



전자기 유도와 상호유도

차례

Part 1 · 개념 정리	1
전자기 유도와 자기 선속	1
패러데이 법칙	3
전자기 유도의 예	5
상호유도	9
변압기	11
상호유도의 이용	12
Part 2 · 기본문제	14
Part 3 · 심화문제	17
Part 4 · 정답과 해설	22
개념 체크 정답	22
기본문제 해설	23
심화문제 해설	26

Part 1 · 개념 정리

1 전자기 유도와 자기 선속

(1) 전자기 유도

코일 주위에서 자석을 움직이면 코일에 전류가 흐른다. 이것은 자석의 운동에 의해 코일을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문이다. 이와 같이 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 **전자기 유도**라 하고, 이때 흐르는 전류를 **유도 전류**라고 한다.

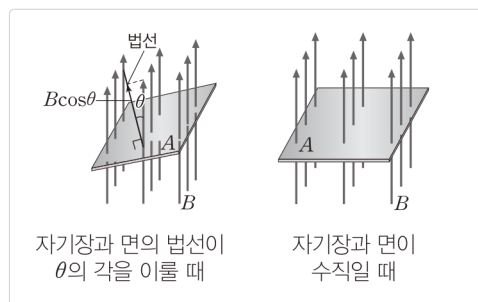


(2) 자기 선속(자속)

자기장의 세기와 자기장이 수직으로 통과하는 닫힌 면의 면적의 곱을 **자기 선속**이라고 한다. 자기 선속은 자기장의 세기가 클수록, 자기장이 통과하는 면적이 클수록 크다.

자기장의 세기, 자기장이 통과하는 닫힌 면의 면적, 또는 면의 법선과 자기장이 이루는 각이 변하면 자기 선속이 변한다. 면의 법선과 자기장의 방향이 이루는 각이 θ , 면의 면적이 A , 자기장의 세기가 B 일 때 자기 선속 Φ 는 다음과 같다.

$$\Phi = BA \cos \theta, \quad \theta = 0^\circ \text{ 일 때 } \Phi = BA \quad (\text{단위: Wb(웨버)})$$



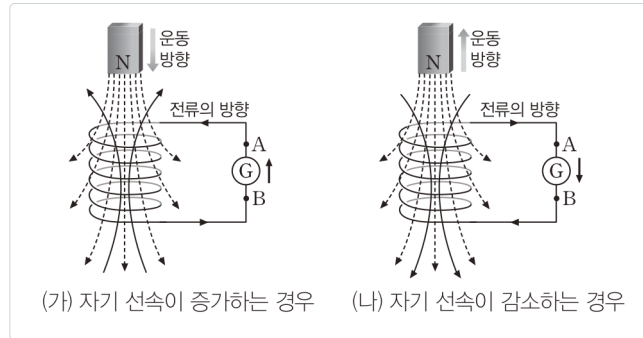
(3) 유도 전류와 유도 기전력

- ① **유도 전류**: 전자기 유도에 의해 코일에 흐르는 전류
- ② **유도 기전력**: 전자기 유도에 의해 유도 전류를 흐르게 하는 기전력

(4) 렌츠 법칙과 유도 전류의 방향

렌츠 법칙: 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

- ① 자석의 N극을 솔레노이드에 가까이 접근시키면 솔레노이드 내부를 지나는 자기 선속이 증가한다. 렌츠 법칙을 적용하면 유도 전류는 자기 선속이 증가하는 것을 방해하기 위해 $B \rightarrow \textcircled{C} \rightarrow A$ 방향으로 흐른다.
- ② 자석의 N극이 솔레노이드에서 멀어지면 솔레노이드 내부를 지나는 자기 선속이 감소한다. 렌츠 법칙을 적용하면 유도 전류는 자기 선속이 감소하는 것을 방해하기 위해 $A \rightarrow \textcircled{C} \rightarrow B$ 방향으로 흐른다.



핵심 정리 유도 전류는 늘 “변화를 방해하는” 쪽이다. 자석이 가까워지면 코일의 자석 쪽 면이 자석과 같은 극이 되어 밀어내고, 멀어지면 반대 극이 되어 끌어당긴다.

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상을 _____ (이)라고 한다.
2. 세기 B_0 인 균일한 자기장이 면적 S_0 인 금속 고리를 수직으로 통과할 때, 이 고리를 통과하는 자기 선속은 _____ 이다.
3. 자기 선속은 자기장이 통과하는 면적이 클수록 크다. ()
4. 면의 법선과 자기장이 이루는 각이 변해도 자기 선속은 변하지 않는다. ()

2 패러데이 법칙

(1) 패러데이 법칙

전자기 유도에 의해 유도 전류가 흐르는 것은 코일에 기전력이 발생하기 때문이다. 이처럼 전자기 유도에 의해 코일에 발생하는 기전력을 **유도 기전력**이라고 한다.

유도 기전력은 코일의 감은 수 N 과 자기 선속의 시간에 따른 변화율 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 에 각각 비례하고, 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{단위: V(볼트)})$$

여기서 $(-)$ 부호는 렌츠 법칙을 나타낸다.

핵심 정리 유도 기전력은 코일의 감은 수에 비례하고, 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 자석을 빠르게 움직일수록 변화율이 커져 유도 전류가 세진다.

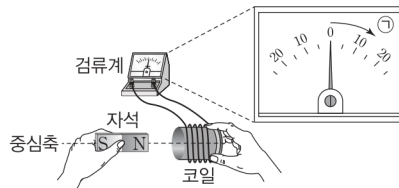
개념 체크 B 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 전자기 유도에 의해 코일에 발생하는 기전력을 _____ (이)라고 한다.
2. 유도 기전력은 코일의 감은 수에 _____ 하고, 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 _____ 한다.
3. 코일에 자석의 N극을 가까이 할 때 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 _____ 한다.
4. 유도 기전력의 방향은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다. ()

(2) 탐구자료 살펴보기 — 전자기 유도 현상

탐구자료 살펴보기 전자기 유도 현상

- 과정**
- (1) 그림과 같이 코일을 검류계와 도선으로 연결한다.
 - (2) 막대자석의 N극을 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
 - (3) 과정 (2)에서보다 막대자석을 더 빠르게 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.
 - (4) 막대자석의 S극을 코일에 가까이 할 때 검류계의 눈금 변화를 관찰한다.

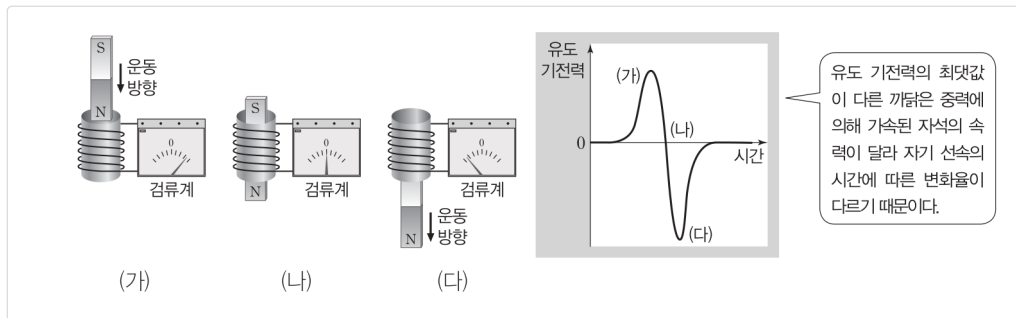


- 결과**
- (2), (3)에서 검류계의 바늘은 ① 방향으로 회전하고, (4)에서 검류계의 바늘은 ① 반대 방향으로 회전한다.
 - (2)에서보다 (3)에서 바늘이 더 많이 회전한다.

- point**
- 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.
 - 자석이 빠르게 움직일수록 코일을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 증가한다.

(3) 자석이 솔레노이드 안을 통과할 때 유도되는 기전력

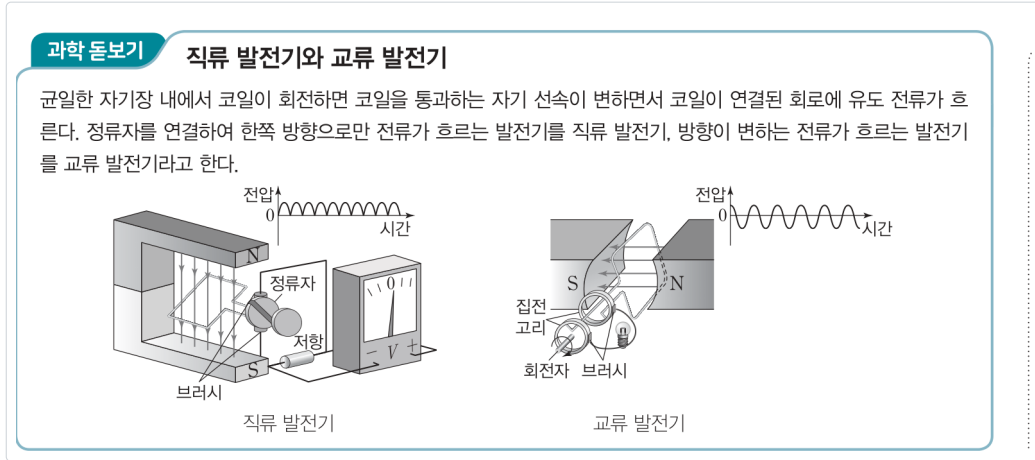
N극이 아래로 향하게 하여 자석을 떨어뜨리면 N극이 솔레노이드에 가까워지면서 솔레노이드에는 자석의 운동을 방해하는 위쪽 방향의 자기장을 만드는 기전력이 유도된다. 반대로 자석의 S극이 빠져나갈 때는 솔레노이드에 아래쪽 방향의 자기장을 유도하는 기전력이 발생한다.



핵심 정리 들어갈 때와 나올 때 유도 기전력의 최댓값이 다른 까닭은 중력에 의해 가속된 자석의 속력이 달라 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 다르기 때문이다.

3 전자기 유도의 예

(1) 과학 돋보기 — 직류 발전기와 교류 발전기



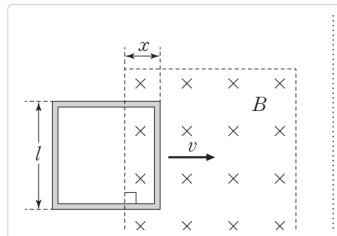
(2) 도선의 운동에 의한 전자기 유도

한 변의 길이가 l 이고 전기 저항이 R 인 정사각형 금속 고리가 세기가 B 이고 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 들어가고 있다.

① **유도 전류의 방향**: 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 렌츠 법칙에 의해 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

② **유도 기전력과 유도 전류의 세기**: 자기장 영역에 포함된 면적이 $A = lx$ 이므로 자기 선속은 $\Phi = BA = Blx$ 이다. B 와 l 은 일정하므로 자기 선속의 변화는 $\Delta\Phi = Bl\Delta x$ 이다.

$$V = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = Blv, \quad I = \frac{V}{R} = \frac{Blv}{R}$$



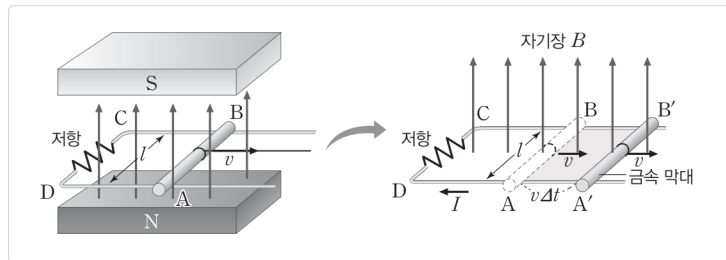
개념 체크 C 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 자기장 영역에서 금속 고리가 빠져나올 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 크기는 _____ 한다.
2. 자기장 영역으로 금속 고리가 들어갈 때 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 _____ 방향이다.
3. 한 변의 길이가 l 인 금속 고리가 세기 B 인 자기장 영역을 속력 v 로 드나들 때 유도되는 기전력의 크기는 _____ 이다.
4. 유도 전류의 세기는 금속 고리의 전기 저항이 클수록 크다. ()

(3) ㄷ자형 도선에서의 전자기 유도

세기가 B 인 균일한 자기장 영역에서 자기장 방향에 수직으로 놓인 전기 저항이 R 인 저항이 연결된 ㄷ자형 도선 위에서 금속 막대를 일정한 속력 v 로 운동시킨다.

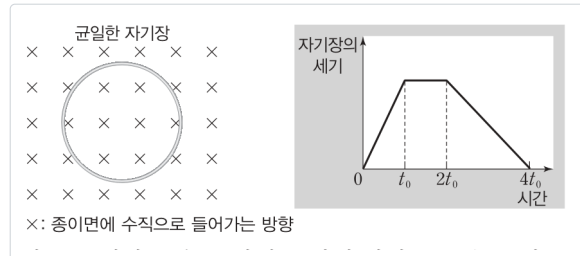
- ① **유도 전류의 방향:** 금속 막대를 화살표 방향으로 운동시키면 도선과 금속 막대로 둘러싸인 부분을 통과하는 자기 선속이 증가하므로, 렌츠 법칙에 의해 저항에는 $D \rightarrow$ 저항 $\rightarrow C$ 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ② **유도 기전력과 유도 전류의 세기:** 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 Blv 이므로 유도 기전력의 크기는 $V = Blv$ 이고, 유도 전류의 세기는 $I = \frac{Blv}{R}$ 이다.



(4) 자기장의 변화에 의한 전자기 유도

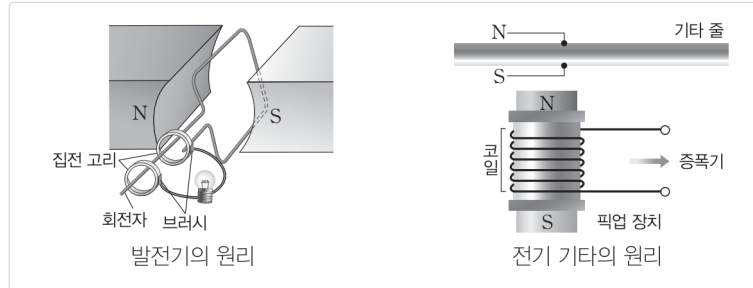
금속 고리 내부를 통과하는 자기장의 세기가 시간에 따라 변할 때 금속 고리에 유도 전류가 흐른다.

- ① 0부터 t_0 까지: 자기장의 세기가 증가하므로 원형 금속 고리에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ② t_0 부터 $2t_0$ 까지: 자기장의 세기가 일정하므로 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ③ $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지: 자기장의 세기가 감소하므로 원형 금속 고리에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.
- ④ 원형 금속 고리에 발생하는 유도 기전력의 크기는 0부터 t_0 까지가 $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지보다 크다.



(5) 전자기 유도의 이용

- ① **발전기**: 외부 에너지를 이용하여 코일을 회전시키면 코일면을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 계속 변한다. 이때 브러시의 축에 접촉시킨 금속(집전 고리)을 통해 유도 전류가 흐른다.
- ② **전기 기타**: 픽업 장치의 자석에 의해 자기화된 기타 줄이 진동하면 코일 속을 통과하는 자기 선속이 변하기 때문에 코일에 전류가 유도되어 전기 신호가 발생한다. 이 전기 신호를 증폭하여 스피커를 진동시키면 소리가 발생한다.



개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장 영역에 놓인 원형 금속 고리에서, 자기장의 세기가 증가하는 동안 흐르는 유도 전류의 방향은 _____ 방향이다.
- 자기장의 세기가 일정한 구간에서는 유도 전류가 흐르지 않는다. ()
- 발전기는 전기 에너지를 운동 에너지로 전환하는 장치이다. ()
- 전기 기타는 기타 줄의 진동으로 코일을 통과하는 자기 선속이 변하는 것을 이용한다. ()

4 상호유도

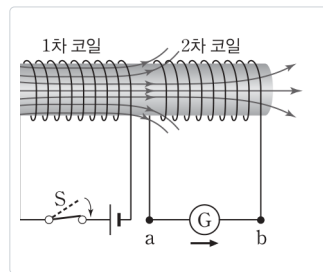
(1) 상호유도와 상호 인덕턴스

상호유도: 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기 선속의 변화로 근처에 있는 다른 코일에서 유도 기전력이 발생하는 현상이다.

2차 코일의 감은 수가 N_2 이고 Δt 동안 1차 코일에 흐르는 전류가 ΔI_1 만큼 변할 때, 2차 코일에 생기는 유도 기전력 V 는 다음과 같다.

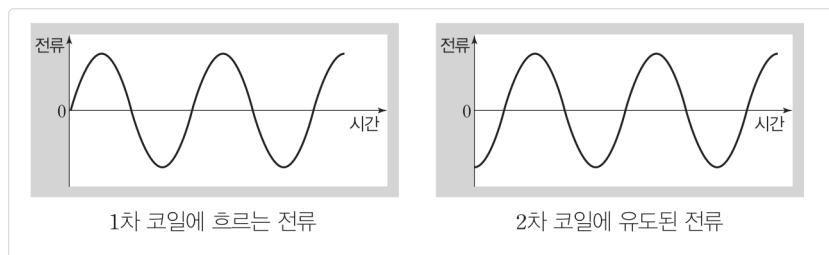
$$V = -N_2 \frac{\Delta \Phi_2}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (M: \text{상호 인덕턴스, 단위: H(헨리)})$$

- ① 1 H는 1초 동안 1 A의 비율로 전류가 변하여 1 V의 유도 기전력이 유도될 때의 상호 인덕턴스이다.
- ② 상호 인덕턴스는 코일의 모양, 감은 수, 위치, 코일 주위의 물질 등에 의해 결정된다.
- ③ 스위치를 닫으면 2차 코일에는 렌츠 법칙에 따라 1차 코일에 의해 생기는 자기장의 변화를 방해하는 방향(a → ㉔ → b)으로 유도 전류가 흐른다.



(2) 교류에 의한 상호유도

1차 코일에 교류가 공급되면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 연속적으로 변하고, 이에 따라 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 전류가 흐른다.

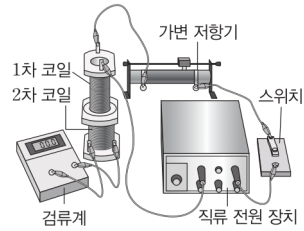


핵심 정리 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변해야 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변한다. 일정한 세기의 직류를 흘리면 2차 코일에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

(3) 탐구자료 살펴보기 — 이중 코일을 이용한 상호유도

탐구자료 살펴보기 이중 코일을 이용한 상호유도

- 과정**
- (1) 그림과 같이 장치를 연결하고 1차 코일에 연결된 스위치를 닫는 순간, 스위치를 닫은 상태에서, 스위치를 여는 순간 2차 코일에 연결된 검류계의 값의 변화를 관찰한다.
- (2) 스위치를 닫은 상태에서 가변 저항기의 저항값을 변화시키면서, 2차 코일에 연결된 검류계의 값의 변화를 관찰한다.



- 결과**
- 스위치를 닫는 순간과 여는 순간 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐르고, 스위치를 닫고 있을 때에는 2차 코일에 유도 전류가 흐르지 않는다.
 - 가변 저항기의 저항값을 증가시킬 때와 감소시킬 때 2차 코일에는 서로 반대 방향의 유도 전류가 흐른다.
- point**
- 1차 코일에 의한 자기 선속의 변화에 의해 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.
 - 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 1차 코일에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.
 - 가변 저항기의 저항값이 변하면 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하므로 2차 코일에는 유도 전류가 흐른다.

개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

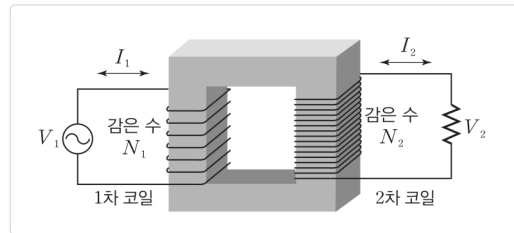
- 한쪽 코일에 흐르는 전류의 변화로 근처의 다른 코일에 유도 기전력이 발생하는 현상을 _____ (이)라고 한다.
- 2차 코일에 생기는 유도 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 _____ 에 비례한다.
- 1차 코일에 일정한 세기의 전류가 흘러도 2차 코일에는 유도 전류가 흐른다. ()
- 스위치를 닫는 순간과 여는 순간 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다. ()

5 변압기

변압기: 1차 코일과 2차 코일을 동일한 철심에 감아 두 코일 사이에 상호유도가 잘 일어나게 한 것으로, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비에 따라 전압을 변화시키는 장치이다.

자기장이 철심을 따라 형성되므로 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 매 시간 같다. 시간 t 일 때 자기 선속을 $\Phi(t)$, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각 N_1, N_2 , 두 코일에 걸리는 전압의 크기를 각각 V_1, V_2 라고 하면 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$



핵심 정리 에너지 손실이 없는 변압기에서는 1차 코일에 공급되는 전력과 2차 코일에서 소비되는 전력이 같다. 따라서 감은 수가 많아 전압이 높은 쪽이 전류의 세기는 작다.

6 상호유도의 이용

(1) 금속 탐지기

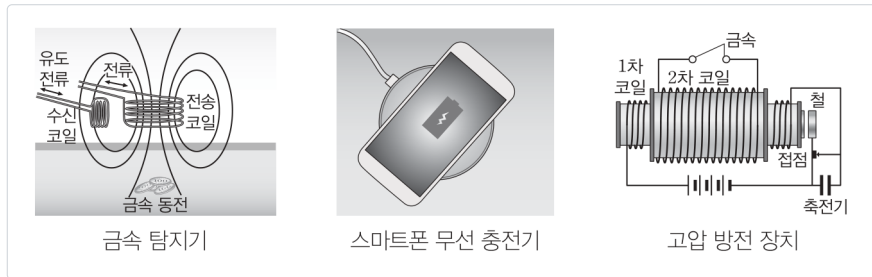
금속 탐지기의 전송 코일에서 발생한 자기장에 의해 주변에 있는 금속에 전자기 유도 현상이 발생하여 유도 전류가 흐르고 자기장이 발생한다. 이 자기장의 변화를 금속 탐지기의 수신 코일에서 감지하여 금속을 찾을 수 있다.

(2) 스마트폰 무선 충전기

충전 패드에 있는 1차 코일에 교류 전원이 연결되면 스마트폰에 있는 2차 코일에서 유도 기전력이 발생하므로 스마트폰을 충전할 수 있다.

(3) 고압 방전 장치

자동차에서 연료에 불을 붙이는 데 사용되는 고압 방전 장치는 두 금속 사이에 순간적으로 큰 전압을 걸어 방전이 일어나도록 하는 장치로, 1차 코일에 전류를 흐르게 하다가 갑자기 끊으면 상호유도에 의해 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 이때 유도 기전력이 충분히 크면 2차 코일에 연결된 두 금속 사이에서 불꽃이 튀는 방전 현상이 나타난다.



개념 체크 F

빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 금속 탐지기와 무선 충전기, 고압 방전 장치는 모두 _____ 를 이용한 것이다.
2. 충전 패드의 1차 코일에 흐르는 전류가 _____ 스마트폰의 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다.
3. 금속 탐지기는 수신 코일에서 자기장의 변화를 감지한다. ()
4. 고압 방전 장치는 1차 코일에 일정한 전류를 계속 흘려 방전을 일으킨다. ()

(4) 과학 돋보기 — 상호유도의 활용

과학 돋보기 상호유도의 활용

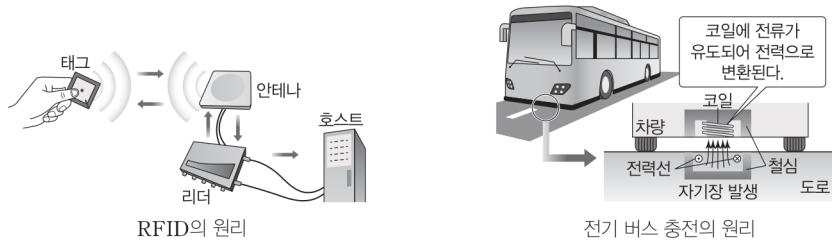
■ RFID(Radio Frequency Identification)

RFID는 정보가 저장되어 있는 태그와 인식용 단말기로 구성되어 있으며, 비접촉식 식별 기술, 전자 태그 등으로 불린다. 태그의 작동 방식에 따라 수동형과 능동형으로 구분된다. 수동형 태그는 독립적인 전원을 갖고 있지 않다. 인식용 단말기에서 발생한 자기장에 의해 태그 속에 들어 있는 코일에는 전자기 유도로 유도 전류가 발생하고, 이것으로 IC칩에 들어 있는 정보를 처리한다. 이때 인식용 단말기가 보낸 전파로부터 얻은 전력으로 IC칩이 작동하여 식별 번호가 담긴 신호를 다시 무선으로 단말기에 돌려보낸다. 인식용 단말기는 되돌아온 물체 인식 코드를 바탕으로 통신망에 연결된 자료에서 필요한 정보를 찾아낸다. 능동형 태그는 IC칩이 담고 있는 정보량이 충분하고 독립된 전원을 가지고 있으므로 스스로 인식용 단말기와 정보를 교환할 수 있다.

RFID의 이용 분야는 계속 넓어지고 있다. 대형 상점의 경우 각각의 물건에 태그를 부착하여 재고량을 관리하고 편리하게 물건값을 계산할 수 있으며, 공항이나 항구 등에서는 화물에 태그를 부착하여 물류 이동을 관리할 수 있다.

■ 전기 버스 충전

무선 충전 기술은 스마트폰처럼 작은 전자 제품뿐만 아니라 전기 버스와 같은 대용량 전자 제품을 충전하는 기술로도 발전하고 있다. 전기 버스는 바닥에 설치된 송전 장치와 버스 내에 설치된 집전 장치의 상호유도에 의해 전기 에너지가 충전된다.

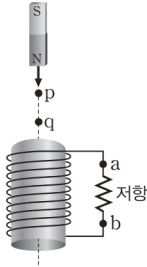


Part 2 · 기본문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4.

01 그림과 같이 막대자석이 솔레노이드의 중심축을 따라 속력이 증가하는 운동을 한다. 솔레노이드는 고정되어 있고, 점 p, q는 중심축상의 지점이다.

자석이 p에서 q까지 운동하는 동안, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 막대자석의 크기는 무시한다.)

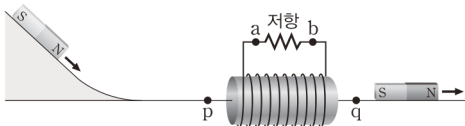


◀ 보기 ▶

- ㄱ. 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다.
- ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow$ 저항 $\rightarrow a$ 이다.
- ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림과 같이 빗면을 따라 운동하던 자석이 수평면에 고정된 솔레노이드의 중심축을 지나는 레일을 따라 운동한다. 점 p, q는 수평한 레일 위의 지점이며, 솔레노이드로부터의 거리는 p와 q가 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자석의 크기, 공기 저항, 마찰은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 자석이 p를 지날 때 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.
- ㄴ. 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.
- ㄷ. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 다음은 전자기 유도에 대한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 장치하고 자석의 N극을 코일에 속력 v 로 가까이 할 때 전류의 세기의 최댓값을 기록한다.
- (나) 자석의 속력만을 (가)에 서와 다르게 하여 (가)를 반복한다.
- (다) (가)에서보다 자기장의 세기가 더 센 자석으로 바꾸어 (가)를 반복한다.



[실험 결과]

과정	(가)	(나)	(다)
전류의 세기의 최댓값	I_0	$1.5I_0$	㉠

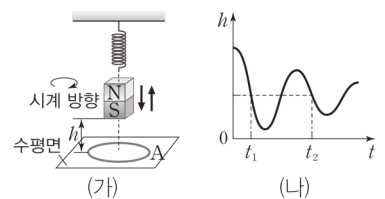
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 일정하다.
- ㄴ. (나)에서 자석의 속력은 v 보다 크다.
- ㄷ. ㉠은 I_0 보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)와 같이 수평면에 고정된 원형 금속 고리 A 위에서 자석이 연직 방향으로 진동한다. 그림 (나)는 수평면으로부터 자석의 높이 h 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

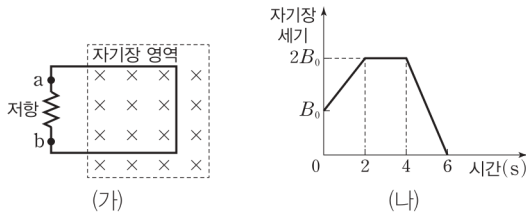
(단, 공기 저항은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_1 일 때 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
- ㄴ. t_2 일 때 자석과 A 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.
- ㄷ. A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1 일 때와 t_2 일 때가 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림 (가)와 같이 종이면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 영역의 일부에 저항이 연결된 사각형 도선이 고정되어 있다. 그림 (나)는 자기장 영역의 자기장 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



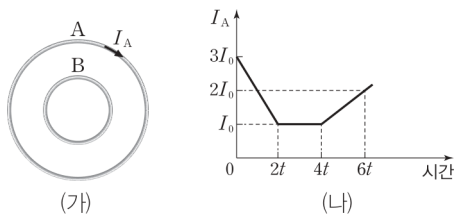
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 작다.
- ㄴ. 5초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow$ 저항 $\rightarrow a$ 이다.
- ㄷ. 저항의 양단에 걸리는 전압은 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림 (가)와 같이 종이면에 원형 금속 고리 A, B가 고정되어 있다. A에는 시계 방향으로 전류가 흐르고, B는 전류가 흐르지 않는다. 그림 (나)는 (가)에서 A에 흐르는 전류의 세기 I_A 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



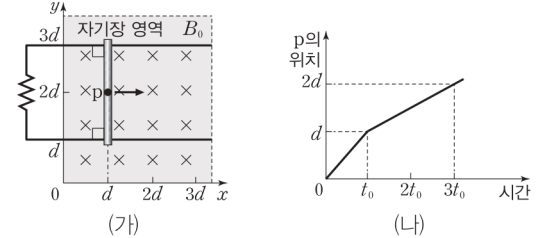
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t 일 때, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.
- ㄴ. $2t$ 부터 $4t$ 까지 B를 통과하는 A에 흐르는 전류에 의한 자기 선속의 크기는 감소한다.
- ㄷ. B에 흐르는 유도 전류의 세기는 t 일 때가 $5t$ 일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)와 같이 균일한 자기장 영역에서 xy 평면에 고정된 π 자형 도선에 놓인 도체 막대가 $+x$ 방향으로 운동한다. 자기장 영역에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고 자기장의 세기는 B_0 이다. 그림 (나)는 도체 막대의 점 p의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



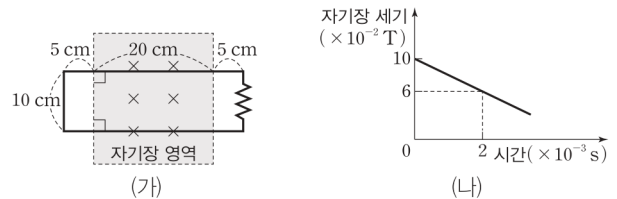
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 도체 막대의 굵기는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $0.5t_0$ 일 때 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄴ. t_0 부터 $3t_0$ 까지 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 증가한다.
- ㄷ. $2t_0$ 일 때 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{B_0 d^2}{t_0}$ 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

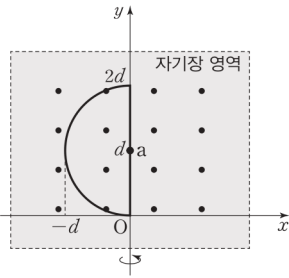
08 그림 (가)는 종이면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 영역의 일부에 직사각형 도선이 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 자기장 영역의 자기장 세기를 시간에 따라 나타낸 것이다.



1×10^{-3} 초일 때 도선에 유도되는 기전력의 크기는? (단, 도선의 굵기는 무시한다.)

① 0.2 V ② 0.4 V ③ 0.6 V ④ 0.8 V ⑤ 1 V

09 그림은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향의 균일한 자기장 영역에서 반지름이 d 인 반원형 금속 고리가 y 축을 회전축으로 일정한 각속도로 회전하는 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. $t=0$



일 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 크기는 Φ_0 으로 최대이고, 반원형 금속 고리의 회전 주기는 T 이다. 점 a는 반원형 금속 고리의 점이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

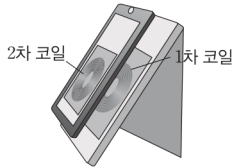
◀ 보기 ▶

- ㄱ. 자기장 영역의 자기장 세기는 $\frac{2\Phi_0}{\pi d^2}$ 이다.
- ㄴ. $t=\frac{1}{4}T$ 일 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
- ㄷ. a에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{3}{4}T$ 일 때가 $t=\frac{1}{2}T$ 일 때보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 다음은 스마트폰의 무선 충전에 대한 설명이다.

무선 충전기의 충전패드의 1차 코일에 전원을 연결하면 스마트폰의 2차 코일에는 (㉠) 현상으로 유도 기전력이 발생한다. 2차 코일의 감은 수를 1차 코일의 감은 수보다 (㉡) 하면 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 걸리는 전압보다 작다.



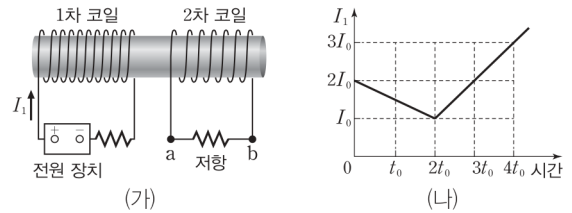
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.
- ㄴ. 1차 코일에는 일정한 세기의 전류가 흐른다.
- ㄷ. '작게'는 ㉡으로 적절하다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

11 그림 (가)와 같이 직류 전원 장치에 연결된 1차 코일과 저항이 연결된 2차 코일이 있다. 1차 코일에는 화살표 방향으로 세기가 I_1 인 전류가 흐른다. 그림 (나)는 I_1 을 시간에 따라 나타낸 것이다.



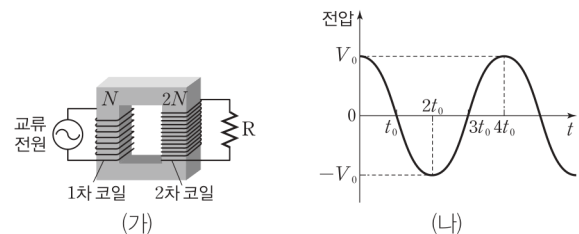
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_0 일 때, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
- ㄴ. 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 크다.
- ㄷ. $4t_0$ 일 때, 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

12 그림 (가)는 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N , $2N$ 인 변압기를 나타낸 것이다. 2차 코일에는 저항 R 가 연결되어 있다. 그림 (나)는 1차 코일에 연결된 교류 전원의 전압을 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 변압기에서의 에너지 손실은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

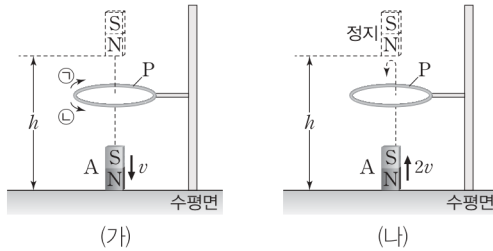
- ㄱ. R의 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $2V_0$ 이다.
- ㄴ. 전류의 최댓값은 1차 코일에서가 2차 코일에서의 2배이다.
- ㄷ. R에 흐르는 전류의 주기는 $2t_0$ 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 3 · 심화문제

10문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

01 그림 (가)는 수평면으로부터 높이 h 인 곳에서 자석 A를 가만히 놓았을 때 A가 금속 고리 P를 통과하여 수평면에 속력 v 로 도달한 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 A를 수평면에서 연직 위 방향으로 속력 $2v$ 로 던진 모습을 나타낸 것으로, A가 P를 통과하여 올라간 최고 높이는 h 이다. A의 질량은 m 이다.



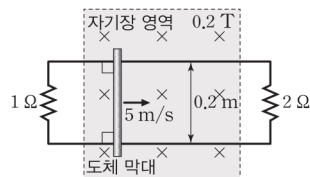
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 자석의 크기, 공기 저항, 마찰은 무시하고, 자석은 회전하지 않는다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)에서 A가 P를 통과한 직후, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
- ㄴ. P에 흐르는 유도 전류 세기의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 A가 던져진 순간부터 수평면에 다시 돌아올 때까지 P에서 소비하는 전기 에너지는 mv^2 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

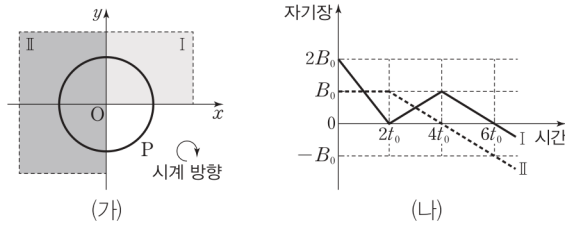
02 그림과 같이 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 균일한 자기장 영역에 저항값이 1Ω , 2Ω 인 저항이 연결된 사각형 도선이 고정되어 있다. 균일한 자기장 영역의 자기장의 세기는 0.2 T 이고 사각형 도선에 놓인 도체 막대는 5 m/s 의 속력으로 등속도 운동을 한다. 사각형 도선의 세로 폭은 0.2 m 이다.



도체 막대가 자기장 영역에서 운동하는 동안, 도체 막대에 흐르는 유도 전류의 세기는? (단, 도체 막대의 저항과 굽기는 무시한다.)

- ① 0.1 A ② 0.2 A ③ 0.3 A ④ 0.4 A ⑤ 0.5 A

03 그림 (가)는 xy 평면의 균일한 자기장 영역 I, II에 원형 금속 고리 P가 xy 평면에 나란하게 고정되어 있는 것을 나타낸 것이다. 원점 O는 P의 중심이고, I과 II의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이다. 그림 (나)는 I과 II의 자기장을 시간에 따라 나타낸 것이다. 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 양(+)이다.



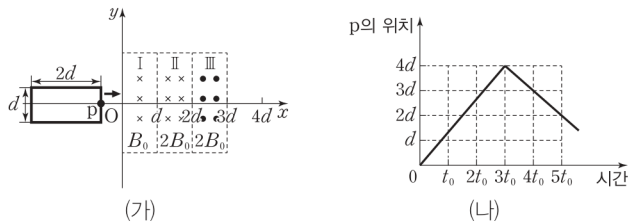
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_0 일 때, P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
- ㄴ. $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지 P에 유도되는 기전력은 0이다.
- ㄷ. P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$ 일 때가 t_0 일 때의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

04 그림 (가)는 길이가 각각 d , $2d$ 인 두 변으로 이루어진 직사각형 모양의 금속 고리가 x 축을 따라 나란하게 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역 I, II에서 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 균일한 자기장 영역 III에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. I, II, III에서 자기장의 세기는 각각 B_0 , $2B_0$, $2B_0$ 이다. 그림 (나)는 금속 고리의 점 p가 원점 O를 지나는 순간부터 p의 위치를 시간에 따라 나타낸 것이다.



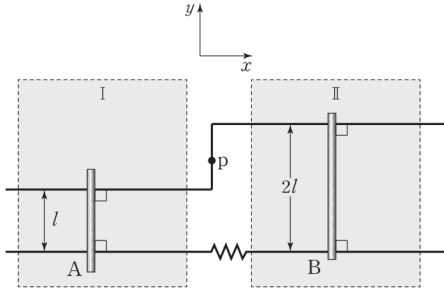
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 고리의 굵기는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. t_0 일 때, p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
- ㄴ. $2t_0$ 일 때, 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 $\frac{4B_0 d^2}{t_0}$ 이다.
- ㄷ. p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3.5t_0$ 일 때의 $\frac{4}{3}$ 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림과 같이 xy 평면에 평행한 도선을 고정하고 y 축과 나란하게 놓인 도체 막대 A, B를 각각 균일한 자기장 영역 I, II에서 x 축과 나란하게 움직인다. I과 II의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이고, 자기장의 세기는 서로 같다. I과 II에 놓인 평행 도선의 폭은 각각 l , $2l$ 이다. 표는 A, B의 운동 방향과 속력에 따라 회로의 점 p에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 나타낸 것이다.



	도체 막대	운동 방향	속력	p에 흐르는 전류	
				방향	세기
(가)	A	$+x$	$2v$	$\ominus$	I_1
	B	$+x$	v		
(나)	A	$+x$	v	$+y$	I_2
	B	$-x$	$2v$		

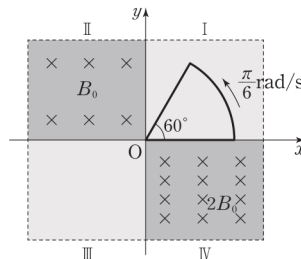
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 도선과 도체 막대의 굵기는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. I의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. $\ominus$ 은 ‘ $-y$ ’이다.
- ㄷ. $I_1 = \frac{3}{2}I_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

06 그림은 xy 평면에서 중심각이 60° 인 부채꼴 모양의 금속 고리가 원점 O를 중심으로 일정한 각속도 $\frac{\pi}{6} \text{ rad/s}$ 로 회전하는 시간 $t=0$ 인 순간의 모습을 나타낸 것이다. 균일한 자기장 영역 I과 III의 자기장의 세기는 서로 같고, 자기장의 방향은 xy 평면에 수직이며 서로 반대 방향이다. 균일한 자기장 영역 II와 IV의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 자기장의 세기는 각각 B_0 , $2B_0$ 이다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=2$ 초일 때와 $t=8$ 초일 때가 같다.



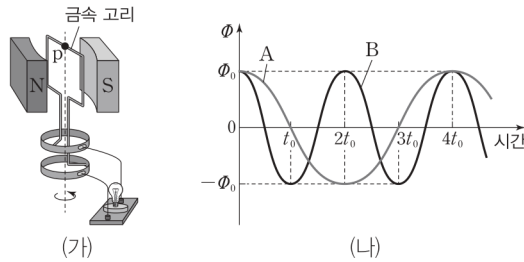
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 고리의 굵기는 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. I의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. III의 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$ 이다.
- ㄷ. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=11$ 초일 때가 $t=5$ 초일 때의 3배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)는 발전기의 구조를 나타낸 것으로, 금속 고리는 균일한 자기장 속에서 일정한 각속도로 회전한다. 점 p는 금속 고리상의 점이다. 그림 (나)의 A, B는 금속 고리의 회전 각속도가 각각 ω_A, ω_B 일 때, 금속 고리를 통과하는 자기 선속 Φ 를 시간에 따라 나타낸 것이다.



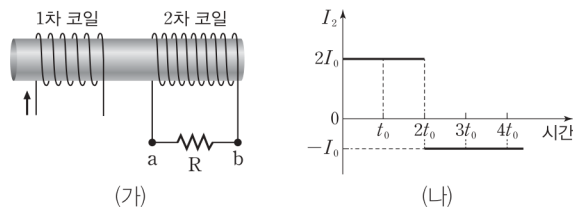
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. A의 경우, p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때보다 크다.
- ㄴ. p에 흐르는 유도 전류의 주기는 B의 경우가 A의 경우의 2배이다.
- ㄷ. 전구에 걸리는 전압의 최댓값은 A의 경우와 B의 경우가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 그림 (가)는 화살표 방향으로 전류가 흐르는 1차 코일과 저항 R가 연결된 2차 코일이 고정되어 있는 모습을 나타낸 것이다. 1차 코일에 흐르는 전류의 방향은 일정하다. 그림 (나)는 2차 코일의 저항 R에 흐르는 유도 전류 I_2 를 시간에 따라 나타낸 것이다. I_2 는 전류의 방향이 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 방향일 때 양(+)이다.



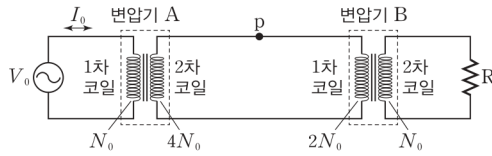
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 0부터 $2t_0$ 까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.
- ㄴ. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 2배이다.
- ㄷ. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0 일 때와 $4t_0$ 일 때가 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

09 그림은 변압기 A, B가 연결된 회로를 나타낸 것이다. A의 1차 코일은 전압이 V_0 인 교류 전원에 연결되어 있고, A의 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 I_0 이다. B의 2차 코일에는 저항 R가 연결되어 있다. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 N_0 , $4N_0$ 이고, B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수는 각각 $2N_0$, N_0 이다. 점 p는 회로의 점이다.



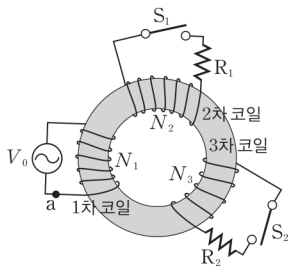
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. p에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$ 이다.
- ㄴ. B의 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$ 이다.
- ㄷ. R의 저항값은 $\frac{4V_0}{I_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림은 철심에 1차 코일, 2차 코일, 3차 코일을 감은 변압기를 나타낸 것이다. 1차 코일에 연결된 교류 전원의 전압은 V_0 으로 일정하고, 1차 코일, 2차 코일, 3차 코일의 감은 수는 각각 N_1 , N_2 , N_3 이다. 표는 스위치의 연결 상태에 따라 1차 코일상의 점 a, 2차 코일에 연결된 저항 R_1 , 3차 코일에 연결된 저항 R_2 에 흐르는 전류의 세기를 나타낸 것이다.



스위치		전류의 세기		
S_1	S_2	a	R_1	R_2
단함	열림	I_0	$\frac{1}{2}I_0$	0
열림	단함	$2I_0$	0	$3I_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 변압기에서 에너지 손실은 무시한다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. S_1 만 닫혀 있을 때 R_1 의 양단에 걸리는 전압은 S_2 만 닫혀 있을 때 R_2 의 양단에 걸리는 전압보다 크다.
- ㄴ. $\frac{N_3}{N_2} = \frac{3}{4}$ 이다.
- ㄷ. R_1 의 저항값은 R_2 의 저항값의 18배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. 전자기 유도	2. $B_0 S_0$	3. ○	4. ×
B	1. 유도 기전력	2. 비례, 비례	3. 증가	4. ○
C	1. 감소	2. 시계 반대	3. Blv	4. ×
D	1. 시계 반대	2. ○	3. ×	4. ○
E	1. 상호유도	2. 변화율	3. ×	4. ○
F	1. 상호유도	2. 변할 때	3. ○	4. ×

2 기본문제 해설

정답

01	①	02	⑤	03	⑤	04	③	05	⑤	06	③	07	④	08	②
09	③	10	④	11	②	12	③								

01 전자기 유도

솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변할 때 솔레노이드에는 유도 전류가 흐른다. 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

㉠. 자석이 p에서 q로 이동하는 동안 자석이 솔레노이드에 가까워지므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기장의 세기가 증가한다. 따라서 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다.

✕. 자석이 p에서 q까지 운동하는 동안 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기가 증가하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.

✕. 자석이 p를 지날 때보다 q를 지날 때가 솔레노이드를 통과하는 자기장의 세기의 변화가 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 q를 지날 때가 p를 지날 때보다 크다.

02 전자기 유도

자석이 p를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가하고, 자석이 q를 지날 때는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

㉠. 자석이 p를 지날 때 자석의 N극이 솔레노이드에 접근하므로 솔레노이드를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 증가한다. 솔레노이드에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽이어야 하므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.

㉡. 자석이 p를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용하고, 자석이 q를 지날 때 자석과 솔레노이드 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 따라서 자석에 작용하는 자기력의 방향은 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때가 같다.

㉢. 자석이 p를 지날 때와 q를 지날 때 자석이 솔레노이드로부터 받는 자기력에 의해 자석의 속력이 감소하게 된다. 따라서 자석의 속력은 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크므로 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 p를 지날 때가 q를 지날 때보다 크다.

03 전자기 유도

코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화로 코일에는 유도 전류가 흐르게 된다.

✕. 자석의 N극을 코일에 가까이 할 때, 자석과 코일 사이의 거리가 작아지므로 코일을 통과하는 자석에 의한 자기 선속은 증가한다.

㉡. (나)의 전류의 세기의 최댓값이 (가)의 전류의 세기의 최댓값보다 크므로 (나)에서 자석의 속력은 v 보다 크다.

㉢. (다)에서 사용한 자석의 세기가 (가)에서보다 더 세므로 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 (다)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 ㉠은 I_0 보다 크다.

04 전자기 유도

연직 방향으로 진동하는 자석에 의해 원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 변하게 되므로 원형 금속 고리에는 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐른다. 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다.

㉠. t_1 일 때 자석의 S극이 A에 가까워지고 A를 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 아래 방향이어야 하므로 A에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

㉡. t_2 일 때 자석의 S극이 A에 가까워지므로 A와 자석 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

✕. t_1 일 때와 t_2 일 때 A로부터 자석의 높이는 같지만 자석의 속력은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다. 따라서 A에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.

05 전자기 유도

도선을 통과하는 자기 선속은 $\Phi = BA$ (B : 자기장 영역의 자기장 세기, A : 자기장 영역에 놓인 사각형 도선의 넓이)이다. 도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

㉠. 자기장 세기가 1초일 때가 3초일 때보다 작으므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 1초일 때가 3초일 때보다 작다.

㉡. 4초부터 6초까지 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 세기가 감소하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 감소한다. 따라서 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 하므로 5초일 때 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow$ 저항 $\rightarrow a$ 이다.

㉢. 유도 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 4초부터 6초까지가 0부터 2초까지의 2배이다. 따라서 저항의 양단에 걸리는 전압은 5초일 때가 1초일 때의 2배이다.

06 상호유도

A에 흐르는 전류에 의한 자기장은 B를 통과한다. A에 흐르는 전류의 세기가 변하면 B를 통과하는 자기 선속의 크기도 변한다. B를 통과하는 자기 선속의 변화로 B에는 유도 전류가 흐르게 된다.

㉠ A에 흐르는 전류의 방향이 시계 방향이므로 B가 놓인 곳에서 A에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. 0부터 $2t$ 까지 A에 흐르는 전류의 세기가 감소하므로 B를 통과하는 자기 선속의 크기는 감소하게 된다. 따라서 B에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같이 시계 방향이다.

㉡ $2t$ 부터 $4t$ 까지 A에 흐르는 전류의 세기가 일정하므로 B를 통과하는 자기 선속은 일정하다.

㉢ 시간에 따른 전류의 세기의 변화율이 클수록 B에 유도되는 전류의 세기가 크다. 0부터 $2t$ 까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{t}$ 이고, $4t$ 부터 $6t$ 까지 전류의 시간에 따른 변화율은 $\frac{I_0}{2t}$ 이다. 따라서 B에 흐르는 유도 전류의 세기는 t 일 때가 $5t$ 일 때보다 크다.

07 유도 기전력

자기장 영역에서 운동하는 도체 막대에 의해 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 도선에는 유도 전류가 흐른다. 자기장의 세기가 B , 자기장 영역에서 운동하는 도체 막대의 길이가 l , 도체 막대의 속력이 v 일 때, 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V = Blv$ 이다.

㉠ 0부터 t_0 까지 도체 막대가 운동하는 동안 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 크기는 증가한다. 따라서 유도 전류에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 하므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

㉡ t_0 부터 $3t_0$ 까지 도체 막대는 일정한 속도로 운동하므로 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 일정하다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기가 일정하므로 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 일정하다.

㉢ 유도 기전력의 크기는 ㄷ자형 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 B_0 , ㄷ자형 도선의 폭은 $2d$ 이고, $2t_0$ 일 때 도체 막대의 속력은 $\frac{d}{2t_0}$ 이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(B_0 A)}{\Delta t} = B_0 \frac{\Delta A}{\Delta t} = B_0(2d) \left(\frac{\Delta s}{\Delta t} \right) = B_0(2d) \left(\frac{d}{2t_0} \right) = \frac{B_0 d^2}{t_0}$ 이다.

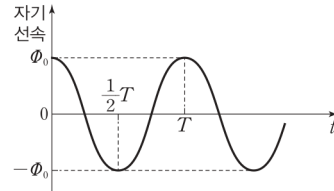
08 유도 기전력

도선에 유도되는 기전력의 크기는 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

㉠ 도선을 통과하는 자기장 영역의 넓이는 $A = 0.1 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 0.02 \text{ m}^2$ 이고, 자기장 영역의 자기장 세기의 시간에 따른 변화율은 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{0.04 \text{ T}}{0.002 \text{ s}} = 20 \text{ T/s}$ 이다. 도선을 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$ 이므로 도선에 유도되는 기전력의 크기는 $V = A \frac{\Delta B}{\Delta t} = 0.02 \text{ m}^2 \times 20 \text{ T/s} = 0.4 \text{ V}$ 이다.

09 전자기 유도

반원형 금속 고리에 유도되는 기전력은 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 반원형 금속 고리가 y 축을 회전축으로 회전할 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속을 시간 t 에 따라 나타내면 그림과 같다.



㉠ $t=0$ 일 때, 반원형 금속 고리를 통과하는 자기장의 넓이는 $\frac{1}{2}\pi d^2$ 으로 최대이다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 최댓값은 Φ_0 이므로 자기장 영역의 자기장 세기는 $B = \frac{2\Phi_0}{\pi d^2}$ 이다.

㉡ $t=0$ 부터 $t=\frac{1}{4}T$ 까지 반원형 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 감소하고 자기장 영역의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 $t=\frac{1}{4}T$ 일 때, a에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

㉢ 반원형 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t=\frac{1}{2}T$ 일 때, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 0이다. 즉, $t=\frac{1}{2}T$ 일 때는 금속 고리에 유도 전류가 흐르지 않는다. $t=\frac{3}{4}T$ 일 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 최대이다. 따라서 a에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=\frac{3}{4}T$ 일 때가 $t=\frac{1}{2}T$ 일 때보다 크다.

10 상호유도 현상의 이용

스마트폰의 무선 충전기는 상호유도 현상을 이용한다. 충전패드의 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 스마트폰의 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화로 2차 코일에는 유도 기전력이 발생한다.

㉠ 무선 충전기는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생하는 상호유도 현상을 이용한다. 따라서 '상호유도'는 ㉠으로 적절하다.

㉡ 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장이 변해야 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 따라서 1차 코일에는 세기가 변하는 전류가 흐른다.

㉢ 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례한다. 2차 코일의 감은 수를 1차 코일의 감은 수보다 작게 하면 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 걸리는 전압보다 작다. 따라서 '작게'는 ㉢으로 적절하다.

11 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에는 상호유도에 의해 유도 기전력이 생긴다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는

$$V = M \left| \frac{dI_1}{dt} \right| \quad (M: \text{상호유도 인덕턴스}) \text{이고, 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 방향은 2차 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.}$$

✕. 0부터 $2t_0$ 까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 감소하고, 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장은 감소하므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 t_0 일 때 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 $b \rightarrow$ 저항 $\rightarrow a$ 이다.

㉠. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율의 크기는 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 크므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 크다.

✕. $2t_0$ 부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가하므로 2차 코일을 왼쪽 방향으로 통과하는 자기장의 세기는 증가한다. 따라서 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이어야 한다. 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향과 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 $4t_0$ 일 때 1차 코일과 2차 코일 사이에는 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

12 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 낮추거나 높이는 역할을 한다. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수가 각각 N_1 , N_2 일 때,

1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압을 각각 V_1 , V_2 라 하면, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 이다. 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 세기를 각각

$$I_1, I_2 \text{라 하면, } \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{이다.}$$

㉠. 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비는 1 : 2이므로 1차 코일과 2차 코일에 걸리는 전압의 최댓값의 비도 1 : 2이다. 따라서 R의 양단에 걸리는 전압의 최댓값은 $2V_0$ 이다.

㉡. 변압기에서의 에너지 손실은 없으므로 1차 코일에서 공급하는 전력($P_1 = V_1 I_1$)과 2차 코일에서 소비하는 전력($P_2 = V_2 I_2$)은 같다. 따라서 전류의 최댓값은 1차 코일에서가 2차 코일에서의 2배이다.

✕. 1차 코일에 흐르는 전류의 주기와 상호유도에 의해 2차 코일에 흐르는 전류의 주기는 같다. 1차 코일에 걸리는 전압의 주기가 $4t_0$ 이므로 1차 코일에 흐르는 전류의 주기는 $4t_0$ 이고, 2차 코일에 흐르는 전류의 주기도 $4t_0$ 이다.

3 심화문제 해설

정답

01	③	02	③	03	①	04	⑤	05	②	06	②	07	①	08	⑤
09	④	10	③												

심화 01번

접근 Point 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화로 금속 고리에는 유도 전류가 흐른다. (가)에서 A를 가만히 놓은 높이와 (나)에서 A가 올라가는 최고 높이는 같다.

01 전자기 유도 현상

자석이 운동할 때, 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속이 변하므로 금속 고리에는 유도 전류가 흐르게 된다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 자석이 금속 고리를 통과하는 속력이 클수록 크다.

㉠ A가 P를 통과한 직후 P를 통과하는 자석에 의한 자기 선속의 크기는 감소하고, A의 S극이 P에서 멀어지므로 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.

㉡ P를 통과하는 A의 속력이 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 P에 흐르는 유도 전류 세기의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

✕ P를 통과하는 자기 선속의 변화로 P에는 유도 전류가 흐른다. P에 흐르는 유도 전류에 의해 A와 P 사이에는 자기력이 작용한다. (나)에서 A가 연직 위로 올라가는 동안 A에 작용하는 자기력의 방향은 연직 아래 방향이므로 자석의 역학적 에너지가 감소한다. A가 최고 높이에서 연직 아래로 운동하는 동안 A에 작용하는 자기력은 연직 위 방향이므로 A의 역학적 에너지는 감소한다. A의 역학적 에너지 감소량은 P에서 소비되는 전기 에너지와 같다. (나)에서 A가 수평면에 다시 돌아올 때 속력이 v 이므로 A의 역학적 에너지 감소량은 $\frac{3}{2}mv^2$ 이다. 따라서 P에서 소비하는 전기 에너지는 $\frac{3}{2}mv^2$ 이다.

심화 02번

접근 Point 자기장의 세기가 B인 균일한 자기장 영역에서 길이가 l 인 도체 막대가 속력 v 로 운동할 때, 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V = Blv$ 이다.

02 유도 기전력과 유도 전류

자기장 영역에서 운동하는 도선에 의해 도선의 양단에 유도 기전력이 발생한다.

㉢ 도체 막대가 운동하는 자기장 영역의 자기장 세기는 $B=0.2\text{ T}$ 이고, 도체 막대가 운동하는 속력은 $v=5\text{ m/s}$, 사각형 도선의 세로 폭은 $l=0.2\text{ m}$ 이다. 따라서 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V=Blv=0.2\text{ T} \times 0.2\text{ m} \times 5\text{ m/s}=0.2\text{ V}$ 이다. 사각형 도선의 양쪽에 저항값이 $1\ \Omega$, $2\ \Omega$ 인 저항이 연결되어 있으므로 각 저항에 걸리는 전압은 0.2 V 이다. $1\ \Omega$ 의 저항에 흐르는 전류의 세기는 0.2 A 이고, $2\ \Omega$ 의 저항에 흐르는 전류의 세기는 0.1 A 이다. 따라서 도체 막대에 흐르는 유도 전류의 세기는 $0.1\text{ A}+0.2\text{ A}=0.3\text{ A}$ 이다.

심화 03번

접근 Point 금속 고리를 통과하는 자기 선속은 자기장의 세기와 자기장이 금속 고리를 수직으로 통과하는 면적의 곱이다.

03 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. 유도 전류의 방향은 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이다.

㉠ 0부터 $2t_0$ 까지 II의 자기장은 일정하고, I의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이며, 자기장의 세기는 감소하므로 P를 통과하는 xy 평면에서 수직으로 나오는 자기 선속은 감소한다. 따라서 P에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

✕ $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지 시간에 따른 자기장의 변화율의 크기는 I에서와 II에서가 같지만, 자기장이 P를 통과하는 면적은 II에서가 I에서보다 크므로 P를 통과하는 자기 선속은 변한다. 따라서 $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지 P에는 기전력이 유도된다.

✕ I에 놓인 P의 면적을 S 라고 하면, 0부터 $2t_0$ 까지 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{2B_0}{2t_0}\right)$ 이다.

II에 놓인 P의 면적은 $2S$ 이다. $4t_0$ 부터 $6t_0$ 까지 I과 II의 자기장의 시간에 따른 변화율은 같으므로 P를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율의 크기는 $S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)+2S\left(\frac{B_0}{2t_0}\right)$ 이다. 따라서 P에 유도되는 기전력의 크기는 $5t_0$ 일 때가 t_0 일 때의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$ 일 때가 t_0 일 때의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

심화 04번

접근 Point 0부터 $3t_0$ 까지 금속 고리의 운동 방향은 $+x$ 방향이고 속력은 $4d/3t_0$ 이다. $3t_0$ 이후부터 금속 고리의 운동 방향은 $-x$ 방향이고 속력은 d/t_0 이다.

04 전자기 유도

금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리가 자기장 영역에서 운동하는 속력에 비례하고 자기장 영역의 자기장 세기에 비례한다. 0부터 $3t_0$ 까지 금속 고리의 속력은 $\frac{4d}{3t_0}$ 이고, $3t_0$ 부터 금속 고리의 속력은 $\frac{d}{t_0}$ 이다.

㉠. t_0 일 때, 금속 고리의 p는 II에서 $+x$ 방향으로 운동하고 있으며, II에서 자기장 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

㉡. $2t_0$ 일 때, 금속 고리의 p는 III에서 $+x$ 방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$ 로 운동하고, 금속 고리의 왼쪽 변은 I에서 운동한다. I과 III에서 자기장의 방향은 서로 반대 방향이고 세기는 각각 B_0 , $2B_0$ 이다. 따라서 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는

$$B_0 d \left(\frac{4d}{3t_0} \right) + 2B_0 d \left(\frac{4d}{3t_0} \right) = \left(\frac{4B_0 d^2}{t_0} \right) \text{이다.}$$

㉢. t_0 일 때, 금속 고리의 p는 II에서 $+x$ 방향으로 속력 $\frac{4d}{3t_0}$ 로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0 d \left(\frac{4d}{3t_0} \right)$ 이다. $3.5t_0$ 일 때, 금속 고리의 왼쪽 변은 II에서 $-x$ 방향으로 속력 $\frac{d}{t_0}$ 로 운동하므로 유도되는 기전력의 크기는 $2B_0 d \left(\frac{d}{t_0} \right)$ 이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $3.5t_0$ 일 때의 $\frac{4}{3}$ 배이다.

심화 05번

접근 Point A, B가 균일한 자기장 영역에서 운동할 때 A, B에는 기전력이 유도된다. 유도되는 기전력의 크기는 도체 막대의 길이, 자기장의 세기, 속력의 곱에 비례한다.

05 유도 기전력

도체 막대가 자기장 영역에서 운동할 때 도체 막대에 기전력이 유도된다. 도체 막대에 유도되는 기전력의 크기는 $V = Blv$ (B : 자기장 세기, l : 도체 막대의 길이, v : 도체 막대의 속력)이다.

ㄱ. I, II의 자기장 세기를 B_0 이라 하자. (가)의 경우 A, B는 같은 방향으로 운동하고, A, B에 유도되는 기전력의 크기는 각각 $V_1 = B_0 l(2v)$, $V_2 = B_0(2l)v$ 로 같은데, p에 유도 전류가 흐르므로 I과 II의 자기장의 방향은 반대 방향이다. (나)의 경우 A, B가 각각 $+x$ 방향, $-x$ 방향으로 속력 v , $2v$ 로 운동할 때, A에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1' = B_0 lv$ 이고, B에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2' = B_0(2l)(2v)$ 이다. $V_2' > V_1'$ 이고 p에 흐르는 유도 전류의 방향이 $+y$ 방향이므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이다. 따라서 II의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이고, I의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

㉠. (나)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향이 $-y$ 방향이므로 (가)의 경우 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 (가)의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 방향은 $-y$ 방향이므로 ㉠은 ' $-y$ '이다.

ㄴ. (가)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_1 + V_2 = 4B_0 lv$ 이고, (나)의 경우 회로에 유도되는 기전력의 크기는 $V_2' - V_1' = 3B_0 lv$ 이다. 회로의 저항값을 R 라 하면,

$$I_1 = \frac{4B_0 lv}{R} \text{이고, } I_2 = \frac{3B_0 lv}{R} \text{이다. 따라서 } I_1 = \frac{4}{3} I_2 \text{이다.}$$

심화 06번

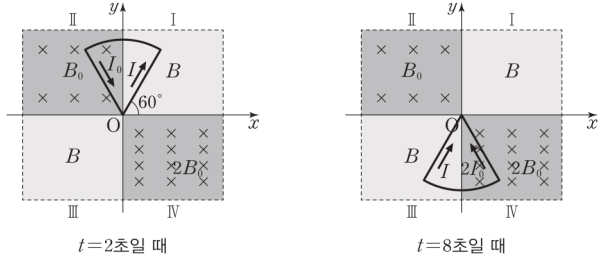
접근 Point $t = 2$ 초일 때 금속 고리는 영역 I과 II에서 운동하고, $t = 8$ 초일 때 금속 고리는 영역 III과 IV에서 운동한다.

06 전자기 유도

금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다. $t = 2$ 초일 때 금속 고리는 I과 II에서 운동하며, $t = 8$ 초일 때 금속 고리는 III과 IV에서 운동한다.

ㄱ. I의 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이면 III의 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이 되므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t = 2$ 초일 때와 $t = 8$ 초일 때가 같을 수가 없다. 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t = 2$ 초일 때와 $t = 8$ 초일 때가 같으므로 I의 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 III의 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉠. I 과 III에서 자기장의 세기를 B 라 하고, 금속 고리의 일부가 I 과 III에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I 라 하자. 금속 고리의 한 변이 II에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기를 I_0 이라 하면 금속 고리의 한 변이 IV에서 운동할 때 유도되는 전류의 세기는 $2I_0$ 이다. 그림과 같이 $t=2$ 초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 I_0+I 이고, $t=8$ 초일 때 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0-I$ 이다. 따라서 $I_0+I=2I_0-I$ 에서 $I=\frac{1}{2}I_0$ 이므로 I 과 III에서 자기장의 세기는 $\frac{1}{2}B_0$ 이다.



㉡. $t=5$ 초일 때 금속 고리의 일부는 II와 III에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $I_0-\frac{1}{2}I_0=\frac{1}{2}I_0$ 이다. $t=11$ 초일 때 금속 고리의 일부는 I과 IV에서 운동하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $2I_0+\frac{1}{2}I_0=\frac{5}{2}I_0$ 이다. 따라서 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 세기는 $t=11$ 초일 때가 $t=5$ 초일 때의 5배이다.

심화 07번

접근 Point 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

07 발전기의 원리

금속 고리가 자기장 속에서 회전할 때 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변한다. 금속 고리에 유도되는 기전력의 크기는 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

㉠. A의 경우, 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때보다 크다. 따라서 A의 경우 p에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때보다 크다.

㉡. 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변하므로 금속 고리에 흐르는 유도 전류도 주기적으로 변한다. 자기 선속의 주기와 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 주기는 같다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 주기는 금속 고리의 각속도에 반비례한다. A의 경우 자기 선속의 주기는 $4t_0$ 이고, B의 경우 자기 선속의 주기는 $2t_0$ 이므로 $\omega_A=\frac{\pi}{2t_0}$ 이고, $\omega_B=\frac{\pi}{t_0}$ 이다. 따라서 p에 흐르는 유도 전류의 주기는 A의 경우가 B의 경우의 2배이다.

㉢. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율은 금속 고리가 회전하는 각속도가 클수록 크다. 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 시간에 따른 변화율이 클수록 금속 고리에 유도되는 기전력이 크다. 따라서 전구에 걸리는 전압의 최댓값은 B의 경우가 A의 경우보다 크다.

심화 08번

접근 Point 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

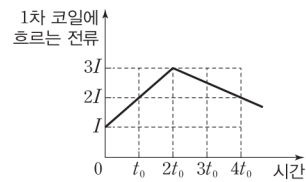
08 상호유도

1차 코일에 흐르는 전류의 변화로 2차 코일을 통과하는 자기 선속이 변하게 되어 2차 코일에 유도 기전력이 발생한다. 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례한다.

㉠. 1차 코일에 화살표 방향으로 전류가 흐를 때, 2차 코일을 통과하는 1차 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다. 0부터 $2t_0$ 까지 2차 코일에 흐르는 전류의 방향은 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 방향이므로 2차 코일에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 0부터 $2t_0$ 까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 증가한다.

㉡. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기가 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 2배이므로 2차 코일에 유도되는 기전력의 크기는 t_0 일 때가 $3t_0$ 일 때의 2배이다.

㉢. 0부터 $2t_0$ 까지 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 증가하고, $2t_0$ 부터 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 일정하게 감소한다. 2차 코일에 흐르는 유도 전류의 세기는 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율에 비례하므로 1차 코일에 흐르는 전류의 시간에 따른 변화율은 0부터 $2t_0$ 까지가 $2t_0$ 부터 $4t_0$ 까지의 2배이다. 1차 코일에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다.



따라서 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 t_0 일 때가 $4t_0$ 일 때가 같다.

심화 09번

접근 Point A의 2차 코일과 B의 1차 코일의 양단에 걸리는 전압은 같다. A의 1차 코일에 공급되는 전력은 B의 2차 코일에 연결된 저항에서 소비하는 전력과 같다.

09 변압기

변압기는 상호유도 현상을 이용하여 전압을 변화시킨다. 코일에 걸리는 전압은 1차 코일과 2차 코일의 감은 수에 비례한다. A의 2차 코일과 B의 1차 코일에 흐르는 전류의 세기는 같다.

✕. A의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 1 : 4이므로 A의 2차 코일에 걸리는 전압은 $4V_0$ 이다. A의 1차 코일에 공급되는 전력은 $V_0 I_0$ 이므로 A의 2차 코일에 흐르는 전류의 세기는 $V_0 I_0 = 4V_0 I$ 에서 $I = \frac{1}{4} I_0$ 이다. 따라서 p에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{4} I_0$ 이다.

○. B의 1차 코일에 걸리는 전압은 A의 2차 코일에 걸리는 전압과 같고, B의 1차 코일과 2차 코일의 감은 수의 비가 2 : 1이므로 B의 2차 코일에 걸리는 전압은 $2V_0$ 이다.

○. R에서 소비하는 전력은 A의 1차 코일에 공급되는 전력과 같고, R에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{2} I_0$ 이다. R의 저항값을 R 라 하면,

$$V_0 I_0 = \left(\frac{1}{2} I_0 \right)^2 R \text{에서 } R = \frac{4V_0}{I_0} \text{이다.}$$

심화 10번

접근 Point 코일에 유도되는 기전력의 크기는 코일의 감은 수에 비례한다. R_2 에서 소비하는 전력은 R_1 에서 소비하는 전력의 2배이다.

10 변압기

상호유도 현상을 이용하는 변압기는 코일의 감은 수를 조절하여 전압을 변화시킨다. 코일의 양단에 걸리는 전압은 코일의 감은 수에 비례하고, 변압기에서 에너지 손실은 없으므로 전압과 전류의 곱은 일정하다.

○. S_1 만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 1이므로 R_1 의 양단에 걸리는 전압은 $2V_0$ 이다. S_2 만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일에 흐르는 전류의 비는 2 : 3이므로 R_2 의 양단에 걸리는 전압은 $\frac{2}{3} V_0$ 이다. 따라서 S_1 만 닫혀 있을 때 R_1 의 양단에 걸리는 전압은 S_2 만 닫혀 있을 때 R_2 의 양단에 걸리는 전압보다 크다.

✕. S_1 만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 2차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 1 : 2이므로 $N_1 : N_2 = 1 : 2$ 이다. S_2 만 닫혀 있을 때, 1차 코일과 3차 코일의 양단에 걸리는 전압의 비는 3 : 2이므로 $N_1 : N_3 = 3 : 2$ 이다. 따라서 $\frac{N_3}{N_2} = \frac{1}{3}$ 이다.

○. R_1 과 R_2 의 저항값을 각각 R_1 , R_2 라고 하자. S_1 만 닫혀 있을 때, R_1 에서 소비하는 전력은 $\frac{(2V_0)^2}{R_1} = V_0 I_0$ 이므로 $R_1 = \frac{4V_0}{I_0}$ 이다.

S_2 만 닫혀 있을 때, R_2 에서 소비하는 전력은 $\frac{\left(\frac{2}{3} V_0\right)^2}{R_2} = 2V_0 I_0$

이므로 $R_2 = \frac{2V_0}{9I_0}$ 이다. 따라서 $R_1 = 18R_2$ 이다.