

전기와 자기의 상호작용



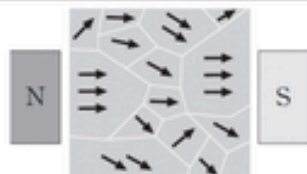
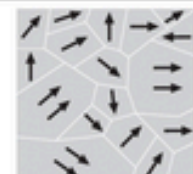
### 〈물리 상수〉

진공 중의 빛의 속도	$c$	$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$	플랑크 상수	$h$	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
중력 상수	$G$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$			$4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
아보가드로 수	$N_A$	$6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$	볼츠만 상수	$k$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
기체 상수	$R$	$8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$			$8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
		$8.21 \times 10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$	기본 전하량	$e$	$1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
진공의 유전율	$\epsilon_0$	$8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$	전자의 질량	$m_e$	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
진공의 투자율	$\mu_0$	$1.26 \times 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m/A}$	양성자의 질량	$m_p$	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
패러데이 상수	$F$	$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$	중성자의 질량	$m_n$	$1.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$

## 물질의 자성

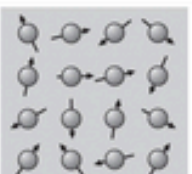
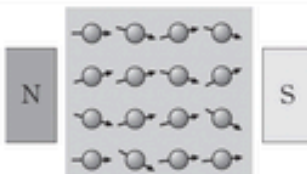
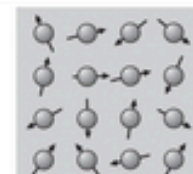
### 강자성체

철, 코발트, 니켈 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
		
자기 구역의 자기장이 다양하게 분포한다.	자기 구역이 외부 자기장과 같은 방향으로 강하게 자기화된다.	자기화된 상태를 오래 유지한다.

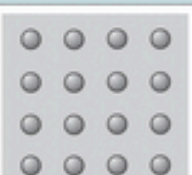
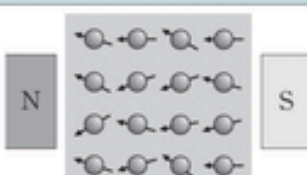

### 상자성체

종이, 알루미늄, 마그네슘, 산소 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
		
원자가 나타내는 자기장 방향이 불규칙하게 분포되어 자성을 나타내지 않는다.	원자가 나타내는 자기장 방향이 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자기화된다.	원자가 나타내는 자기장 방향이 흐트러져 자기화된 상태가 바로 사라진다.

### 반자성체


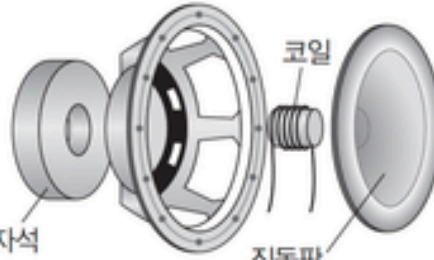
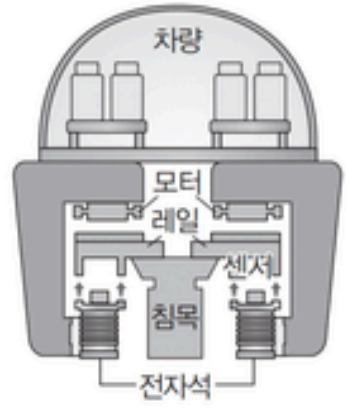
구리, 유리, 플라스틱, 금, 수소, 물 등

외부 자기장이 없을 때	외부 자기장을 걸어 줄 때	외부 자기장을 제거했을 때
		
원자가 나타내는 자기장은 총 0이다.	외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자기화된다.	자기화된 상태가 바로 사라진다.

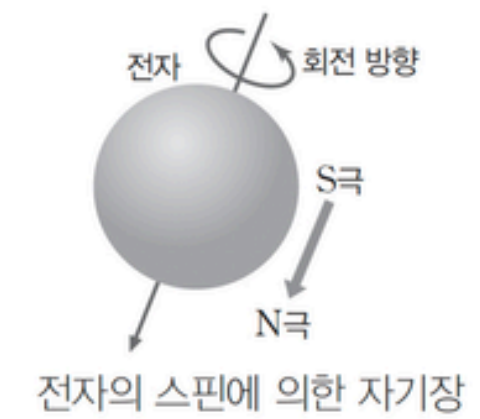
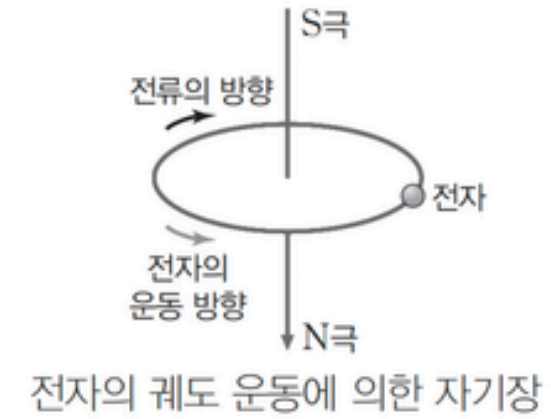
## 자성체의 이용

전자석	고무 자석
	
전류가 흐르는 코일 안에 강자성체(철심)를 넣으면 강자성체가 전류에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 매우 강한 자석이 된다.	강자성체 분말을 고무에 섞어 만든 고무 자석은 제작가가 낮고, 사용이 편리하기 때문에 광고 전단지, 냉장고 문 등에 많이 사용된다.
액체 자석	하드 디스크
	
액체 자석은 강자성체 분말을 매우 작게 만들어 액체 속에 넣고 서로 뒤엉키지 않도록 처리하여 만든다. 지폐의 위조 방지를 위해 지폐의 숫자 부분에 액체 자석을 넣은 잉크가 사용되고 있으며, 장기 내부를 살펴보는 MRI 조영제로 활용하기 위한 연구도 진행되고 있다.	강자성체인 산화 철로 코팅된 얇은 디스크(플래터) 위에 헤드가 놓여 있는 구조로, 헤드에 전류가 흐르면서 생기는 자기장에 의해 헤드 근처를 지나가는 디스크의 작은 부분들이 자기화되면서 정보를 저장한다.

## 전자석 이용

전자석 기중기	스피커	자기 부상 열차
		
<p>고철을 들어 올릴 때는 코일에 전류가 흐르게 하여 전자석에 고철이 붙도록 하고, 고철을 내려놓을 때는 전류가 흐르지 않도록 하여 고철이 떨어지게 한다.</p>	<p>전류의 방향이 바뀌면 전자석의 극이 바뀌어 자기력에 의해 영구 자석과 같은 극끼리는 서로 밀어내고, 다른 극끼리는 서로 끌어당겨 진동판이 진동하여 소리가 발생한다.</p>	<p>코일에 전류를 흐르게 하면 전자석이 레일의 자석과 서로 밀어내거나 끌어당겨 차량이 떠서 움직이게 한다.</p>

## 원자 내부 전자의 운동과 자성



## 전류에 의한 자기장

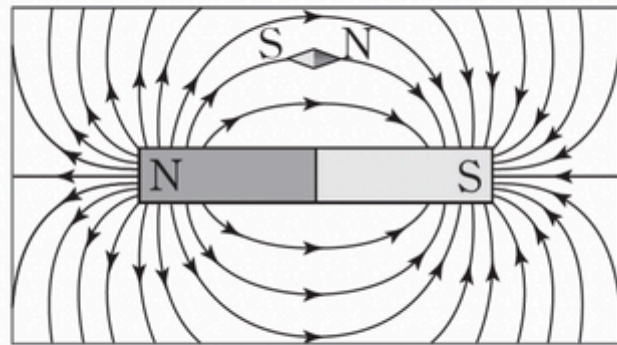
### 자기력

자석 사이에 작용하는 힘을 자기력이라고 한다.

자석의 N극과 N극, S극과 S극 사이에는 서로 미는 방향으로 자기력이 작용하고, 자석의 N극과 S극 사이에는 서로 당기는 방향으로 자기력이 작용한다.

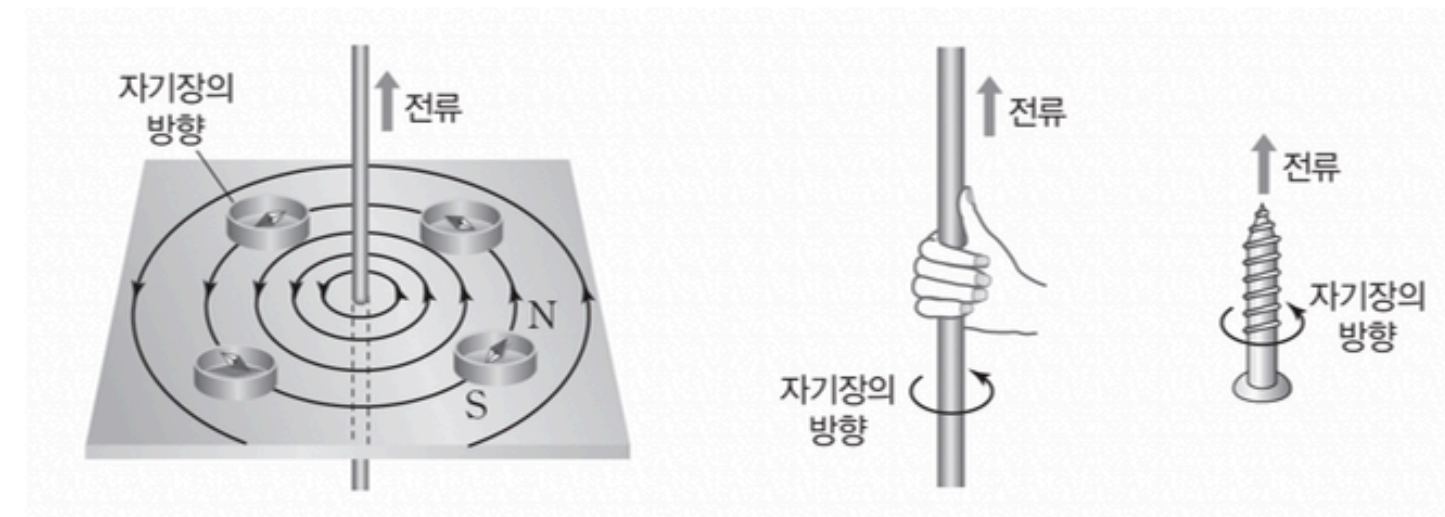
### 자기장

자석이나 전류가 흐르는 도선 주위에 자기력이 작용하는 공간을 자기장이라고 한다.



## 직선 전류에 의한 자기장

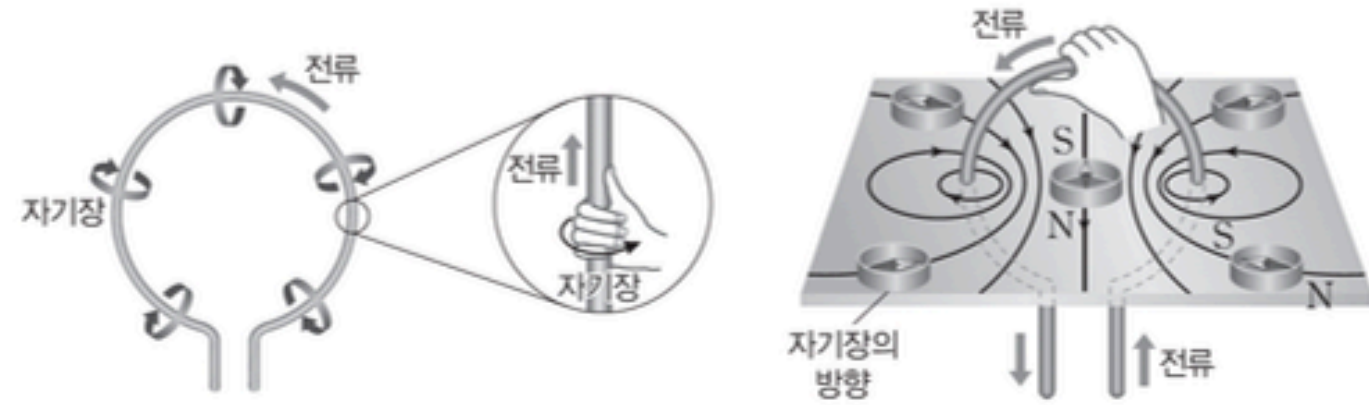
$$\text{자기장의 세기} \propto \frac{\text{전류의 세기}}{\text{직선 도선으로부터의 거리}}$$



(가) 직선 도선 아래에 나침반을 놓은 경우	(나) 직선 도선 위에 나침반을 놓은 경우

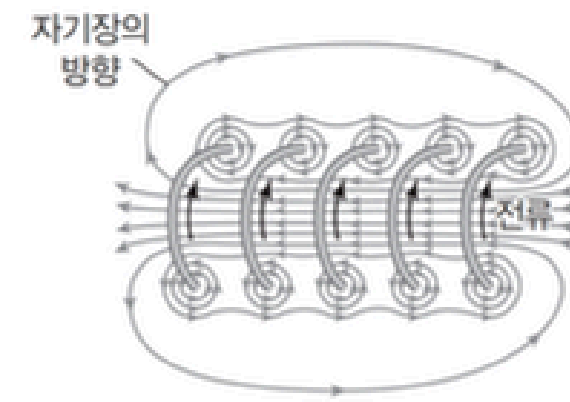
### 원형 전류에 의한 자기장

$$\text{자기장의 세기} \propto \frac{\text{전류의 세기}}{\text{원형 도선의 반지름}}$$



### 솔레노이드에서 전류에 의한 자기장

$$\text{자기장의 세기} \propto (\text{전류의 세기}) \times (\text{단위 길이당 도선의 감은 수})$$



## 전자기 유도

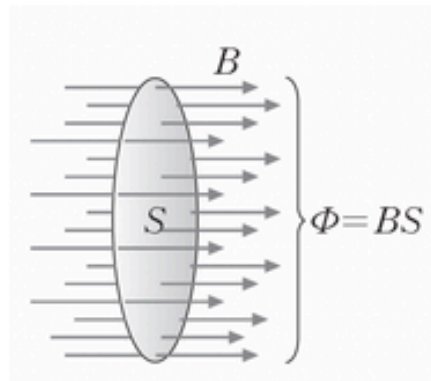
### 자기 선속 ( $\Phi$ )

자기 다발이라는 의미이며, 자기장에 수직인 단면을 지나는 자기력선의 수에 비례한다.  
단위는  $Wb$ (웨버)를 사용한다.

### 자기장의 세기 ( $B$ )

자기장에 수직인 단위 면적을 통과하는 자기 선속을 자기장의 세기라고 한다.

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad [\text{단위 : T, } 1T = 1Wb/m^2]$$



### 전자기 유도

코일 내부를 통과하는 자기 선속이 변할 때 코일에 전류가 흐르는 현상이다.

### 유도 기전력

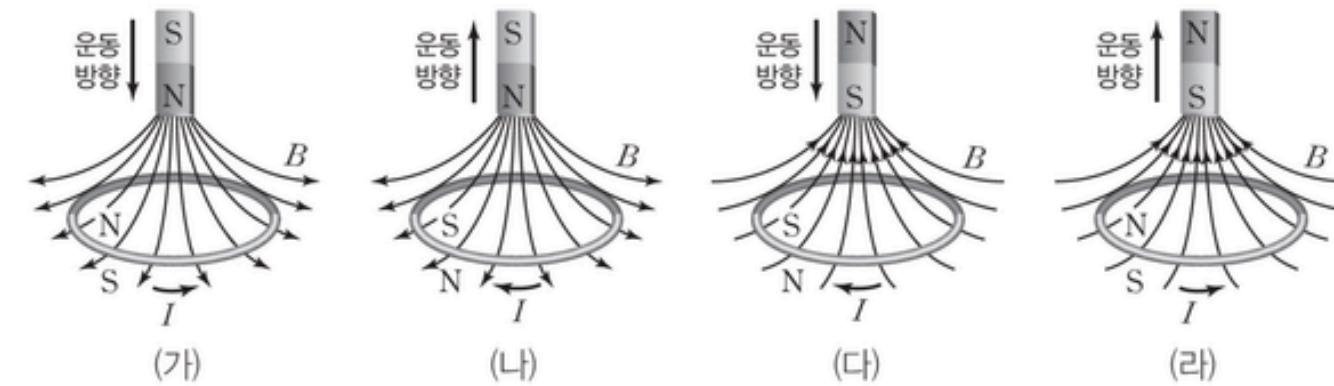
전자기 유도에 의해 발생하는 전압이다.

### 유도 전류

전자기 유도에 의해 흐르는 전류이다.

## 렌츠의 법칙

전자기 유도가 일어날 때 자기 선속의 변화에 따른 유도 전류의 방향을 찾는 법칙이다.  
자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류에 의한 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다.



구분	N극이 접근할 때	N극이 멀어질 때	S극이 접근할 때	S극이 멀어질 때
과정				
자기력	밀어냄(척력)	끌어당김(인력)	밀어냄(척력)	끌어당김(인력)
코일의 극	위: N극 아래: S극	위: S극 아래: N극	위: S극 아래: N극	위: N극 아래: S극
유도 전류의 방향	$a \rightarrow \text{㉞} \rightarrow b$	$b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$	$b \rightarrow \text{㉞} \rightarrow a$	$a \rightarrow \text{㉞} \rightarrow b$

## 패러데이 법칙

유도 기전력의 크기는 코일 내부를 지나는 자기 선속이 빠르게 변할수록 크다.  
 시간  $\Delta t$  동안 감은 수가  $N$ 인 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가  $\Delta\Phi$ 이면 유도 기전력  $V$ 는 다음과 같다.

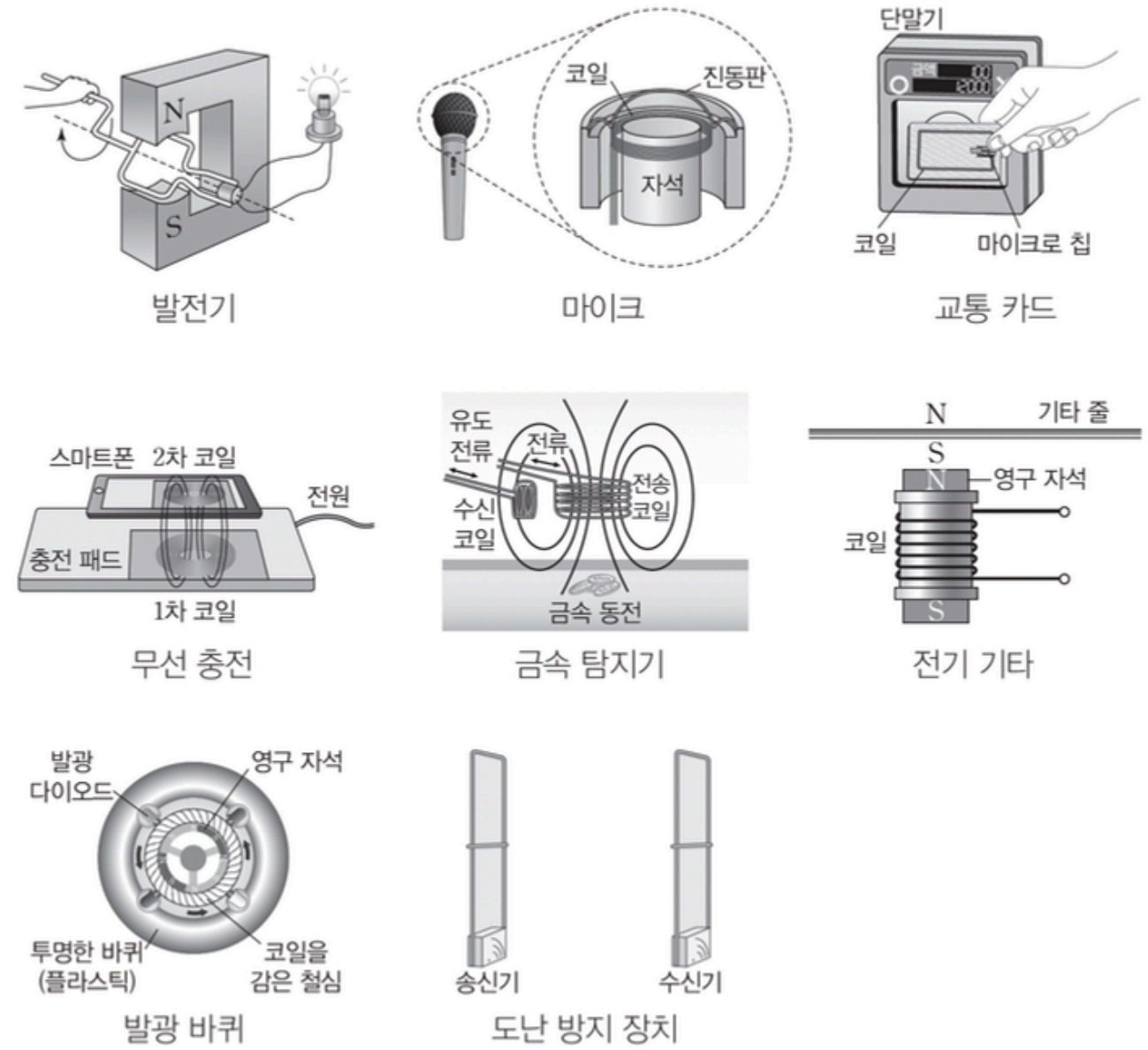
$$V = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

위 식에서 (-)부호는 유도 기전력의 방향이 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이라는 의미를 가지므로, 패러데이 법칙은 렌츠 법칙을 포함한다.

[자료]	도선의 이동	균일한 자기장 영역	균일한 자기장 영역	균일한 자기장 영역
[분석]	균일한 자기장 영역에 들어갈 때	균일한 자기장 영역 내에서 운동할 때	균일한 자기장 영역에서 빠져나올 때	
자기 선속	종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 증가	일정	종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속 감소	
유도 전류에 의한 자기장	종이면에서 수직으로 나오는 방향	없음	종이면에 수직으로 들어가는 방향	
유도 전류의 방향	시계 반대 방향	없음	시계 방향	

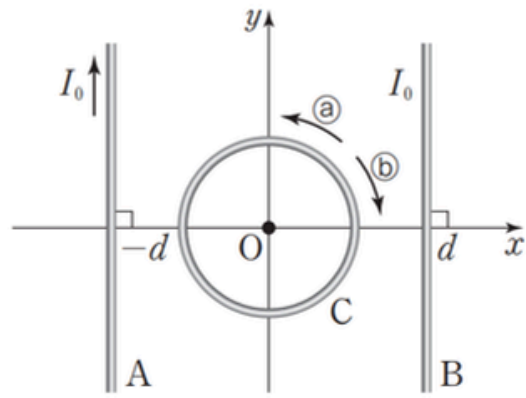
(x: 종이면에 수직으로 들어가는 방향)

## 전자기 유도의 이용 예





그림과 같이  $xy$ 평면에  
가늘고 무한히 긴 직선 도선 A,  
B가 각각  $x=-d$ ,  $x=d$ 에,  
전류가 흐르는 원형 도선 C가  
중심이 원점 O인 지점에 각각  
고정되어 있다. A, B에 흐르는



전류의 세기는  $I_0$ 으로 서로 같고, A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$   
방향이며, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장은 0이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

( 보기 )

- ㄱ. O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. C에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.
- ㄷ. O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 2배이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



직선 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다. 따라서 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기와 B의 전류에 의한 자기장의 세기가 같으므로 O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 조건을 충족하기 위해서는 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 같아야 한다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉠. 앙페르 법칙에 따라 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향과 B의 전류에 의한 자기장의 방향이 같으므로 O에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

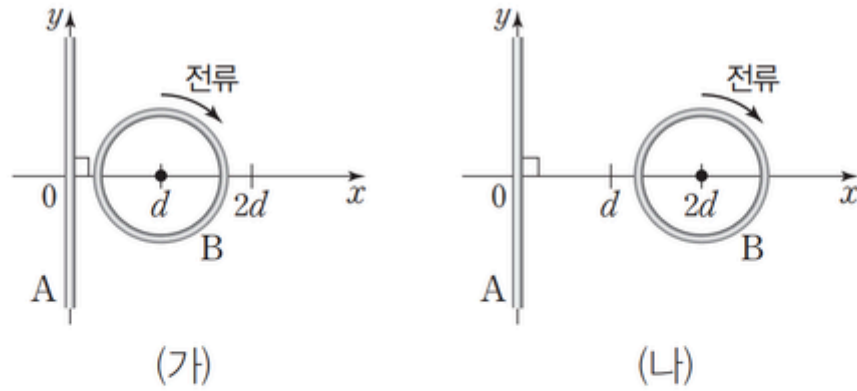
㉡. O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장이 0이므로 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 C에 흐르는 전류의 방향은 ㉠ 방향이다.

㉢. O에서 A, B, C 각각의 전류에 의한 자기장의 세기를 각각  $B_A, B_B, B_C$ 라 할 때, O에서 A, B, C의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다.

$$[O에서] B_A + B_B - B_C = 0$$

이때  $B_A = B_B$ 이므로  $B_C = 2B_A$ 이다. 따라서 O에서 C의 전류에 의한 자기장의 세기는 A의 전류에 의한 자기장의 세기의 2배이다.

그림 (가)와 같이  $xy$ 평면에 가늘고 무한히 긴 직선 도선 A가  $y$ 축에, 원형 도선 B의 중심이  $x$ 축상의  $x=d$ 에 고정되어 있다. B에 흐르는 전류의 방향은 시계 방향이고, B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장은 0이다. 그림 (나)는 (가)에서 B의 중심을  $x$ 축상의  $x=2d$ 에 옮겨 고정시킨 것을 나타낸 것으로, B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $B_0$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

( 보기 )

- ㄱ. A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.
- ㄴ. (나)의 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ. B의 중심에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기는  $2B_0$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



원형 도선의 중심에서 원형 도선의 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 오른손 엄지손가락이 전류가 흐르는 방향을 가리킬 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이다. 따라서 B의 중심에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

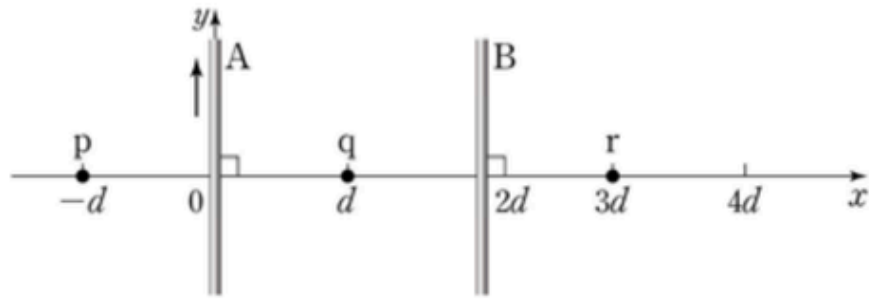
㉠. (가)의 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이므로 B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 앙페르 법칙에 따라 A에 흐르는 전류의 방향은  $-y$ 방향이다.

㉡. B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기는 (가)에서 (나)에서의 2배이다. 따라서 (나)의 B의 중심에서 자기장의 세기는 B의 전류에 의한 자기장이 A의 전류에 의한 자기장보다 크므로 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$ 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉢. B의 중심에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_B$ , (가)의 B의 중심에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A$ 라 할 때, (가), (나)의 B의 중심에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 다음과 같다. (가)  $B_B - B_A = 0 \cdots \textcircled{1}$ , (나)  $B_B - \frac{1}{2}B_A = B_0 \cdots \textcircled{2}$

㉠, ㉡에 의해  $B_A = B_B = 2B_0$ 이다.

그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가  $xy$  평면에 나란하게 고정되어 있다. 점 p, q, r는  $x$ 축상에 있고, A에 흐르는 전류의 방향은  $+y$  방향이다. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 크고, r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

• 보기 •

- ㄱ. B에 흐르는 전류의 방향은  $+y$  방향이다.
- ㄴ. q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄷ.  $x > 3d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 위치가 있다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



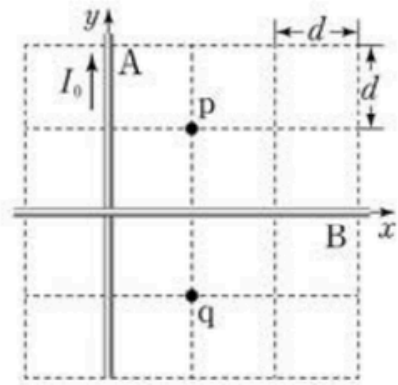
직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터 떨어진 거리에 반비례한다. 또한 두 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장이 0인 지점은 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 같으면 두 도선 사이에 위치하고, 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대이고 전류의 세기가 다르면 전류의 세기가 작은 도선의 바깥쪽에 위치한다.

✕. B에 흐르는 전류의 방향이  $+y$  방향이면 r에서 A, B에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 따라서 r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향이  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $-y$  방향이다.

㉠. q에서 A와 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 크므로 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다. r에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이므로  $x > 3d$ 에서 A, B의 전류에 의한 자기장이 0이 되는 위치가 있다.

그림과 같이 세기와 방향이 일정한 전류가 흐르는 무한히 긴 직선 도선 A, B가  $xy$  평면에 고정되어 있다. A에는 세기가  $I_0$ 인 전류가  $+y$  방향으로 흐른다.  $xy$  평면의 점 p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다. 표는 p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기를 나타낸 것이다.



위치	A, B의 전류에 의한 자기장의 세기
p	$3B_0$
q	$B_0$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

• 보기 •

- ㄱ. p에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㄴ. B에 흐르는 전류의 방향은  $+x$  방향이다.
- ㄷ. B에 흐르는 전류의 세기는  $2I_0$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



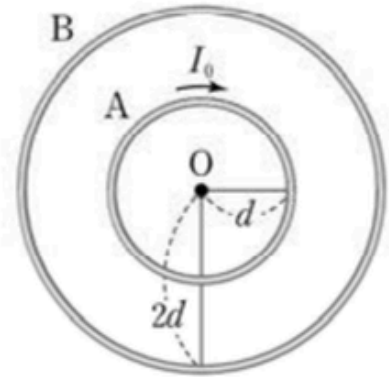
직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다. 또한 각 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향이 같으면 자기장의 세기가 증가하고, 자기장의 방향이 반대이면 자기장의 세기가 감소한다.

㉠. A로부터 떨어진 거리가 같은 p, q에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기가 같고, 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같다. p, q에서 B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이거나  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이고, p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 같다. 따라서 p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은 각각  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡. p, q에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향으로 서로 같고 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 q에서보다 크므로 B에 흐르는 전류의 방향은  $-x$  방향이다.

㉢. p에서 A의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_A$ , q에서 B의 전류에 의한 자기장의 세기를  $B_B$ 라고 하면, p에서  $B_A + B_B = 3B_0$ 이고, q에서  $B_A - B_B = B_0$ 이므로  $B_A = 2B_0$ 이고,  $B_B = B_0$ 이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는  $\frac{1}{2}I_0$ 이다.

그림과 같이 중심이 점 O이고 반지름이 각각  $d$ ,  $2d$ 인 원형 도선 A, B가 종이면에 고정되어 있다. A에는 세기가  $I_0$ 인 전류가 시계 방향으로 흐른다. 표는 O에서 A, B의 전류에 의한 자기장의 세기와 방향을 B에 흐르는 전류에 따라 나타낸 것이다.



B에 흐르는 전류		O에서 A, B의 전류에 의한 자기장	
세기	방향	세기	방향
0	해당 없음	$B_0$	㉠
㉡	㉢	$\frac{1}{2}B_0$	×

×: 종이면에 수직으로 들어가는 방향  
 •: 종이면에서 수직으로 나오는 방향

㉠, ㉡, ㉢에 들어갈 내용으로 옳은 것은?

- |   | ㉠ | ㉡                | ㉢        |
|---|---|------------------|----------|
| ① | • | $I_0$            | 시계 방향    |
| ② | • | $2I_0$           | 시계 반대 방향 |
| ③ | × | $\frac{1}{2}I_0$ | 시계 방향    |
| ④ | × | $I_0$            | 시계 반대 방향 |
| ⑤ | × | $2I_0$           | 시계 반대 방향 |

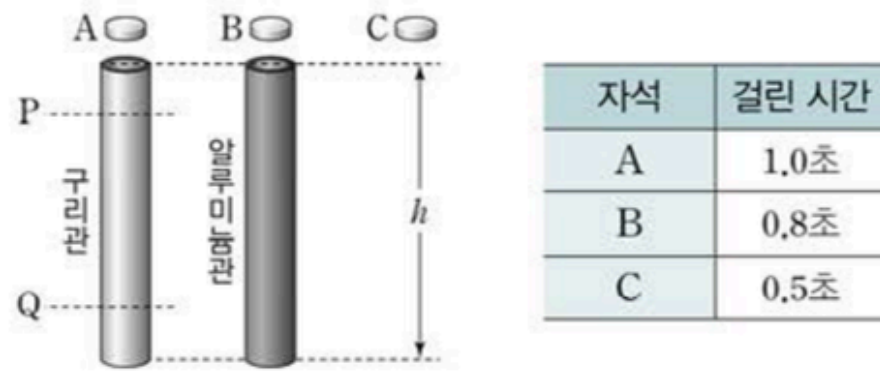


원형 도선의 중심에서 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 세기는 원형 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하고, 원형 도선의 반지름에 반비례한다. 또한 원형 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 앙페르 법칙에 따라 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 엄지손가락을 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 원형 도선을 감아주는 방향이다.

④ ㉠: B에는 전류가 흐르지 않고, A에는 시계 방향으로 전류가 흐르므로 O에서 A의 전류에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

㉡, ㉢: B의 전류에 의한 자기장의 방향과 세기는 종이면에서 수직으로 나오는 방향으로  $\frac{1}{2}B_0$ 이다. 원형 도선의 반지름은 B가 A의 2배이므로 B에는 세기가  $I_0$ 인 전류가 시계 반대 방향으로 흐른다.

그림은 두께와 굵기가 같고 높이가  $h$ 인 구리관, 알루미늄관의 입구에서 각각 자석 A, B를, 두 도체 관의 입구와 같은 높이에서 자석 C를 가만히 놓은 모습을 나타낸 것이다. 표는 동일한 자석 A, B, C를 가만히 놓은 순간부터  $h$ 만큼 가속도 운동하여 낙하하는데 걸린 시간을 나타낸 것이다. A는 기준선 P, Q를 순서대로 지난다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 관과 자석 사이의 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

• 보기 •

- ㄱ. A는 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받는다.
- ㄴ. B의 역학적 에너지는 보존된다.
- ㄷ. 구리관에서 유도 전류의 세기는 자석이 P를 지날 때와 Q를 지날 때가 서로 같다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



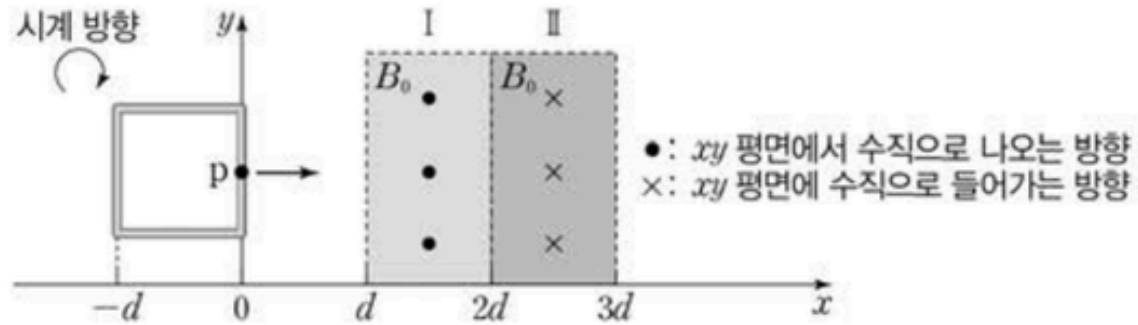
$h$ 만큼 낙하하는 데 걸린 시간은 도체인 구리관과 알루미늄관에서 낙하하는 A, B가 자유 낙하 운동 하는 C보다 더 크다. 도체 관에서는 자석의 운동으로 인해 유도 전류가 흐르게 되어 자석의 운동을 방해하는 힘이 작용한다.

㉠ 구리관에서 A가 낙하하는 동안 시간에 따른 자기 선속이 변하여 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되므로, A에는 A의 운동 방향과 반대 방향으로 자기력이 작용한다.

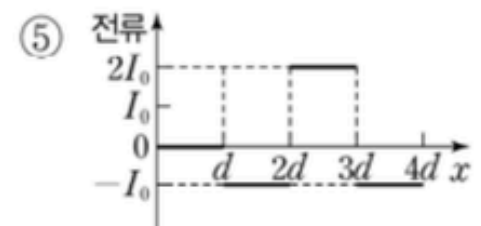
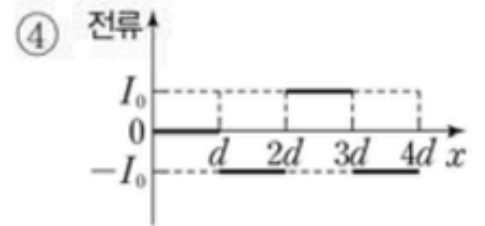
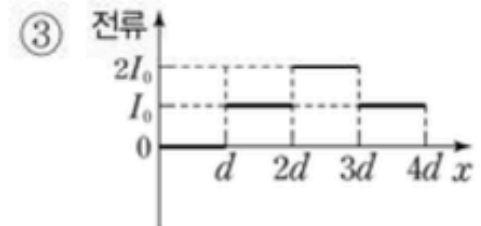
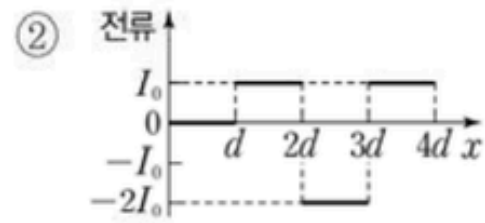
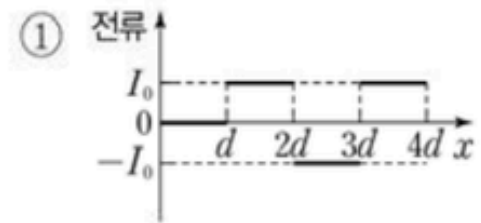
㉡ 알루미늄관에서 B가 낙하하는 동안 시간에 따른 자기 선속이 변하여 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되므로, 자석의 역학적 에너지의 일부가 전기 에너지로 전환된다.

㉢ 구리관에서 자석의 낙하 속력은 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 크므로 자석이 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 단위 시간당 자기 선속의 변화량이 크다. 유도 전류의 세기는 단위 시간당 자기 선속의 변화량에 비례하므로 구리관에서 유도 전류의 세기는 자석이 Q를 지날 때가 P를 지날 때보다 크다.

그림과 같이 한 변의 길이가  $d$ 인 정사각형 금속 고리가  $xy$  평면에서  $+x$  방향으로 등속도 운동을 하며 자기장의 세기가  $B_0$ 으로 같은 균일한 자기장 영역 I, II를 지난다.



고리에 시계 방향으로 흐르는 유도 전류를 양(+ )으로 표시할 때, 고리가 I, II를 완전히 통과할 때까지 고리에 유도되는 전류를 고리상의 점 p의 위치  $x$ 에 따라 가장 적절하게 나타낸 것은?





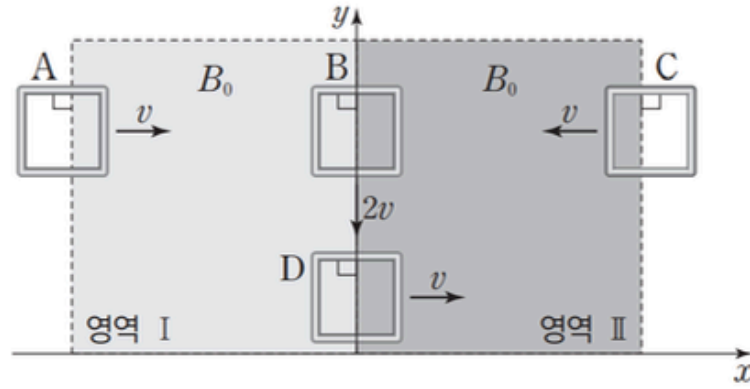
금속 고리가 자기장 영역에 진입할 때 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로  $p$ 에 유도 전류가 흐르고, 단위 시간당 금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화량이 클수록  $p$ 에 흐르는 유도 전류의 세기가 크다.

②  $p$ 가  $x=d$ 에서  $x=2d$ 를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기장의 방향은  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이고, 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.  $p$ 가  $x=3d$ 에서  $x=4d$ 를 지날 때 금속 고리를 통과하는 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이고, 금속 고리를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.  $p$ 가  $x=2d$ 에서  $x=3d$ 를 지날 때 금속 고리를 통과하는  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장 면적은 감소하고,  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장 면적은 증가하므로 유도 전류에 의한 자기장의 방향은  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향이며, 금속 고리에 흐르는 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

$p$ 의 위치	금속 고리를 통과하는 자기 선속의 변화	유도 전류의 방향
$x=d \sim x=2d$	• 방향의 자기장 면적 증가	시계 방향
$x=2d \sim x=3d$	• 방향의 자기장 면적 감소 × 방향의 자기장 면적 증가	시계 반대 방향
$x=3d \sim x=4d$	× 방향의 자기장 면적 감소	시계 방향

•:  $xy$  평면에서 수직으로 나오는 방향, ×:  $xy$  평면에 수직으로 들어가는 방향  
 금속 고리를 통과하는 자기장 변화량의 크기는  $p$ 가  $x=2d$ 에서  $x=3d$ 를 지날 때가  $x=d$ 에서  $x=2d$ 를 지날 때와  $x=3d$ 에서  $x=4d$ 를 지날 때의 각각 2배이므로 유도 전류의 세기도 2배이다.

그림은  $xy$ 평면에 수직이고 세기가  $B_0$ 으로 같은 균일한 자기장 영역 I, II에서 동일한 정사각형 도선 A, B, C, D가 각각  $v, 2v, v, v$ 의 속력으로  $+x$ 방향,  $-y$ 방향,  $-x$ 방향,  $+x$ 방향으로 운동하는 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. A, C에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, A, B, C, D 사이의 상호 작용은 무시한다.)

( 보기 )

- ㄱ. I 과 II에서 자기장의 방향은 같다.
- ㄴ. A와 D에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.
- ㄷ. 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 B에서가 가장 크다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



정사각형 도선이 자기장 영역으로 들어갈 때나 나올 때 도선을 통과하는 자기 선속이 변하므로 도선에는 유도 전류가 흐른다. 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 렌츠 법칙에 의해 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향이고, 유도 전류의 세기는 패러데이 법칙에 의해 도선을 통과하는 단위 시간당 자기 선속의 변화량의 크기가 클수록 크다.

✕. A, C는 각각 I, II로 들어가고 있으므로 I, II의 자기장에 의한 자기 선속이 증가한다. A, C에는 각각 자기 선속의 증가를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르고, A, C에 흐르는 유도 전류의 방향이 서로 반대이므로 I, II에서 자기장의 방향은 서로 반대이다.

○. A는 자기장 영역 밖에서 I로 들어가고, D는 I에서 II로 이동하므로 A와 D에서 자기 선속의 변화 방향이 서로 반대이다. 따라서 A, D에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

✕. B는 I, II에 걸쳐  $-y$ 방향으로 운동하므로 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 B에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

