포인트

이 문제는 점전하에 작용하는 힘 $\vec{F} = q\vec{E}$를 성분별로 계산하고, 음전하의 부호 때문에 전계와 힘의 방향이 반대가 됨을 확인하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 점전하 $q = -3[C]$, 전계 $\vec{E} = \vec{a}_x - 2\vec{a}_y + \vec{a}_z[V/m]$
구해야 할 값: 점전하에 작용하는 힘 $\vec{F}[N]$
주의할 조건: 음전하이므로 힘 벡터의 방향은 전계 벡터와 반대가 된다.

### 사용할 공식

공식은 $\vec{F} = q\vec{E}$이다.
전계는 단위전하당 힘이므로, 주어진 전하량 $q$를 전계 벡터의 각 성분에 곱하면 실제 힘 벡터를 바로 구할 수 있다.

### 계산 과정

1. $\vec{F} = q\vec{E} = (-3)(\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + \vec{a}_z)$로 둔다.
2. 각 성분에 $-3$을 곱하면 $x$성분은 $-3\vec{a}_x$, $y$성분은 $+6\vec{a}_y$, $z$성분은 $-3\vec{a}_z$가 된다.
3. 따라서 $\vec{F} = -3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z[N]$이다.

### 선지별 해설

① X: 이 값은 전하량을 $-2[C]$로 잘못 적용했을 때의 형태이다. 주어진 전하량은 $-3[C]$이므로 각 성분의 크기가 모두 더 커져야 한다. 올바르게는 $\vec{F} = -3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$이다.
② X: 이 값은 전하량을 $+2[C]$처럼 잘못 적용한 형태이다. 음전하이므로 힘은 전계와 반대 방향이어야 하는데, 이 선지는 $x$, $z$성분 방향이 전계와 같다. 올바르게는 $\vec{F} = -3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$이다.
③ O: $\vec{F} = q\vec{E} = (-3)(\vec{a}_x - 2\vec{a}_y + \vec{a}_z) = -3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$가 되어 계산 결과와 정확히 일치한다.
④ X: 이 값은 전하량의 크기 3만 곱하고 음전하의 부호를 빠뜨렸을 때의 형태이다. 주어진 전하량은 $-3[C]$이므로 전체 벡터 부호가 반대로 바뀌어야 한다. 올바르게는 $\vec{F} = -3\vec{a}_x + 6\vec{a}_y - 3\vec{a}_z$이다.

NoteBase

**오답 포인트**

음전하라는 조건을 놓치면 전계와 같은 방향인 ④를 고르기 쉽다. 또한 $-3 \times -2 = +6$ 계산을 놓치면 $y$성분 부호를 잘못 판단하게 된다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

벡터 전계 문제는 먼저 $\vec{F} = q\vec{E}$를 쓰고, 다음에 전하의 부호로 전체 방향을 판단한 뒤, 마지막에 각 성분을 하나씩 곱해 성분값과 부호를 함께 검산하는 방식으로 판단한다.

**암기 포인트**

점전하에 작용하는 힘은 $\vec{F} = q\vec{E}$이며, 양전하는 전계와 같은 방향이고 음전하는 전계와 반대 방향이다.

NoteBase

**문 5. 전계 $\vec{E}$와 자계 $\vec{H}$로 구성된 전자파의 특징으로 옳지 않은 것은?**

① 전자파는 $\vec{E} \times \vec{H}$ 방향으로 진행한다.

② 전계 $\vec{E}$와 자계 $\vec{H}$의 비는 $\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}$이다.

③ 전계와 자계는 공존하면서 상호 직각 방향으로 진동한다.

④ 진공에서 전계와 자계의 위상차는 없다.

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 평면 전자파의 진행 방향, 전계와 자계의 직교 관계, 그리고 고유임피던스 $\eta = E/H$의 식을 정확히 구별하는지를 묻는다.

### 핵심 개념

전자파는 전계와 자계가 서로 직교하고 진행 방향에도 직교하는 횡파이다.
전자파의 진행 방향은 포인팅 벡터 $\vec{E} \times \vec{H}$ 방향이다.
매질에서 전계와 자계의 비인 고유임피던스는 $\eta = E/H = \sqrt{\mu/\varepsilon}$이다.

### 선지별 해설

① O: 전자파의 에너지 전달 방향은 포인팅 벡터 $\vec{E} \times \vec{H}$ 방향이므로 옳다.
② X: 틀린 부분은 $E/H = \sqrt{\varepsilon/\mu}$라는 식이다. 실제로는 전계와 자계의 비가 고유임피던스이므로 $E/H = \sqrt{\mu/\varepsilon}$이다.
③ O: 평면 전자파에서 전계와 자계는 동시에 존재하며 서로 직각이고, 두 벡터 모두 진행 방향과도 직각이므로 옳다.
④ O: 진공 중의 균일 평면파에서는 전계와 자계가 동상으로 변하므로 위상차가 없어서 옳다.

### 오답 포인트

②는 $\mu$와 $\varepsilon$의 위치를 뒤바꿔 고유임피던스 공식을 거꾸로 적은 선지이다. 전파속도 $v = 1/\sqrt{\mu\varepsilon}$와 고유임피던스 $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$를 혼동하면 쉽게 틀린다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

전자파 문항은 먼저 $\vec{E}$, $\vec{H}$, 진행 방향이 서로 모두 직교하는지 확인하고, 비를 묻는 선지가 나오면 속도식이 아니라 고유임피던스 식 $E/H = \sqrt{\mu/\varepsilon}$인지 바로 대조하면 된다.

### 암기 포인트

전자파는 $\vec{E} \perp \vec{H} \perp$ 진행 방향, 전계와 자계의 비는 $\sqrt{\mu/\varepsilon}$이다.

NoteBase

**문 6. 자유공간에서 진행하는 전자파의 전계 $\vec{E} = 10\sin(\omega t - 3x - 4z)\vec{a}_y$ [V/m]일 때, 각주파수 $\omega$ [rad/s]는? (단, 자유공간에서 빛의 속도는 $3 \times 10^8$[m/s]이다)**

① $1.5 \times 10^9$

② $3.0 \times 10^9$

③ $4.5 \times 10^9$

④ $6.0 \times 10^9$

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 자유공간 평면파의 위상상수 크기 $\beta$를 구한 뒤 $\omega = c\beta$로 각주파수를 계산하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E} = 10\sin(\omega t - 3x - 4z)\vec{a}_y$이다.
위상항은 $\omega t - \vec{\beta} \cdot \vec{r}$ 꼴이므로 파수벡터 성분은 3, 4이다.
자유공간에서 전파속도는 $c = 3 \times 10^8$m/s이다.
구해야 할 값은 각주파수 $\omega$이다.

### 사용할 공식

자유공간 평면파에서는 $\beta = \omega/c$이므로 $\omega = c\beta$이다.
이 문제는 위상항에서 파수벡터의 크기를 먼저 구한 뒤 자유공간 관계식에 대입하는 상황이다.

### 계산 과정

1. 위상항 $\omega t - 3x - 4z$를 $\omega t - \vec{\beta} \cdot \vec{r}$와 비교하면 $\vec{\beta} = 3\vec{a}_x + 4\vec{a}_z$이다.
2. 위상상수의 크기는 $\beta = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$rad/m이다.
3. 따라서 $\omega = c\beta = (3 \times 10^8) \times 5 = 1.5 \times 10^9$rad/s이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O : 계산 결과가 $1.5 \times 10^9$rad/s이므로 옳다.
② X : 수치가 틀렸다. 올바른 값은 $1.5 \times 10^9$rad/s이다. 이 값은 올바른 위상상수 $\beta = 5$의 두 배인 $\beta = 10$을 대입했을 때 나오는 값으로, 파수벡터 크기를 $\beta = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$로 제대로 구하지 않은 경우에 해당한다.
③ X : 수치가 틀렸다. 올바른 값은 $1.5 \times 10^9$rad/s이다. 이 값은 올바른 $\beta = 5$의 세 배인 $\beta = 15$에 해당하며, 정상적인 풀이로는 나오지 않는 단순 배수 오답이다.
④ X : 수치가 틀렸다. 올바른 값은 $1.5 \times 10^9$rad/s이다. 이 값은 올바른 $\beta = 5$의 네 배인 $\beta = 20$에 해당한다. 또한 전계의 진폭 10은 위상상수나 각주파수 계산에 들어가지 않는다.

### 오답 포인트

위상항의 $3x$, $4z$를 각각 따로 보거나 합으로 처리하면 틀린다. 이 문제의 핵심은 위상상수가 성분값 자체가 아니라 파수벡터의 크기라는 점이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

평면파 식이 나오면 먼저 위상항을 $\omega t - \vec{\beta} \cdot \vec{r}$와 비교해 파수벡터 성분을 읽고, 그다음 크기 $\beta$를 구한 뒤 $\omega = c\beta$를 적용하면 된다.

### 암기 포인트

자유공간 평면파는 $\beta = |\vec{\beta}|$, $\omega = c\beta$이다.

NoteBase

**문 7. 체적전하밀도 $\rho_v[\mathrm{C/m^3}]$로 균일하게 분포된 반지름 $r=5[m]$인 구(sphere)가 있을 때, $r=2[m]$ 영역 내의 총 전하 $Q$[C]는?**

① $\frac{4\pi}{3}\rho_v$
② $\frac{8\pi}{3}\rho_v$
③ $\frac{16\pi}{3}\rho_v$
④ $\frac{32\pi}{3}\rho_v$

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 체적전하밀도가 균일한 구 내부에서 반지름 $2m$ 영역의 전하량을 구의 부피 공식으로 계산하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값:
- 체적전하밀도 $\rho_v[C/m^3]$
- 전체 구의 반지름 $5m$
- 구하려는 내부 영역의 반지름 $2m$

구해야 할 값:
- $r=2m$ 영역 내부의 총전하 $Q[C]$

주의할 조건:
- 전하밀도가 체적전하밀도이므로 면적이나 길이가 아니라 부피에 비례한다.
- 전체 구의 반지름 $5m$는 $r=2m$ 영역이 구 내부에 있다는 조건만 알려 주며, 계산에는 내부 반지름 $2m$를 사용한다.

**사용할 공식**

총전하는 체적전하밀도와 부피의 곱이므로
$Q=\rho_v V=\rho_v\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$
이 공식을 쓰는 이유는 전하가 구 전체에 균일하게 퍼져 있으므로, 반지름 $2m$인 부분구에 들어 있는 전하량도 그 부분의 부피에 정확히 비례하기 때문이다.

NoteBase

**계산 과정**

1. 구하려는 영역의 반지름은 $2m$이다.
2. 그 영역의 부피는
$V = \frac{4}{3}\pi(2)^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot 8 = \frac{32\pi}{3}$
이다.
3. 따라서 총전하는
$Q = \rho_v \cdot \frac{32\pi}{3} = \frac{32\pi}{3}\rho_v$
이다.

**선지 판단**

① X
- $\frac{4\pi}{3}\rho_v$는 반지름 $2m$의 부피를 반영하지 못한 값이다. 이 문항에서는 $r^3 = 2^3 = 8$이 반드시 곱해져야 한다.
- 틀린 표현은 "$\frac{4\pi}{3}\rho_v$"이고, 올바르게는 "$Q = \frac{32\pi}{3}\rho_v$"이다.

② X
- $\frac{8\pi}{3}\rho_v$는 반지름에 2를 한 번만 곱한 형태의 오답이다. 체적은 길이에 비례하지 않고 세제곱에 비례한다.
- 틀린 표현은 "$\frac{8\pi}{3}\rho_v$"이고, 올바르게는 "$Q = \frac{32\pi}{3}\rho_v$"이다.

③ X
- $\frac{16\pi}{3}\rho_v$는 $2^2 = 4$까지만 반영한 값으로 볼 수 있다. 이는 면적처럼 생각한 오류이며 체적전하 계산과 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "$\frac{16\pi}{3}\rho_v$"이고, 올바르게는 "$Q = \frac{32\pi}{3}\rho_v$"이다.

④ O
- 계산 결과가 $\frac{32\pi}{3}\rho_v$이므로 옳다.
- 반지름 $5m$ 전체가 아니라 그 안의 $r = 2m$ 부분구 부피만 취하면 정답이 나온다.

**오답 포인트**

체적전하밀도 문제에서 가장 흔한 함정은 부피 비례를 길이 비례나 면적 비례로 잘못 바꾸는 점이다. 이 문항의 ②와 ③은 각각 $r$, $r^2$ 수준으로만 반지름을 반영한 오답이고, ①은 아예 $2^3$을 빠뜨린 오답이다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

균일한 체적전하 분포에서 일부 영역 전하량을 묻으면 먼저 그 영역의 모양과 반지름을 확인한 뒤 Q=_v × 부피로 바로 연결하면 된다. 체적전하밀도이므로 반지름은 항상 세제곱으로 들어간다고 판단하면 된다.

NoteBase

**암기 포인트**

체적전하밀도는 $Q = \rho_v V$이고, 구의 부피는 $\frac{4}{3}\pi r^3$이므로 반지름은 세제곱으로 반영된다.

NoteBase

**문 8. 전류 5 [A]가 흐르고 있는 길이 10 [m]의 도체를 자속밀도가 1 [$Wb/m^2$]인 균일 자계에 대해 30°로 놓았을 때, 이 도체가 받는 힘[N]은?**

① 20

② 25

③ 30

④ 35

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 균일 자계 속 전류 도체에 작용하는 힘의 공식을 적용해 힘의 크기를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 전류 5 A, 도체 길이 10m, 자속밀도 1 Wb/m^2, 도체와 자계 사이 각도 30도
구해야 할 값: 도체가 받는 힘의 크기
주의할 조건: 힘의 크기는 자기장에 수직한 성분에 비례하므로 사인값을 사용한다.

**사용할 공식**

도체가 받는 힘은 $F = BIl\sin\theta$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 전류가 흐르는 직선 도체가 균일 자계 속에 놓였고, 도체와 자계 사이 각도가 30도이므로 자기장에 수직한 성분 $B\sin\theta$만 힘을 만든다.

**계산 과정**

주어진 값을 대입하면
$F = BIl\sin\theta = 1 \times 5 \times 10 \times \sin 30^\circ$
$\sin 30^\circ = 0.5$이므로
$F = 1 \times 5 \times 10 \times 0.5 = 25\text{N}$
따라서 도체가 받는 힘의 크기는 25 N이다.

NoteBase

**선지 판단**

① X: 20 N이면 $\sin\theta = 0.4$가 되어야 하므로 주어진 30도 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 힘은 20 N이 아니라 25 N이다.
② O: $F = BIl\sin\theta = 25$N이므로 옳다.
③ X: 30 N이면 $\sin\theta = 0.6$이 되어야 하므로 주어진 30도 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 힘은 30 N이 아니라 25 N이다.
④ X: 35 N이면 $\sin\theta = 0.7$이 되어야 하므로 주어진 30도 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 힘은 35 N이 아니라 25 N이다.

**오답 포인트**

이 문제는 $BIl = 50$까지는 바로 계산되지만, 마지막에 $\sin 30^\circ = 0.5$를 곱해야 한다는 점을 놓치면 오답이 된다. 각도 조건이 나오면 힘 공식에서 사인을 쓴다는 점이 핵심 함정이다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

전류 도체의 자기력 문제는 $B$, $I$, $l$, 각도 $\theta$를 먼저 정리한 뒤 $F = BIl\sin\theta$에 대입하고, 마지막에 삼각함수 값이 맞는지만 검산하면 된다.

**암기 포인트**

$F = BIl\sin\theta$, 평행이면 0이고 수직이면 최대이다.

NoteBase

**문 9. 전속밀도와 자속밀도의 발산에 대한 설명으로 옳은 것은?**

① 둘 다 영(zero)이다.

② 전속밀도에 대해서는 영이다.

③ 자속밀도에 대해서는 영이다.

④ 둘 다 시간상으로 변하지 않으면 영이고, 시변 상태에서는 영이 아니다.

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 전속밀도와 자속밀도의 발산이 각각 무엇과 연결되는지 구별하는 문제이다.

**핵심 개념**

전속밀도 $\mathbf{D}$의 발산은 체적전하밀도와 같아서 $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$이다. 따라서 전하가 존재하면 발산이 0이 아니다.
자속밀도 $\mathbf{B}$의 발산은 항상 $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$이다. 이는 자기 단극자가 없어서 자기력선이 끊어지지 않음을 뜻한다.

**선지별 해설**

① X
전속밀도의 발산은 일반적으로 0이 아니다. 전하가 있는 곳에서는 $\rho_v \neq 0$이므로 $\nabla \cdot \mathbf{D} \neq 0$이다.
틀린 표현은 "둘 다 영"이다. 올바르게는 "자속밀도의 발산만 항상 영이다."이다.

② X
전속밀도에 대해서는 영이라는 말이 틀리다. 전속밀도의 발산은 전하의 존재 여부에 따라 달라진다.
틀린 표현은 "전속밀도에 대해서는 영"이다. 올바르게는 "전속밀도의 발산은 체적전하밀도와 같다."이다.

③ O
자속밀도는 가우스의 자기 법칙에 따라 발산이 항상 0이다. 자기력선은 시작점과 끝점이 없는 폐곡선을 이루므로 발산원이 없다.

④ X
발산이 정적 상태에서는 둘 다 0이고 시변 상태에서는 0이 아니라는 설명이 틀리다. $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$은 정적 상태와 시변 상태 모두에서 항상 성립한다. $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$도 시간변화 여부가 아니라 전하 존재 여부로 결정된다.
틀린 표현은 "둘 다 시간상으로 변하지 않으면 영이고, 시변 상태에서는 영이 아니다"이다. 올바르게는 "자속밀도의 발산은 항상 영이고, 전속밀도의 발산은 전하가 없을 때만 영일 수 있다."이다.

NoteBase

### 오답 포인트

전속밀도와 자속밀도를 모두 장의 세기처럼만 외우면 ①과 ④처럼 둘 다 비슷한 성질을 가진다고 착각하기 쉽다. 이 문항의 함정은 전속밀도는 전하와 연결되고 자속밀도는 자기 단극자 부재와 연결된다는 점을 바꿔 놓은 데 있다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

발산을 묻는 문제에서는 먼저 어떤 장이 원천을 가지는지를 본다. 전기장은 전하가 원천이므로 $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$이고, 자기장은 단극자가 없으므로 $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$으로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

전속밀도는 전하를 본다, 자속밀도는 항상 발산 0이다.

NoteBase

**문 10. 비유전율 $\varepsilon_r = 36$, 비투자율 $\mu_r = 1$인 액체 속에서 전자파의 주파수가 200 [MHz]일 때, 파장[m]은? (단, 자유공간에서 빛의 속도는 $3 \times 10^8 [m/s]$이다)**

① 0.18

② 0.25

③ 0.5

④ 0.72

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 상대유전율과 상대투자율로 매질 내 전자파 속도를 구한 뒤 파장까지 계산하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 비유전율 $\varepsilon_r = 36$, 비투자율 $\mu_r = 1$, 주파수 $f = 200[\text{MHz}] = 2 \times 10^8[\text{Hz}]$, 자유공간 빛의 속도 $c = 3 \times 10^8[\text{m/s}]$이다.
구해야 할 값: 액체 속 전자파의 파장이다.
주의할 조건: 매질 속 속도는 자유공간 속도를 그대로 쓰지 않고 $\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$로 나누어야 한다.

### 사용할 공식

매질 속 전자파 속도는 $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}$, 파장은 $\lambda = \frac{v}{f}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 비유전율과 비투자율이 주어졌으므로 먼저 매질 속 전파속도를 구한 뒤 주파수와의 관계 $\lambda = v/f$를 적용해야 하기 때문이다.

### 계산 과정

먼저 매질 속 전파속도를 구하면
$v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{36 \times 1}} = \frac{3 \times 10^8}{6} = 5 \times 10^7[\text{m/s}]$
이다.
이 값을 파장 공식에 대입하면
$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5 \times 10^7}{2 \times 10^8} = 0.25[\text{m}]$
이다.

NoteBase

**선지 판단**

① X: 계산 결과 파장은 0.25[m]이므로 0.18은 맞지 않는다. 틀린 표현은 "0.18"이고 올바르게는 "0.25m"이다.
② O: 계산 결과와 정확히 일치한다.
③ X: 계산 결과와 비교하면 0.5는 두 배 큰 값이므로 틀리다. 매질 속 전파속도를 구한 뒤 다시 주파수로 나누는 단계를 정확히 거쳐야 한다. 틀린 표현은 "0.5"이고 올바르게는 "0.25m"이다.
④ X: 매질 속에서는 속도가 느려지므로 파장도 자유공간보다 짧아져야 한다. 0.72는 계산 결과보다 크므로 틀리다. 틀린 표현은 "0.72"이고 올바르게는 "0.25m"이다.

**오답 포인트**

자유공간 속도 $c$를 그대로 넣어 파장을 구하거나, $\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$를 빼먹으면 오답이 된다. 특히 상대유전율이 36이면 속도가 6분의 1로 줄어든다는 점을 놓치기 쉽다.

**다시 나오면 이렇게 판단**

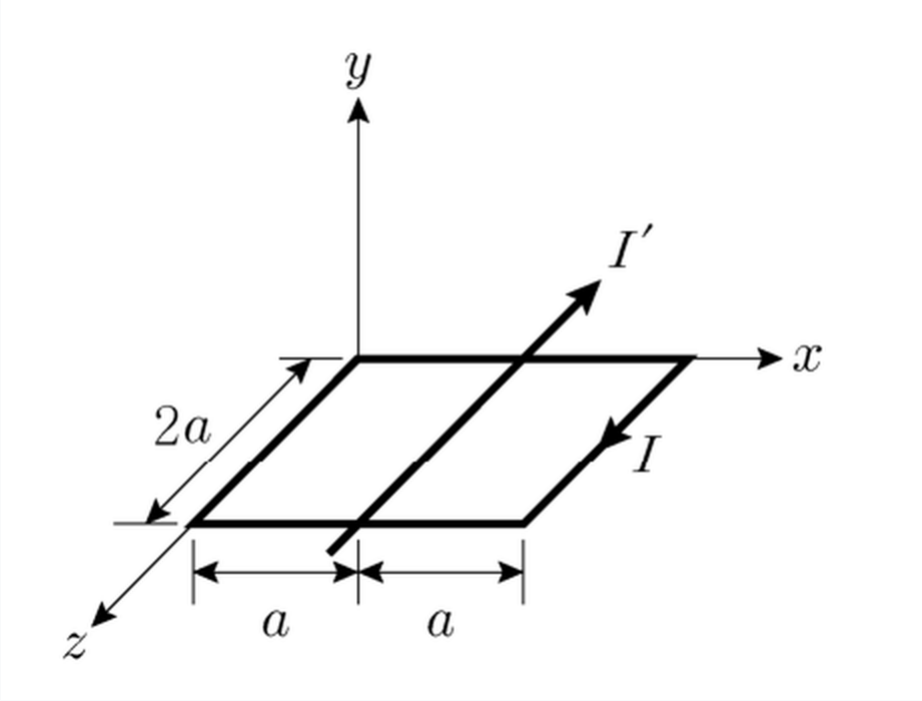
매질 속 전자파 문제는 $\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$로 전파속도를 먼저 줄인 뒤, 그 속도로 $\lambda = v/f$를 계산하는 순서로 판단한다.

**암기 포인트**

전자파의 매질 속 속도는 $v = c/\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$, 파장은 $\lambda = v/f$이다.

NoteBase

**문 11. 그림과 같이 자유공간에서 한 변의 길이가 $2a$[m]인 정사각형 루프에 전류 $I$[A]가 흐르고 있다. $x = a$ 지점에 전류 $I'$가 흐르는 무한도선이 놓인 경우, 루프가 받는 힘의 세기[N]는?**




① $\frac{\mu_0 I}{2\pi a}$
② $\frac{\mu_0 I'}{2\pi a}$
③ $\frac{\mu_0 II'}{\pi}$
④ $\frac{2\mu_0 II'}{\pi}$

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 무한도선이 만드는 자기장과 도선에 작용하는 자기력 $F = BIl$을 이용해 정사각형 루프의 합력을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 정사각형 루프의 한 변 길이는 $2a$, 루프 전류는 $I$, 무한도선 전류는 $I'$이다.
구해야 할 값: 루프가 받는 힘의 세기이다.
주의할 조건: 무한도선은 $x = a$에 있으므로 루프의 좌우 두 변은 도선에서 각각 거리 $a$에 있고, 나머지 두 변은 대칭으로 힘이 상쇄된다.

NoteBase

### 사용할 공식

무한도선에서 거리 $r$인 점의 자기장 크기는 $B = \frac{\mu_0 I'}{2\pi r}$이다.
도선의 한 변이 받는 힘의 크기는 $F = BIl$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 루프의 각 변이 무한도선의 자기장 속에서 받는 힘을 변별로 계산한 뒤 벡터합으로 전체 힘을 구할 수 있기 때문이다.

### 계산 과정

1. 무한도선과 평행한 루프의 좌우 두 변은 각각 길이 $2a$이고, 도선까지 거리는 모두 $a$이다. 따라서 이 두 변에서의 자기장 크기는
$B = \frac{\mu_0 I'}{2\pi a}$
이다.
2. 각 변이 받는 힘의 크기는
$F_1 = B \cdot I \cdot 2a = \frac{\mu_0 I'}{2\pi a} \cdot I \cdot 2a = \frac{\mu_0 I I'}{\pi}$
이다.
3. 좌우 두 변은 무한도선과 평행한 변이므로 서로 같은 크기의 힘을 받는다. 두 힘이 같은 방향임은 $F = \vec{Il} \times \vec{B}$로 확인할 수 있다. 무한도선 전류가 $+y$ 방향이면 도선 왼쪽 변($x = 0$)에서는 자기장이 $+z$ 방향, 오른쪽 변($x = 2a$)에서는 $-z$ 방향이다. 루프의 좌우 두 변은 전류 방향도 서로 반대($+y$와 $-y$)이므로, 왼쪽 변은 $I(2a)\hat{y} \times B\hat{z} = I(2a)B\hat{x}$, 오른쪽 변은 $I(2a)(-\hat{y}) \times (-B\hat{z}) = I(2a)B\hat{x}$가 되어 둘 다 $+x$ 방향으로 같다. 즉 전류 부호와 자기장 부호가 함께 뒤집혀 외적의 부호가 보존되므로 두 힘은 상쇄되지 않고 더해진다. 따라서 이 두 변이 만드는 합력은
$F_{\parallel} = 2F_1 = \frac{2\mu_0 I I'}{\pi}$
이다.
4. 위아래 두 변은 $x$축 방향으로 전류가 흐르며 대칭 위치에 있어 크기가 같은 반대방향 힘을 받아 서로 상쇄된다.
5. 따라서 루프 전체가 받는 힘의 세기는 $\frac{2\mu_0 I I'}{\pi}$이다.

NoteBase

### 선지 판단

① X

이 식은 $I'$가 빠져 있어 무한도선과 루프 전류의 상호작용으로 생기는 힘 식이 될 수 없다. 또한 $\frac{\mu_0 I}{2\pi a}$는 문제의 정답 차원인 힘 [$N$]이 아니다. 틀린 표현 → 올바르게는 루프 힘에 $I$와 $I'$가 모두 들어가야 하며 최종값은 $\frac{2\mu_0 II'}{\pi}$이다.

② X

이 식은 거리 $a$에서 무한도선이 만드는 자기장 크기 $B$에 해당하는 형태이고, 루프가 받는 힘이 아니다. 루프 힘을 구하려면 여기에 루프 전류 $I$와 변 길이 $2a$를 곱해야 한다. 틀린 표현 → 올바르게는 각 평행변의 힘이 $\frac{\mu_0 II'}{\pi}$이고 합력은 $\frac{2\mu_0 II'}{\pi}$이다.

③ X

이 값은 무한도선과 평행한 한 변만 계산한 힘 $F_1$이다. 실제 루프에는 같은 크기의 힘을 받는 평행한 변이 하나 더 있으므로 2배가 되어야 한다. 틀린 표현 → 올바르게는 전체 루프의 힘은 $2F_1 = \frac{2\mu_0 II'}{\pi}$이다.

④ O

좌우 두 평행변이 각각 $\frac{\mu_0 II'}{\pi}$의 힘을 같은 방향으로 받아 더해지고, 나머지 두 변의 힘은 상쇄되므로 전체 힘은 $\frac{2\mu_0 II'}{\pi}$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 실수는 ③처럼 평행한 한 변의 힘만 구하고 끝내는 경우이다. 또 ②처럼 자기장 식과 힘 식을 혼동하거나, 위아래 두 변의 힘이 서로 상쇄된다는 대칭성을 놓치면 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

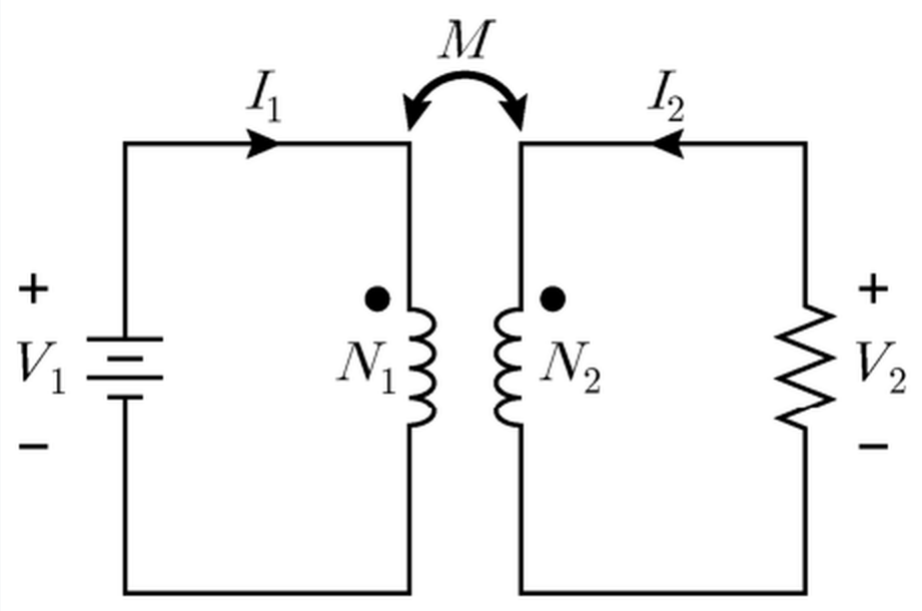
무한도선과 루프의 힘 문제는 먼저 도선과 평행한 변과 수직인 변을 나눈다. 그다음 상쇄되는 변을 먼저 제거하고, 남는 평행 변들에 대해 $B = \frac{\mu_0 I'}{2\pi r}$, $F = BIl$을 적용해 합력을 계산하면 된다.

### 암기 포인트

무한도선 옆 평행 도선 한 변의 힘은 $BIl$로 계산하고, 대칭인 두 평행변이 같은 방향이면 합력은 한 변 값의 2배가 된다.

NoteBase

**문 12. 1차 코일의 권선수 $N_1 = 20$이고, 2차 코일의 권선수 $N_2 = 80$일 때, 1차 코일의 자기인덕턴스 $L_1 = 10$[mH]인 경우 두 코일 간의 상호인덕턴스 $M$[mH]는? (단, 누설자속은 없다)**




① 0

② 10

③ 20

④ 40

**정답 4번**

**출제 포인트**

이 문제는 누설자속이 없는 이상결합 조건에서 권선수비와 인덕턴스 관계를 이용해 상호인덕턴스 $M$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 $N_1 = 20, N_2 = 80, L_1 = 10$mH이다.
구해야 할 값은 두 코일 사이의 상호인덕턴스 $M$이다.
누설자속이 없으므로 결합계수는 $k = 1$인 이상변압기 조건으로 본다.

NoteBase

### 사용할 공식

$L \propto N^2$
$L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 L_1$
$M = k\sqrt{L_1 L_2}$
이 공식을 쓰는 이유는 같은 자속을 공유하는 이상결합 코일에서는 자기인덕턴스가 권선수의 제곱에 비례하고, 상호인덕턴스는 $k = 1$일 때 두 자기인덕턴스의 기하평균으로 정해지기 때문이다.

### 계산 과정

먼저 2차 코일의 자기인덕턴스를 구하면
$L_2 = \left(\frac{80}{20}\right)^2 \times 10 = 4^2 \times 10 = 160\text{mH}$
이다.
이제 누설자속이 없으므로 $k = 1$을 대입하면
$M = \sqrt{L_1 L_2} = \sqrt{10 \times 160} = \sqrt{1600} = 40\text{mH}$
이다.
따라서 상호인덕턴스는 40 mH이다.

### 선지별 해설

① X
0 mH는 두 코일이 전혀 결합하지 않을 때의 값인데, 문제는 누설자속이 없다고 했으므로 완전결합 조건이다. 틀린 값은 0 mH가 아니라 40 mH이다.

② X
10 mH는 1차 자기인덕턴스 $L_1$를 그대로 옮긴 값으로, 권선수비 $\frac{N_2}{N_1} = 4$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 값은 10 mH가 아니라 40 mH이다.

③ X
20 mH는 권선수비나 상호인덕턴스 공식을 절반만 반영한 오답이다. 이상결합이면
$M = (\frac{N_2}{N_1})L_1 = 4 \times 10 = 40\text{mH}$로 계산되므로 20 mH는 맞지 않는다. 틀린 값은 20 mH가 아니라 40 mH이다.

④ O
$L_2 = 160\text{mH}$, $M = \sqrt{10 \times 160} = 40\text{mH}$이므로 옳은 값이다.

### 오답 포인트

누설자속이 없다는 조건을 놓치면 $k = 1$을 쓰지 못해 0 mH처럼 엉뚱한 값을 고르기 쉽다. 또 인덕턴스가 권선수에 비례한다고 착각하면 10 mH나 20 mH 같은 값으로 흐르는데, 자기인덕턴스는 $N^2$에 비례한다는 점이 핵심 함정이다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

변압기 결합 문제는 먼저 누설자속 유무로 $k$를 확인하고, 다음에 $L \propto N^2$로 다른 코일의 자기인덕턴스를 구한 뒤, 마지막에 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$를 적용하면 된다.

**암기 포인트**

완전결합이면 $M = \sqrt{L_1 L_2}$이고, 같은 철심에서는 $L$이 권선수 $N$의 제곱에 비례한다.

NoteBase

**문 13. 자유공간에서 자계가 $\vec{H} = -600\vec{a}_y[A/m]$일 때, 원점에서 반지름 $r = 1[cm]$인 구(sphere)의 내부 영역에 저장된 에너지[J]는?**

① $0.12\pi\mu_0$

② $0.24\pi\mu_0$

③ $0.36\pi\mu_0$

④ $0.48\pi\mu_0$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 자유공간의 자기 에너지 밀도 $w_m = \frac{1}{2}\mu_0 H^2$와 구의 체적 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$를 이용해 저장 에너지를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: 자기장 $\vec{H} = -600\vec{a}_y[A/m]$, 반지름 $r = 1cm = 0.01m$
구해야 할 값: 구 내부에 저장된 자기 에너지 $W$
주의할 조건: 자유공간이므로 $\mu = \mu_0$이고, 저장 에너지는 $H^2$에 비례하므로 방향의 음수 부호는 결과에 영향을 주지 않는다.

**사용할 공식**

$w_m = \frac{1}{2}\mu_0 H^2, \qquad W = w_m V = \frac{1}{2}\mu_0 H^2 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3$
이 공식을 쓰는 이유: 자유공간의 균일한 자기장이 구 내부 전체에 동일하게 존재하므로, 단위체적당 저장 에너지에 구의 체적을 곱하면 전체 저장 에너지가 된다.

**계산 과정**

1. 자기 에너지 밀도는 $w_m = \frac{1}{2}\mu_0(600)^2 = 180000\mu_0$
2. 구의 체적은 $V = \frac{4}{3}\pi(0.01)^3 = \frac{4}{3}\pi \times 10^{-6} m^3$
3. 전체 저장 에너지는 $W = 180000\mu_0 \cdot \frac{4}{3}\pi \times 10^{-6} = 0.24\pi\mu_0 J$

따라서 계산 결과는 $0.24\pi\mu_0 J$이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 저장 에너지를 $0.12\pi\mu_0 J$로 본 값이다. 올바르게는 $0.24\pi\mu_0 J$이다. 정답값을 한 번 더 2로 나눈 셈이어서 에너지 밀도의 $\frac{1}{2}$를 중복 적용한 오산에 가깝다.
② O: 계산 결과와 정확히 일치한다. 자유공간에서 $w_m = \frac{1}{2}\mu_0 H^2$를 구한 뒤 구의 체적을 곱하면 $0.24\pi\mu_0 J$가 된다.
③ X: 저장 에너지를 $0.36\pi\mu_0 J$로 본 값이다. 올바르게는 $0.24\pi\mu_0 J$이다. 체적 계산에서 $\frac{4}{3}$ 또는 $10^{-6}$ 처리를 잘못하면 이런 값이 나올 수 있다.
④ X: 저장 에너지를 $0.48\pi\mu_0 J$로 본 값이다. 올바르게는 $0.24\pi\mu_0 J$이다. 에너지 밀도 식에서 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리면 정확히 이 값이 나온다.

### 오답 포인트

벡터의 방향 $-\vec{a}_y$에 시선이 가서 부호까지 에너지에 남는다고 오해하기 쉽지만, 저장 에너지는 $H^2$에 비례하므로 방향 정보는 사라진다. 또한 $1cm = 0.01m$ 변환을 빼먹거나 에너지 밀도의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리면 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

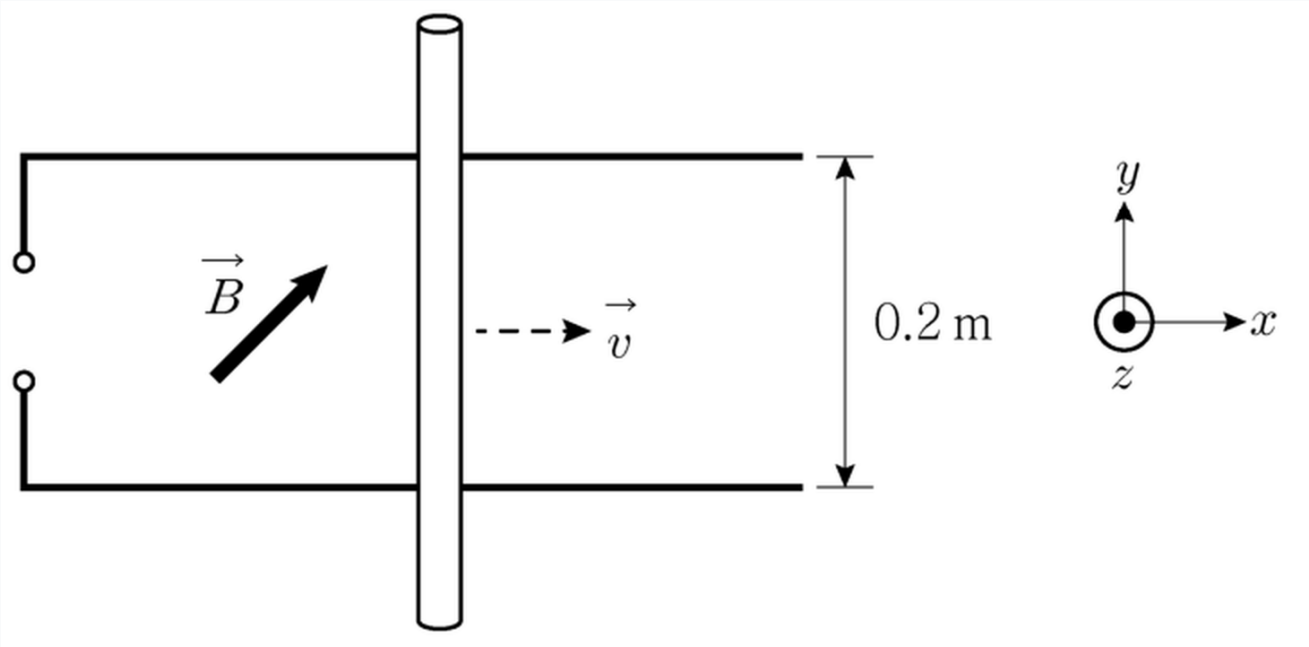
균일장 속 저장 에너지 문제는 먼저 매질을 확인해 $\mu$를 정하고, 다음에 $w = \frac{1}{2}\mu H^2$ 또는 $\frac{B^2}{2\mu}$를 세운 뒤, 마지막에 부피를 곱해 전체 에너지로 바꾸는 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

자기 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}\mu H^2 V$이고, 방향벡터의 부호는 $H^2$에서 사라진다.

NoteBase

**문 14. 그림과 같이 균일한 자속밀도 $\vec{B} = 3\vec{a}_x + 4\vec{a}_y + 5\vec{a}_z[\mathrm{Wb/m^2}]$가 인가된 자유공간의 xy평면에 간격이 0.2[m]인 ㄷ자형 고정도선이 있다. $t = 0$[s]에 $y$축에 평행한 도체막대가 $x = 1$[m] 지점을 출발하여 $\vec{v} = 2t\vec{a}_x$[m/s]의 속도로 이동할 때, 유도되는 기전력의 크기[V]는?**




① 0

② 2

③ $2t$

④ $1 + 2t$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 균일 자계 속에서 움직이는 도체막대의 유도기전력을 자속의 시간변화율로 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값: $\vec{B} = 3\vec{a}_x + 4\vec{a}_y + 5\vec{a}_z[\mathrm{Wb/m^2}]$, 도선 간격 $l = 0.2\mathrm{m}$, 막대 속도 $\vec{v} = 2t\vec{a}_x[\mathrm{m/s}]$이다.
구해야 할 값: 유도기전력의 크기이다.
주의할 조건: 회로가 $xy$평면에 있으므로 면의 법선은 $\vec{a}_z$이고, 자속에는 $B_z = 5$만 기여한다. $B_x$, $B_y$는 자속에 기여하지 않는다.

NoteBase

### 사용할 공식

$e = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right|, \quad \Phi = \vec{B}\cdot\vec{S} = B_z A$

이 공식을 쓰는 이유: 막대가 $x$방향으로 움직이면서 회로 면적이 시간에 따라 변하므로, $xy$평면을 지나는 $z$성분 자속의 변화율로 유도기전력을 구할 수 있다.

### 계산 과정

1. 회로면의 법선이 $\vec{a}_z$이므로 유효한 자속밀도 성분은 $B_z = 5[\mathrm{Wb/m^2}]$이다.
2. 막대 위치는 $x(t) = 1 + \int_0^t 2\tau d\tau = 1 + t^2$이므로 회로 면적은 $A(t) = 0.2(1 + t^2)[\mathrm{m^2}]$이다.
3. 자속은 $\Phi(t) = 5 \cdot 0.2(1 + t^2) = 1 + t^2[\mathrm{Wb}]$이다.
4. 따라서 유도기전력의 크기는 $e = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = \frac{d}{dt}(1 + t^2) = 2t[\mathrm{V}]$이다.

### 선지별 해설

① X: 0은 $t = 0$일 때만 성립하는 값이다. 문제는 일반적인 $t$에서의 기전력을 묻고 있으므로 틀리다. 틀린 표현은 "기전력이 항상 0이다"이고, 올바르게는 "기전력은 $2t[\mathrm{V}]$이다"이다.

② X: 2는 시간의존성을 없애고 상수로 본 값이라서 틀리다. $t = 1$을 임의로 대입한 것과 같은 오답이다. 틀린 표현은 "기전력이 2이다"이고, 올바르게는 "기전력은 시간에 따라 $2t$로 변한다"이다.

③ O: $e = 2t[\mathrm{V}]$이므로 계산 결과와 일치한다.

④ X: $1 + t^2$는 자속 $\Phi$의 값이지 기전력이 아니다. 자속을 미분해야 기전력이 된다. 틀린 표현은 "기전력이 $1 + 2t$이다"이고, 올바르게는 "자속은 $1 + t^2$, 기전력은 그 시간미분인 $2t$이다"이다.

### 오답 포인트

자속 $\Phi$와 유도기전력 $e$를 혼동하기 쉽다. 또 $\vec{B}$의 모든 성분을 더하려 하거나, 초기 위치 $x = 1$을 미분 없이 그대로 기전력에 반영하면 ④ 같은 오답이 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

평면 회로의 유도기전력 문제는 먼저 면의 법선 방향을 잡아 유효한 자계 성분만 남기고, 다음에 면적 또는 자속을 시간의 함수로 만든 뒤 마지막에 한 번만 시간미분하여 판단한다.

### 암기 포인트

$xy$평면 회로는 $B_z$만 자속에 기여하고, 유도기전력은 자속 자체가 아니라 $e = |d\Phi/dt|$이다.

NoteBase

**문 15. 유전율 $\varepsilon = 36\varepsilon_0$[F/m]이고, 투자율 $\mu = \mu_0$[H/m]인 비도전 유전체에서 진행하는 전자파의 전계강도 $\vec{E}(z,t) = 3\cos(10^8 t - \beta z)\vec{a}_y$[V/m]이다. 시간 $t = \tau$이고 위치 $z_1 = \frac{\pi}{4}$[m] $(z > 0)$에서 전계강도가 처음 0[V/m]이 되었다고 할 때, 전계강도가 0[V/m]이 되는 다음 첫 번째 위치 $z_2$[m]는? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$[F/m]이고 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$[H/m]이다)**

① $\frac{\pi}{2}$

② $\frac{3\pi}{4}$

③ $\pi$

④ $\frac{5\pi}{4}$

**정답 2번**

### 출제 포인트

이 문제는 유전체 내 전자파의 위상상수 $\beta$와 같은 시각에서 영점 사이 간격 $\pi/\beta$를 이용해 다음 영점 위치를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: $\varepsilon = 36\varepsilon_0$, $\mu = \mu_0$, $\omega = 10^8$rad/s, $z_1 = \pi/4$m
구해야 할 값: 시간 $t = \tau$에서 전계가 0이 되는 다음 첫 번째 위치 $z_2$
주의할 조건: $E = 0$은 코사인 위상이 $(2n+1)\pi/2$일 때이고, 같은 시각에서 인접한 영점 간격은 위상차 $\pi$에 해당한다.

### 사용할 공식

$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}, \qquad \beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$
$E(z,t) = 3\cos(10^8 t - \beta z) = 0 \Rightarrow 10^8 t - \beta z = \frac{(2n+1)\pi}{2}$
이 공식을 쓰는 이유: 주어진 식이 진행파의 표준형 $\cos(\omega t - \beta z)$이므로 먼저 매질의 $\beta$를 구하고, 그 뒤 위상이 $\pi$만큼 바뀔 때마다 영점이 다시 나타나는 성질을 사용해야 한다.

### 계산 과정

1. $\varepsilon = 36\varepsilon_0 = 36 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} = \frac{10^{-9}}{\pi}$F/m이다.
2. $\mu\varepsilon = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{10^{-9}}{\pi} = 4 \times 10^{-16}$이므로 $\sqrt{\mu\varepsilon} = 2 \times 10^{-8}$이다.
3. 따라서 $\beta = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} = 10^8 \times 2 \times 10^{-8} = 2$rad/m이다.
4. 같은 시각에서 전계가 0인 인접 위치 간 위상차는 $\pi$이므로 위치 간격은 $\Delta z = \pi/\beta = \pi/2$m이다.
5. 첫 영점이 $z_1 = \pi/4$이므로 다음 첫 번째 영점은 $z_2 = z_1 + \Delta z = \pi/4 + \pi/2 = 3\pi/4$m이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X

값 $\pi/2$는 $z_1$에서 $\pi/4$만 이동한 위치이므로 위상차가 $\beta\Delta z = 2 \times \pi/4 = \pi/2$에 불과하다. 영점에서 다음 영점으로 가려면 위상차가 $\pi$여야 하므로 이 값에서는 전계가 0이 아니다. 틀린 값 $\pi/2$ → 올바르게는 $3\pi/4$이다.

② O

$z_2 = 3\pi/4$이면 $z_1$에서 $\pi/2$만큼 이동하므로 위상차가 정확히 $\pi$가 된다. 따라서 영점 다음에 처음 만나는 영점 위치가 맞다.

③ X

값 $\pi$는 $z_1$에서 $3\pi/4$ 이동한 위치로, 위상차가 $3\pi/2$이다. 이는 영점 조건인 $\pi$의 정수배 위상차가 아니므로 전계가 0이 아니다. 틀린 값 $\pi$ → 올바르게는 $3\pi/4$이다.

④ X

값 $5\pi/4$에서는 전계가 다시 0이 될 수 있으나, $z_1$ 다음 첫 번째 영점은 아니다. $z_1$에서 두 번의 영점 간격 $2 \times \pi/2$을 이동한 위치이므로 한 칸 뒤의 영점을 묻는 문제 조건과 맞지 않는다. 틀린 값 $5\pi/4$ → 올바르게는 $3\pi/4$이다.

### 오답 포인트

이 문항의 함정은 영점 조건 자체보다 영점 사이 간격을 잘못 잡는 데 있다. $E = 0$인 점과 다음 $E = 0$인 점 사이는 반파장 간격 $\pi/\beta$인데, 이를 $\pi/(2\beta)$로 착각하면 ①이 나오고, 다음 첫 번째가 아니라 그다음 영점까지 가면 ④가 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

진행파에서 같은 시각의 위치 문제는 먼저 $\beta$를 구한 뒤, 최대값끼리는 $2\pi/\beta$, 영점끼리는 $\pi/\beta$ 간격이라는 점을 적용해 판단한다. 기준 위치가 이미 주어졌으면 그 간격을 더해 가장 가까운 다음 위치를 찾는다.

### 암기 포인트

$\cos(\omega t - \beta z)$에서 같은 시각의 인접 영점 간격은 항상 $\pi/\beta = \lambda/2$이다.

NoteBase

**문 16.** $z \geq 0$**의 영역은 매질 1(비투자율** $\mu_{r1} = 1$**),** $z < 0$**의 영역은 매질 2(비투자율** $\mu_{r2} = 1.5$**)로 구성되어 있다. 두 매질의 경계인** $xy$**평면에 표면전류** $\vec{J} = 3\vec{a}_x\ [A/m]$**가 있을 때,** $z \geq 0$**에서의 자계강도** $\vec{H}_1 = 7\vec{a}_x + 11\vec{a}_y + 18\vec{a}_z\ [A/m]$**라면** $z < 0$**인 영역에서의 자계강도** $\vec{H}_2[A/m]$**는?**

① $7\vec{a}_x + 8\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$

② $7\vec{a}_x + 8\vec{a}_y + 27\vec{a}_z$

③ $7\vec{a}_x + 14\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$

④ $7\vec{a}_x + 14\vec{a}_y + 27\vec{a}_z$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 표면전류가 존재하는 경계면에서 자계의 접선 성분 경계조건과 자속밀도의 법선 성분 연속조건을 이용해 $\vec{H}_2$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값:
- $\mu_{r1} = 1, \mu_{r2} = 1.5$
- 표면전류밀도 $\vec{J}_s = 3\vec{a}_x[A/m]$
- $\vec{H}_1 = 7\vec{a}_x + 11\vec{a}_y + 18\vec{a}_z[A/m]$

구해야 할 값:
- $z < 0$ 영역의 $\vec{H}_2$

주의할 조건:
- 접선 성분은 표면전류 때문에 불연속이 생기고, 법선 성분은 $\vec{B}$ 기준으로 연속이다.

**사용할 공식**

경계면의 법선벡터를 $\hat{n} = \vec{a}_z$로 두면

$\hat{n} \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2) = \vec{J}_s$

$\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n}$

이 공식을 쓰는 이유:

이 문항은 두 자성매질의 경계인 $z = 0$ 평면에 표면전류가 직접 주어져 있으므로, 접선 성분은 표면전류 경계조건으로, 법선 성분은 $\vec{B} = \mu\vec{H}$의 연속조건으로 분리해 판단해야 한다.

NoteBase

**계산 과정**

1. $\hat{n} \times (\vec{H_1} - \vec{H_2}) = 3\vec{a}_x$에 $\hat{n} = \vec{a}_z$를 대입하면
$\vec{a}_z \times \{(H_{1x} - H_{2x})\vec{a}_x + (H_{1y} - H_{2y})\vec{a}_y\} = 3\vec{a}_x$
$(H_{1x} - H_{2x})\vec{a}_y - (H_{1y} - H_{2y})\vec{a}_x = 3\vec{a}_x$
이므로 $H_{2x} = H_{1x} = 7$, $-(11 - H_{2y}) = 3$에서 $H_{2y} = 14$가 된다.
2. 법선 성분은 $\mu_1 H_{1z} = \mu_2 H_{2z}$이므로
$1 \cdot 18 = 1.5 \cdot H_{2z}$
$H_{2z} = 12$
3. 따라서
$\vec{H_2} = 7\vec{a}_x + 14\vec{a}_y + 12\vec{a}_z[A/m]$
가 된다.

**선지별 해설**

① X
- $a_x$와 $a_z$ 계수는 맞지만 $a_y$ 계수가 틀리다. 접선 경계조건에서 $H_{2y} = 14$가 되어야 하므로 $7\vec{a}_x + 8\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 $8\vec{a}_y$이고, 올바르게는 $14\vec{a}_y$이다.

② X
- $a_y$ 계수와 $a_z$ 계수가 모두 틀리다. $a_y$ 계수는 14가 되어야 하고, 법선 성분은 $\mu_1 H_{1z} = \mu_2 H_{2z}$에서 $H_{2z} = 12$가 된다.
- 틀린 표현은 $8\vec{a}_y + 27\vec{a}_z$이고, 올바르게는 $14\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$이다.

③ O
- 접선 성분은 $H_{2x} = 7, H_{2y} = 14$, 법선 성분은 $H_{2z} = 12$이므로 $7\vec{a}_x + 14\vec{a}_y + 12\vec{a}_z$가 정확하다.

④ X
- $a_x$와 $a_y$ 계수는 맞지만 $a_z$ 계수가 틀리다. 법선 성분은 투자율 비를 반영해야 하므로 18이 그대로 유지되지 않고 12로 바뀐다.
- 틀린 표현은 $27\vec{a}_z$이고, 올바르게는 $12\vec{a}_z$이다.

**오답 포인트**

접선 성분과 법선 성분의 경계조건을 한꺼번에 같은 방식으로 처리하면 오답이 된다. 특히 $H_z$를 그대로 두거나 투자율 비를 반대로 적용하면 ④ 같은 오답이 나오고, 표면전류 항의 부호를 잘못 잡으면 $a_y$ 계수가 8로 잘못 나올 수 있다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

경계면 자기장 문제는 먼저 경계면의 법선 방향을 정하고, 접선 성분은 $\hat{n} \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2) = \vec{J}_s$로, 법선 성분은 $\mu_1 H_{1n} = \mu_2 H_{2n}$로 분리해서 계산하면 된다.

**암기 포인트**

자계는 접선 성분에서 표면전류를 반영하고, 법선 성분에서는 $\vec{B} = \mu\vec{H}$ 연속조건을 적용한다.

NoteBase

**문 17. 특성임피던스가 $50[\Omega]$인 무왜곡 전송선로의 단위길이당 커패시턴스 $C = 1[pF/m]$이고, 감쇄상수 $\alpha = 1 \times 10^{-3}[Np/m]$이다. 이때, 단위길이당 컨덕턴스 $G[\mu S/m]$는?**

① 20

② 50

③ 200

④ 500

**정답 1번**

**출제 포인트**

이 문제는 무왜곡 전송선로의 관계식 $\alpha = \sqrt{RG} = GZ_0 = R/Z_0$를 이용해 단위길이당 컨덕턴스 $G$를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값은 특성임피던스 $Z_0 = 50\Omega$, 단위길이당 커패시턴스 $C = 1\text{pF/m}$, 감쇠상수 $\alpha = 1 \times 10^{-3}\text{Np/m}$이다.
구해야 할 값은 단위길이당 컨덕턴스 $G$이다.
무왜곡 전송선로이므로 $Z_0 = \sqrt{R/G} = \sqrt{L/C}$, $\alpha = \sqrt{RG}$를 함께 쓸 수 있다.
이 문제에서 $C$는 직접 계산보다 무왜곡 조건을 떠올리게 하는 정보에 가깝다.

**사용할 공식**

$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}}, \qquad \alpha = \sqrt{RG}$
두 식을 곱하면 $\alpha = GZ_0$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 무왜곡 전송선로에서는 감쇠상수와 특성임피던스만으로 $G$를 바로 정리할 수 있기 때문이다.

**계산 과정**

1. 무왜곡 조건에서 $\alpha = \sqrt{RG}$, $Z_0 = \sqrt{R/G}$이다.
2. 두 식을 결합하면 $\alpha = GZ_0$이므로 $G = \alpha/Z_0$이다.
3. $G = \frac{1 \times 10^{-3}}{50} = 2 \times 10^{-5}\text{S/m}$
4. $1\mu\text{S} = 10^{-6}\text{S}$이므로 $2 \times 10^{-5}\text{S/m} = 20\mu\text{S/m}$이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① O: 계산 결과가 $20\mu$S/m이므로 맞는 선택지이다.
② X: 틀린 표현은 \"$G = 50\mu$S/m\"이다. 올바르게는 $G = 20\mu$S/m이다. $G = 50\mu$S/m를 대입하면 $\alpha = GZ_0 = 2.5 \times 10^{-3}$Np/m가 되어 주어진 감쇠상수와 맞지 않는다.
③ X: 틀린 표현은 \"$G = 200\mu$S/m\"이다. 올바르게는 $G = 20\mu$S/m이다. $G = 200\mu$S/m이면 $\alpha = 1.0 \times 10^{-2}$Np/m가 되어 10배 크게 나온다.
④ X: 틀린 표현은 \"$G = 500\mu$S/m\"이다. 올바르게는 $G = 20\mu$S/m이다. $G = 500\mu$S/m이면 $\alpha = 2.5 \times 10^{-2}$Np/m가 되어 조건과 크게 어긋난다.
계산 결과 $G = 20\mu$S/m이므로 정답은 ①이다.

### 오답 포인트

무왜곡 전송선로라는 조건을 놓치면 일반 전송선로 식으로 돌아가 계산이 복잡해진다.
또한 $\alpha = GZ_0$에서 $Z_0$를 곱할지 나눌지 혼동하거나, S/m를 $\mu$S/m로 바꾸지 않아 오답을 고르기 쉽다.
이 문제는 $C$가 주어져 있어도 실제 정답 계산에는 직접 쓰이지 않는다는 점도 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

무왜곡 전송선로에서 $Z_0$와 $\alpha$가 함께 주어지면 먼저 $\alpha = GZ_0 = R/Z_0$로 줄여 본다.
그다음 $G = \alpha/Z_0$ 또는 $R = \alpha Z_0$를 구하고, 마지막에 단위를 원하는 형식으로 변환하면 된다.

### 암기 포인트

무왜곡 전송선로는 $Z_0 = \sqrt{R/G} = \sqrt{L/C}$, $\alpha = \sqrt{RG} = GZ_0 = R/Z_0$로 정리된다.

NoteBase

**문 18. 자유공간에서 $z$축을 따라 선전하밀도 $\rho_l = 3\pi \times 10^{-3}[C/m]$가 무한한 길이로 균일하게 분포해 있을 때, 무한 직선도체로부터 1[m]와 3[m] 떨어진 두 지점 사이의 전위차[V]는?**

① $\frac{10^{-3}}{3\varepsilon_0}\ln 3$
② $\frac{10^{-3}}{\varepsilon_0}\ln 3$
③ $\frac{3\times 10^{-3}}{2\varepsilon_0}\ln 3$
④ $\frac{3\times 10^{-3}}{\varepsilon_0}\ln 3$

**정답 3번**

**출제 포인트**

이 문제는 자유공간의 무한 선전하가 만드는 전계 $E(r)$를 적분하여 반지름 1m와 3m 사이의 전위차를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값:
선전하밀도 $\rho_l = 3\pi \times 10^{-3}[C/m]$
거리 $r_1 = 1[m],\ r_2 = 3[m]$
매질은 자유공간이므로 유전율은 $\varepsilon_0$이다.
구해야 할 값:
무한 직선도체로부터 1m와 3m 떨어진 두 점 사이의 전위차이다.
주의할 조건:
무한 선전하는 원통 대칭이므로 전계가 $1/r$에 비례하고, 전위차 계산에서 로그항 $\ln(r_2/r_1)$가 나온다.

**사용할 공식**

무한 선전하의 전계는
$E(r) = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0 r}$
이다.
따라서 안쪽 점과 바깥쪽 점 사이의 전위차는
$V(r_1) - V(r_2) = \int_{r_1}^{r_2} E(r)dr = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{r_1}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제의 전하 분포가 $z$축을 따라 무한히 연장된 선전하이기 때문이다.

NoteBase

### 계산 과정

1. 거리 $r$에서의 전계를 쓴다.
$E(r) = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0 r}$
2. $r_1 = 1, r_2 = 3$을 대입해 전위차를 적분한다.
$V(1) - V(3) = \int_1^3 \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0 r} dr = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \int_1^3 \frac{1}{r} dr = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0} \ln 3$
3. $\rho_l = 3\pi \times 10^{-3}$을 대입한다.
$V(1) - V(3) = \frac{3\pi \times 10^{-3}}{2\pi\varepsilon_0} \ln 3 = \frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$
계산 결과는 $\frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$이다.

### 선지별 해설

① X
- 제시식 $\frac{10^{-3}}{3\varepsilon_0} \ln 3$은 계수가 잘못되었다. $2\pi$와 $3\pi$의 약분을 잘못 처리한 값이다.
- 틀린 표현은 분수 계수이고, 올바르게는 $\frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$이다.

② X
- 제시식 $\frac{10^{-3}}{\varepsilon_0} \ln 3$은 선전하밀도 $3\pi \times 10^{-3}$를 대입한 뒤 $2\pi$로 나누는 과정을 빠뜨려 계수가 작아졌다.
- 틀린 표현은 앞 계수이고, 올바르게는 $\frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$이다.

③ O
- 계산 결과가 정확히 $\frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$이므로 옳다.
- $\rho_l = 3\pi \times 10^{-3}$에서 $\pi$가 소거되고 $\frac{3}{2} \times 10^{-3}$만 남는 점이 핵심이다.

④ X
- 제시식 $\frac{3 \times 10^{-3}}{\varepsilon_0} \ln 3$은 정답보다 2배 크다. 선전하 전계 공식의 분모 $2\pi\varepsilon_0$에서 2를 빠뜨린 값이다.
- 틀린 표현은 분모의 2 누락이고, 올바르게는 $\frac{3 \times 10^{-3}}{2\varepsilon_0} \ln 3$이다.

### 오답 포인트

무한 선전하의 전계를 $\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon_0 r}$가 아니라 $\frac{\rho_l}{\pi\varepsilon_0 r}$ 또는 $\frac{\rho_l}{\varepsilon_0 r}$처럼 외우면 ④ 같은 오답이 나온다. 또 $\rho_l = 3\pi \times 10^{-3}$를 넣은 뒤 $\pi$ 약분을 서두르면 ①, ②처럼 계수를 틀리기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

선전하가 나오면 먼저 원통 대칭인지 확인하고 $E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$를 떠올린다. 그다음 전위차는 $\int E dr$로 바꾸어 로그형 $\ln(r_2/r_1)$가 나오는지 확인하면 된다. 마지막에는 $\pi$와 숫자 계수만 차분하게 약분하면 된다.

### 암기 포인트

무한 선전하에서는 $E \propto 1/r$이고, 전위차는 $\Delta V = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$ 꼴이 된다.

NoteBase

**문 19. 반지름 $a = 3 \times 10^{-3}[m]$, 길이 $l = 18 \times \pi \times 10^{3}[m]$인 원통형 도체의 저항 $R = 2[\Omega]$이다. 해당 도체의 도전율 $\sigma[S/m]$는?**

① $1 \times 10^{9}$

② $3 \times 10^{9}$

③ $6 \times 10^{9}$

④ $9 \times 10^{9}$

**정답 1번**

### 출제 포인트

이 문제는 원통형 도체의 저항식 $R = \rho\frac{l}{A}$와 도전율 $\sigma = \frac{1}{\rho}$를 이용해 도전율을 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 반지름 $a = 3 \times 10^{-3}m$, 길이 $l = 18\pi \times 10^{3}m$, 저항 $R = 2\Omega$이다.
구해야 할 값: 도전율 $\sigma$이다.
주의할 조건: 원통형 도체의 단면적은 $A = \pi a^{2}$이며, 도전율은 저항률의 역수이다.

### 사용할 공식

$R = \rho\frac{l}{A}, \quad \sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA}$
이 공식을 쓰는 이유: 길이, 반지름, 저항이 모두 주어졌으므로 저항식으로 저항률을 구할 수 있고, 그 역수를 취하면 도전율을 바로 계산할 수 있다.

### 계산 과정

1. 단면적은 $A = \pi a^{2} = \pi(3 \times 10^{-3})^{2} = 9\pi \times 10^{-6}m^{2}$이다.
2. 도전율은 $\sigma = \frac{l}{RA}$이므로 $\sigma = \frac{18\pi \times 10^{3}}{2 \times 9\pi \times 10^{-6}}$이다.
3. 정리하면 $\sigma = \frac{18}{18} \times 10^{3-(-6)} = 10^{9}S/m$이다.

### 선지 판단

① O: 계산 결과가 $1 \times 10^{9}S/m$이므로 맞다.
② X: 도전율은 $3 \times 10^{9}S/m$가 아니라 $1 \times 10^{9}S/m$이다. 반지름 제곱이나 분모 $RA$를 과소계산하면 커진 값이 나오므로 틀린 선지이다.
③ X: 도전율은 $6 \times 10^{9}S/m$가 아니라 $1 \times 10^{9}S/m$이다. 지수 계산에서 $10^{-6}$을 잘못 처리하면 과대한 값이 나올 수 있으나 정답값과 일치하지 않는다.
④ X: 도전율은 $9 \times 10^{9}S/m$가 아니라 $1 \times 10^{9}S/m$이다. 단면적과 저항을 빠뜨리거나 지나치게 작게 잡아야 나올 수 있는 값이므로 문제 조건과 맞지 않는다.

NoteBase

### 오답 포인트

반지름 $a$를 그대로 넣고 끝내거나 $a^2$를 빼먹으면 단면적이 크게 달라진다. 또 $10^{-3}$을 제곱하면 $10^{-6}$이 된다는 점과 분모에 $R$이 함께 들어간다는 점을 놓치면 오답이 된다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

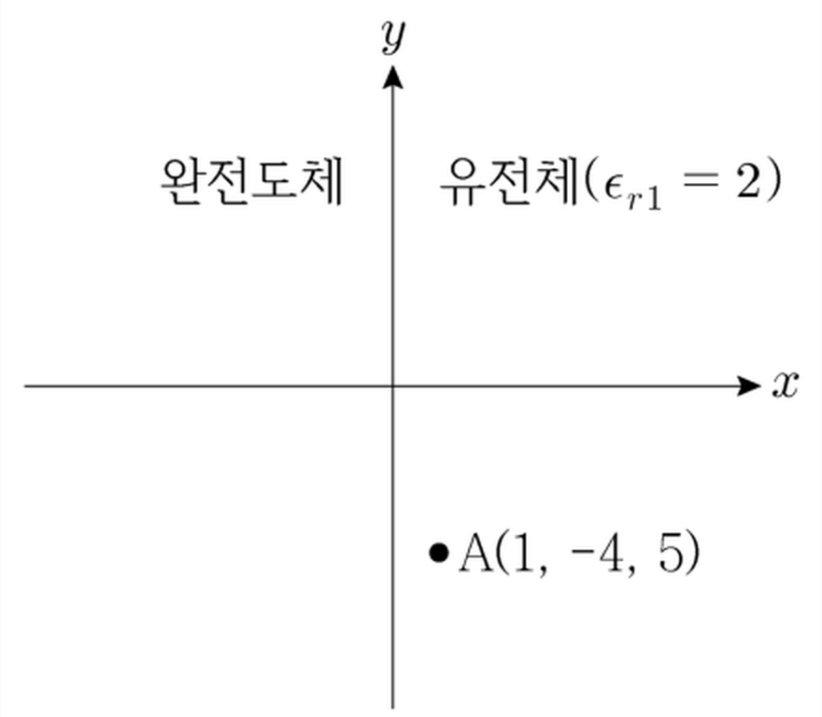
원통형 도체 계산형 문제는 조건 정리 → 단면적 $A=\pi a^2$ 계산 → $R=\rho\frac{l}{A}$ 또는 $\sigma=\frac{l}{RA}$ 선택 → 지수와 단위 검산 순서로 판단한다.

### 암기 포인트

도체 저항은 $R=\rho\frac{l}{A}$, 도전율은 $\sigma=\frac{1}{\rho}$이므로 결국 $\sigma=\frac{l}{RA}$로 바로 연결된다.

NoteBase

**문 20. 그림과 같이 $x \leq 0$인 영역은 무한평면의 완전도체이고, $x > 0$인 영역은 유전체(비유전율 $\varepsilon_{r1} = 2$)이다. 도체의 표면에 $2[\mathrm{nC/m^2}]$의 표면전하밀도가 있을 때, $A(1, -4, 5)$ 지점의 전계 $\vec{E}[\mathrm{V/m}]$는? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[\mathrm{F/m}]$이다)**




① $36\vec{a}_x$

② $36\pi\vec{a}_x$

③ $36\vec{a}_y$

④ $36\pi\vec{a}_y$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 도체-유전체 경계에서의 경계조건 $\vec{D}_n = \rho_s$와 $\vec{E} = \vec{D}/\varepsilon$를 이용해 전계의 크기와 방향을 구하는 문제이다.

NoteBase

### 조건 정리

주어진 값:
- 도체는 $x \le 0$, 유전체는 $x > 0$ 영역이다.
- 유전체의 비유전율은 $\varepsilon_r = 2$이다.
- 도체 표면전하밀도는 $\rho_s = 2\text{nC/m}^2$이다.
- $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\text{F/m}$이다.

구해야 할 값:
- 점 $A(1,\ -4, 5)$에서의 전계 $\vec{E}$이다.

주의할 조건:
- 무한평면 도체의 표면 전계는 위치와 무관하게 법선 방향으로 일정하다.
- 경계면은 $x = 0$ 평면이므로 법선 방향은 $\vec{a}_x$이다.

### 사용할 공식

사용 공식은 다음과 같다.

$$\vec{D}_n = \rho_s \vec{a}_n, \qquad \vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon} = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}\vec{a}_n$$

이 공식을 쓰는 이유는 도체 표면에 주어진 자유 표면전하밀도로부터 경계면 바로 바깥쪽 유전체의 전속밀도 법선성분이 바로 결정되기 때문이다. 이 문제의 경계면은 $x = 0$ 평면이므로 방향은 도체에서 유전체로 나가는 $+x$축 방향이다.

### 계산 과정

1. 경계면의 법선 방향을 정하면 $x \le 0$의 도체에서 $x > 0$의 유전체로 나가는 방향은 $\vec{a}_x$이다.
2. 따라서 전속밀도는

$$\vec{D} = \rho_s \vec{a}_x = 2 \times 10^{-9}\vec{a}_x\text{C/m}^2$$

이다.

3. 유전체 내부 전계는

$$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{2 \times 10^{-9}}{\left(\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\right) \times 2}\vec{a}_x = 36\pi\vec{a}_x\text{V/m}$$

이다.

4. 점 $A(1,\ -4, 5)$는 $x > 0$인 유전체 내부의 한 점일 뿐이므로, 무한평면 조건에서는 같은 전계를 가진다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X
- 크기는 36이 아니라 $36\pi$이다.
- 틀린 표현은 '36'이고, 올바르게는 '$36\pi$'이다.
- 이 값은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$를 대입할 때 $\pi$를 빠뜨리면 나오는 오답이다.

② O
- 계산 결과가 그대로 $\vec{E} = 36\pi\vec{a}_x$V/m이므로 옳다.
- 방향은 경계면 법선인 $+x$축이고, 크기는 $\rho_s/(\varepsilon_0\varepsilon_r)$로 결정된다.

③ X
- 방향이 $\vec{a}_y$가 될 수 없다. 무한평면 경계의 전계는 항상 면에 수직인 법선 방향이다.
- 틀린 표현은 '$\vec{a}_y$'와 '36'이고, 올바르게는 '$36\pi\vec{a}_x$'이다.
- 이 선지는 방향을 축 방향으로 착각하고 동시에 $\pi$까지 누락한 오답이다.

④ X
- 크기 $36\pi$는 맞지만 방향이 틀렸다. 전계는 $y$축 방향이 아니라 $x = 0$ 평면의 법선 방향인 $\vec{a}_x$이다.
- 틀린 표현은 '$\vec{a}_y$'이고, 올바르게는 '$\vec{a}_x$'이다.

### 오답 포인트

도체 표면 전계 문제에서 크기만 계산하고 방향을 좌표축 그림에 끌려 잘못 고르는 경우가 많다. 이 문항은 $A$의 좌표에 $y, z$ 성분이 들어 있어도 전계 방향이 그 좌표방향을 따르지 않는다는 점, 그리고 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$의 $\pi$를 누락하면 ①로 떨어진다는 점이 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

무한평면 도체-유전체 경계 문제는 먼저 경계면의 법선 방향을 정하고, 다음에 $\vec{D} = \rho_s\vec{a}_n$, 마지막으로 $\vec{E} = \vec{D}/\varepsilon$를 적용하면 된다. 점의 좌표는 경계면과 평행한 방향 성분을 만들지 않으므로 방향 판단에 끌려가지 않으면 된다.

### 암기 포인트

무한평면 표면전하 문제는 전계가 항상 면에 수직이고, 유전체에서는 $\vec{E} = \rho_s/(\varepsilon_0\varepsilon_r)\vec{a}_n$이다.

NoteBase

**문 21. 자유공간에서 $z=0$ 평면에 $\vec{K}=6\vec{a}_x[A/m]$인 면전류가 있고, 점 $P(0,\,0,\,3)$를 지나고, $x$축과 평행하게 놓여 있는 무한히 긴 도선에 $x$방향으로 $9\pi[A]$의 전류가 흐르고 있다. 이때, 자계가 $0[A/m]$이 되는 지점으로 옳은 것은?**

① $P(0,\,0,\,1)$

② $P(0,\,0,\,1.5)$

③ $P(0,\,0,\,2)$

④ $P(0,\,0,\,2.5)$

**정답 2번**

**출제 포인트**

이 문제는 면전류와 무한 직선도선이 만드는 자기장을 중첩하여 전체 자기장이 0이 되는 위치를 구하는 문제이다.

**조건 정리**

주어진 값:
- 자유공간의 $z=0$ 평면에 면전류 $\vec{K}=6a_x[A/m]$가 흐른다.
- 점 $P(0,\,0,\,3)$을 지나고 $x$축과 평행한 무한 직선도선에 전류 $I=9\pi[A]$가 $+x$방향으로 흐른다.

구해야 할 값:
- $H=0[A/m]$가 되는 점의 좌표

주의할 조건:
- 보기의 점들은 모두 $z>0$이므로 면전류가 만드는 자기장은 같은 방향으로 일정하다.
- 점 $(0,\,0,\,z)$는 도선보다 아래쪽에 있으므로 도선이 만드는 자기장 방향은 $+a_y$이다.

NoteBase

**사용할 공식**

면전류가 만드는 자기장 세기:
$\vec{H}_{sheet} = \pm\frac{1}{2}\vec{K} \times \vec{a}_n$
이 문제에서는 $z > 0$ 영역에서
$\vec{H}_{sheet} = -3a_y[A/m]$
가 된다.

무한 직선도선이 만드는 자기장 세기:
$H_{line} = \frac{I}{2\pi\rho}$
여기서 $\rho$는 도선으로부터의 수직거리이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제의 두 전류원은 각각 무한 평면의 균일 면전류와 무한 직선도선이므로, 대칭성이 있는 표준 자기장 공식을 그대로 적용할 수 있다.

**계산 과정**

1. 면전류 $\vec{K} = 6a_x$가 $z = 0$ 평면에 있을 때 $z > 0$에서의 자기장은
$\vec{H}_{sheet} = -\frac{K}{2}a_y = -3a_y[A/m]$
이다.
2. 점 $(0, 0, z)$에서 도선까지의 거리는 $\rho = 3 - z$이고, $0 < z < 3$에서는 도선이 만드는 자기장 방향이 $+a_y$이므로
$\vec{H}_{line} = \frac{9\pi}{2\pi(3-z)}a_y = \frac{9}{2(3-z)}a_y[A/m]$
이다.
3. 전체 자기장이 0이 되려면 두 자기장의 크기가 같고 방향이 반대여야 하므로
$-3 + \frac{9}{2(3-z)} = 0$
$\frac{9}{2(3-z)} = 3$
$9 = 6(3-z)$
$z = 1.5$
이다. 따라서 점은 $P(0, 0, 1.5)$이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X

$P(0, 0, 1)$에서는 도선 자기장이
$\frac{9}{2(3-1)} = \frac{9}{4} = 2.25[A/m]$
이므로 전체 자기장은 $-3 + 2.25 = -0.75[A/m]$이다. 0이 아니다. 틀린 표현은 좌표의 $z$값이다. 올바르게는 $z = 1.5$일 때 자기장이 0이 된다.

② O

$P(0, 0, 1.5)$에서는 도선 자기장이
$\frac{9}{2(3-1.5)} = \frac{9}{3} = 3[A/m]$
이므로 면전류가 만드는 $-3[A/m]$와 정확히 상쇄된다. 따라서 전체 자기장은 0이 된다.

③ X

$P(0, 0, 2)$에서는 도선 자기장이
$\frac{9}{2(3-2)} = \frac{9}{2} = 4.5[A/m]$
이므로 전체 자기장은 $-3 + 4.5 = 1.5[A/m]$이다. 0이 아니다. 틀린 표현은 좌표의 $z$값이다. 올바르게는 $z = 1.5$일 때만 상쇄가 성립한다.

④ X

$P(0, 0, 2.5)$에서는 도선 자기장이
$\frac{9}{2(3-2.5)} = 9[A/m]$
이므로 전체 자기장은 $-3 + 9 = 6[A/m]$이다. 0이 아니다. 틀린 표현은 좌표의 $z$값이다. 올바르게는 도선에 가까워질수록 도선 자기장이 너무 커져 상쇄점은 $z = 2.5$보다 아래에 있어야 한다.

### 오답 포인트

면전류의 자기장은 $z > 0$ 영역에서 크기가 일정하다는 점과, 직선도선의 자기장은 도선에 가까울수록 커진다는 점을 동시에 봐야 한다. 또한 방향 판단을 빼먹고 크기만 비교하면 상쇄 조건을 잘못 세우기 쉽다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

여러 전류원이 함께 있을 때는 각 전류원이 만드는 자기장의 방향을 먼저 정한 뒤, 표준 공식으로 크기를 구해 벡터합이 0이 되는 조건식을 세우면 된다. 이 문제는 $z > 0$에서 면전류 자기장이 일정한 음의 $a_y$방향이고, 도선 자기장은 양의 $a_y$방향으로 $\frac{1}{3-z}$에 비례해 커진다는 점을 이용하면 바로 판단할 수 있다.

### 암기 포인트

무한 면전류는 한쪽 공간에서 자기장 크기가 항상 $K/2$이고, 무한 직선도선은 $I/(2\pi\rho)$로 거리의 역수에 비례한다.

NoteBase

**문 22. 다음에서 폐회로를 쇄교하는 자기장 세기가 시간에 따라 변동할 때, 기전력이 발생한다는 현상과 관련이 없는 식은? (단, $e$는 유도 기전력이다)**

① $e = -\frac{d\Phi}{dt}$
② $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
③ $\vec{E} = -\int_s \vec{B} \cdot d\vec{s}$
④ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$

**정답 3번**

### 출제 포인트

이 문제는 시간에 따라 변하는 자기장에 의해 생기는 유도기전력과 패러데이 법칙의 미분형·적분형·자속 정의를 구별할 수 있는지를 묻는다.

### 핵심 개념

유도기전력 $e$는 폐회로를 지나는 자속 $\Phi$의 시간적 변화율이다.
자속 $\Phi$는 $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$로 정의되는 스칼라량이다.
맥스웰-패러데이 방정식은 $abla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$이고, 이를 폐곡선과 그 내부 면에 대해 적분하면
$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$가 된다.

### 선지별 해설

① O: $e = -\frac{d\Phi}{dt}$는 패러데이의 유도법칙 자체이다. 폐회로를 쇄교하는 자속이 시간에 따라 변하면 그 변화율의 음수만큼 유도기전력이 생긴다.
② O: $abla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$는 시간에 따라 변하는 자기장이 와전 성분을 가진 전기장을 만든다는 미분형 맥스웰 방정식이다.
③ X: 틀린 부분은 왼쪽을 전기장 벡터 $\vec{E}$로 두고 오른쪽을 $-\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$로 둔 점이다. 오른쪽은 자속 $\Phi$라는 스칼라량이므로 전기장 벡터와 같을 수 없다. 올바르게는 $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$ 또는 $e = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$가 된다.
④ O: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$는 ②를 스토크스 정리로 적분형으로 바꾼 식이며, 폐회로의 선적분이 유도기전력과 대응한다.

### 오답 포인트

③처럼 자속의 면적분과 전기장 자체를 같은 것으로 섞어 쓰면 틀린다. 자속은 스칼라, 전기장은 벡터, 유도기전력은 폐곡선에 대한 전기장의 선적분이라는 구분이 핵심 함정이다.

NoteBase

**다시 나오면 이렇게 판단**

식의 왼쪽과 오른쪽이 같은 종류의 물리량인지 먼저 본다. 자속은 면적분 $\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$, 유도기전력은 $-\frac{d\Phi}{dt}$, 전기장은 $\nabla \times \vec{E}$나 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$ 형태로 나타난다고 구분하면 바로 판별된다.

**암기 포인트**

자속은 $\vec{B}$의 면적분, 유도기전력은 자속 변화율, 전기장은 선적분과 회전으로 연결된다.

NoteBase

**문 23. 간격이 $d[m]$이고, 면적이 $A[m^2]$인 두 개의 평행한 도체판 사이에 유전율 $\varepsilon$과 도전율 $\sigma$의 유전체가 채워진 커패시터가 있다. 이 커패시터에 $v(t) = v_o\cos(\omega t)[V]$의 교류 전압을 인가할 때, 발생하는 변위전류 $I_d[A]$는?**

① $\frac{A\sigma v_o}{d}\cos(\omega t)$
② $-\frac{A\sigma v_o}{d}\sin(\omega t)$
③ $\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\cos(\omega t)$
④ $-\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 평행판 커패시터에서 $E = v/d$를 구한 뒤 $I_d = A\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$를 적용하여 변위전류를 계산하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 판 간격 $d$, 면적 $A$, 유전율 $\varepsilon$, 도전율 $\sigma$, 인가전압 $v(t) = v_o\cos(\omega t)$이다.
구해야 할 값: 변위전류 $I_d$이다.
주의할 조건: 변위전류는 도전율 $\sigma$가 아니라 유전율 $\varepsilon$와 전계의 시간미분으로 결정된다.

### 사용할 공식

평행판 사이 전계는 $E(t) = \frac{v(t)}{d} = \frac{v_o}{d}\cos(\omega t)$이다.
변위전류밀도는 $J_d = \varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$이고, 변위전류는 $I_d = AJ_d$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 묻는 값이 커패시터 내부 유전체에서의 변위전류이므로 전도전류식 $I = \sigma EA$가 아니라 전속밀도의 시간변화식을 써야 하기 때문이다.

### 계산 과정

1. 전계를 구하면 $E(t) = \frac{v_o}{d}\cos(\omega t)$이다.
2. 이를 시간 미분하면 $\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{v_o}{d}\frac{d}{dt}\cos(\omega t) = -\frac{\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$ 이다.
3. 따라서 변위전류밀도는 $J_d = -\frac{\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$이고, 전체 변위전류는 $I_d = AJ_d = -\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$ 이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X: $\frac{A\sigma v_o}{d}\cos(\omega t)$는 $I = \sigma EA$로 계산한 전도전류이다. 틀린 표현은 $\sigma\cos(\omega t)$ 부분이며, 변위전류는 올바르게는 $-\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$이다.
② X: 미분 결과에 $-\sin(\omega t)$가 나오는 점은 맞지만 계수가 $\sigma$이면 전도전류와 변위전류를 혼동한 것이다. 틀린 표현은 $\sigma$이며, 올바르게는 $\varepsilon\omega$가 곱해져 $-\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$가 된다.
③ X: $\varepsilon\omega$까지는 맞지만 $\cos(\omega t)$가 남아 있어 미분을 하지 않은 형태이다. 틀린 표현은 $\cos(\omega t)$이며, 올바르게는 $-\sin(\omega t)$로 바뀌어야 하므로 $-\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$가 된다.
④ O: $I_d = A\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$에 $E = \frac{v_o}{d}\cos(\omega t)$를 대입하면 $-\frac{A\varepsilon\omega v_o}{d}\sin(\omega t)$가 되어 정확하다.

### 오답 포인트

도전율 $\sigma$가 주어졌다고 해서 곧바로 전도전류 공식을 쓰기 쉽다. 이 문항은 전도전류 $\sigma E$와 변위전류 $\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$를 구분하는지, 그리고 $\cos(\omega t)$를 미분할 때 부호와 함수가 $-\sin(\omega t)$로 바뀌는지를 함께 묻는 함정이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

커패시터에서 변위전류를 묻는 문제는 먼저 $E = v/d$를 만든 뒤, 전도전류인지 변위전류인지부터 구분하고, 변위전류이면 $\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$를 적용해 위상과 부호까지 확인하면 된다.

### 암기 포인트

전도전류는 $\sigma E$, 변위전류는 $\varepsilon\frac{\partial E}{\partial t}$이며, cos를 미분하면 $-\sin$이 된다.

NoteBase

**문 24. 무손실 유전체에서 진행하는 균일 평면파의 전계가 $\vec{E}=2\cos(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_x-\sin(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_y[V/m]$일 때, 자계 $\vec{H}[A/m]$는? (단, $\varepsilon_0=\frac{1}{36\pi}\times10^{-9}[F/m]$, $\mu_r=1, \mu_0=4\pi\times10^{-7}[H/m]$, 자유공간에서 빛의 속도는 $3\times10^8[m/s]$이다)**

① $\frac{1}{120\pi}[\sin(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_x+2\cos(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_y]$
② $\frac{1}{120\pi}[-\sin(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_x+2\cos(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_y]$
③ $\frac{1}{60\pi}[\sin(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_x+2\cos(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_y]$
④ $\frac{1}{60\pi}[-\sin(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_x+2\cos(10^8t-\frac{2}{3}z)\vec{a}_y]$

**정답 3번**

### 출제 포인트

이 문제는 위상상수로 매질의 파속과 고유임피던스를 구한 뒤, 진행방향과 벡터곱으로 자계 $\vec{H}$를 구하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 전계는 $\vec{E}=2\cos\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_x-\sin\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_y[V/m]$이다.
위상항이 $\omega t-\beta z$ 꼴이므로 진행방향은 $+z$방향이다.
$\omega=10^8, \beta=\frac{2}{3}, \mu_r=1$, 자유공간 속도 $c=3\times10^8[m/s]$가 주어진다.

### 사용할 공식

$v=\frac{\omega}{\beta}$
$\eta=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}=\frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}}\quad(\mu_r=1)$
$\vec{H}=\frac{1}{\eta}(a_z\times\vec{E})$
이 공식을 쓰는 이유는 무손실 유전체 내 균일 평면파에서 진행속도는 $\omega/\beta$로 정해지고, 자계는 진행방향 단위벡터와 전계의 벡터곱을 매질의 고유임피던스로 나눈 값이기 때문이다.

### 계산 과정

1. 파속을 구하면 $v=\frac{10^8}{2/3}=1.5\times10^8[m/s]$이다.
2. $v=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$이므로 $\sqrt{\varepsilon_r}=\frac{3\times10^8}{1.5\times10^8}=2$, 따라서 $\varepsilon_r=4$이다.
3. $\mu_r=1$이므로 고유임피던스는 $\eta=\frac{120\pi}{\sqrt{4}}=60\pi[\Omega]$이다.
4. 진행방향이 $+z$이므로
$a_z\times\vec{E}=a_z\times\left[2\cos\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_x-\sin\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_y\right]$
$=2\cos\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_y+\sin\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_x$
5. 따라서
$\vec{H}=\frac{1}{60\pi}\left[\sin\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_x+2\cos\left(10^8t-\frac{2}{3}z\right)a_y\right][A/m]$

NoteBase

### 선지별 해설

① X: 성분의 부호는 맞지만 계수가 $\frac{1}{120\pi}$로 되어 있어 자유공간 임피던스를 그대로 쓴 값이다. 이 매질은 $\varepsilon_r = 4$이므로 $\eta = 60\pi$가 되어야 하며, 올바르게는 $\frac{1}{60\pi}\left[\sin\left(10^8 t - \frac{2}{3}z\right)a_x + 2\cos\left(10^8 t - \frac{2}{3}z\right)a_y\right]$이다.
② X: 계수도 $\frac{1}{120\pi}$로 틀렸고, $a_x$ 성분 부호도 틀렸다. $-\sin(\cdots)a_y$에 대해 $a_z \times (-a_y) = +a_x$가 되므로 $a_x$ 성분은 음수가 아니라 양수여야 한다. 올바르게는 $\frac{1}{60\pi}[\sin(\cdots)a_x + 2\cos(\cdots)a_y]$이다.
③ O: 진행방향 $+z$, 고유임피던스 $60\pi$, 벡터곱 방향이 모두 맞다. 계산 결과와 정확히 일치한다.
④ X: 계수 $\frac{1}{60\pi}$는 맞지만 $a_x$ 성분 부호가 틀렸다. $-\sin(\cdots)a_y$를 벡터곱하면 $+\sin(\cdots)a_x$가 되어야 하므로, 올바르게는 $\frac{1}{60\pi}[\sin(\cdots)a_x + 2\cos(\cdots)a_y]$이다.

### 오답 포인트

가장 흔한 함정은 두 가지이다. 하나는 $\beta$로부터 매질의 파속과 $\varepsilon_r$를 구하지 않고 $120\pi$를 그대로 대입하는 실수이다. 다른 하나는 $a_z \times a_y = -a_x$를 놓쳐서 원래 전계의 $-a_y$ 성분과 부호가 한 번 더 뒤집힌다는 점을 빼먹는 실수이다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

평면파 자계 문제는 먼저 위상항 $\omega t \mp \beta z$로 진행방향을 정하고, 다음에 $v = \omega/\beta$로 매질 속도를 구한 뒤 $\eta$를 계산하고, 마지막에 $\vec{H} = \hat{k} \times \vec{E}/\eta$ 순서로 판단하면 된다.

### 암기 포인트

$\omega t - \beta z$이면 $+z$ 진행파이고, $\mu_r = 1$인 유전체에서는 $\eta = 120\pi/\sqrt{\varepsilon_r}$이며, 자계는 $\vec{H} = \hat{k} \times \vec{E}/\eta$이다.

NoteBase

**문 25. 비유전율 $\varepsilon_r = 5$인 유전체에 전위 $V = -4x + 3y[V]$를 인가했을 때, 분극의 세기 $P[C/m^2]$는? (단, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다)**

① $\frac{5 \times 10^{-9}}{36\pi}$
② $\frac{10^{-9}}{9\pi}$
③ $\frac{10^{-9}}{36\pi}$
④ $\frac{5 \times 10^{-9}}{9\pi}$

**정답 4번**

### 출제 포인트

이 문제는 전위로부터 전계의 크기를 구한 뒤, 유전체의 분극 $P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$를 계산하는 문제이다.

### 조건 정리

주어진 값: 비유전율은 $\varepsilon_r = 5$, 전위는 $V = -4x + 3y[V]$, 진공 유전율은 $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}[F/m]$이다.
구해야 할 값: 분극의 세기 $P[C/m^2]$이다.
주의할 조건: 전계는 $\mathbf{E} = -ablaV$로 구하고, 분극은 감수율 항 $\varepsilon_r - 1$이 함께 들어간다.

### 사용할 공식

$\mathbf{E} = -ablaV$
$P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E$
이 공식을 쓰는 이유는 전위 함수가 직접 주어졌으므로 먼저 전위의 기울기에서 전계를 구할 수 있고, 선형 유전체의 분극 세기는 전계 크기에 $\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)$를 곱해 계산하기 때문이다.

### 계산 과정

1. 전위 $V = -4x + 3y$이므로
$\mathbf{E} = -ablaV = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{y}\right) = 4\hat{x} - 3\hat{y}$
이다.
2. 전계의 크기는
$E = \sqrt{4^2 + (-3)^2} = 5$
이다.
3. 분극의 세기는
$P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E = \left(\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}\right) \times 4 \times 5 = \frac{5 \times 10^{-9}}{9\pi}$
이다.

NoteBase

### 선지별 해설

① X
$\frac{5\times10^{-9}}{36\pi}$는 계산값보다 4배 작다. 이는 $\varepsilon_r-1=4$를 빠뜨린 값이다. 틀린 값은 $\frac{5\times10^{-9}}{36\pi}$이고, 올바르게는 $\frac{5\times10^{-9}}{9\pi}$이다.

② X
$\frac{10^{-9}}{9\pi}$는 $\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)$까지만 반영하고 전계의 크기 $E=5$를 곱하지 않은 값이다. 틀린 값은 $\frac{10^{-9}}{9\pi}$이고, 올바르게는 $\frac{5\times10^{-9}}{9\pi}$이다.

③ X
$\frac{10^{-9}}{36\pi}$는 사실상 $\varepsilon_0$만 남긴 값으로, 전계 크기와 $\varepsilon_r-1$를 모두 반영하지 못했다. 틀린 값은 $\frac{10^{-9}}{36\pi}$이고, 올바르게는 $\frac{5\times10^{-9}}{9\pi}$이다.

④ O
계산 결과 $P=\frac{5\times10^{-9}}{9\pi}[C/m^2]$이므로 옳은 선지이다.

### 오답 포인트

전위에서 전계를 구할 때 부호만 보고 $4-3=1$처럼 단순 계산하기 쉽고, 분극 식에서 $\varepsilon_r$가 아니라 $\varepsilon_r-1$가 들어간다는 점도 자주 놓친다. 이 문항의 오답은 전계 크기 5를 빼먹거나 감수율 항 4를 빼먹는 실수에서 나온다.

### 다시 나오면 이렇게 판단

전위가 나오면 먼저 $\mathbf{E}=-ablaV$로 전계 벡터를 구하고, 세기를 묻는지 방향을 묻는지 구분한다. 그다음 유전체 분극은 $P=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)E$ 순서로 대입하면 된다.

### 암기 포인트

선형 유전체 분극은 $P=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)E$, 전계의 세기는 전위의 음의 기울기 크기이다.

NoteBase