



# Physics Laboratory

---

## 실험 2-6. 전자기 유도

### 실험 목적

패러데이의 전자기 유도 법칙에 의하면 자기선속이 시간에 따라 변할 때 그 변화율과 같은 크기의 기전력이 유도되며, 이 유도기전력은 자기선속의 변화를 억제하려는 방향으로 생겨난다. 또한 유도된 전기장도 전하에 의한 전기장과 마찬가지로 다른 전하에 전기력을 통해 영향을 준다. 이 실험에서는 자기장 안에서 코일이 회전할 때 생기는 전위차를 통해 전자기 유도 현상을 확인해 본다. 또 실험 결과를 분석해서 패러데이의 전자기 유도 법칙을 정량적으로 이해하고, 나아가 교류 발전기의 원리에 대해서도 알아본다.

### 실험 개요

- 패러데이 실험 장치를 통해 전자기 유도 현상을 관찰한다. 자기선속의 변화와 유도기전력의 관계를 알아보고, 패러데이의 전자기 유도 법칙을 이해한다.
- AC 모드와 DC 모드의 실험 결과에 차이가 있는 이유를 생각해 보고, 정류자의 원리를 이해한다.
- 교류 발전기의 원리를 이해한다.

## 실험 방법

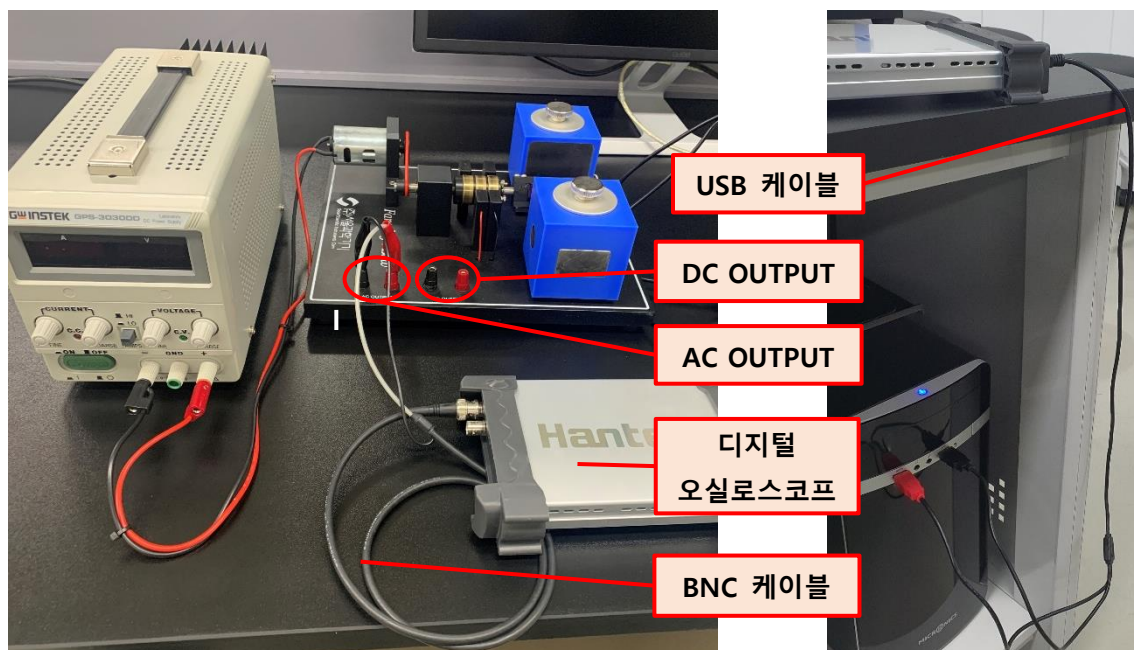
실험실에는 다음과 같은 장치가 준비되어 있다.

패러데이 실험 장치(코일의 감은 횟수 300 회)	1 대
직류 전원 장치	1 대
연결 도선	2 개
Hantek 디지털 오실로스코프	1 대
BNC 케이블	1 개
USB 케이블	1 개

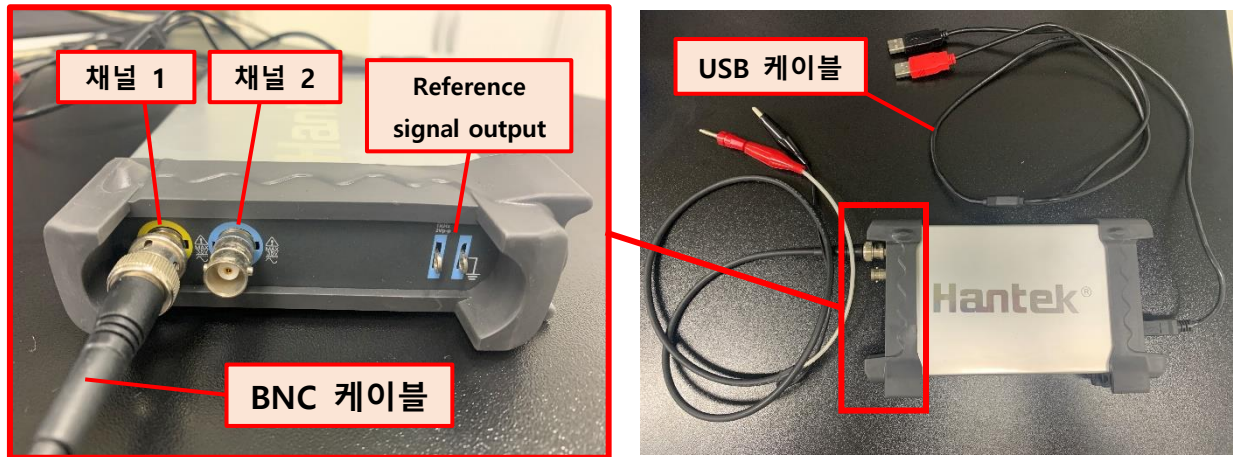
이외에도 더 필요한 것이 있으면 담당 조교에게 문의하거나 각자 미리 준비하도록 한다.

본격적인 실험에 앞서 위 장치들의 세팅 및 사용 방법에 대해 알아보자.

1. 그림 1과 그림 2를 참조하여 패러데이 실험 장치, 직류 전원 장치, 디지털 오실로스코프, 컴퓨터를 연결한다. BNC 케이블은 패러데이 실험 장치와 오실로스코프를 연결하는데 사용하고, USB 케이블로는 오실로스코프와 컴퓨터를 연결한다.



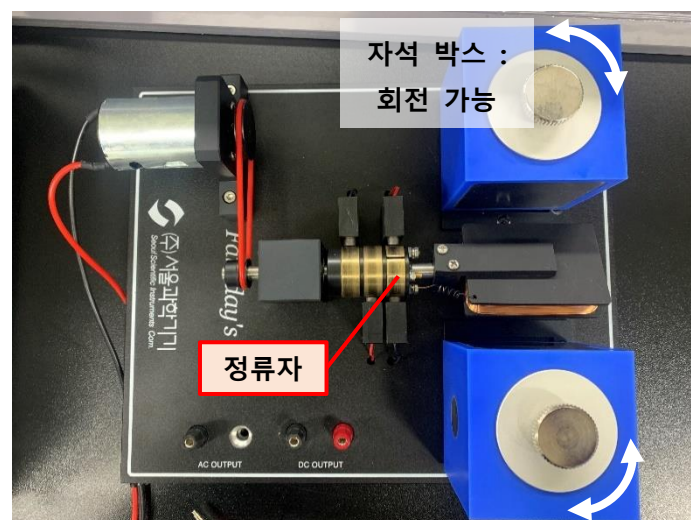
[그림 1] 실험 장치의 구성



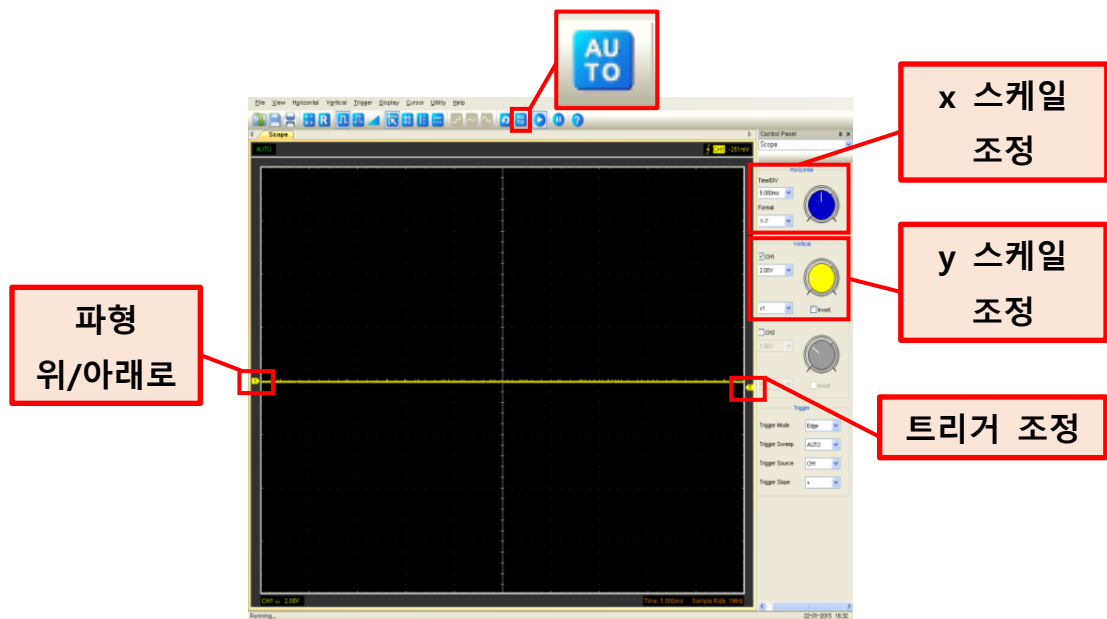
[그림 2] 디지털 오실로스코프의 모습. 여기서는 BNC 케이블의 커넥터가 채널 1 인풋 단자에 연결되어 있지만, 채널 2 인풋 단자에 연결하고 실험할 수도 있다.

2. 패러데이 실험 장치의 자석 박스는 나사를 풀면 회전시킬 수 있고(그림 3 참조), 세 옆면에 각기 다른 영구 자석들(넓은 면적, 좁은 면적, 원형)이 설치되어 있다. 코일을 사이에 두고서 마주보는 자석들의 종류를 바꿈으로써 회전하는 코일에 영향을 주는 자기장을 바꾸어 볼 수 있다.

3. 오실로스코프로 읽은 코일의 유도기전력은 프로그램을 실행시키면 볼 수 있다. (바탕화면→physlab 폴더→전자기 이끄는현상 폴더→ 프로그램 바로 가기 실행) 오실로스코프의 연결 및 프로그램 시작이 정상적이라면, 인풋 단자 옆의 LED 에 초록불이 들어오게 된다.



[그림 3] 패러데이 실험 장치 (위에서 본 모



[그림 3] 입력 신호가 없을 때의 화면. (여기서는 채널 1 인풋만 활성화 되어  
있음)

입력 신호가 전혀 없을 때는 그림 3과 같은 화면이 나타난다. x 축은 시간, y 축은 전압이다. 상단부의 AUTO 버튼은 자동 스케일 조정 버튼으로, 이를 누르면 한 화면에 나타나는 시간과 전압의 범위가 적절히 조절된다. 범위를 수동으로 바꾸어 보고 싶다면 우측 패널의 Horizontal 탭 또는 Vertical 탭을 통해 직접 선택할 수도 있다.

만약 실험 도중 관측되는 파형이 너무 아래나 위로 치우쳐 있다면 그래프 좌측 끝단의 작은 노란색 화살표를 움직여 파형을 전체적으로 위/아래로 움직일 수 있다. 또 관측되는 파형이 정지되어 있지 않고 좌우로 흔들릴 수도 있는데, 이럴 때는 그래프 오른쪽 끝단의 트리거 조정 화살표를 아래 위로 움직여준다. 트리거 화살표가 파형의 중간 정도에 위치하도록 조정하면 관측되는 파형이 안정되는 것을 볼 수 있다.

(참고) 때로는 연결되지 않은 인풋 채널도 같이 활성화되는 경우가 있다. 그러나 실험에는 지장이 없다.

4. 직류 전원 장치는 POWER 버튼을 눌러서 켜다. C.C. 램프에 불이 들어오면 전류를 높일 수 있고, C.V. 램프에 불이 들어오면 전압을 높일 수 있다. 만약 전압을 높이는 도중에 C.V. 램프가 꺼지고 C.C. 램프에 불이 들어온다면, 우선 다시 C.V. 램프에 불이 들어올 때까지 전류를 높이면 된다.

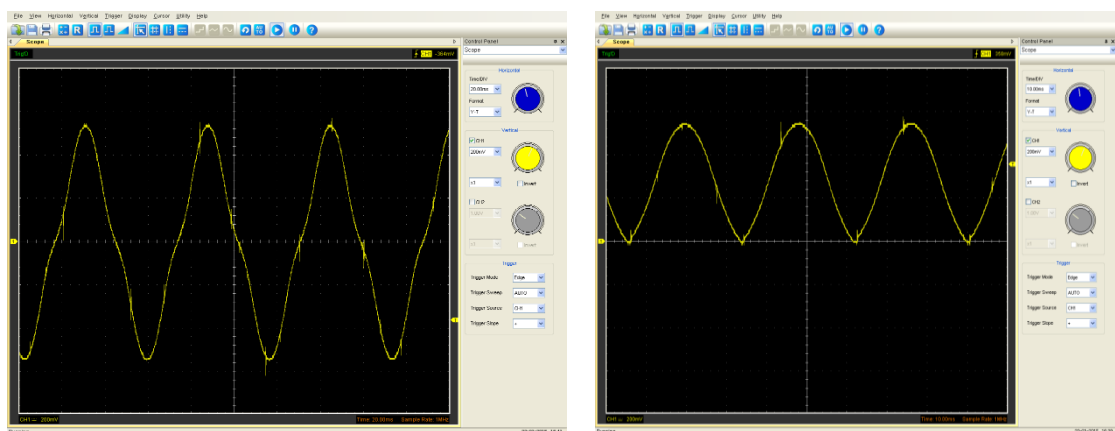
대체로 전류가 약 2 A 이상, 전압이 약 6 V 이상이 되면 패러데이 실험 장치의 코일이 원활하게 회전한다. 만약 이러한 전류와 전압을 공급했는데도 코일이 전혀 회전하지 않거나 전류 및 전압이 이 정도까지 상승하지 않는다면 실험 장치에 문제가 있는 것이므로, 바로 조교에게 말하고 장치를 교체하도록 한다.

(참고) 코일이 빠르게 회전한다고 해서 실험 결과가 좋아지는 것은 아니다. 또한 높은 전류를 오랜 시간 흘릴 경우 장치에 이상이 발생할 수 있으므로, 가급적 공급 전력이 15 W 를 많이 넘지 않도록 유의한다.

이제 권장할 만한 표준적인 실험 방법은 다음과 같다.

<스텝 1> 가장 먼저 패러데이 실험 장치의 구조를 잘 관찰한다. 특히 AC OUTPUT 과 DC OUTPUT 단자가 각기 코일과 어떻게 연결되어 있는지 파악해 둔다. 다음으로는 실험 장치를 세팅하고 프로그램을 실행시킨다. BNC 케이블의 두 집게는 패러데이 실험 장치의 AC OUTPUT 단자들에 연결하고, 넓은 면적의 자석들이 코일을 사이에 두고 서로 마주보도록 한다.

<스텝 2> 직류 전원 장치를 켜다. 코일을 회전시키고, 오실로스코프로부터 출력되는 데이터를 통해 코일에서 발생하는 유도기전력을 관찰한다. 화면에 결과가 잘 나오면, 분석할 때 활용하기 편하도록 데이터를 엑셀 파일로 export 한다.



[그림 4] <스텝 2> 실험 결과 (왼쪽) 와 <스텝 4> 실험 결과

<스텝 3> 전압을 조절하여 코일의 회전 속력을 바꾼 다음 다시 실험하고, 또한 자석 박스를 돌려 코일에 영향을 주는 자기장의 형태를 바꾸어가면서도 실험해 본다. 이전에 비해 결과에 어떤 변화가 생겼는지 알아본다.

(참고) 새로운 실험을 할 때 마다 스케일링을 새로 해 주는 것이 좋다.

<스텝 4> 이번에는 BNC 케이블의 두 집계를 패러데이 실험 장치의 DC OUTPUT 단자들에 연결하고, 위 <스텝 2>, <스텝 3>을 반복 수행한다. 새로운 실험 결과는 앞에서 얻은 것과 비교했을 때 어떤 차이가 있는가? 새로 얻은 유도기전력을 직류(DC)라고 할 수 있을지, 또 파형을 보다 직선에 가깝게 만들고자 한다면 어떻게 해야 할지 생각해 보자.

<스텝 5> 모든 실험이 끝났으면 **실험에 사용한 장치들과 연결된 전원을 모두 끈다.** 특히 직류 전원 장치는 반드시 꺼야 한다. 그렇지 않으면 패러데이 실험 장치의 모터가 타 버릴 수 있다.

## 배경 이론

### 1. 교류 발전기의 원리

이 실험에서는 영구 자석에 의해 형성되는 자기장 안에서 도체로 된 고리를 회전시킴으로써 유도되는 기전력을 관측한다. 그림 5 와 같은 도선 고리가 균일한 자기장 안에서 일정한 각속도  $\omega$  로 회전(회전축은 자기장과 수직이라고 가정)한다고 하자. 고리가 감싼 면(고리면)에 대해 수직한 선이 자기장과 각도  $\theta$  를 이룰 때 고리면을 지나는 자기선속은

$$\Phi = AB \cos \theta \quad (1)$$

이다. 여기에서  $A$  는 고리면의 면적이다. 시간  $t$  에서  $\theta$  는



$$\theta = \omega t \quad (2)$$

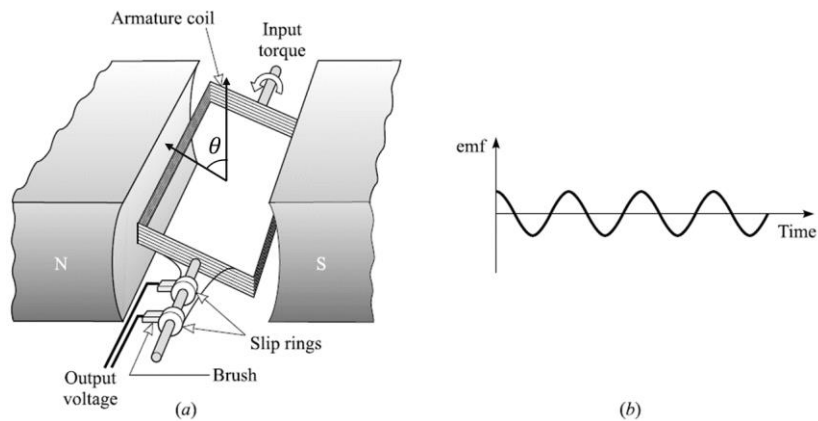
로 나타낼 수 있으므로, 이 고리에 유도되는 기전력은 패러데이의 전자기 유도 법칙에 의해 다음과 같다.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = AB\omega \sin \omega t \quad (3)$$

즉 이는 각진동수  $\omega$  를 가지고서 변하는 교류 기전력이다. 도선을  $N$  번 감아서 만든 코일의 경우라면 유도기전력은 아래와 같다.

$$\mathcal{E} = NAB\omega \sin \omega t \quad (4)$$

실험 과정에서 전원 장치의 전압을 바꾸거나 자석의 종류를 바꾸는 것은 유도 기전력에 어떤 영향을 주게 되는지, 위 식을 토대로 생각해 보자.

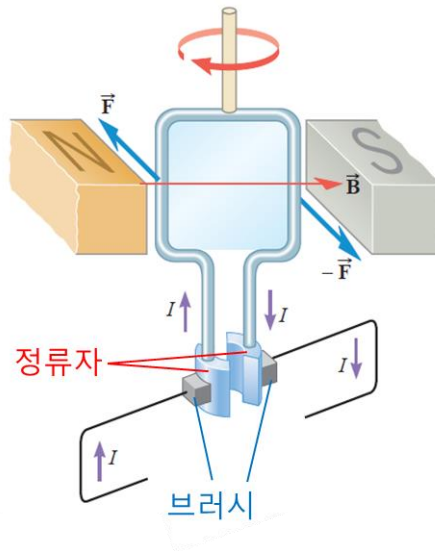


[그림 5] 교류 발전기의 원리 (Bueche, 1997, p. 315).

## 2. 직류 발전기의 원리

교류 발전기를 개조하여 직류 발전기를 만들 수도 있다. 가장 간단한 방법 가운데 하나는 정류자(commutator)를 이용하는 것이다. 그림 6과 같이 정류자를 설치한다고 가정하자. 코일이 회전하면서 만들어진 기전력은 정류자와 접촉한 브러시를 통해 외부로 출력되는데, 코일이 반 바퀴 회전할 때 마다 각 브러시와 접촉한 정류자 조각(segment)이 바뀐다는 것을 알 수 있다. 따라서 두 정류자 조각 사이의 전압은 부호가 반 바퀴 회전마다 한 번씩 뒤바뀌지만, 각 브러시는 항상 일정한 극성을 갖게 된다.

이렇게 되면 유도기전력은 앞에서 알아본 간단한 교류 발전기에 의한 것과는 달리,



[그림 6] 직류 발전기의 원리 (Cutnell, 2013, p. 651).

사인파형의 절대값 형태로 나타나게 된다. (이러한 파형을 전파정류 파형이라고도 부른다) 파형을 보다 균일하게 만들기 위해서는 추가적으로 어떤 개조를 해야 할지 생각해 보자. (이는 앞에서 한 번 던져진 질문이다. 그리고 물론 이번 실험 과정에서 실험자가 장치를 개조해야 할 필요는 없다.)

## 참고사항

- 1) [직류 및 교류전동기 원리 영상](#)
- 2) Bueche, F. et al., *Schaum's outline of College Physics* (9th ed.), 1997.
- 3) Walker, J., *Halliday & Resnick's Principles of Physics* (11th ed.), 2020.
- 4) Cutnell, J. D. et al., *Introduction to Physics* (9th ed.), 2013.