

# 04

## 전자기 유도의 활용

**학습 목표** 자기전속의 변화로 전자기 유도를 이해하고, 변압기, 인덕터 등 전자기 유도의 활용 기술을 설명할 수 있다.

접촉에 따른 마찰력을 이용하는 자동차 브레이크와는 달리 고속 열차는 비접촉식 자기 브레이크를 사용한다. 고속 열차에서 사용하는 자기 브레이크의 원리와 장점은 무엇일까?



### 자기전속

자기장을 표현할 때 자기력선을 사용하면 편리하다. 어떤 단면을 지나가는 자기력선의 총수를 **자기전속**이라고 한다. 그림 I-24와 같이 자기전속  $\Phi$ 는 자기장의 세기  $B$ 와 그 자기장에 수직인 단면적  $A$ 를 곱한 값이다. 자기전속의 단위는 Wb(웨버)를 사용한다.

$$\text{자기전속}(\Phi) = \text{자기장의 세기}(B) \times \text{자기장에 수직인 단면적}(A)$$

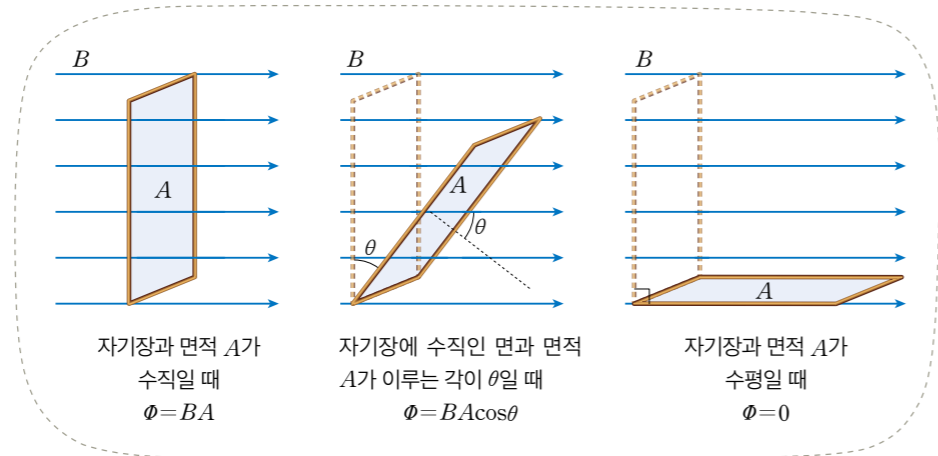


그림 I-24 자기전속

- 자기전속의 크기
  - 자기장의 세기가 클수록 자기전속이 크다.
  - 자기장에 수직인 단면적이 넓을수록 자기전속이 크다.

자기장의 세기가 증가하거나 자기장이 통과하는 단면적이 증가하면 자기전속이 증가한다.

### 패러데이 법칙과 렌츠 법칙

코일 주위에서 자석을 움직이면 코일 내부의 자기장 세기가 변하므로 코일을 통과하는 자기전속이 변한다. 이때 코일에 유도 기전력이 생기는 전자기 유도 현상이 일어난다.  $N$  번 감은 코일에서 시간  $\Delta t$  동안 자기전속이  $\Delta\Phi$ 만큼 변할 때, 유도 기전력  $V$ 는 다음과 같다.

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

이를 **패러데이 법칙**이라고 한다. 코일을 감은 수가 클수록, 단위 시간당 자기전속의 변화가 클수록 유도 기전력이 크다. 자기전속은 자기장 세기와 코일 단면적의 곱이므로 자기장과 단면적 중 하나만 변해도 전자기 유도가 일어난다. 식에서 ‘-’ 부호는 유도 기전력이 자기전속의 변화를 줄이는 방향으로 생기는 것을 의미한다.

그림 I-25의 (가)와 같이 코일을 통과하는 자기전속이 증가하면 유도 전류는 자석에 의한 자기장과 반대 방향으로 자기장을 만들어 자기전속의 증가를 방해한다. 그림 (나)와 같이 코일을 통과하는 자기전속이 감소하면 유도 전류는 자석에 의한 자기장과 같은 방향으로 자기장을 만들어 자기전속의 감소를 방해한다. 이처럼 전자기 유도가 일어날 때 자기전속의 변화를 방해하도록 유도 전류가 흐르는 것을 **렌츠 법칙**이라고 한다.

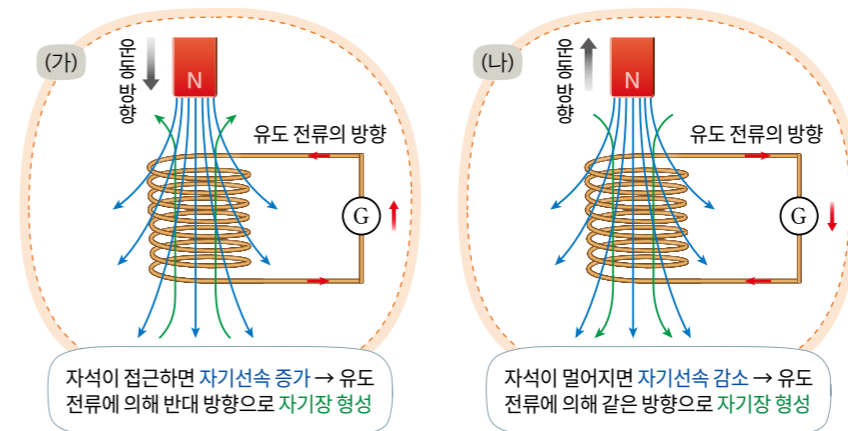


그림 I-25 유도 전류의 방향

#### 스스로 확인

- 1 단면적이  $0.2 \text{ m}^2$ 인 코일과 세기가  $2 \text{ T}$ 인 자기장이 이루는 각이  $45^\circ$ 일 때, 코일을 통과하는 자기전속은 몇 Wb인가?
- 2 코일을 통과하는 자기전속이 증가하면 코일에는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기장이 형성되도록 유도 전류가 흐른다. (○, ×)

### 연계 물리학

전자기 유도는 ‘전기와 자기’ 단원에서 배웠다.

### 패러데이

(Faraday, M., 1791~1867)  
영국의 물리학자. 전자기 유도 현상을 발견해 전기와 자기의 연관성을 더욱 명확하게 했다.

### 렌츠

(Lenz, H. F., 1804~1865)  
독일의 물리학자. 유도 전류의 방향을 연구해 유도 전류가 항상 자기전속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다는 법칙을 발표했다.



증거에 근거한 추론 / 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

### 도체판과 자석을 이용하여 자기 브레이크 탐색하기

#### 목표

도체판과 자석을 이용해 자기 브레이크의 작동 원리를 설명할 수 있다.

#### 과정

1. 스탠드에 도체판을 연결한 뒤 들어 올렸다 놓고 도체판의 운동을 관찰한다.
2. 도체판 대신 플라스틱판으로 **과정 1**을 반복한다.
3. 스탠드 아래에 도체판과 플라스틱판이 자석 사이를 통과하도록 자석을 고정하고, **과정 1, 2**를 반복한다.



#### 실험 영상



#### 준비물

- 사각형 도체판
- 사각형 플라스틱판
- 자석
- 스탠드

#### 역할 나누기

3명~5명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: \_\_\_\_\_
- 결과 기록: \_\_\_\_\_

#### 결과 및 정리

1. 도체판의 운동은 **과정 1**과 **3**에서 어떤 차이가 있는가? 그 까닭을 토의해 보자.
2. **과정 3**에서 도체판과 플라스틱판의 운동은 어떤 차이가 있는가? 그 까닭을 토의해 보자.
3. 실험을 통해 관찰한 현상을 일상생활에 활용할 수 있는 방안을 토의해 보자.

#### 스스로 평가

- | 지식·이해 | 도체판에 유도 전류가 흐르는 과정을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 수집한 증거 및 과학적 사고를 바탕으로 하여 실험 결과를 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 개방적인 태도로 모둠 토의에 참여했는가? ☆☆☆

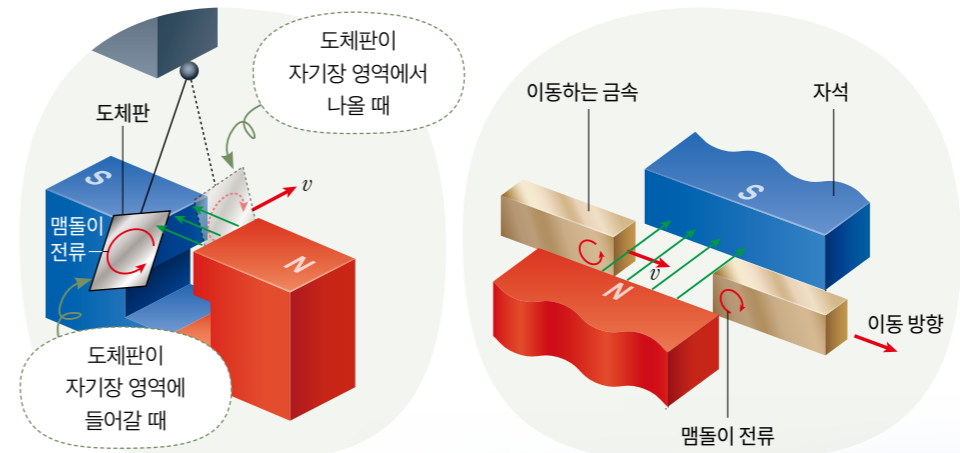
#### 탐구 후기



### 전자기 유도를 이용한 자기 브레이크

그림 I-26의 (가)와 같이 도체판이 자기장 영역으로 들어오면 도체판을 통과하는 자기선속이 증가하고, 도체판에는 자기선속의 증가를 방해하도록 유도 전류가 흐른다. 이때 도체판에 흐르는 전류를 **멤돌이 전류**라고 한다. 멤돌이 전류는 도체판 내부에 부분적으로 소용돌이 모양으로 생긴다. 멤돌이 전류에 의한 자기장과 외부 자기장의 상호작용에 따라 도체판에는 운동을 방해하는 힘이 작용한다.

그림 I-26의 (나)와 같이 금속이 자기장 영역으로 들어올 때에는 들어오지 못하게 힘이 작용하고, 자기장 영역을 빠져나갈 때에는 빠져나가지 못하도록 힘이 작용한다. 자기 브레이크는 이러한 원리를 이용해 운동하는 금속 물체의 속력을 줄이는 장치이다. 자기 브레이크는 직접 접촉하지 않고 작동하므로 잘 마모되지 않고 소음이 적게 발생한다.



(가) 도체판에서 유도되는 멤돌이 전류 (나) 자기 브레이크 원리

그림 I-26 자기 브레이크의 원리

그림 I-27과 같이 자기 브레이크는 고속 열차, 롤러코스터, 낙하 놀이기구 등 교통수단이나 놀이기구의 제동 장치에 쓰이고 있다.

그림 I-27 자기 브레이크를 이용해 속력을 줄이는 기구의 예



낙하 놀이기구

롤러코스터

### 변압기에서의 전자기 유도

그림 I-28에서와 같이 1차 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생성되어 2차 코일을 통과한다. 1차 코일에 흐르는 전류의 세기가 변하면 2차 코일을 통과하는 자기선속이 변하므로 2차 코일에 유도 전류가 흐른다.

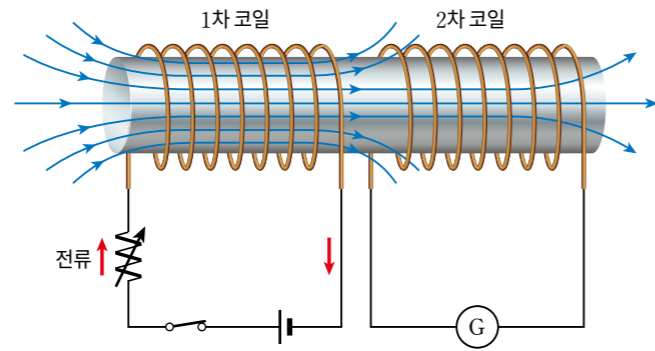


그림 I-28 상호 유도

이러한 성질을 활용하는 장치로 그림 I-29와 같은 변압기가 있다. 변압기는 전자기 유도 현상을 이용해 전압을 바꾸는 장치로, 고리 모양의 철심에 코일 두 개가 각각 감긴 구조로 되어 있다. 변압기의 1차 코일에 전류가 흘러 생성되는 자기장이 철심을 따라 2차 코일을 통과한다. 1차 코일에 교류가 흐르면 1차 코일과 2차 코일을 통과하는 자기선속이 시간에 따라 변해 2차 코일에 유도 기전력이 생긴다. 이상적인 변압기라면 자기력선이 모두 철심을 따라 형성되므로 1차 코일을 통과하는 자기선속  $\phi_1$ 과 2차 코일을 통과하는 자기선속  $\phi_2$ 는 같다.

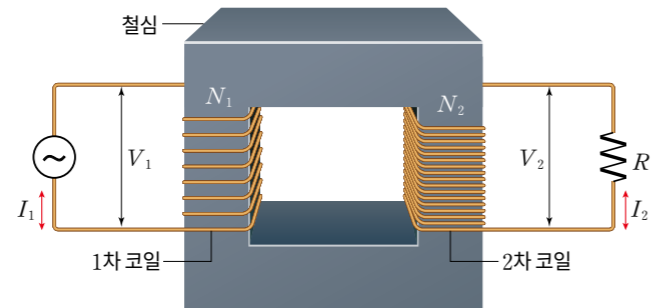


그림 I-29 변압기의 구조

1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 각각  $N_1, N_2$ , 1차 코일에 공급되는 전압을  $V_1$ , 2차 코일에 발생하는 유도 기전력을  $V_2$ 라고 하면  $V_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t}$ ,  $V_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi_2}{\Delta t}$ 이다. 이상적인 변압기에서는  $\phi_1 = \phi_2$ 이므로  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ 이다. 즉, 1차 코일과 2차 코일의 감은 수를 조절해 교류 전압을 바꿀 수 있다.

### 인덕터에서의 전자기 유도

인덕터는 전선을 나선 모양으로 감아 코일처럼 만든 장치이다. 인덕터에 전류가 흐르면 자기장이 형성되고, 인덕터를 통과하는 자기선속이 변하면 전자기 유도에 의해 유도 기전력이 형성된다.

그림 I-30의 (가)와 같이 인덕터와 전원이 연결된 회로에서 스위치를 전원에 연결하면 인덕터 내부에 자기선속이 커지므로 이를 방해하는 유도 기전력이 발생하고, 저항에 흐르는 전류가 서서히 증가한다. 그림 (나)와 같이 전원 연결을 끊으면 인덕터 내부의 자기선속이 빠르게 줄어들므로 이를 방해하는 유도 기전력이 발생하고, 저항에 큰 유도 전류가 흐른다.

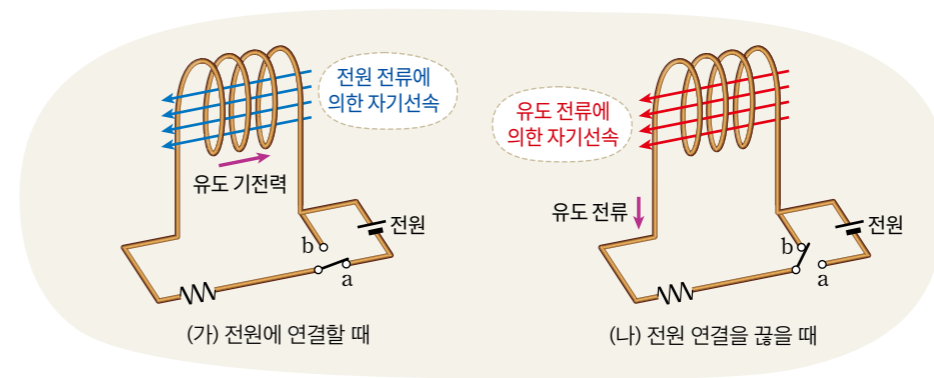


그림 I-30 인덕터에서 유도 기전력

유도 기전력  $V$ 의 크기는  $V = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$  이고, 감은 수  $N$ 인 인덕터를 통과하는 자기선속 변화  $\Delta\phi$ 는 시간  $\Delta t$ 에 따른 전류 변화  $\Delta I$ 에 의해 생기므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = N \frac{\Delta\phi}{\Delta I} \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

여기서 인덕터의 특성을 나타내는 비례 상수  $L$ 을 **자체 유도 계수**라고 하며, 단위는 H(헨리)를 사용한다. 자체 유도 계수가 1 H인 인덕터에서 1 초 동안 1 A의 비율로 전류가 변하면 1 V의 유도 기전력이 발생한다.

#### 스스로 확인

- 1 자기 브레이크에서 자기장 영역으로 금속이 들어올 때와 나갈 때 금속에 작용하는 힘의 방향은 서로 반대 방향이다. (○, ×)
- 2 변압기에서 2차 코일의 감은 수가 1차 코일보다 작으면 2차 코일에 생기는 유도 기전력은 1차 코일에 공급되는 전압보다 ( ) .

#### 스스로 정리

**공유** 놀이기구에서 마찰을 이용한 브레이크와 자기 브레이크를 사용할 때 어떤 차이가 있을지 상상해 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.