

# 전류와 전류 사이

-실험 보고서-

물리학실험 2 (030)

담당 조교: 송정근 조교님

서울대학교 컴퓨터공학부

2017-18570 이성찬

2017년 10월 17일

## Abstract

이 실험에서는 솔레노이드와 전류 천칭을 이용하여 전류가 흐르는 두 도선 사이에 작용하는 힘에 대해 살펴본다. 전류가 흐르는 도선에 의해 형성된 자기장 속에 전류가 흐르는 또 다른 도선이 놓이면 어떠한 힘을 받는지 살펴본다. 이 힘은 두 도선에 흐르는 전류의 세기가 클수록 커짐을 확인할 수 있었다. 오차의 원인은 전원 장치의 오차와 천칭이 솔레노이드 벽에 닿은 것으로 잡았다.

## 1 Introduction

### 1.1 실험목적

앙페르는 전류가 흐르는 도선 주위에는 자기장이 생겨남을 밝혔다. 이를 앙페르 법칙이라고 하는데, 전기장 내에서 전하가 힘을 받듯이 자기장 내에서도 전류가 흐르는 도선은 힘을 받는다. 전류와 전류 사이에도 힘이 존재하는 것이다. 이 실험에서는 솔레노이드에 전류가 흐르는 도선을 놓고 이 도선이 받는 돌림힘을 측정해 도선이 받는 힘의 방향과 크기에 대해 고찰하며 전자기력에 대해 탐구해 본다.

### 1.2 배경 이론<sup>1)</sup>

#### 1.2.1 Biot-Savart Law

전류  $i$ 가 흐르는 길이  $|d\vec{s}|$ 인 도선에 의해 점  $P$ 에 생기는 자기장  $d\vec{B}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

여기서  $\mu_0$ 는 진공의 투자율이고,  $r$ 은 도선으로부터  $P$ 까지의 거리,  $\hat{\mathbf{r}}$ 은 도선에서  $P$ 방향으로의 단위벡터이다.

이 식을 적분하면 자기장  $\vec{B}$ 를 얻는다.

무한한 직선 도선에 전류  $i$ 가 흐를 때, 도선으로부터 거리  $R$ 인 지점에서 자기장은

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \int_C d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i}{R^2} \int_C d\vec{s} \times \hat{\mathbf{r}} \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i}{R^2} \int_C ds = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \end{aligned}$$

#### 1.2.2 두 도선 사이에 작용하는 힘

전류  $i_A, i_B$ 가 흐르는 길이가  $L$ 인 두 도선이 거리  $d$ 만큼 떨어져 있다고 하자.

전하량  $q$ 는,  $q = it = i \frac{L}{v}$  ( $v$ : 전자의 속력)

이므로  $\vec{v} = \frac{i}{q} \vec{L}$  이라는 식을 얻는다.

이제  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ 로부터, (로런츠 힘) 전류  $i_B$ 가 흐른 도선에 작용하는 힘  $\vec{F}_B$ 는

$$\vec{F}_B = q \frac{i_B}{q} \vec{L} \times \vec{B} = i_B \vec{L} \times \vec{B}$$

한편  $\vec{B}$ 의 크기는  $\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_A}{d}$ 이고 방향은  $\vec{L}$ 과 항상 수직이므로

$$F_B = \frac{\mu_0 i_A i_B L}{2\pi d}$$

따라서 단위 길이 당 작용하는 힘은

$$F_B/L = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_A i_B}{d}$$

#### 1.2.3 1 A (Ampere)

거리 1m만큼 떨어진 도선 2개에 같은 크기의 전류  $i$ 가 흐를 때 도선이 받는 힘의 크기가  $2 \times 10^{-7} \text{N}$ 이 되도록 하는  $i$ 의 값을 1A로 정의한다.

#### 1.2.4 Ampere's Law & Solenoid

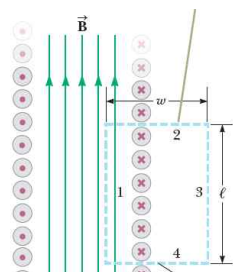
폐곡선  $C$ 를 따라  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$ 를 적분한 값은  $C$  내부에 있는 도선에 흐르는 총 전류의 세기의  $\mu_0$ 배와 같다.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{enc}$$

이를 이상적인 솔레노이드에 적용해 보자.

1) [참조] 대학물리학, 이기영 저, 한빛미디어

이상적인 솔레노이드에서는 내부의 자기장이 균일하며, 솔레노이드 바깥에서는 자기장이 0이다. 그림2)과 같이 폐곡선을 잡아 앙페르 법칙을 적용하면



$$\begin{aligned} Bh &= \mu_0 i n h \\ \therefore B &= \mu_0 i n \\ (n: \text{도선 감은 수}) \end{aligned}$$

반면 실제 솔레노이드의 경우에는 달라진다. 솔레노이드 고리의 반지름을  $r$ , 길이를 1, 솔레노이드의 중심으로부터 솔레노이드의 끝 가장자리를 바라봤을 때 솔레노이드의 중심축과 이루는 각을  $\theta_c$ 라고 하면,

$$\cos \theta_c = \frac{1}{2} \{r^2 + (1/2)^2\}^{-1/2}$$

$$B = \mu_0 i n \cos \theta_c$$

이 실험에서는 솔레노이드 안에 고리를 넣는데, 이 때 자기장 안에서 고리가 받는 힘은  $iBA$ 이므로 ( $A$ :고리 면적,  $i$ : 고리 전류)

$$\tau = \mu_0 i i_{sol} n \cos \theta_c A \sin \phi$$

$$\phi: \text{고리 기울어진 각도}$$

### 1.2.5 전류 천칭

중력과 자기장 내의 도선의 자기력의 평형을 이용한 실험 장치이다.

$$\tau = Mgr \sin \theta \approx Mgr \frac{y}{L}$$

## 1.3 실험 과정

### 1.3.1 준비물

솔레노이드(감은 수 550회) 직류, 이중 전원 장치, 악어집게 전선, 전류 천칭, 전자 저울, 마이크로미터, 시료 3종

### 1.3.2 실험 방법

1) 솔레노이드를 전원에 연결한다. 전원장치 전류가 반시계 방향으로 돌려짐을 확인하

고 스위치를 켜다.

2) 전류 천칭이 다소 기울어진 상태로 솔레노이드 벽에 닿지 않고 평형이 되게 나사를 조절한다.

3) 전류의 세기를 조절한다. 전원을 껐다 켜었을 때 반대 방향으로 천칭이 움직이는지 확인한다. 만약 그렇지 않다면 전류의 방향을 반대로한다.

4) 솔레노이드와 천칭에 흐르는 전류를 변화시켜 가며 측정한다. 전류가 지나치게 셀 경우 열이 발생할 수 있으므로 주의한다.

5) 도선이 받는 힘이 전류와 어떤 관계에 있는지 분석한다.

## 2 Results

### 2.1 기본 측정값

솔레노이드의 전선 감은 횟수: 550회

전류 천칭의 길이:  $1.0 \times 10^{-1} \text{m}$

나사의 질량  $1.6 \times 10^{-4} \text{kg}$

전류 천칭의 무게:  $1.973 \times 10^{-2} \text{kg}$

솔레노이드 안의 전류 천칭 길이:

$$7.3 \times 10^{-2} \text{m}$$

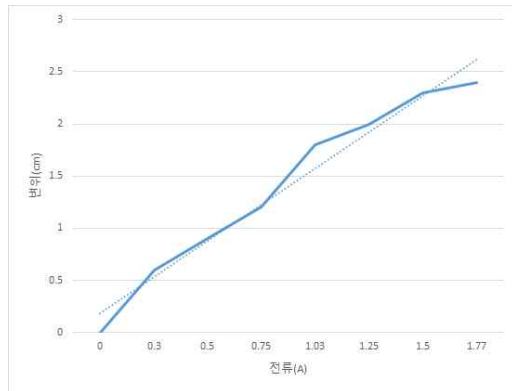
솔레노이드의 반지름:  $3.9 \times 10^{-2} \text{m}$

### 2.2 실험 결과

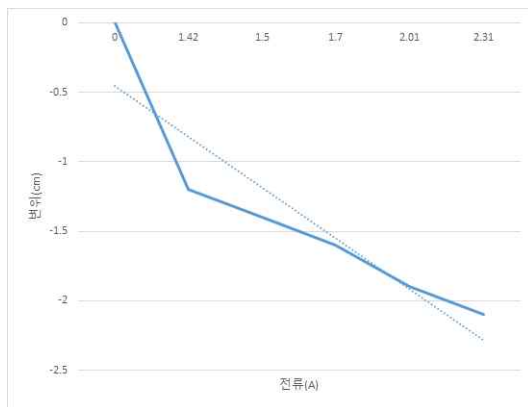
한번은 천칭에 아무 것도 올리지 않고, 한 번은 천칭의 정 중앙에 가벼운 나사를 올리고 실험하였다.

솔레노이드의 전류를 일정하게 흐르게 한 뒤, 전류 천칭의 도선에 흐르는 전류의 값을 조금씩 변화시켜 가며 변위를 측정해 주었다. 전류의 값을 조금씩 증가시킬수록 전류 천칭의 변위가 서서히 커지는 모습을 관찰할 수 있었다.

다음 그래프는  $x$ 축을 전류,  $y$ 축을 전류 천칭의 변위로 하여 실험 결과를 나타낸 것이다.



<표1: 나사가 없을 때 전류에 따른 변위>



<표2: 나사가 있을 때 전류에 따른 변위>

## 3 Discussion

### 3.1 결과 분석

나사를 놓은 경우와 놓지 않은 경우 모두 전류에 따라 변위가 비례함을 확인할 수 있었다. 배경이론 1.2.4로부터 솔레노이드 내부의 도선이 받게 되는 돌림힘은 솔레노이드와 도선에 흐르는 전류에 비례함을 알 수 있다. 한편 1.2.5로부터 이 돌림힘이 전류 천칭의 변위에 비례한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 전류가 증가함에 따라 전류 천칭의 변위 또한 증가해야 하며, 실험 결과는 그 결과를 보여주고 있다.

### 3.2 오차 원인 분석

예상되는 오차원인으로는 다음이 있다.

#### 3.2.1 지나친 기기 오차

전원 장치의 전압을 조절 할 때, 특정 구

간(5.0V ~ 6.5V)에 진입하면 기계에 전압 표시 되는 부분이 요동을 치며 일정한 전압을 솔레노이드와 천칭 도선에 공급해 주지 못했다. 그러다 보니 그 구간에서의 측정이 정확하기 않고, 측정이 어려워 데이터 생성에 어려움이 있었다.

#### 3.2.2 천칭이 솔레노이드에 닿음

특정 전류 이상에서 도선에 작용하는 힘이 커져서 천칭의 도선 고리가 솔레노이드 벽에 닿았다. 닿은 이후로는 전류를 더 세게 하여도 더 이상 변위가 생기지 않기 때문에 측정하지 못했다. 그리고 실험 결과 데이터 중에서도 고리가 솔레노이드 벽에 닿은 것을 인지하지 못한 데이터가 있었다.

#### 3.2.3 한계점

실험장치 자체의 규격(길이)에 대한 측정이 부족하여 이론 1.2.4, 1.2.5로부터 얻어진 식들과 실험값들을 완벽하게 비교하지 못한 점이 한계점으로 남았다.

## 4 Conclusion

이 실험에서는 솔레노이드와 전류 천칭을 이용하여 전류가 흐른 도선과 도선 사이에 작용하는 힘에 대해서 살펴보았다. 비오 사바르 법칙과 앙페르 법칙을 알아보며 도선에 의해 생기는 자기장과, 솔레노이드 내부의 자기장에 대해 알아보고, 이 자기장 속에 전류가 흐르는 또 다른 도선이 놓일 때 그 도선은 힘을 받게 된다는 것을 알았다. 또 전류 천칭의 작동 원리와 천칭이 자기장 속에 놓였을 때 받는 돌림힘에 대해 알아보았다. 그리고 실험을 통해서 도선 사이에 작용하는 힘은 전류의 값이 클수록 힘의 크기도 더 커짐을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

## **\* Reference**

[1] 대학물리학, 이기영, 한빛미디어

[2] Physics for Scientists and Engineers  
with Modern Physics, Serway/Jewett,  
Cengage Learning