

# 자기장 측정 실험

## 1. 목적

전류가 코일(원형도선, 직선도선, 솔레노이드)에 흐를 때 생성되는 자기장을 이해하고, 이의 이론값과 실험값을 비교한다.

## 2. 기본 원리

### (1) 홀 센서의 원리

자기장을 검출하는 센서는 여러 가지 있으나, 가장 많이 사용되는 센서는 홀 센서이다. 홀 효과에 의해 반도체 양쪽에 있는 전극에 전류를 흐르게 한 후 수직방향으로 자기장을 인가하면 전류의 방향과 자기장 방향에 수직인 방향으로 전위차(electric potential)가 생성된다.(그림 1. 참조) 이 홀 전압( $V_H$ )은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_H = KI_c B_{ext}$$

여기서  $V_H$ 는 홀 전압,  $K$ 는 비례계수,  $I_c$ 는 반도체 외부에서 인가하는 전류,  $B_{ext}$ 는 반도체 외부에서 인가하는 자기장을 나타낸다.

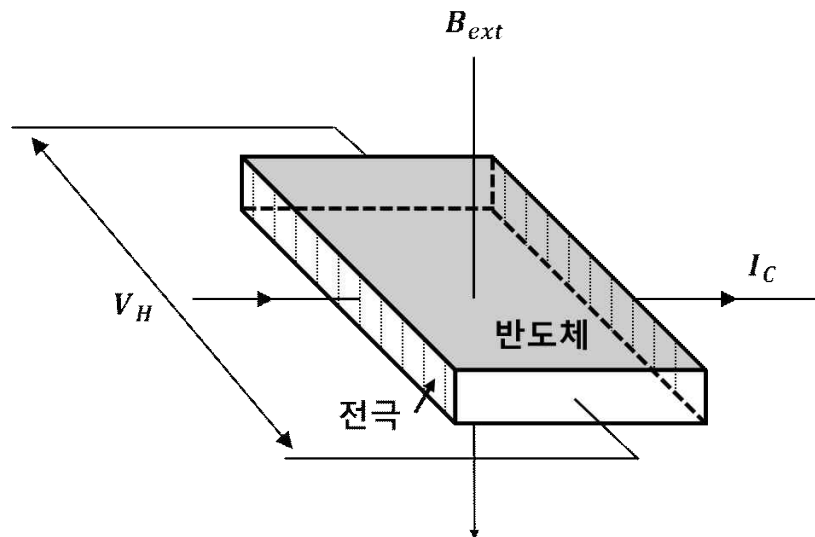


그림 1 홀 기전력, 홀 전압 발생 원리

홀 센서에 전류가 항상 일정하게 흐른다면 외부 자기장에 비례하는 출력 홀전압을 얻을 수 있다. 이러한 반도체 홀 효과를 이용하여 외부자기장의 크기를 측정할 수 있는 소자를 홀센서라 한다.

본 실험에서 외부자기장을 측정하기 위해 사용하는 홀센서는 아래 표와 같은 특성을 가지고 있

다. 즉 우리는 홀전압을 측정하여 사용센서의 감도(Sensitivity)에 의해 외부자기장을 추정할 수 있다. 본 제품의 감도(Sensitivity)는 3.125 [mV/G]이다.

표 1. 홀센서(SS495A) 특성치

SS495 SPECIFICATIONS,  $V_s = 5.0\text{ V}$ ,  $T_A = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

Catalog Listings		SS495A* Standard	SS495A1* High Accuracy	SS495A2* Basic
Supply Voltage (VDC)		4.5 to 10.5	4.5 to 10.5	4.5 to 10.5
Supply Current @ 25°C (mA)	Typ.	7.0	7.0	7.0
	Max.	8.7	8.7	8.7
Output Type (Sink or Source)		Ratiometric	Ratiometric	Ratiometric
Output Current (mA)	Typ. Source	1.5	1.5	1.5
	Min. Source	1.0	1.0	1.0
	Min. Sink	0.6	0.6	0.6
	Min. Sink	1.0	1.0	1.0
Magnetic Range	Typ.	-670 to +670 Gauss (-67 to +67 mT)		
	Min.	-600 to +600 Gauss (-60 to +60 mT)		
Output Voltage Span	Typ.	0.2 to (Vs - 0.2)	0.2 to (Vs - 0.2)	0.2 to (Vs - 0.2)
	Min.	0.4 to (Vs - 0.4)	0.4 to (Vs - 0.4)	0.4 to (Vs - 0.4)
Null (Output @ 0 Gauss, V)		2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.100
Sensitivity (mV/G)		3.125 ± 0.125	3.125 ± 0.094	3.125 ± 0.156
Linearity, % of Span	Typ.	-1.0%	-1.0%	-1.0%
	Max.	-1.5%	-1.5%	-1.5%
Temperature Error Null Drift (%/°C)		±0.06%	±0.04%	±0.07%
Sensitivity Drift (%/°C)	≥25°C Max.	-0.01%+0.05%	-0.01%+0.05%	-0.02%+0.06%
	<25°C Max.	-0.00%+0.06%	-0.00%+0.06%	-0.01%+0.07%

• 직선도선에서의 자기장

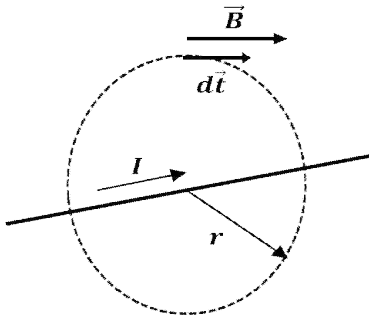


그림 2 직선도선에서의 자기장

직선도선에 전류  $I$ 가 흐를 때 도선 주위에 생기는 자기장  $B$ 는 암페어 법칙에 의해  $\oint B \cdot dl = \mu_0 I$ ,  $B(2\pi r) = \mu_0 I$ 로 주어진다. 따라서 도선에서 거리  $r$  되는 지점에 형성되는 자기장의 크기는 다음과 같다. (그림 2. 참조)

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

여기서 진공 투자율  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (\text{T}\cdot\text{m}/\text{A})$ 이다.

• 원형도선에서의 자기장

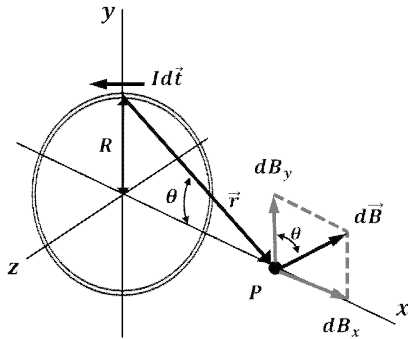


그림 3. 원형도선에서의 자기장

반경  $R$ 인 원형도선에 전류  $I$ 가 흐를 때, 중심축 위의 점  $P$ 에서 자기장의 세기  $dB$ 는 도선 길이  $dl$ 에 의한 비오-사바르의 법칙에 의해 다음과 같다. (그림 3. 참조)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

벡터  $d\vec{l}$  과  $\vec{r}$ 은 서로 수직이므로  $d\vec{l} \times \vec{r} = rdl \sin 90^\circ = rdl$  이 된다.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I dl \sin 90^\circ}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}$$

이다.

벡터  $d\vec{B}$ 는  $dB_x$ 와  $dB_y$ 성분으로 나눌 수 있고  $dB_y$ 성분은 원형 대칭성때문에 원주길이 전체에 대하여 적분하면 0이 된다. 그러므로  $x$ 축 방향의 자기장 성분만 고려하면 되므로 자기장은  $B = \int dB_x = \int dB \sin \theta$ 이다. 이 식에  $dB$ 를 대입하고  $\sin \theta = R/r$ 을 이용하면

$$B(r) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 특히 원형도선의 중심 및 중심에서 반지름( $R$ )만큼 떨어진 같은 중심축에 있는 점에서 자기장은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B(0) = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad B(R) = \frac{\mu_0 I}{4\sqrt{2}R}$$

• 솔레노이드 코일에서의 자기장

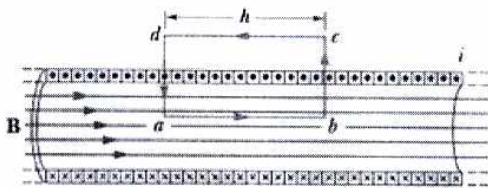


그림 4. 솔레노이드에서의 자기장

매우 긴 솔레노이드(solenoid) 내부에서 자기장은 암페어 법칙에 의해  $B = \mu_0 n I$ 로 주어진다. 여기서  $\mu_0$ 은 진공 중에 투자율,  $I$ 는 솔레노이드에 흐르는 전류,  $n$ 은 단위길이 당 도선의 감은 횟수 (turn/meter) 이다.

이 식에 사용되는 자기장의 세기는 코일의 반경이나 코일 내부의 위치에 의존하지 않고 일정하다. 그러나 실제로는 솔레노이드의 길이는 유한하고 솔레노이드 내부의 자기장도 균일하지 않기 때문에 보정을 해 주어야 한다.

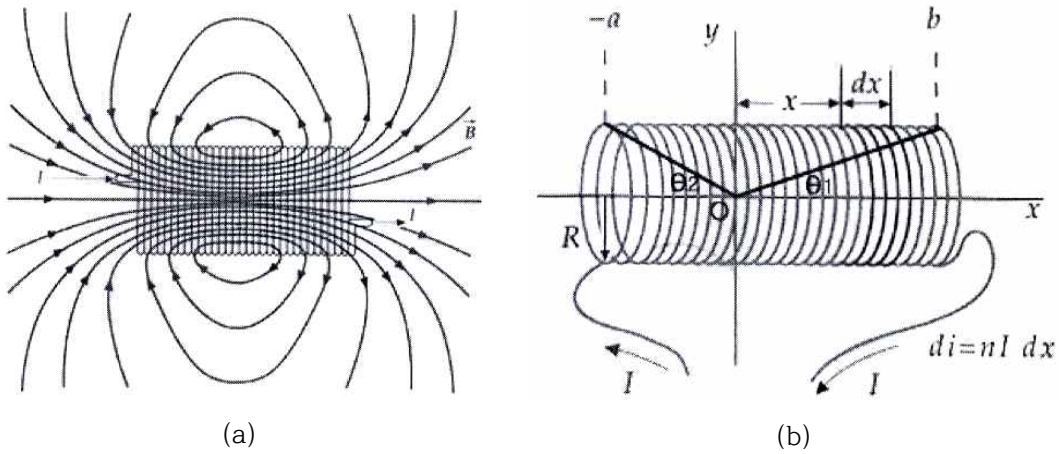


그림 5. 솔레노이드 코일의 유도자기장

그림 5와 같이 솔레노이드의 중심축 위에 임의의 점 O에서 자기장의 세기는 비오-사바트의 법칙에 의해

$$B_{x=0} = \frac{1}{2} \mu_0 n I (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) = \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{b}{\sqrt{b^2 + R^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}} \right)$$

으로 주어진다. 따라서 솔레노이드 길이를  $l$ , 솔레노이드 중심을 원점으로 잡으면 중심( $x = 0$ ,  $a = b = l/2$ )과 끝점( $x = l/2$ )에서 자기장의 세기는

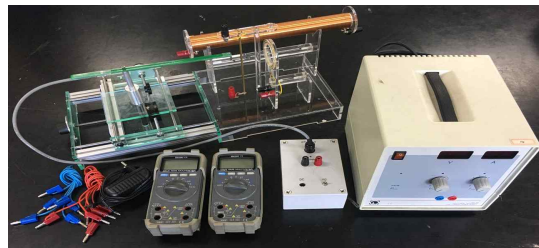
$$B_{x=0} = \mu_0 n I \left( \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4R^2}} \right) \quad (3)$$

$$B_{x=l/2} = \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{l}{\sqrt{l^2 + R^2}} \right)$$

가 된다.

### 3. 실험 기구

직선도선, 원형코일, 솔레노이드 코일,  
직류전원장치, 멀티테스터, 리드선, 자기장 측정장치(테슬라메타), 홀센서 프로브, 버니어캘리퍼스



## 4. 실험 방법

### (1) 직선도선에 흐르는 전류에 의한 자기장

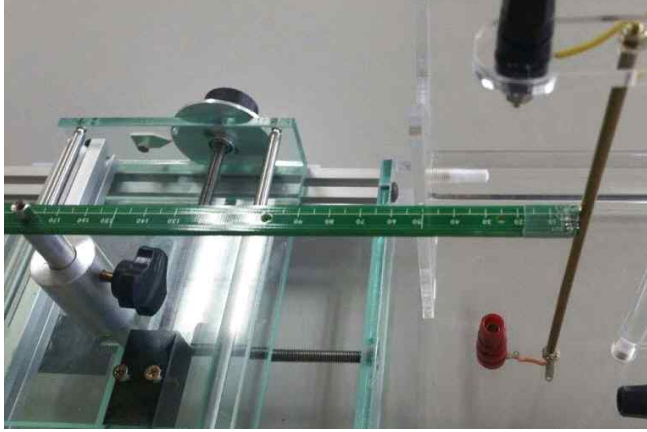


그림 6.

- ① 위에 그림 6과 같이 직선도선을 설치하고 직류전원장치와 연결한다. 직류전원장치의 전원은 OFF 상태에서 홀센서 프로브를 테슬라메타에 연결하고 이동 트랙에 장착한다.
- ② 홀센서 프로브를 직선도선의 중심에 수직하게 놓은 후 트랙을 이동시켜 직선도선 중심에서 홀센서의 중심까지 거리가 5 mm가 되도록 조정한다.
- ③ 홀센서 프로브 앞부분에 부착되어 있는 센서가 직선도선과 수직을 유지하며 이동할 수 있도록 설치해야 한다.
- ④ 테슬라메타의 전원을 on하고 멀티테스터에 전압(mV)측정으로 연결한다.
- ⑤ 초기전압을 측정하여 이 값을 결과리포트에 기록한다.
- ⑥ 전원 공급기의 전원을 on하고 전류를 3A로 맞춘다.
- ⑦ 홀센서 프로브를 이동시키면서 거리변화에 따른 자기장 변화 값을 기록한다.
- ⑧ 식 (1)로부터 얻어진 이론적인 자기장 값과 실험값을 비교한다.

### (2) 원형도선에서의 자기장



그림 7.

- ① 위에 그림 7과 같이 원형코일을 설치하고 직류전원장치와 연결한다. 이때 직류전원장치의 전원은 OFF 상태이다.

- ② 홀센서 프로브를 테슬라메타에 연결하고 이동 트랙에 장착한다.
- ③ 센서가 원형도선에 중앙에 오도록 한다. 이때 홀센서 프로브 앞 단의 센서 위치에 주의한다.
- ④ 테슬라메타의 전원을 on하고 멀티테스터에 전압(mV)측정으로 연결한다.
- ⑤ 초기전압을 측정하여 이 값을 결과리포트에 기록한다.
- ⑥ 직류전원장치의 전원을 on하고 전류를 3 A로 맞춘다.
- ⑦ 홀센서 프로브를 이동시키면서 거리변화에 따른 자기장 변화 값을 기록한다.
- ⑧ 자기장의 변화 값을 측정하여 기록하고 식 (2)로부터 얻어진 이론적인 자기장 값과 비교한다.

### (3) 솔레노이드 코일에서의 자기장



그림 8.

- ① 버니어캘리퍼스를 이용하여 솔레노이드 코일의 직경과 길이를 측정한다.
- ② 그림 8과 같이 자기장 측정 장치를 설치하고 직류전원장치와 연결한다. 이때 직류전원장치의 전원은 OFF 상태이다.
- ③ 홀센서 프로브를 테슬라메타에 연결한 후 이동 트랙에 장착하고 멀티테스터에 전압(V)측정으로 연결한다.
- ④ 초기전압을 측정하여 이 값을 결과리포트에 기록한다.
- ⑤ 측정된 솔레노이드 코일의 규격을 이용하여 홀센서 프로브가 코일 중심에 오도록 한다.
- ⑥ 테슬라메타의 전원과 직류전원장치의 전원을 on하고 전류를 0.3 A씩 증가시키면서 자기장을 측정한다.
- ⑦ 측정값을 결과리포트에 기록하고 측정 후 자기장 값과 비오-샤바르의 식 (3)로부터 얻어진 이론 자기장 값과 비교한다.

## 5. 실험결과

### 1) 직선도선에서의 자기장

초기전압 (mV)			전류 (A)	
거리	측정값 (mV)	초기전압-측정값 (mV)	자기장측정값 (mT)	(1)식 이론값 (mT)
5 mm				
6 mm				
7 mm				
8 mm				
9 mm				
10 mm				
11 mm				
12 mm				
13 mm				
14 mm				
15 mm				
20 mm				
25 mm				
30 mm				

\*이론 값은 식 (1)에 의해 계산

### 2) 원형도선에서의 자기장

초기전압(mV)			전류 (A)	반지름 (m)	0.027
거리	측정값 (mV)	초기전압-측정값 (mV)	자기장측정값 (mT)		(2)식 이론값 (mT)
1 mm					
2 mm					
3 mm					
4 mm					
5 mm					
6 mm					
7 mm					
8 mm					
9 mm					
10 mm					
15 mm					
20 mm					
25 mm					
30 mm					

\*이론 값은 식 (2)에 의해 계산

