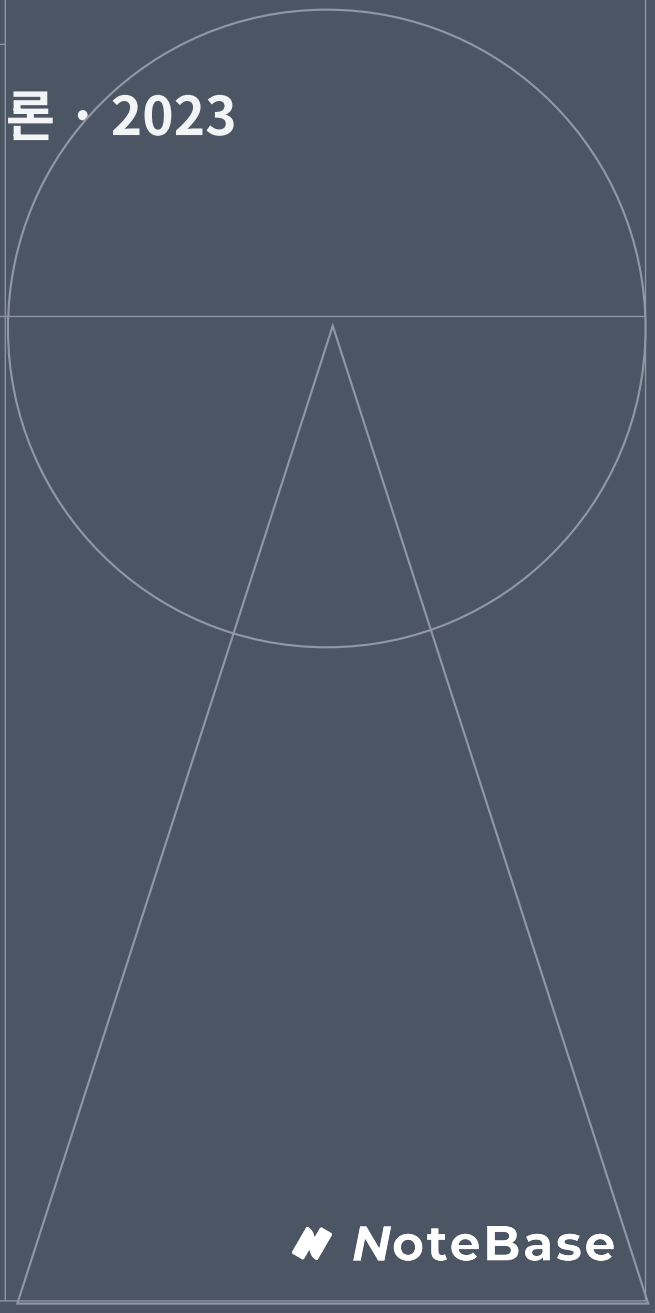
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 전기이론 · 2023



NoteBase

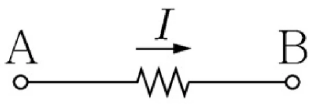
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 전기이론 · 2023

공무원/서울시/9급 · 전기이론 · 2023

문 1. <보기>와 같은 저항 소자를 통해 0초부터 2초까지 +2A의 일정한 전류가, 2초부터 3초까지 −1A의 일정한 전류가, 3초부터 6초까지 +0.5A의 일정한 전류가 흘렀다. 0초부터 6초까지 A지점에서 B지점으로 이동한 총 알짜 전하량[C]은? (단, 양의 전류는 A지점에서 B지점으로 흐르는 전류이다.)

〈보기〉



① +4.5

② +5.5

③ −4.5

④ −5.5

정답 1번

간단한 해설

알짜 전하량은 각 구간의 전류와 지속 시간을 곱한 값을 **부호를 유지하여 합산**한다. B에서 A로 흐른 구간의 −1 C를 반영하면 A에서 B로 이동한 알짜 전하량은 +4.5 C이다.

NoteBase

계산 과정

전류는 단위 시간당 이동하는 전하량이다. 각 구간에서는 전류가 일정하므로 전하량은 $q = I\Delta t$로 구한다. 여기서 q는 전하량[C], I는 전류[A], Δt는 구간의 지속 시간[초]이다. 그림의 화살표와 문제의 조건에 따라 **A에서 B로 흐르는 방향을 양의 방향**으로 둔다.

0초부터 2초까지: 지속 시간은 2초이고 전류는 +2 A이므로, 이동한 전하량은 (+2) × 2 = +4 C이다.

2초부터 3초까지: 지속 시간은 1초이고 전류는 −1 A이므로, 이동한 전하량은 (−1) × 1 = −1 C이다. **기준 방향과 반대로 흐른 전류**이므로 알짜 전하량을 구할 때 음수로 반영한다.

3초부터 6초까지: 지속 시간은 3초이고 전류는 +0.5 A이므로, 이동한 전하량은 (+0.5) × 3 = +1.5 C이다.

세 구간의 전하량을 더하면 +4 − 1 + 1.5 = +4.5 C이다. 양수이므로 A에서 B로 이동한 알짜 전하량이 4.5 C라는 뜻이며, ①의 +4.5에 해당한다.

NoteBase

문 2. 10 μF의 용량을 갖는 커패시터에 1 ms 동안 0 V에서 10 V로 증가하는 입력전압이 가해졌을 때 전류의 값[A]은?

① 0.01

② 0.05

③ 0.1

④ 0.2

정답 3번

간단한 해설

커패시터에 흐르는 전류는 **전압의 변화율에 비례**한다. 10 μF의 커패시터에서 1 ms 동안 전압이 10 V 증가할 때 전류는 0.1 A이다.

계산 과정

커패시터의 전하량 q와 전압 v 사이에는 $q = Cv$의 관계가 있다. 정전용량 C가 일정하므로 전압이 변할 때 들어오는 전하량은 $\Delta q = C\Delta v$이다. 이 전하량을 걸린 시간으로 나누면 **해당 구간의 평균 전류**를 구할 수 있으며, 전압이 일정한 비율로 증가하면 구간 내 전류도 이 값으로 일정하다.

전압 증가량은 $10 - 0 = 10$ V이다. 단위를 환산하면 정전용량은 $C = 10 \times 10^{-6}$F, 걸린 시간은 $\Delta t = 1 \times 10^{-3}$s이다.

이때 증가한 전하량은 $\Delta q = (10 \times 10^{-6}) \times 10 = 100 \times 10^{-6}$C이다. 즉, 1 ms 동안 커패시터에 100 μC의 전하가 들어온다.

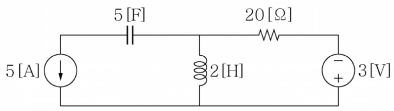
따라서 전류는 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{100 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-3}} = 0.1$A이며, ③의 0.1 A에 해당한다.

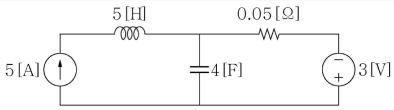
NoteBase

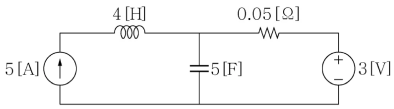
문 3. <보기>의 회로에 대한 쌍대회로로 가장 옳은 것은?

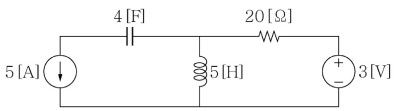
<보기>



① 

② 

③ 

④ 

정답 2번

간단한 해설

20 Ω의 저항은 쌍대회로에서 **20 S의 컨덕턴스**에 대응하므로 저항으로 표시하면 0.05 Ω이 된다. 소자의 종류와 값뿐 아니라 **연결 관계와 전원의 방향·극성**도 함께 대응시켜야 한다.

NoteBase

대응 관계 해설

쌍대회로는 전압과 전류를 서로 바꾸었을 때 회로 방정식이 같은 형태가 되는 회로이다. 전압원과 전류원, 인덕턴스와 커패시턴스, 저항과 컨덕턴스가 각각 대응한다. 원회로의 시계 방향 망전류를 쌍대회로의 절점전압에 대응시키고, 바깥 영역을 공통 기준 절점으로 잡아 구성한다.

5 V 전압원 → 5 A 전류원: 왼쪽 망을 시계 방향으로 돌면 5 V는 전압 상승이다. 이에 대응하는 전류원은 쌍대회로의 왼쪽 위 절점으로 전류를 공급하므로 **위쪽 방향의 5 A**가 된다.

5 F 커패시터 → 5 H 인덕터: 커패시턴스와 인덕턴스는 쌍대 관계이므로 수치 5를 유지하면서 F를 H로 바꾼다. 원회로에서 5 V 전압원과 병렬인 5 F 커패시터는 쌍대회로에서 **5 A 전류원과 직렬인 5 H 인덕터**가 된다.

4 H 인덕터 → 4 F 커패시터: 인덕턴스 4 H는 커패시턴스 4 F에 대응한다. 원회로의 위쪽 인덕터 가지는 가운데 망과 바깥 영역의 경계이므로, 쌍대회로에서는 **가운데 위 절점과 아래쪽 공통 절점 사이**에 4 F 커패시터를 연결한다.

20 Ω 저항 → 20 S 컨덕턴스: 저항에 대응하는 양은 저항이 아니라 컨덕턴스이다. 따라서 쌍대 소자의 컨덕턴스는 20 S이며, 이를 저항으로 나타내면 $R_{\mathrm{d}} = \frac{1}{20} = 0.05\Omega$이다. 원회로에서 3 A 전류원과 병렬이므로 쌍대회로에서는 **3 V 전압원과 직렬**로 연결한다.

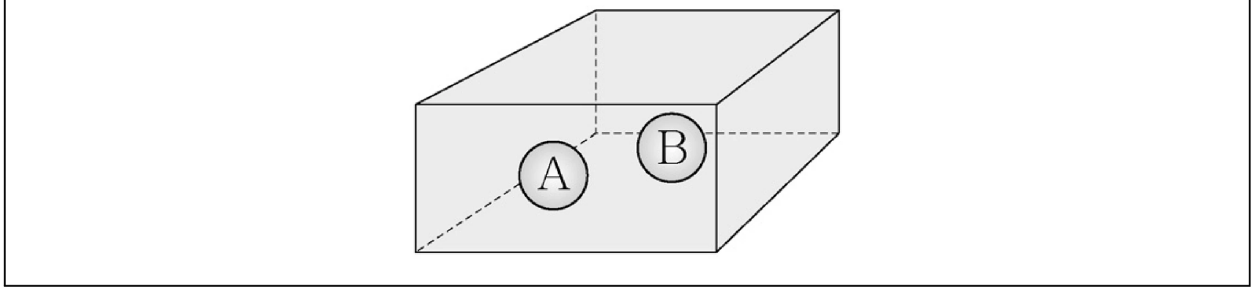
3 A 전류원 → 3 V 전압원: 오른쪽 망의 시계 방향 전류는 전류원 가지에서 아래쪽이지만, 주어진 3 A는 위쪽이다. 따라서 대응하는 절점전압은 −3 V이며, 3 V 전압원은 **위가 −, 아래가 +**가 된다.

이 대응을 모두 적용하면 왼쪽에 위쪽 방향의 5 A 전류원과 5 H 인덕터, 가운데에 4 F 커패시터, 오른쪽에 0.05 Ω 저항과 아래쪽이 +인 3 V 전압원이 놓인다. 이 구성은 ②의 회로와 일치한다.

NoteBase

문 4. <보기>와 같은 상자에 대전된 2개의 공이 들어있다. 해당 상자의 표면에서 $\oint\oint \vec{D} \cdot d\vec{S}$을 계산한 결과가 +10C이라고 한다. 2개 중 공 A는 대전된 전하량의 절댓값이 3C이고 극성은 모른다고 한다. 공 A와 공 B 사이에 인력이 발생한다면, 공 B의 전하량[C]은?

〈보기〉



① +7

② −7

③ −13

④ +13

정답 4번

간단한 해설

가우스 법칙에 따라 두 공의 전하량 합은 +10 C이다. 두 공이 서로 끌어당기려면 **전하의 부호가 반대**여야 하므로, 공 A는 −3 C이고 공 B는 +13 C이다.

계산 과정

두 공 A, B의 전하량을 각각 q_A, q_B라 하자. 전속밀도 $\vec{D}$에 대한 가우스 법칙에서, 바깥쪽을 양의 방향으로 잡은 폐곡면의 전속은 **내부 전하의 대수합**과 같다. 그림에서는 상자 안에 두 공이 있으므로 $q_A + q_B = +10\text{C}$이다. 이는 전하량의 절댓값을 더하는 것이 아니라 부호를 포함하여 더한다는 뜻이다.

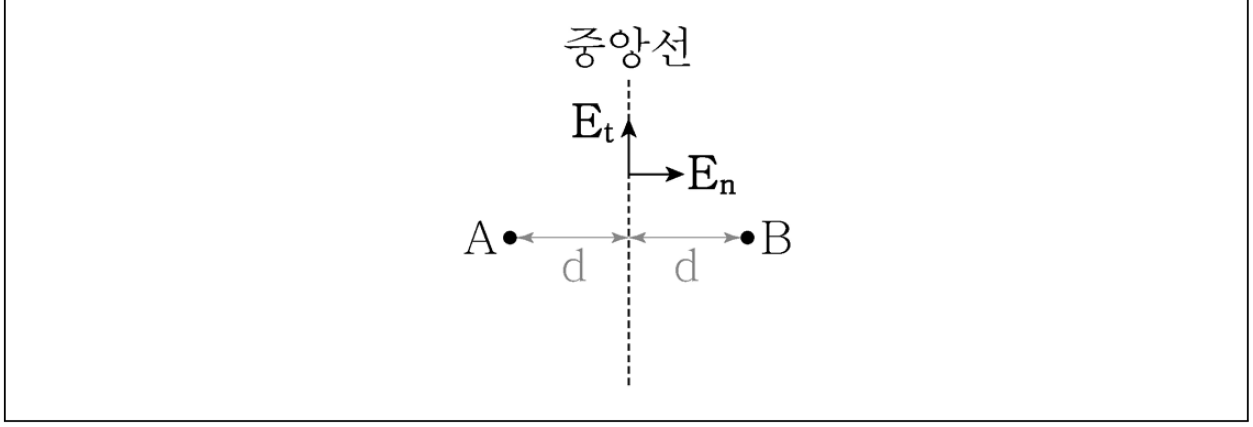
공 A의 전하량은 절댓값이 3 C이므로 +3 C 또는 −3 C이다. 만약 공 A가 +3 C라면 공 B는 10 − 3 = +7 C가 되어, 두 공의 부호가 같으므로 척력이 작용한다. 따라서 **인력이 작용한다는 조건**을 만족하려면 공 A는 −3 C이어야 한다.

$q_B = 10 - (-3) = +13\text{C}$이다. 공 A와 공 B의 전하량을 더하면 −3 + 13 = +10 C이고 부호도 서로 반대이므로 두 조건을 모두 만족한다. 공 B의 전하량 +13 C는 ④에 해당한다.

NoteBase

문 5. <보기>와 같이 A, B 2개의 지점에 점전하가 위치해 있다. A지점에 위치한 점전하의 전하량(+4C)만 알고 B지점에 위치한 점전하의 전하량은 모르고 있는 상태이다. 이때 A와 B 사이에, 두 지점으로부터의 거리가 같은 중앙선에서 계측 장비를 통하여 중앙선에 수직한 전기장 성분 E□의 크기를 측정해본 결과, 중앙선의 모든 위치에서 0V/m의 값을 가진다는 사실을 확인하였다. 이와 같은 상황일 때, B지점에 위치한 점전하의 전하량[C]은? (단, 공간에는 A, B 2개 지점의 점전하를 제외하고는 어떤 외부전하도 존재하지 않는다.)

〈보기〉



① +2

② +4

③ 0

④ −4

정답 2번

간단한 해설

중앙선에서는 두 전하까지의 거리와 전기장 성분의 기하학적 조건이 같으므로, 수직 성분이 상쇄되려면 두 전하의 **부호와 크기가 모두 같아야 한다**. 따라서 B의 전하량도 +4 C이다.

NoteBase

공통 해설

그림의 중앙선은 선분 AB의 수직이등분선이며, 측정한 성분 E_n은 중앙선에 수직한 가로 방향 성분이다. 중앙선의 어느 점에서나 A와 B까지의 거리가 같고, 두 전기장이 가로 방향과 이루는 각도의 크기도 같다. 따라서 두 전기장의 가로 성분 크기는 각각의 전하량 크기에 비례한다.

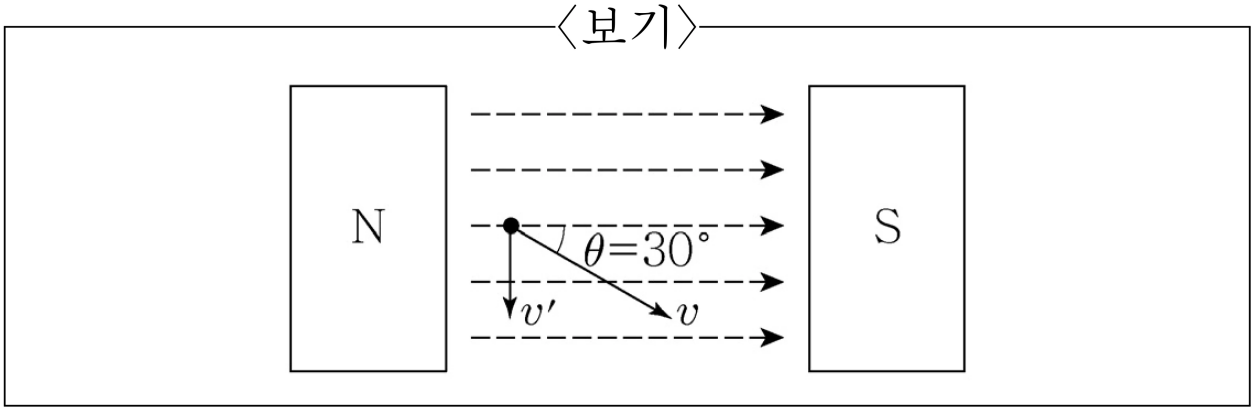
점전하의 전기장은 양전하에서 멀어지는 방향, 음전하를 향하는 방향이다. A는 양전하이므로 중앙선에서 A가 만드는 가로 성분은 오른쪽을 향한다. 이를 상쇄하려면 B가 만드는 가로 성분은 왼쪽을 향해야 하므로 B도 양전하이어야 한다. B가 음전하이면 두 가로 성분이 오른쪽으로 더해진다.

외부전하가 없으므로 두 성분만으로 측정값이 결정된다. 이들이 모든 위치에서 상쇄되려면 **같은 부호이면서 전하량의 크기도 같아야 한다**. 크기가 다르거나 B의 전하량이 0이면 A가 만드는 성분을 완전히 상쇄할 수 없다. A의 전하량이 +4 C이므로 B의 전하량도 +4 C이다.

NoteBase

문 6. <보기>와 같이 자속밀도 2.4T인 자계 속에서 자계의 방향과 직각으로 놓여진 길이 50cm의 도체가 자계와 30° 방향으로 10m/s의 속도로 운동한다면 도체에 유도되는 기전력[V]은?

<보기>



① 4

② 5

③ 6

④ 7

정답 3번

간단한 해설

유도 기전력에는 **자계에 수직인 속도 성분**만 기여한다. 이 성분은 $10\sin 30^\circ = 5\text{m/s}$이므로, 유도 기전력은 $2.4 \times 0.5 \times 5 = 6\text{ V}$이다.

계산 과정

주어진 자속밀도는 B = 2.4 T, 도체 길이는 l = 50 cm = 0.5 m, 운동 속력은 v = 10 m/s이다. 도체는 자계와 직각으로 놓여 있고, 그림에서 속도 v와 오른쪽을 향하는 자계 사이의 각은 30°이다.

그림의 아래쪽 화살표 v′는 **자계에 수직인 속도 성분**이다. 자계와 나란한 운동 성분은 유도 기전력에 기여하지 않으므로, $v' = v\sin 30^\circ$를 사용한다. 따라서 $v' = 10\sin 30^\circ = 5\text{m/s}$이다.

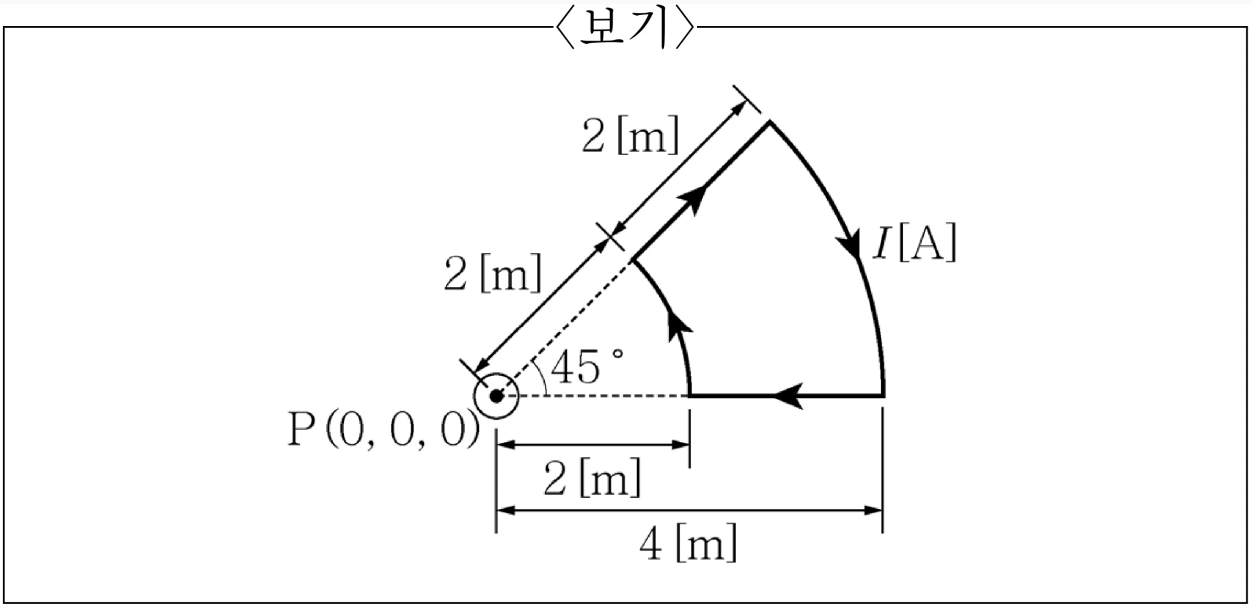
도체가 자계를 가로질러 움직이면 내부 전하가 자기력을 받아 양 끝에 분리되면서 기전력이 생긴다. 그림처럼 도체가 자계와 수직 속도 성분 모두에 직각인 경우, 유도 기전력의 크기는 $e = Blv'$이다. 미터로 환산한 도체 길이와 수직 속도 성분을 대입하면 $e = 2.4 \times 0.5 \times 5 = 6\text{ V}$이다.

유도 기전력은 6 V로, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. <보기>에서 점 $P(0, 0, 0)$에서의 자계의 크기가 0.5A/m가 되게 하는 부채꼴 도선에 흐르는 전류 I의 값 [A]은? (단, 점 P에서 자계의 방향은 지면 앞이다.)

〈보기〉



① 8

② 16

③ 32

④ 64

정답 3번

간단한 해설

두 직선 도선은 P에서 자계를 만들지 않고, 안쪽·바깥쪽 원호의 자계는 **서로 반대 방향**이다. 지면 앞 방향을 양으로 잡으면 합성 자계는 $H = \frac{I}{64}$A/m이므로, 0.5 A/m를 만드는 전류는 32 A이다.

NoteBase

계산 과정

도선의 모양: 두 원호의 중심은 P이고, 안쪽 반지름은 2 m, 바깥쪽 반지름은 4 m이다. 두 원호의 중심각은 모두 $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$rad이다.

직선 부분: 두 직선 도선은 P를 지나는 반지름 방향에 놓여 있다. 전류 요소와 그 요소에서 P로 향하는 벡터가 평행하므로, 비오·사바르 법칙의 외적이 0이다. 따라서 **두 직선 부분의 자계 기여는 0**이다.

원호 부분의 자계: 반지름 R, 중심각 θ인 원호가 중심에 만드는 자계의 크기는 H_원호=(Iθ)/(4π R)이다. 원호에서는 전류 요소와 중심을 향하는 방향이 수직이고 중심까지의 거리가 일정하므로, 비오·사바르 법칙을 원호 전체에 적용하면 이 식을 얻는다. 여기서 중심각은 라디안으로 넣는다. 안쪽 원호는 H_안=(I)/(32) A/m, 바깥쪽 원호는 H_밖=(I)/(64) A/m의 자계를 만든다.

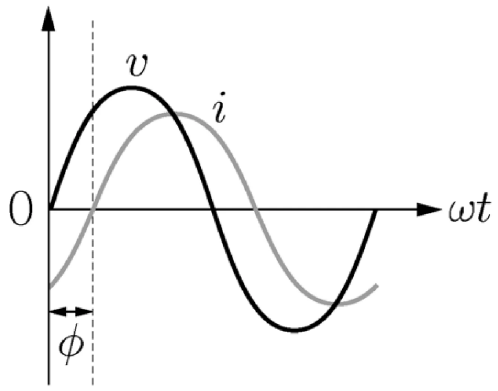
자계의 합성: 그림의 화살표를 따라 안쪽 원호에는 반시계 방향, 바깥쪽 원호에는 시계 방향으로 전류가 흐른다. 오른손 법칙에 따라 안쪽 자계는 지면 앞, 바깥쪽 자계는 지면 뒤를 향하므로 **두 자계의 크기를 빼야 한다**. 지면 앞 방향을 양으로 잡으면 $H = \frac{I}{32} - \frac{I}{64} = \frac{I}{64}$A/m이다.

전류 계산: 주어진 자계 0.5 A/m를 대입하면 $\frac{I}{64} = 0.5$이므로 $I = 64 \cdot 0.5 = 32$A이다. 양의 전류이므로 그림의 전류 방향에서 합성 자계가 지면 앞을 향한다는 조건도 만족한다. 구한 32 A는 ③의 값과 일치한다.

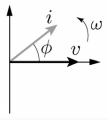
NoteBase

문 8. 〈보기〉와 같이 시간영역으로 표현된 정현파 전압, 전류 파형이 있다. 이 전압, 전류를 페이저 영역으로 변환할 때 가장 적절히 변환된 페이저 영역 표현과 페이저도는? (단, 회전방향은 ω이며, 페이저도의 x축은 실수축, y축은 허수축이고, 페이저 영역 표현에서 전압과 전류의 크기는 각각 V_m, I_m으로 표현한다.)

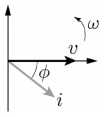
〈보기〉



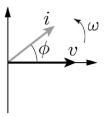
① 페이저 영역 표현 $V_m\angle 0°$, $I_m\angle\phi$ — 페이저도 표현



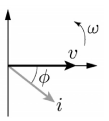
② 페이저 영역 표현 $V_m\angle 0°$, $I_m\angle(-\phi)$ — 페이저도 표현



③ 페이저 영역 표현 $V_m\angle 0°$, $I_m\angle(-\phi)$ — 페이저도 표현



④ 페이저 영역 표현 $V_m\angle 0°$, $I_m\angle\phi$ — 페이저도 표현



정답 2번

간단한 해설

전류 파형은 전압보다 오른쪽으로 ϕ만큼 이동해 있으므로 **전류가 전압보다 늦다**. 전압의 위상을 0°로 잡으면 전류의 위상은 $-\phi$이며, 반시계 회전하는 페이저도에서는 전류를 전압보다 아래쪽에 그린다.

NoteBase

공통 해설

같은 각주파수의 정현파를 페이저로 나타내면 공통 시간 변화는 생략하고 크기와 위상을 표시한다. 전압을 기준으로 삼으면 전압의 위상은 0°이고, 전류의 위상은 전압에 대한 상대적인 앞섬·늦음으로 정한다. 이 문제에서는 크기를 각각 V_m, I_m으로 표시하므로 실효값으로 바꾸지 않는다.

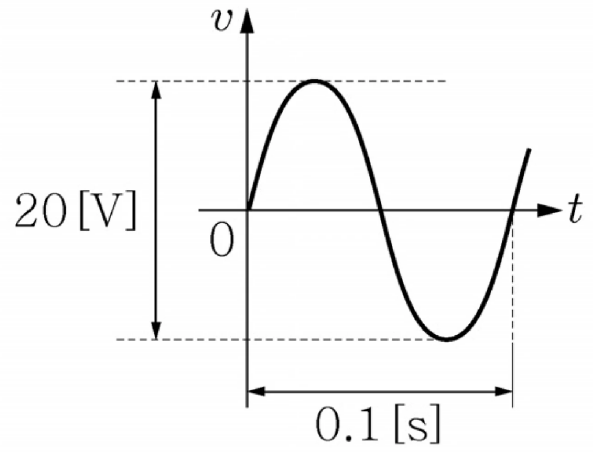
〈보기〉에서 전압은 원점에서 양의 방향으로 증가하지만, 전류가 같은 방향으로 0을 통과하는 지점은 가로축에서 ϕ만큼 오른쪽에 있다. 따라서 전류는 전압보다 ϕ만큼 늦는다. 이를 사인파로 쓰면 $v(t) = V_m \sin(\omega t)$, $i(t) = I_m \sin(\omega t - \phi)$이다. 전압 기준 페이저는 $V_m \angle 0^\circ$, 전류 페이저는 $I_m \angle(-\phi)$로 나타낸다.

페이저도의 양의 각도는 주어진 반시계 회전방향을 따른다. 따라서 **늦는 전류의 음의 위상각**은 양의 실수축에서 시계 방향으로 ϕ만큼 내려간 위치에 표시한다. 전류를 위쪽에 그리면 전압보다 앞서는 관계가 되며, 아래쪽에 그리더라도 각도를 $+\phi$로 쓰면 식과 그림이 일치하지 않는다. 전류의 식과 화살표가 모두 이 늦음 관계를 나타내야 한다.

NoteBase

문 9. <보기>의 교류 전압 파형에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

〈보기〉



① 평균값은 $\frac{20}{\pi}$ [V]이다.

② 파형의 주파수는 10 [Hz]이다.

③ 실효값은 $\frac{10}{\sqrt{2}}$ [V]이다.

④ 최댓값은 20 [V]이다.

정답 4번

간단한 해설

그림의 20 V는 양의 꼭대기부터 음의 바닥까지의 **첨두 간 전압**이다. 0 V를 기준으로 대칭인 정현파이므로 **최댓값은 10 V**이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 그림의 20 V는 최댓값과 최솟값의 차이이므로 최댓값 V_m은 10 V이다. 정현파 교류에서 이 문항의 평균값은 **양의 반주기 평균값**으로, 그 구간의 파형 면적을 반주기 길이로 나눈 값이다. 따라서 $V_{\text{av}} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{20}{\pi}\text{V}$ 이다. 부호를 포함하여 한 주기 전체를 평균하면 양·음의 면적이 상쇄되어 0 V가 된다는 점과 구별한다.

② O: 0 V에서 증가하기 시작한 파형이 다음에 같은 방향으로 0 V를 지날 때까지가 **한 주기**이며, 그림에서 그 시간은 0.1 s이다. 주파수는 1초 동안 반복하는 횟수이므로 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.1} = 10\text{Hz}$이다.

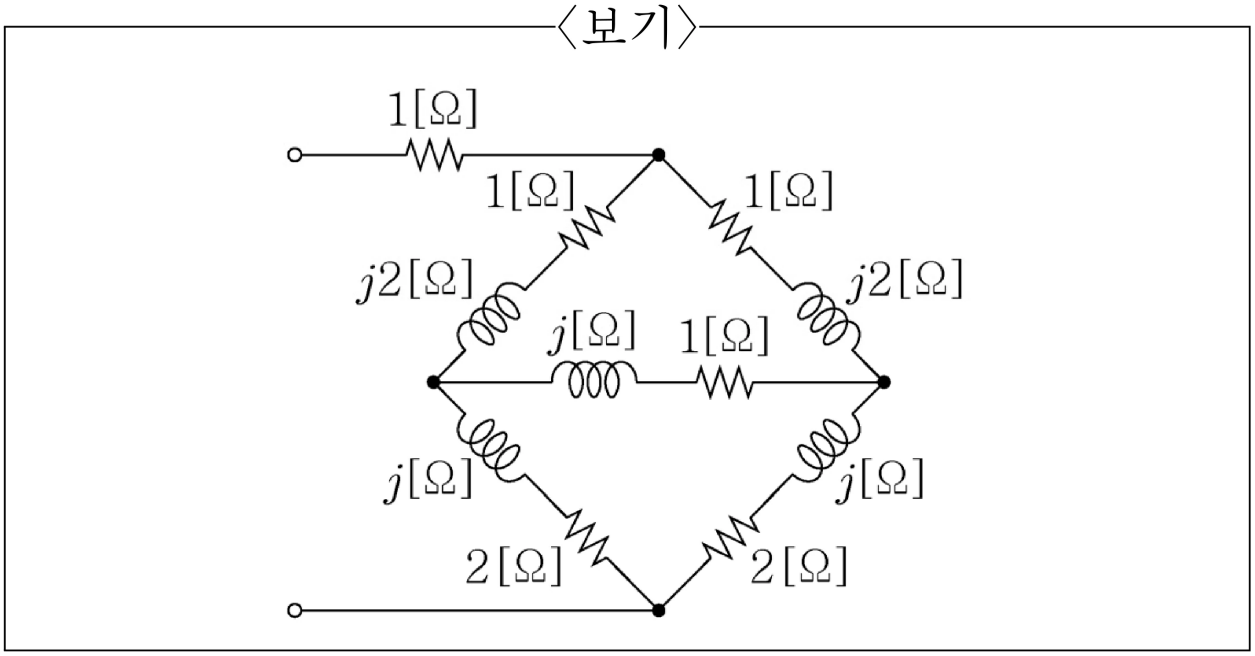
③ O: 실효값은 같은 저항에서 교류와 동일한 평균 전력을 내는 직류 전압의 크기이다. 전력은 전압의 제곱에 비례하므로 전압을 **제곱하여 평균한 뒤 제곱근**을 취한다. 정현파에서는 제곱의 한 주기 평균이 최댓값 제곱의 절반이므로 $V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}}\text{V}$이다.

④ X: 최댓값은 0 V 기준선에서 양의 꼭대기까지의 전압이다. 그림의 20 V는 양의 꼭대기와 음의 바닥 사이의 첨두 간 전압이며, 대칭 정현파에서는 최댓값의 두 배이다. 따라서 '최댓값은 20 V'는 **'최댓값은 10 V'**로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 10. <보기>와 같은 회로의 합성 임피던스[Ω]는?

<보기>



① $2.5 + j$

② $1.5 + j1.5$

③ $2.5 + j1.5$

④ $1.5 + j$

정답 3번

간단한 해설

마름모 회로가 좌우 대칭이므로 중앙 가로 가지의 양 끝은 **같은 전위**이며, 이 가지에는 전류가 흐르지 않는다.
나머지 두 경로를 병렬 합성한 뒤 바깥의 1 Ω을 더하면 합성 임피던스는 $(2.5 + j1.5)\Omega$이다.

NoteBase

계산 과정

회로의 임피던스 확인: j는 허수 단위이다. 마름모의 왼쪽과 오른쪽 윗변은 각각 저항 1 Ω과 유도성 리액턴스 j2 Ω의 직렬 연결이므로 $(1+j2)\Omega$이다. 왼쪽과 오른쪽 아랫변은 각각 $(2+j)\Omega$이고, 중앙 가로 가지는 $(1+j)\Omega$이다.

중앙 가지의 전류: 좌우 윗변의 임피던스가 서로 같고 좌우 아랫변의 임피던스도 서로 같아, 좌우 경로의 전압 분배 비율이 같다. 따라서 중앙 가로 가지의 양 끝은 **같은 전위**가 되고 전류가 흐르지 않는다. 이 가지를 제외해도 입력 단자에서 본 합성 임피던스는 변하지 않는다.

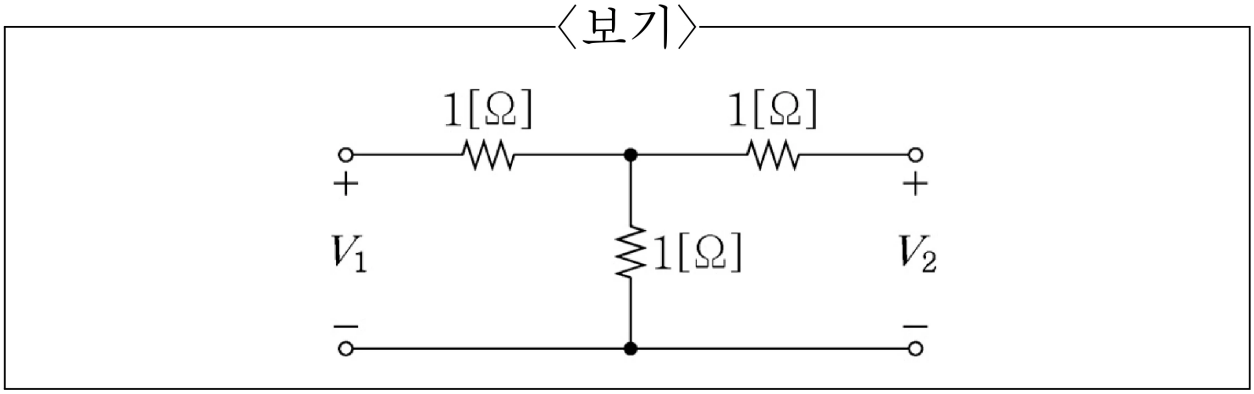
마름모 부분의 합성: 중앙 가지를 제외하면 왼쪽 경로와 오른쪽 경로가 병렬로 연결된다. 각 경로에서는 윗변과 아랫변이 직렬이므로 경로 하나의 임피던스는 $Z_0 = (1+j2)+(2+j) = 3+j3\ \Omega$이다. **같은 임피던스 두 개의 병렬 합성값은 하나의 절반**이므로, 마름모 부분의 임피던스는 $Z_{\mathrm{p}} = \frac{Z_0}{2} = 1.5+j1.5\ \Omega$이다.

전체 합성: 입력 쪽의 1 Ω 저항은 마름모 부분과 직렬이므로 더한다. 전체 임피던스는 $Z = 1+(1.5+j1.5) = 2.5+j1.5\ \Omega$이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. <보기>와 같은 4단자 회로망(two port network)의 Z 파라미터 중 Z_{22}의 값[Ω]은?

〈보기〉



① 0.5

② 1

③ 2

④ 3

정답 3번

간단한 해설

Z_{22}는 **1번 포트를 개방한 상태**에서 2번 포트로 본 임피던스이다. 왼쪽 1 Ω에는 전류가 흐르지 않고, 오른쪽 1 Ω과 중앙 1 Ω이 직렬로 연결되므로 2 Ω이다.

계산 과정

개방 조건: I_1과 I_2를 각 포트에서 회로망 안으로 들어가는 전류, V_2를 그림의 극성에 따른 2번 포트 전압이라 하자. Z_{22}는 $I_1 = 0$일 때의 전압·전류 비로, $Z_{22} = \frac{V_2}{I_2}\Big|_{I_1=0}$이다. 따라서 **1번 포트를 개방**하고 2번 포트에서 보이는 저항을 구한다.

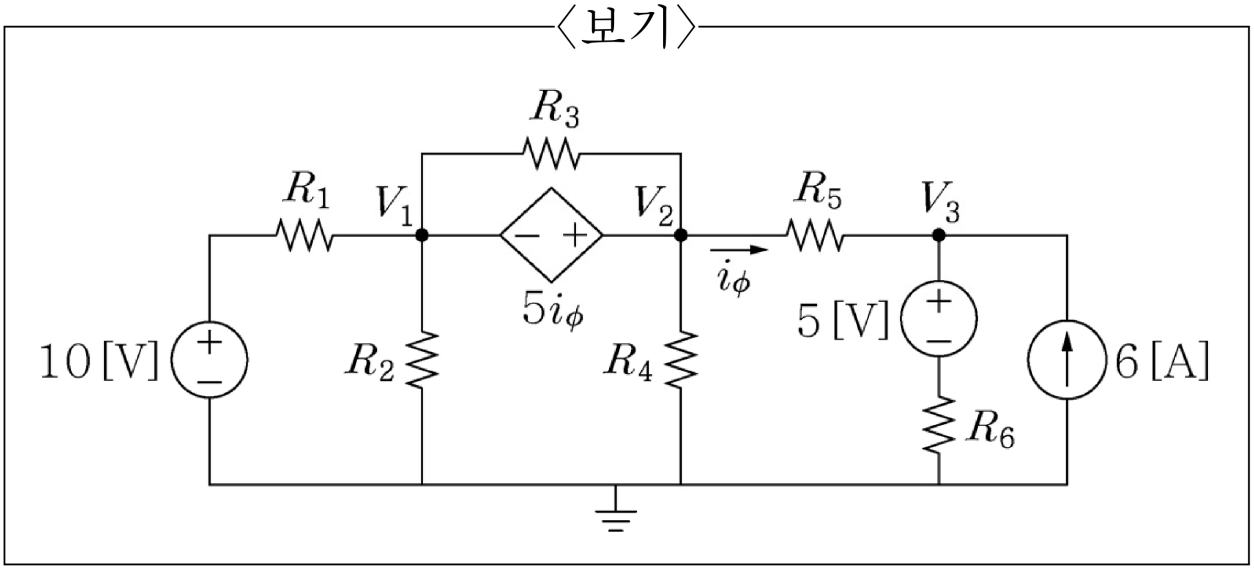
등가 회로: 1번 포트가 개방되면 왼쪽 1 Ω 저항에는 전류가 흐르지 않는다. 2번 포트로 들어온 전류 I_2는 오른쪽 1 Ω 저항을 지난 뒤 중앙의 세로 1 Ω 저항을 통해 아래쪽 공통 단자로 돌아간다. 두 저항에 **같은 전류가 흐르므로 직렬**로 계산한다.

값 계산: 두 저항의 합은 1 Ω + 1 Ω = 2 Ω이다. 따라서 $V_2 = (2\Omega)I_2$이고, $Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = 2\Omega$이다. 이는 ③의 2 Ω에 해당한다.

NoteBase

문 12. <보기>의 회로를 노드전압법(Node-Voltage Method)으로 회로해석할 때, 생성할 수 있는 식으로 가장 옳지 않은 것은?

〈보기〉



① $\frac{V_1-10}{R_1}+\frac{V_1}{R_2}+\frac{V_2}{R_4}+\frac{V_2-V_3}{R_5}=0$

② $\frac{V_3-V_2}{R_5}+\frac{V_3-5}{R_6}-6=0$

③ $R_5(V_2-V_1)=5(V_2-V_3)$

④ $\frac{V_1-V_2}{R_3}+5i_\phi-\frac{V_2}{R_4}+\frac{V_3-V_2}{R_5}=0$

정답 4번

간단한 해설

④의 $5i_\phi$는 종속전압원의 **전압값**이므로 노드의 전류 합에 그대로 넣을 수 없다. 전압원을 흐르는 전류는 별도의 미지수로 두거나, 두 노드를 묶은 슈퍼노드에 전류법칙을 적용해야 한다.

NoteBase

선지별 해설

아래쪽 접지선을 기준전위 0 V로 둔다. 저항을 통해 한 노드에서 다른 노드로 흐르는 전류는 두 노드의 전위차를 저항으로 나눈 값이다. 키르히호프 전류법칙(KCL)을 적용할 때는 유출·유입 전류의 부호를 일관되게 정한다.

① O: V_1과 V_2 사이에 전압원이 있으므로 두 노드를 하나의 **슈퍼노드**로 묶는다. 슈퍼노드 바깥으로 나가는 전류는 왼쪽 가지의 $\frac{V_1 - 10}{R_1}$, 접지로 향하는 두 가지의 $\frac{V_1}{R_2}$와 $\frac{V_2}{R_4}$, 오른쪽 가지의 $\frac{V_2 - V_3}{R_5}$이다. 이 네 전류의 대수합을 0으로 놓으면 선지의 식이 된다. R_3와 종속전압원은 슈퍼노드 내부에 있으므로 그 전류는 외부로 나가는 전류의 합에 포함하지 않는다.

② O: V_3에서 V_2로 나가는 전류는 $\frac{V_3 - V_2}{R_5}$이다. 5 V 전압원은 위쪽이 양극이므로, 그 아래쪽인 R_6의 위 단자 전위는 $V_3 - 5$이다. 따라서 이 가지를 따라 접지로 나가는 전류는 $\frac{V_3 - 5}{R_6}$이다. 오른쪽 6 A 전류원은 **노드로 유입되는 방향**이므로, 유출 전류를 양으로 잡은 식에서는 −6으로 들어간다. 이를 합하면 선지의 식이 된다.

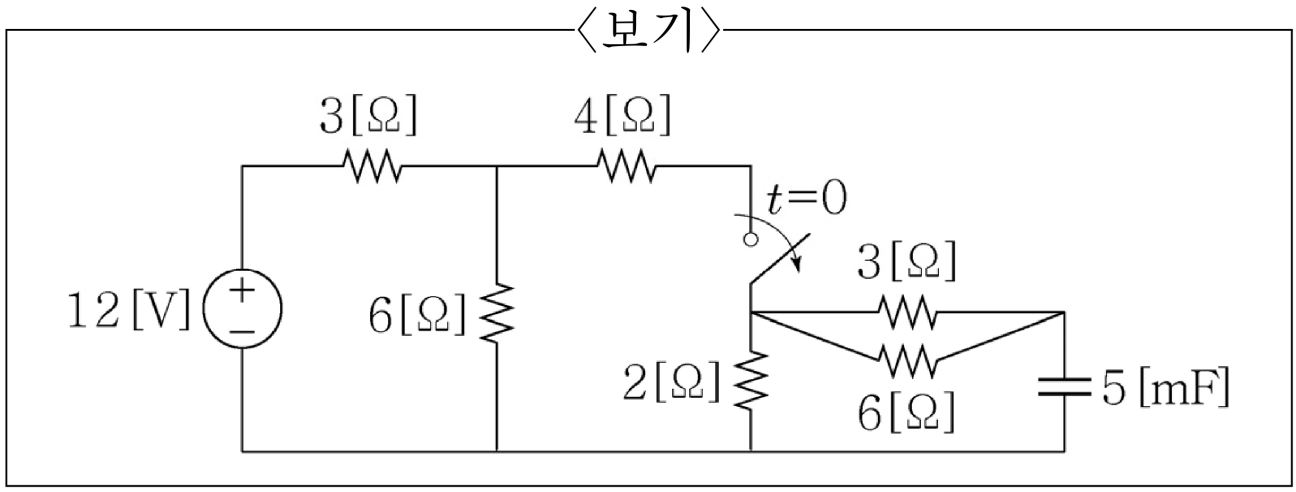
③ O: 종속전압원은 V_2 쪽이 양극, V_1 쪽이 음극이므로 **양극 전위에서 음극 전위를 뺀 값**이 전압원 값과 같다. 즉 $V_2 - V_1 = 5i_\phi$이다. 제어전류는 그림의 화살표처럼 R_5를 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르므로 $i_\phi = \frac{V_2 - V_3}{R_5}$이다. 이를 대입하고 양변에 R_5를 곱하면 $R_5(V_2 - V_1) = 5(V_2 - V_3)$가 된다.

④ X: $5i_\phi$는 전류로 제어되는 **종속전압원의 전압값**이며, 그 전압원을 통과하는 전류가 아니다. 따라서 다른 전류 항들과 더할 수 없다. 전압원을 통해 V_1에서 V_2로 흐르는 전류를 I_s로 따로 두면, V_2의 전류법칙은 $\frac{V_1 - V_2}{R_3} + I_s + \frac{V_3 - V_2}{R_5} = \frac{V_2}{R_4}$이다. 왼쪽은 유입 방향으로 잡은 전류들의 합이고, 오른쪽은 접지로 나가는 전류이다. 선지의 $5i_\phi$ 항은 이 미지 전류 I_s로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 13. <보기>의 회로에서 스위치가 $t = 0$인 시점에 개방이 된다고 가정한다. $t = 20$ms가 될 때 커패시터의 전압값[V]은? (단, $e^{-1} = 0.37$, $e^{-2} = 0.14$, $e^{-3} = 0.05$로 한다.)

〈보기〉



① 0.10

② 0.28

③ 0.74

④ 1.18

정답 3번

간단한 해설

스위치 개방 직전 커패시터 전압은 2 V이고, 개방 후에는 **시정수 20 ms인 방전**이 일어난다. 20 ms는 시정수 한 번에 해당하므로 전압은 $2e^{-1} = 0.74$V가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 초기 전압: 개방 전에는 스위치가 닫힌 채 직류 정상상태에 있었다고 본다. 이때 커패시터는 개방회로처럼 작용하므로 오른쪽의 병렬 3 Ω·6 Ω 저항에는 전류가 흐르지 않으며, 커패시터 위쪽 단자의 전위는 2 Ω 저항 위쪽의 전위와 같다. 전원 쪽에서는 세로 6 Ω과 직렬로 연결된 4 Ω + 2 Ω이 병렬이므로 그 합성저항은 3 Ω이다. 왼쪽 3 Ω과 전압이 반씩 나뉘어 가운데 위쪽 접점의 전압은 6 V가 된다. 따라서 $v_C(0^-) = 6 \cdot \frac{2}{4+2} = 2\text{V}$이다. 여기서 커패시터 전압은 아래쪽 단자를 기준으로 한 위쪽 단자의 전압이다. **커패시터 전압은 순간적으로 변하지 않으므로** $v_C(0^+) = 2\text{V}$이다.

2. 개방 후 시정수: 스위치가 열리면 전원과 왼쪽 회로가 방전 경로에서 분리된다. 커패시터는 오른쪽의 병렬 3 Ω·6 Ω 저항을 지난 뒤 세로 2 Ω 저항을 거쳐 방전한다. 따라서 커패시터가 보는 저항은 $R = \frac{3 \cdot 6}{3+6} + 2 = 4\Omega$이다. 용량은 5 mF = 0.005 F이므로 시정수는 $\tau = RC = 4 \cdot 0.005 = 0.020\text{s}$, 즉 20 ms이다. 시정수는 방전 전압이 처음 값의 약 0.37배로 줄어드는 데 걸리는 시간이다.

3. 20 ms 후 전압: 개방 후에는 전원이 없는 RC 회로이므로 최종 전압은 0 V이고, 방전 전압은 $v_C(t) = v_C(0^+)e^{-t/\tau}$로 감소한다. 20 ms에서는 $t/\tau = 1$이므로 $v_C(20\text{ms}) = 2e^{-1}\text{V}$이다. 주어진 근삿값을 적용하면 $2 \times 0.37 = 0.74$ V이며, 이는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 인덕턴스가 각각 $L_1 = \frac{160}{3}$ mH, $L_2 = \frac{15}{2}$ mH인 두 개의 코일이 직렬 연결되어 있다. 자속을 강화시키는 경우와 자속을 감소시키는 경우로 직렬 연결할 때, 결합계수를 0.6으로 가정하면 각각의 연결에 대한 총 인덕턴스[mH]의 근삿값은?

① 자속을 강화시키는 경우: 84.8, 자속을 감소시키는 경우: 36.8

② 자속을 강화시키는 경우: 78.4, 자속을 감소시키는 경우: 30.4

③ 자속을 강화시키는 경우: 90.2, 자속을 감소시키는 경우: 42.2

④ 자속을 강화시키는 경우: 67.6, 자속을 감소시키는 경우: 19.6

정답 1번

간단한 해설

상호 인덕턴스는 12 mH이며, 직렬 연결에서는 두 코일의 상호 유도 효과가 합쳐져 **자속 강화 시 24 mH를 더하고, 자속 감소 시 24 mH를 뺀다**. 따라서 총 인덕턴스는 각각 약 84.8 mH, 36.8 mH이다.

계산 과정

상호 인덕턴스 계산: 상호 인덕턴스 M은 한 코일의 전류 변화가 다른 코일에 유도 전압을 만드는 정도를 나타낸다. 결합계수 k = 0.6이므로 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$를 적용한다. 두 자기 인덕턴스의 곱은 $L_1 L_2 = \frac{160}{3} \cdot \frac{15}{2} = 400\ \text{mH}^2$이고, $M = 0.6\sqrt{400} = 12$ mH이다. 두 인덕턴스를 모두 mH로 사용했으므로 M도 mH로 얻어진다.

직렬 연결의 관계식: 두 코일에 같은 전류가 흐르고, 각 코일의 전압에 상호 유도에 의한 항이 하나씩 포함된다. 따라서 총 인덕턴스는 $L = L_1 + L_2 \pm 2M$이며, 상호 유도에 따른 증감량은 **M이 아니라 2M**이다. 자기 인덕턴스의 합은 $L_1 + L_2 = \frac{365}{6}$ mH이고, 2M = 24 mH이다.

자속을 강화시키는 경우: 두 코일의 자속이 서로 돕는 방향이므로 상호 유도 항을 더한다.
$L_+ = \frac{365}{6} + 24 \approx 84.8$ mH이다.

자속을 감소시키는 경우: 두 코일의 자속이 서로 반대 방향으로 작용하므로 상호 유도 항을 뺀다.
$L_- = \frac{365}{6} - 24 \approx 36.8$ mH이다.

자속 강화 시 84.8 mH, 자속 감소 시 36.8 mH의 조합은 ①과 일치한다.

NoteBase

문 15. 임의의 평면을 둘러싼 폐곡선에 대해서 벡터자위(vector magnetic potential)를 선적분하였을 때 얻어지는 물리량으로 가장 옳은 것은?

① 전류

② 자계

③ 자속밀도

④ 자속

정답 4번

간단한 해설

벡터자위의 폐곡선 선적분은 스토크스 정리에 따라 그 폐곡선이 둘러싼 면을 통과하는 **자속**과 같다. 벡터자위의 회전이 자속밀도이므로, 이를 면적분한 양이 얻어진다.

핵심 풀이

벡터자위 $\mathbf{A}$는 그 회전이 자속밀도 $\mathbf{B}$가 되는 벡터량으로, $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$의 관계를 만족한다.

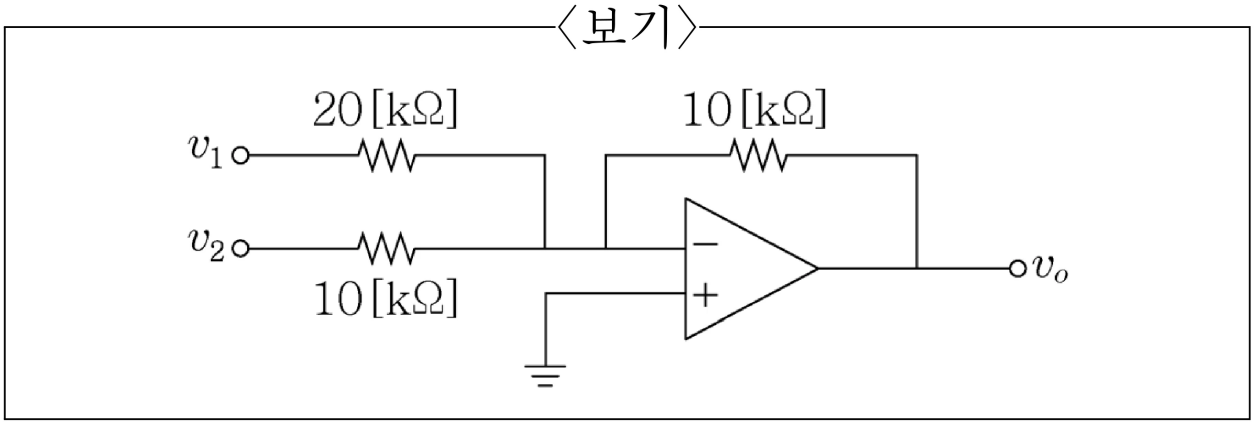
평면 영역을 S, 그 경계인 폐곡선을 C라 하면 스토크스 정리에 의해 $\oint_C \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$이다. 이때 폐곡선의 진행 방향과 면의 법선 방향은 오른손 법칙으로 맞춘다. 우변은 면 S를 통과하는 **자속** Φ의 정의이므로, 구하는 물리량은 ④의 자속이며 단위는 Wb이다. **자속밀도는 한 점에서의 양**이고, 자속은 그 자속밀도의 면에 수직인 성분을 면 전체에 걸쳐 적분한 양이라는 차이가 있다.

전류와 연결되는 관계는 정자계에서 **자계 H의 폐곡선 선적분**이 그 폐곡선이 둘러싼 전류와 같다는 암페어 법칙이다. 이 문항은 자계가 아니라 벡터자위를 선적분하므로 그 관계와 구별해야 한다.

NoteBase

문 16. <보기>는 이상적인 연산증폭기를 사용하는 회로이다. 두 입력 v_1, v_2를 인가할 때, 출력전압 v_o는?

〈보기〉



① $-0.5v_1 - 0.5v_2$

② $-v_1 - 0.5v_2$

③ $-2v_1 - v_2$

④ $-0.5v_1 - v_2$

정답 4번

간단한 해설

이 회로는 두 입력을 저항비에 따라 반전하여 더하는 **반전 가산기**이다. 각 입력의 전압 이득은 피드백 저항과 입력 저항의 비에 음의 부호를 붙인 값이므로, 출력전압은 $v_o = -0.5v_1 - v_2$이다.

NoteBase

계산 과정

회로 조건: 입력 v_1 쪽 저항은 $R_1 = 20\text{k}\Omega$, 입력 v_2 쪽 저항은 $R_2 = 10\text{k}\Omega$, 출력에서 반전 입력으로 연결된 피드백 저항은 $R_f = 10\text{k}\Omega$이다. 비반전 입력이 접지되어 있고 음의 피드백이 걸린 이상적인 연산증폭기이므로, 반전 입력의 전위도 0 V인 **가상 접지**가 된다. 연산증폭기의 두 입력 단자로 흐르는 전류는 0이다.

전류 관계: 각 입력에서 반전 입력 노드로 흐르는 전류를 i_1, i_2, 그 노드에서 출력 쪽으로 흐르는 피드백 전류를 i_f라 하자. 옴의 법칙에 따라 $i_1 = \frac{v_1}{R_1}$, $i_2 = \frac{v_2}{R_2}$, $i_f = \frac{-v_o}{R_f}$이다. 연산증폭기 입력으로 전류가 빠져나가지 않으므로 **두 입력 전류의 합이 피드백 전류**가 된다. 따라서 $i_1 + i_2 = i_f$를 정리하면 $v_o = -R_f\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}\right)$이다.

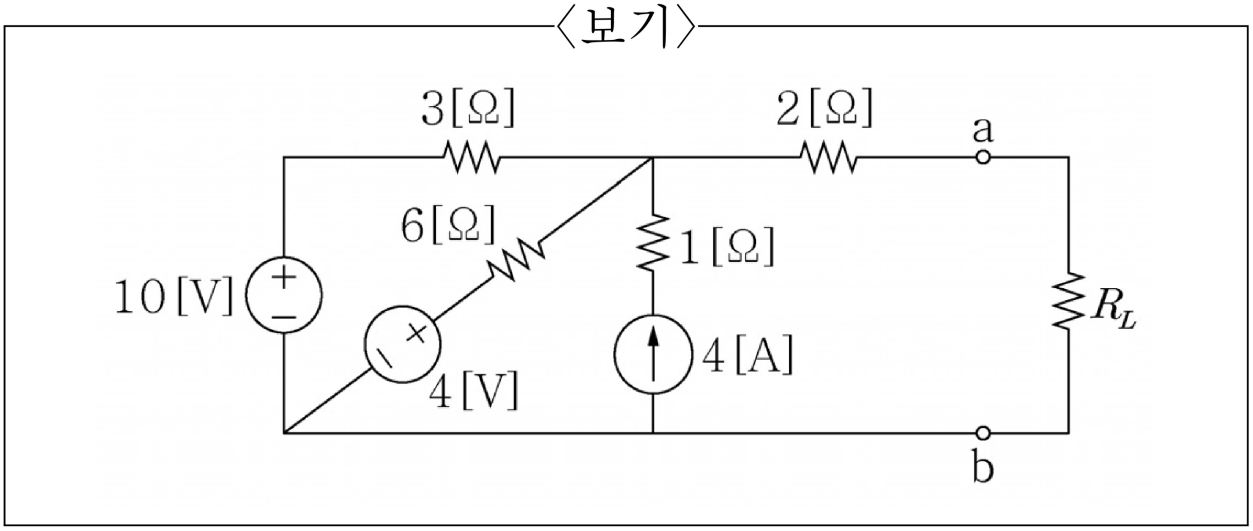
입력별 이득: v_1에 곱해지는 계수는 $-\frac{R_f}{R_1} = -\frac{10}{20} = -0.5$이고, v_2에 곱해지는 계수는 $-\frac{R_f}{R_2} = -\frac{10}{10} = -1$이다. 저항비이므로 이득에는 단위가 없으며, 음의 부호는 각 입력의 기여분이 반전됨을 뜻한다.

출력전압: 두 입력의 기여분을 더하면 $v_o = -0.5v_1 - v_2$이며, 이는 ④의 식과 일치한다. 입력전압을 V 단위로 넣으면 출력전압도 V 단위이다.

NoteBase

문 17. <보기>와 같은 회로의 a-b단자에 최대전력이 전달되도록 저항 R_L을 연결하였다고 가정할 때 저항 R_L에서 소비되는 전력[W]은?

〈보기〉



① 16

② 20

③ 24

④ 32

정답 1번

간단한 해설

부하저항이 **테브난 등가저항과 같을 때** 최대전력이 전달된다. 이 회로의 등가전압은 16 V, 등가저항은 4 Ω이므로 부하에서 소비되는 최대전력은 16 W이다.

NoteBase

계산 과정

1. 테브난 등가전압: 부하저항 R_L을 분리하고 b단자를 0 V로 둔다. 3 Ω, 6 Ω, 1 Ω, 2 Ω이 만나는 위쪽 접점의 전압을 V라 하면, 왼쪽 10 V 전원 위쪽은 10 V이고 대각선 4 V 전원의 +단자는 4 V이다. 부하를 분리한 상태에서는 2 Ω에 전류가 흐르지 않으므로 a단자 전압도 V이다. 또한 1 Ω과 직렬인 전류원이 접점으로 **4 A를 공급**한다. 접점에서 나가는 전류의 합을 이 유입 전류와 같게 두면 $\frac{V-10}{3}+\frac{V-4}{6}=4$이다. 양변에 6을 곱하면 $2(V-10)+(V-4)=24$이므로 $V=16$ V이다. 따라서 개방된 a-b단자의 전압인 테브난 등가전압은 $V_{\text{th}}=16$ V이다.

2. 테브난 등가저항: 부하를 분리한 채 독립전원을 0으로 만든다. 이상적인 **전압원은 단락하고 전류원은 개방**한다. 4 A 전류원이 개방되면 직렬인 1 Ω 가지에는 전류가 흐르지 않으므로 등가저항에 기여하지 않는다. a-b단자에서 보면 3 Ω과 6 Ω이 병렬이고, 이 병렬저항과 2 Ω이 직렬이다. 병렬저항은 $\frac{3\cdot 6}{3+6}=2\Omega$이므로 $R_{\text{th}}=2+2=4\Omega$이다.

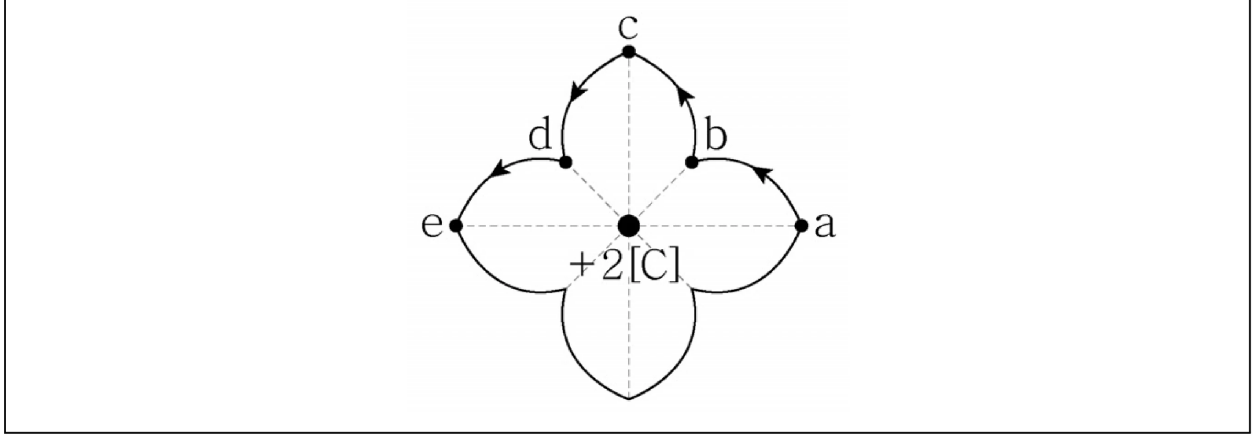
3. 최대전력 조건: 저항성 부하를 연결한 테브난 등가회로에서는 $R_L=R_{\text{th}}$일 때 부하전력이 최대가 된다. 따라서 $R_L=4\Omega$으로 연결한다. 이때 등가저항과 부하저항이 같아 **등가전압이 절반씩 분배**되므로 부하전압은 $V_L=\frac{16}{2}=8$ V이다.

4. 부하 소비전력: 저항의 소비전력 관계 $P_L=\frac{V_L^2}{R_L}$를 적용하면 $P_L=\frac{8^2}{4}=16$ W이다. 이는 ①의 16 W에 해당한다.

NoteBase

문 18. <보기>에서 원점에 위치한 +2C의 점전하가 있다. 주변 공간에 <보기>와 같은 경로를 따라서 −0.5C의 점전하를 a점에서 b점으로 이동시킬 때, 50J의 에너지가 발생한다면, b점에서 c점을 지나 d점으로 +0.5C의 점전하를 이동시킬 때 발생 혹은 입력되는 에너지[J]는? (단, +에너지는 에너지의 발생을, −에너지는 에너지의 입력을 의미하며, 각 지점 및 지점 간 경로는 <보기>의 점선으로 표시된 축을 기준으로 대칭적이다. 더불어서 해당 공간에 자기장은 존재하지 않는다.)

〈보기〉



① 0

② −50

③ +50

④ −100

정답 1번

간단한 해설

b점과 d점은 원점에서 같은 거리에 있어 **전위가 같다**. 정전기장이 하는 일은 이동 경로가 아니라 두 끝점의 전위차로 정해지므로, c점을 거쳐도 순발생 에너지는 0 J이다.

NoteBase

공통 해설

고정된 점전하가 만드는 정전기장에서 전위는 그 전하로부터의 거리에 의해서만 정해진다. 그림에서 b점과 d점은 원점을 지나는 세로 점선에 대해 대칭이므로 원점의 +2 C 전하로부터의 거리가 같다. 따라서 두 점은 **같은 전위**에 있으며, $V_b = V_d$이다.

문제의 부호 기준에서 발생 에너지는 전기장이 이동 전하에 하는 일이다. 정전기력은 보존력이므로 그 일은 **시작점과 끝점의 전위차**에 의해서만 정해진다. 이동 전하를 q라 하면 $W = q(V_b - V_d)$이고, 전위차가 0이므로 +0.5 C의 전하를 b점에서 d점으로 이동시킬 때의 일도 0 J이다. c점을 거치는 동안 구간별로 에너지가 발생하거나 입력되더라도 전체 이동에서는 서로 상쇄된다.

a점에서 b점으로 −0.5 C의 전하를 옮길 때 발생한 50 J는 a점과 b점 사이의 전위차에 관한 정보이다. b점과 d점 사이의 전위차는 대칭성만으로 0임을 알 수 있으므로 이 수치를 이용할 필요가 없다. 따라서 묻는 순에너지는 발생과 입력 어느 쪽으로도 치우치지 않는 0 J이다.

NoteBase

문 19. 평균 둘레 길이가 1m인 환상 원형 철심에 권선을 100회 감고 1A의 전류를 인가했을 때, 철심 내 자속 밀도가 0.04π Wb/m^{2}가 되게 하는 철심의 비투자율은? (단, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m이며, 누설 자속은 없다.)

① 1000

② 2500

③ 5000

④ 10000

정답 1번

간단한 해설

환상 철심의 자계의 세기는 $H = \frac{NI}{l}$로 구하면 100 A/m이다. 자속 밀도 관계 $B = \mu_0\mu_r H$에 주어진 값을 대입하면 **비투자율은 1000**이다.

계산 과정

자계의 세기: 평균 자기 경로 길이는 l = 1 m, 권수는 N = 100회, 전류는 I = 1 A이다. 누설 자속이 없는 환상 철심을 평균 자기 경로로 다루면 암페어의 주회 법칙에 따라 $Hl = NI$이다. 따라서 $H = \frac{100 \cdot 1}{1} = 100$ A/m이다. 이는 권선에 흐르는 전류가 철심 내부에 만드는 자계의 세기이다.

비투자율의 관계: 철심의 투자율을 μ, 자유공간의 투자율을 μ_0라 하면, 비투자율은 **자유공간의 투자율에 대한 철심 투자율의 비**인 $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$이다. 자속 밀도와 자계의 세기는 $B = \mu H = \mu_0\mu_r H$의 관계이므로, 구하려는 값은 $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$이다.

수치 대입: 자속 밀도는 $B = 0.04\pi$ Wb/m^{2}이고, 자유공간의 투자율은 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m이다. 앞서 구한 자계의 세기 100 A/m를 대입하면 $\mu_r = \frac{0.04\pi}{(4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot 100} = 1000$이다. 비투자율은 같은 단위의 투자율끼리 나눈 값이므로 단위가 없으며, ①의 1000에 해당한다.

NoteBase

문 20. $v(t) = 100\sqrt{2}\sin\left(1000t + \frac{\pi}{3}\right)$[V]**의 교류전원을 R=10[Ω]과 C=100[μF]으로 구성된 직렬부하에 인가하였을 때,** $i(t) = I_m\cos(1000t + \theta)$[A]**의 부하전류가 측정되었다.** I_m[A]**과** θ[rad]**의 값을 옳게 짝지은 것은?**

① $I_m = 5\sqrt{2}$ A, $\theta = \frac{\pi}{12}$
② $I_m = 10$ A, $\theta = \frac{\pi}{12}$
③ $I_m = 5\sqrt{2}$ A, $\theta = \frac{7\pi}{12}$
④ $I_m = 10$ A, $\theta = \frac{7\pi}{12}$

정답 2번

간단한 해설

직렬 RC 부하의 임피던스 크기는 $10\sqrt{2}\,\Omega$이므로 전류의 **최댓값은 10 A**이다. 전류는 전압보다 $\frac{\pi}{4}$ rad 앞서며, **코사인 기준**으로 나타내면 위상은 $\theta = \frac{\pi}{12}$ rad이다.

계산 과정

1. 용량성 리액턴스: 전압식에서 각주파수는 $\omega = 1000$ rad/s이고, 정전용량은 $C = 100 \times 10^{-6}$ F이다. 정현파 정상상태에서 커패시터의 리액턴스 크기는 $X_C = \frac{1}{\omega C}$이므로, $X_C = \frac{1}{1000 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 10\Omega$이다.

2. 직렬부하의 임피던스: 저항과 커패시터의 임피던스를 더하면 $Z = R - jX_C = 10 - j10\Omega$이다. 여기서 j는 허수단위이며, 음의 허수부는 용량성 부하를 뜻한다. 따라서 $|Z| = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2}\,\Omega$이고, 위상각은 $\arg Z = -\frac{\pi}{4}$ rad이다. 전류는 전압을 임피던스로 나눈 값이므로 **전압보다 위상이 앞선다**.

3. 전류의 최댓값: 전압의 최댓값은 $V_m = 100\sqrt{2}$ V이다. 구하는 I_m도 **최댓값**이므로 실효값으로 바꾸지 않고 $I_m = \frac{V_m}{|Z|}$를 적용한다. 계산하면 $I_m = \frac{100\sqrt{2}}{10\sqrt{2}} = 10$ A이다.

4. 전류의 위상: 전압은 사인, 전류는 코사인으로 주어졌으므로 **같은 삼각함수 기준**으로 맞춘다. $\sin x = \cos\left(x - \frac{\pi}{2}\right)$이므로 전압은 $v(t) = 100\sqrt{2}\cos\left(1000t - \frac{\pi}{6}\right)$ V이다. 전류의 위상은 전압의 위상에서 임피던스의 위상각을 뺀 값이므로, $\theta = -\frac{\pi}{6} - \left(-\frac{\pi}{4}\right) = \frac{\pi}{12}$ rad이다.

따라서 $i(t) = 10\cos\left(1000t + \frac{\pi}{12}\right)$ A이며, $I_m = 10$ A, $\theta = \frac{\pi}{12}$ rad의 조합은 ②와 일치한다.

NoteBase