

# 전류가 만드는 자기마당

## -실험 보고서-

물리학실험 2 (030)  
담당 조교: 송정근 조교님

서울대학교 컴퓨터공학부  
2017-18570 이성찬

2017년 11월 15일

## Abstract

이 실험에서는 전류에 의해 생기는 자기장을 확인해 본다. 비오-사바르 법칙으로도 자기장을 확인할 수 있지만 도선의 모양이 복잡한 경우 이것이 어려우므로 홀 센서를 통해 자기장의 세기를 측정해 본다. 솔레노이드와 직선 도선, 사각 도선에서 거리와 전류의 세기에 따라 변하는 자기장의 세기와 방향을 정성적으로 확인해 본다.

## 1 Introduction

### 1.1 실험목적

19세기 이전에는 전기현상과 자기현상이 서로 별개인 것으로 생각되었다. 그런데 1820년 에르스텍이 전류가 흐르는 도선 주위에 자기장이 생김을 밝혀내어 전하가 움직이는 현상인 전류가 있을 때, 그 주위에 자기 현상이 생김을 알게 해 주었다.

비오-사바르 법칙을 활용하면 도선에 전류가 흐르는 경우 어떤 지점에 생기는 자기장의 크기와 방향을 구할 수 있다. 그런데 도선의 모양이 복잡하면 이 구하는 과정 또한 복잡해져 쉽지 않다. 이 실험에서는 가장 간단한 도선 모양들에 대해 전류에 의한 자기장이 형성되는 모습을 확인한다. 도선으로부터의 거리를 변화시키고, 도선에 흐르는 전류를 변화시켜보며 자기장의 세기와 방향을 정성적으로 확인해 본다.

### 1.2 배경 이론<sup>1)</sup>

#### 1.2.1 Biot-Savart Law

길이가  $d\vec{s}$ 인 도선에  $i$ 의 전류가 흐른다. 도선의 한 지점으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 점  $P$ 에서 자기장의 값  $d\vec{B}$ 는 도선에서  $P$ 를 바라보는 방향을  $\hat{r}$ 이라 할 때,

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

이고,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  이다.

따라서,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

#### 1.2.2 Ampere's Law

곡선  $C$ 를 따라 자기장을 선적분한 값  $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s}$ 은  $C$ 의 내부를 지나는 전류  $i_{enc}$ 에 비례하며,

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{enc} \quad (3)$$

이다. 이를 이상적인 솔레노이드에 적용하면

$$B = \mu_0 n i \quad (n: \text{단위 길이 당 감은 수})$$

를 얻을 수 있다.

하지만 실제로는 솔레노이드의 길이가  $\infty$ 가 아니므로, 솔레노이드의 중심축의 한 가운데에서 솔레노이드의 한 쪽 끝을 바라보는 방향과 중심축이 이루는 각을  $\theta_c$ 라고 할 때, 실제 솔레노이드 내부의 자기장의 세기는

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

로 주어진다.

반지름이  $R$ 인 원형 도선과 한 번의 길이가  $L$ 인 정사각형 도선에 대하여 전류  $i$ 가 흐를 때 각 도선의 중심에서 도선을 포함하는 평면에 수직으로 거리  $x$ 인 지점에서 도선에 의한 자기장의 세기는 각각

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}},$$

$$B = \frac{\mu_0 i L^2}{2\pi(x^2 + L^2/4)\sqrt{x^2 + L^2/2}} \quad (4)$$

와 같이 주어진다.

### 1.3 실험 과정

#### 1.3.1 준비물

사각 코일, 파워 서플라이, 500회 감은 솔레노이드, 자석, 나침반, 홀 센서와 전원장치, 컴퓨터, 방사형 평면 실험 장치와 30cm 자가 준비되어 있다.

1) [참조] 대학물리학, 이기영 저, 한빛미디어

### 1.3.2 실험 방법

방사형 평면 위에서 자기장이 어떤 형태로 생성되는지 확인해 본다. 홀 센서를 이용할 것인데, 홀 센서는 프로그램을 초기화 할 때 마다 보정을 해 주어야 한다. 홀 선서를 평면에 접촉시키며 측정하고, 각도와 거리를 다르게 해 가며 각 지점의 자기장을 측정해 본다.

Calibration을 할 때 우선 자기장이 0인 지점에서 출력 값을 0으로 만들어 주어야 한다. 측정 프로그램을 구동한 후 센서를 전기 장치로부터 멀리하고 프로그램에 표시된  $x, y, z$  값이 0.1V 보다 작을 때 Zero를 눌러 영점 조절을 해준다. 채널1, 2, 3이 각각  $x, y, z$  성분이다.

솔레노이드를 이용하여 자기장을 만들어 주고 20G가 되도록 세팅한다.

솔레노이드의 내부 자기장을 측정하는데, 전류에 의존하는지 확인해 본다. 전류의 값이 1.5A를 넘지 않도록 주의한다. 그리고 전류가 고정된 상태에서 거리에 따른 의존도를 확인해 본다.

방사형 평면 위에서 직선 도선에 의한 자기장을 확인해 본다. 측정 시 센서의  $-y$  방향이 실험자를 가리키도록 하여 측정한다. 각도와 거리를 변화시키며 방사형 평면 위에서 자기장의 방향과 세기를 측정해 본다. 데이터 포인트는 많을수록 좋다.

마지막으로 사각 코일의 중심축에서의 자기장을 측정해 본다. 사각 코일의  $z$ 축 방향 위치에서 자기장의 크기를 구한다. 위치를 바꿔가며 측정해본다. 그리고 무한히 긴 직선 도선에 의한 자기장과 비교해 본다.

## 2 Results

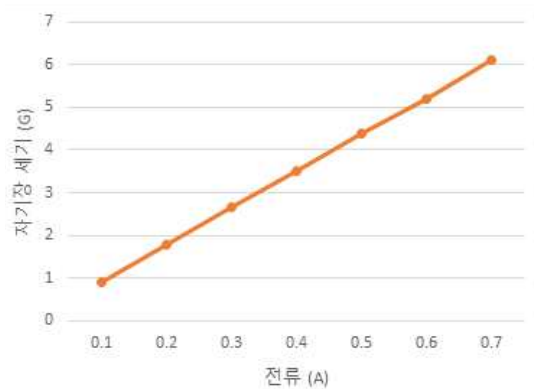
### 2.1 실험 결과

실험 방법을 따라 각 실험을 진행하였다. 홀 센서가 정확한 자기장 값이 아닌 상대적인 값을 측정해 주기 때문에 아래 그래프들

의 자기장 값들은 모두 상대적 세기이다.

#### 2.1.1 전류에 따른 솔레노이드의 자기장

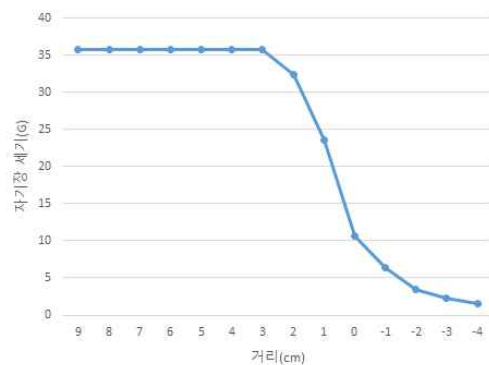
전류의 세기가 증가함에 따라 자기장의 상대적 세기도 증가한다. 측정은 솔레노이드의 중심 축의 한 가운데에서 했다.



<표1: 전류의 세기에 따른 솔레노이드 내부의 자기장의 상대적 세기>

#### 2.1.2 거리에 따른 솔레노이드의 자기장

거리가 멀어짐에 따라 자기장의 상대적 세기가 감소한다. 9cm 지점이 솔레노이드의 한 가운데 지점이다. 측정은 모두 솔레노이드의 중심축에서 했다.

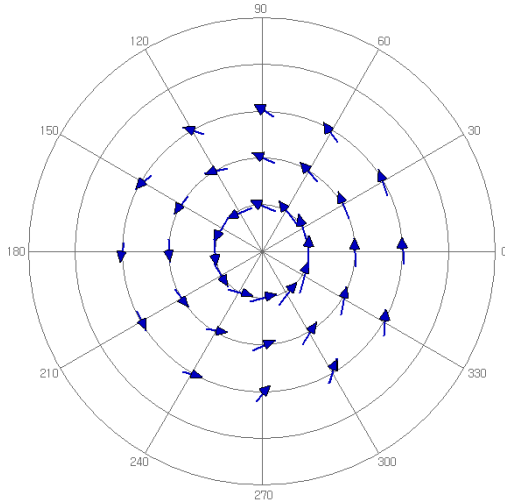


<표2: 거리에 따른 솔레노이드의 자기장의 상대적 세기>

#### 2.1.3 직선 도선에 의한 자기장

직선 도선에 의한 자기장의 세기와 방향을 측정해 보았다. 방사형 평면 상에서 도선으로부터 거리 20, 30, 40인 지점에서, 30° 간격으로 자기장의 세기와 방향을 측정하였다. 오른 나사 법칙을 따르고 있음을 확인하

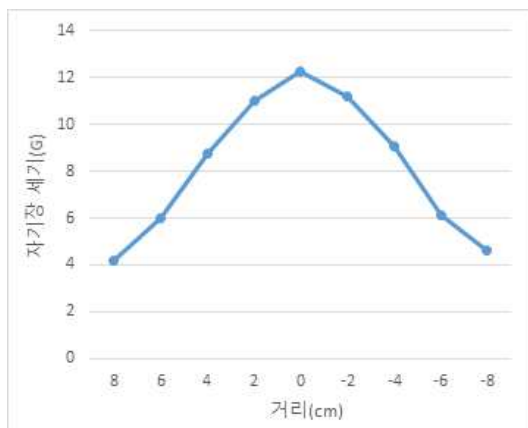
였고 도선으로부터의 거리가 멀어짐에 따라 화살표의 길이가 감소했다.



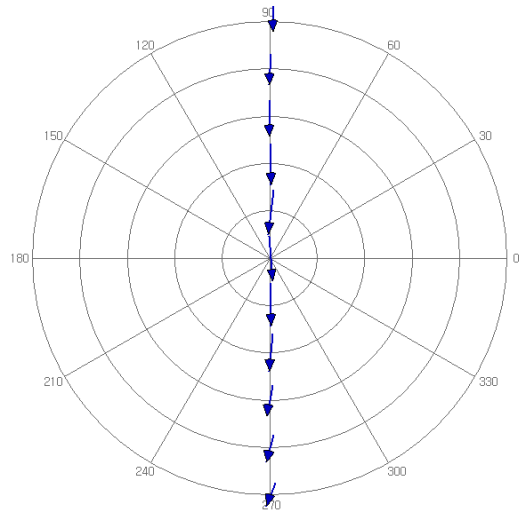
<그림3: 방사형 평면상에서 직선 도선에 의한 자기장의 상대적 세기>

#### 2.1.4 사각형 도선에 의한 자기장

사각형 도선의 중심축 상에서 도선에 의한 자기장의 세기를 거리에 따라 측정해 보았다.



<표4: 거리에 따른 사각 도선에 의한 자기장의 상대적 세기>



<그림5: 거리에 따른 사각 도선에 의한 자기장의 상대적 세기와 방향>

## 3 Discussion

### 3.1 결과 분석

#### 3.1.1 솔레노이드의 자기장

표11을 보면 전류의 값이 증가함에 따라 자기장의 세기가 증가함을 확인할 수 있다. 이는 솔레노이드 내부의 자기장 세기

$$B = \mu_0 n i$$

와 일치 한다.

표2를 보면 거리가 멀어짐에 따라서 자기장의 세기가 점점 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이상적인 솔레노이드가 아니기 때문에 솔레노이드로부터 멀어지면 자기장의 세기가 감소하게 될 것이다. 그리고 내부에서는 자기장의 상대적 세기의 변화가 적었다.

#### 3.1.2 직선 도선에 의한 자기장

앙페르 법칙을 적용하여 전류  $i$ 가 흐르는 무한한 직선 도선에 의한 자기장을 구해보면 그 세기는 도선으로부터 거리가  $r$ 일 때

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

와 같이 주어진다. 실제로 그림3을 보면 거리가 같은 지점에서는 화살표의 길이(자기장의 세기)가 전부 비슷하다는 것을 확인할 수 있고, 중심으로부터 멀어질수록 화살표의 길

이가 짧아진다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 직선 도선으로부터 거리가 멀어질수록 자기장의 세기는 감소함을 알 수 있다.

### 3.1.3 사각 도선에 의한 자기장

식 (4)에서 사각 도선의 중심 축 상에서 자기장은 다음과 같이 주어진다.

$$B = \frac{\mu_0 i L^2}{2\pi(x^2 + L^2/4)\sqrt{x^2 + L^2/2}}$$

이 식은  $x$ 에 대한 우함수이며,  $x$ 의 절댓값이 커짐에 따라 값이 감소한다.

표4, 그림5를 확인해 보면 사각 도선의 중심으로부터 거리가 멀어질수록 자기장의 상대적 세기가 감소함을 확인할 수 있으며, 중심을 기준으로 세기는 대칭적으로 나타남을 확인할 수 있었다.

## 3.2 오차 원인 분석

예상되는 오차원인으로는 다음이 있다.

### 3.2.1 실험 장치 오차

전원 장치의 전원을 끄고 어디에도 연결하지 않은 상태에서 홀 센서의 측정값을 살펴보면 0에 가까운 값이 아닌 임의의 값을 가리키고 있었다.

또 어디까지나 자기장의 상대적인 값들이기 때문에 정량적인 분석이 어렵다.

## 4 Conclusion

이 실험에서는 솔레노이드와 사각형 도선을 이용해서 전류에 의해 생기는 자기장을 확인해 보았다. 비오 사바르 법칙과 앙페르 법칙을 확인해 보았다. 솔레노이드에서는 자기장이 전류의 세기에 비례하고 중심으로부터 거리에 반비례함을 확인하였다. 전류가 흐르는 직선 도선에서는 거리에 따라 자기장의 세기가 반비례함을 확인하였고, 사각 도선에서도 마찬가지로 거리가 멀어질수록 자기장의 세기가 감소함을 확인해 보았다.

## \* Reference

- [1] 대학물리학, 이기영, 한빛미디어
- [2] Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Serway/Jewett, Cengage Learning