

실험1 : 전류천칭에 의한 자기유도 측정

1. 목적

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘을 측정하여 자기장 또는 자기유도 B 를 구한다.

2. 기본 원리

전류가 흐르고 있는 도선의 미세 변위 dl 이 외부의 자기유도 B 로부터 받는 힘은 $dF = Idl \times B$ 로 표시할 수 있다. 길이 L 인 직선 도체에 전류 I 가 흐를 때 dl 의 방향이 B 의 방향과 직교하면, 힘 F 는 $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} = ILB$ 가 된다. 따라서 길이 L 인 도선에 전류 I 가 흐를 때 받는 힘 F 를 측정하면 자기장 B 를 구할 수 있다.

자기장을 간단히 만드는 방법으로 헬름홀츠 코일을 사용한다. 헬름홀츠 코일은 두 코일의 거리가 코일에 반경 R 과 같은 거리에 배치되어 있는 형태의 코일을 말한다. 헬름홀츠 코일은 솔레노이드와 비교하면 같은 권선수와 같은 전류에 대하여 낮은 자기장이 생성된다. 그러나 일반적으로 솔레노이드 보다는 넓은 범위에서 균일한 자기장이 생성되므로 전류천칭과 같은 실험에서는 솔레노이드보다 좀 더 적합하다고 할 수 있다. 헬름홀츠 코일 중심부의 자기장은 다음과 같다.

$$B = \frac{NI_h \mu_0}{R} \frac{8}{5^{1.5}} \quad (\text{별첨1. 참조}) \quad (1)$$

여기서 μ_0 는 진공중의 투자율($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ (또는 $\text{Wb/A}\cdot\text{m}$))이고, I_h 는 코일에 흐르는 전류이다.

그림1에서 전류 I 가 c에서 b방향으로 흐르고 헬름홀츠 코일의 전류 I_h 가 만든 자기장은 b에서 a방향이이다. 이 때 자기장 내의 도선 ab구간과 cd구간이 받는 힘은 서로 상쇄되어 0이 된다. 따라서, bc구간만이 수직 아래로 힘 F 을 받고, ad직선을 축으로한 토오크는 $\tau = \overline{ba} \times F$ 로 주어진다. 이 때 ad직선의 반대편에 질량 m 인 물체가 거리 x 에 있어 천칭이 수평을 이루면,

$$ILB \cdot d = mg \cdot x \quad (2)$$

의 식이 성립한다. (단, d 는 $\overline{ba}$ 의 길이, g 는 중력가속도) 따라서

$$B = \frac{mgx}{ILd} \quad (3)$$

로 된다. 한편 식(1)의 관계식을 이용하면

$$\mu_0 = \frac{mgxR \cdot 5^{1.5}}{8NI_h ILd} \quad (4)$$

이 된다. 실험에서는 각각의 I, I_h, x 를 측정하여 B 와 μ_0 를 구한다.

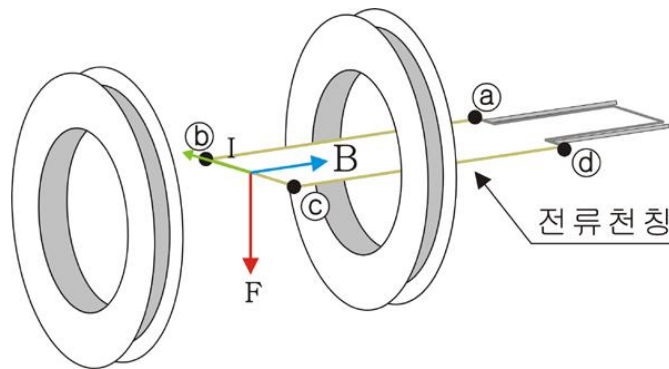


그림1. 전류천칭의 동작원리

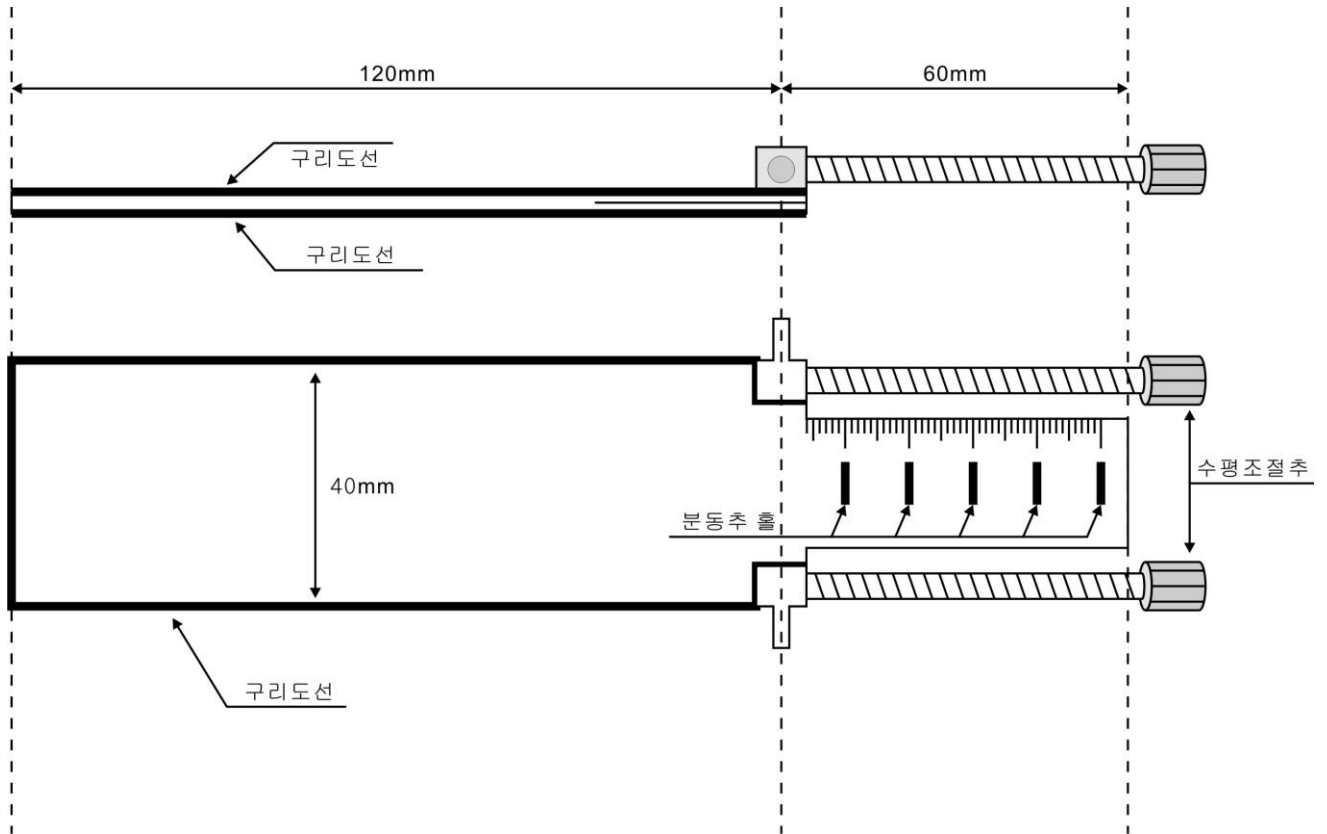
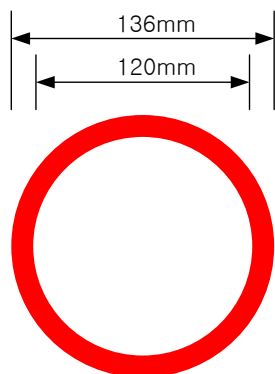


그림2. 전류 천칭의 구조 및 각 부 명칭

3. 실험 기구

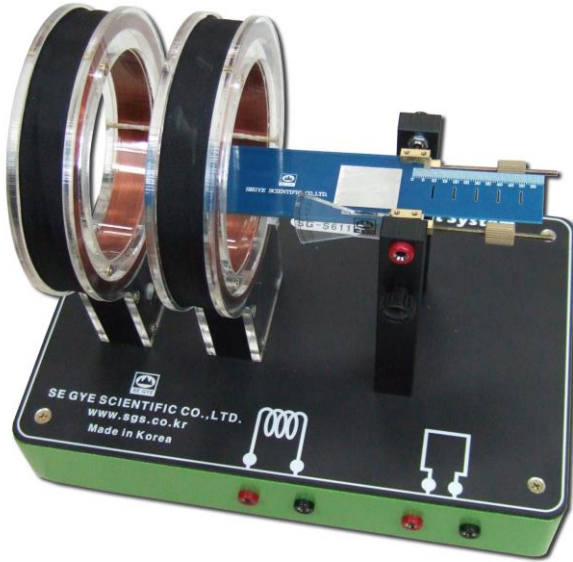
·세계 전류천칭실험 시스템

- 헬름홀츠 코일



1. 외경: 136mm
2. 내경: 120mm
3. 평균직경: 128mm
4. 평균반경: 64mm

- 분동 추 : 100mg(0.1g) x 1, 200mg(0.2g) x 1
- 핀셋



·직류전원공급장치 x 2

·직류전류계 x 2

4. 실험 방법

- ① 실험기구의 수평을 잡고 그림2에 있는 수평조절 추를 이용하여 천칭의 수평을 잡아준다.

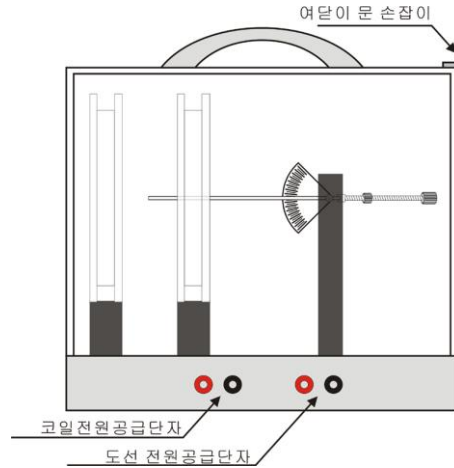


그림3. 덮개를 덮었을 때의 형태와 전원 입력단자의 위치

- ② 가장 안쪽의 분동추 홀에 분동을 넣고 덮개를 덮는다.
- ③ 현재 분동추 질량의 위치(x)를 읽고 기록한다.
- ④ 헬름홀츠 코일에 전원을 연결하고, 그 때의 전류 값(I_h)을 기록한다. (2A이상의 전류를 공급한다.)
- ⑤ 전류천칭에 전원을 공급한다. 이때부터 전류천칭은 유도된 자기장에 의한 하향력을 받는다. 공급하는 전원은 낮은 전류 값부터 시작해 전류천칭이 수평이 될 때까지 전류를 증가시킨다. 전류천칭이 수평을 이루었으면 그때의 전류 값(I)을 기록한다.
- ⑥ 전류천칭에 공급하는 전원을 차단한 후 분동추를 바깥쪽으로 이동시킨 후 그 위치를 기록한다.
- ⑦ 다시 전류천칭에 전원을 공급하고 실험 5번과 같이 하여 전류값을 기록한다.
- ⑧ 실험방법 ⑥-⑦을 반복 실시한다.
- ⑨ 필요시 헬름홀츠 코일의 전압을 높인 후 실험방법 ②-⑨를 반복한다.

5. 결과Report

학과

학번

이름

1) 실험값

전류 천칭의 bc간의 거리(L)	40mm
헬름홀츠 코일의 감긴 수(N)	300turn
ba의 거리(d)	120mm
헬름홀츠 코일의 반지름(R)	64mm
분동추의 질량	

횟수	헬름홀츠 코일 전류(I_h)	도선 전류 (I)	단위질량 추까지 의 길이 (x)	유도된 자기장 (B)	천칭에 의한 자기장계산(B)	투자율(μ_0)
1						
2						
3						
평균						

2) 고찰

별첨1)

헬름홀츠 코일의 자기장

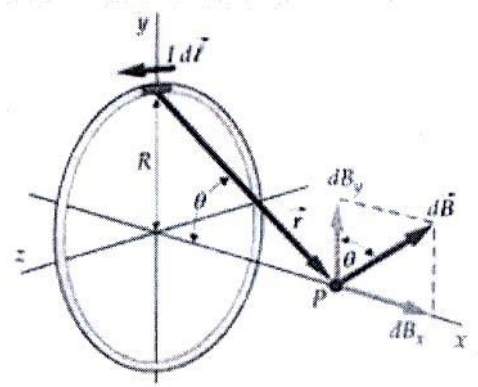


그림1. 원형도선에서의 자기장

반경 R 의 원형도선에 전류 I 가 흐를 때, 중심 축의 임의의 점 P 에서 자기장의 세기 B 를 계산해 보자
 도선 요소 dl 에 의한 벡터 dB 는 비오-사바르의 법칙에 의해

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1)$$

이고, 벡터 dl 과 r 은 수직이므로

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin 90^\circ}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} \quad (2)$$

이다. 벡터 dB 는 dB_x 와 dB_z 성분으로 나눌 수 있고 dB_z 성분은 대칭성으로부터 환선 전체에 대해 합하면 0이 될 것이다. 그러므로 x 축 방향의 자기장 성분만 고려하면 $B = \int dB_x = \int dB \sin \theta$ 그러므로 이 식에 위의 식 dB 를 대입하고 $\sin \theta = R/r$ 을 대입하면 도선의 x 축 방향으로 일정거리 x 만큼의 거리에서 자기장 값은 다음과 같다.

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

여기서 μ_0 는 진공중의 투자율이고 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T \cdot m / A)$ 이다.

감은 수가 N번 감긴 코일의 경우 구조적인 형태를 무시하고 근사적으로 계산하면 식 (3)에 N을 곱함으로써 얻을 수 있다. 즉 다음과 같이 주어진다.

$$B(x) = \frac{N\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (4)$$

감은 수가 같고 반경 R이 같은 코일이 x축 상에 그림 에서와 같이 거리 a 만큼 떨어져 있다면 그때의 코일 내부 공간에서의 자기장의 세기는 다음과 같다.

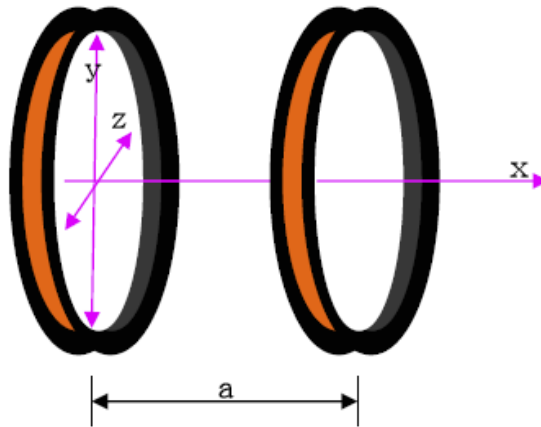


그림. 2 두 코일의 배치

$$B(x) = \frac{N\mu_0 I R^2}{2} \left[\frac{1}{(R^2 + x^2)^{3/2}} + \frac{1}{(R^2 + (a-x)^2)^{3/2}} \right] \quad (5)$$

두 코일 중심($\frac{a}{2}$) 지점에서의 자기장은

$$B\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{N\mu_0 I R^2}{2} \left[\frac{1}{\left(R^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(R^2 + \left(a - \frac{a}{2}\right)^2\right)^{3/2}} \right] = N\mu_0 I R^2 \frac{1}{\left(R^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (6)$$

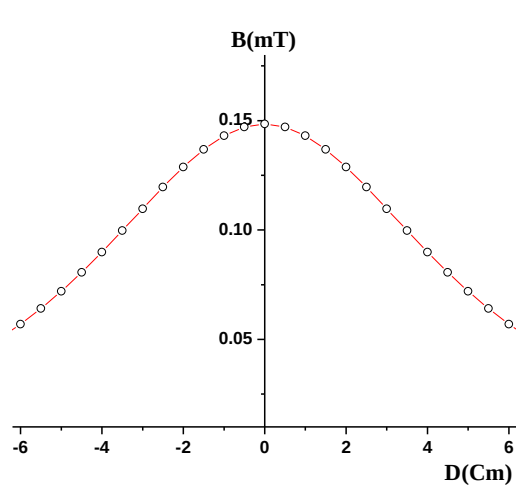
이 된다.

따라서 코일의 거리가 가까울수록 중심에서의 자기장의 크기는 증가하고 거리가 멀어질수록 작아진다. 그림3 은 여러 가지 코일 배치에서의 자기장 값들이다. 두 개의 같은 코일에 일정한 전류를 흘리면 각각의 코일에는 그림3 의 (a)에서와 같은 자기장이 형성되고 두 코일을 배치시켰을 때는 (b), (c), (d)에서와 같이 두 코일에 의해 생성된 자기장의 합의 값의 자기장이 생성된다.

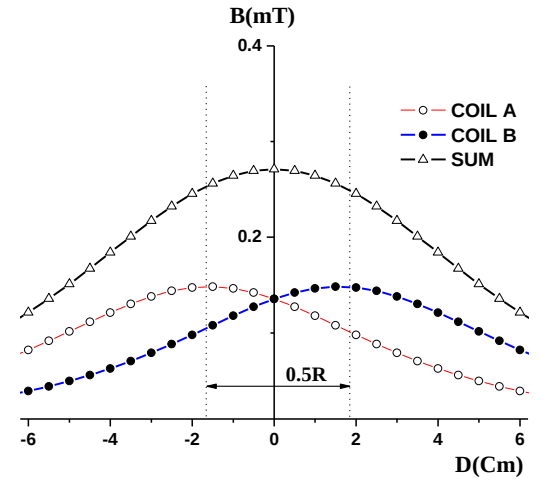
그림3 에서 보는 것과 같이 두 코일의 거리가 코일에 반경 R 과 같은 거리에 배치되어 있으면 코일 중심에 넓은 영역에 일정한 자기장이 형성되는데 이러한 코일배치를 헬름홀츠 코일이라 하고 코일 중심에서의 자기장은 다음과 같다.

$$B = \frac{N\mu_0 I}{R} \frac{8}{5^{1.5}} \quad (7)$$

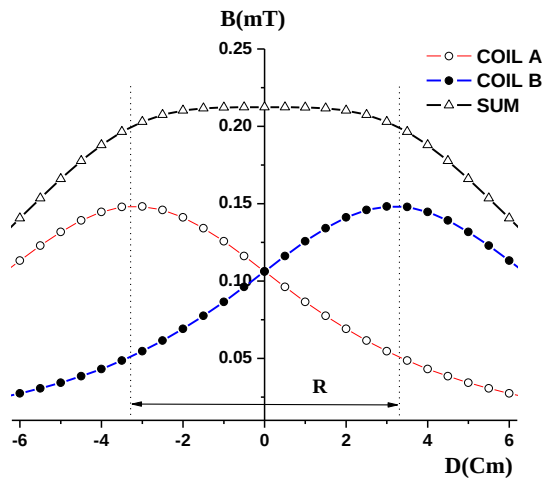
여기서 μ_0 는 진공중의 투자율이고, I 는 코일에 흐르는 전류이다. 헬름홀츠 코일은 솔레노이드와 비교하면 같은 권선수와 같은 전류에 대하여 낮은 자기장이 생성된다. 그러나 일반적으로 솔레노이드 보다는 넓은 범위에서 균일한 자기장이 생성된다. 따라서 낮고 넓은 공간 범위에서의 균일한 자기장을 생성하고자 할 경우 유용하다.



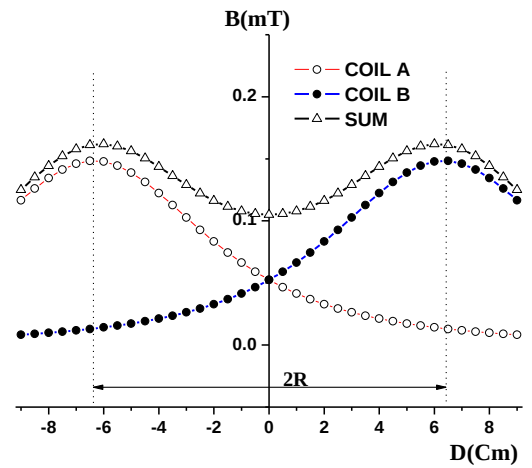
(a)



(b)



(c)



(d)

그림. 3 여러 가지 코일 배치에 따른 자기장 값 (컴퓨터 계산치)

(a) 한 코일에서의 자기장

(b) 두 코일의 거리가 코일 반경의 절반일 때($x=0.5R$)

(c) 두 코일의 거리가 코일 반경일 때($x=R$)

(d) 두 코일의 거리가 코일 반경의 두 배 일때($x=2R$)