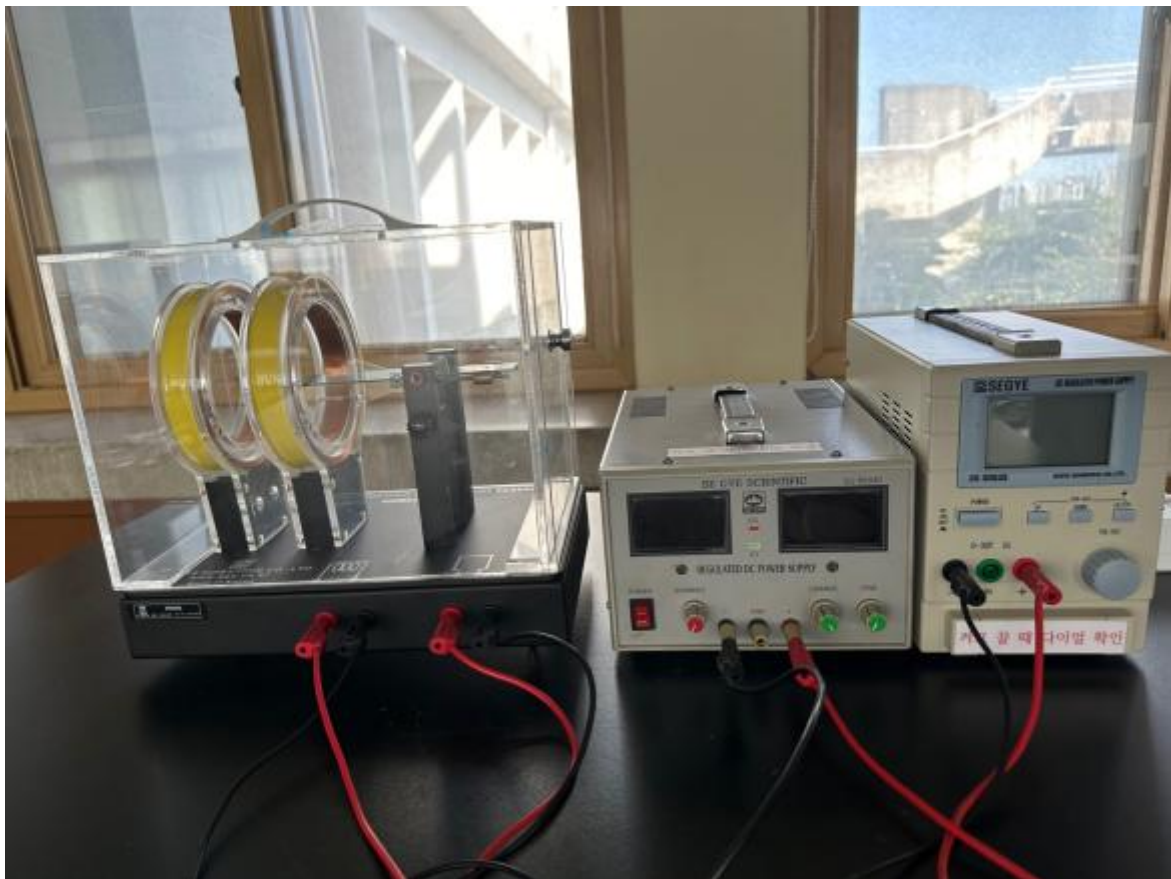


일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

# 8. 전류 천칭에 의한 자기유도 측정



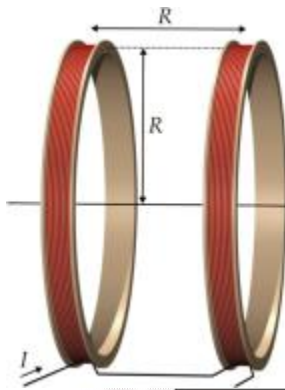
일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

실험 목표

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에서 받는 힘을 측정하여 실험적으로 자기장의 크기와 투자율을 구한다.  
 일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

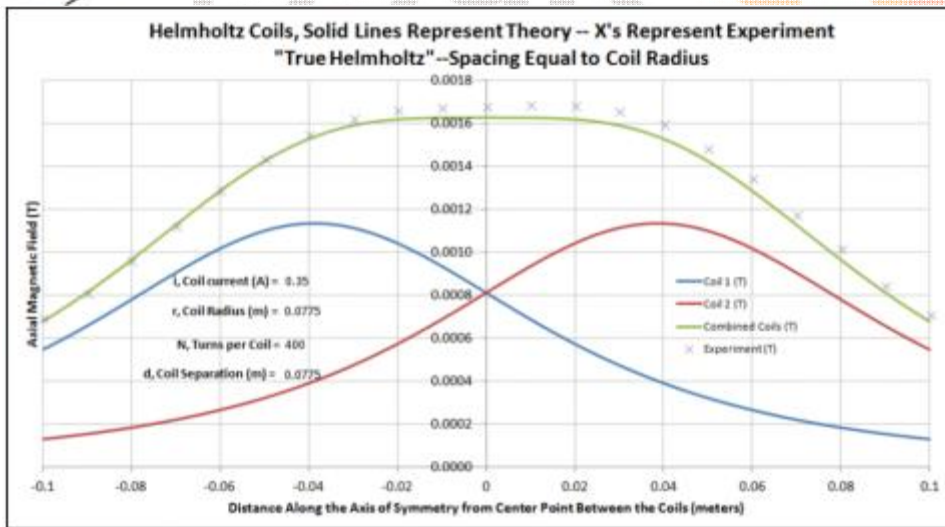
기본 이론

(1) 헬름홀츠 코일 (Helmholtz coil)



두 개의 동일한 원형 코일이 각 코일의 반지름  $R$ 만큼의 거리를 두고 중심 축을 공유하며 나란하게 배치되어 있는 코일 배치를 독일의 물리학자 헤르만 폰 헬름홀츠의 이름을 따서 헬름홀츠 코일이라 한다. 각각의 코일에는 같은 세기의 전류가 같은 방향으로 흘러서, 같은 크기와 방향을 가지는 자기장을 만든다.

헬름홀츠 코일의 전제 조건인 '반지름  $R$ 만큼의 거리를 두고 떨어져 있는 것'은 두 코일의 중심 부근에서 자기장의 불균일성을 최소화하는 배치이다.



<https://www.thepocketlab.com/educators/lesson/quantitative-study-helmholtz-coils>

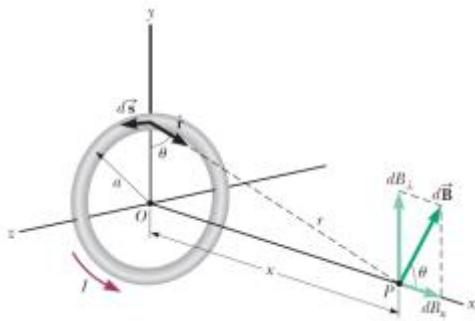
(2) 헬름홀츠 코일에서의 자기장

반지름이  $R$ (왼쪽 그림에서  $a$ )인 원형 도선에 전류  $I$ 가 흐를 때, 도선의 중심축 상 임의의 점 P에서의 자기장 세기는 다음과 같다.

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

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

(고리 중심인 지점  $x = 0$  에서  $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ )



헬름홀츠 코일 중간 지점에서의 자기장의 세기는 다음과 같다.  
(일반 물리학 교재 참고)

$$B_{\text{helmholtz}} = \left(\frac{8}{5\sqrt{5}}\right) \frac{\mu_0 N I_h}{R}$$

[헬름홀츠 코일 중간 지점에서 유도된 자기장 관계식]

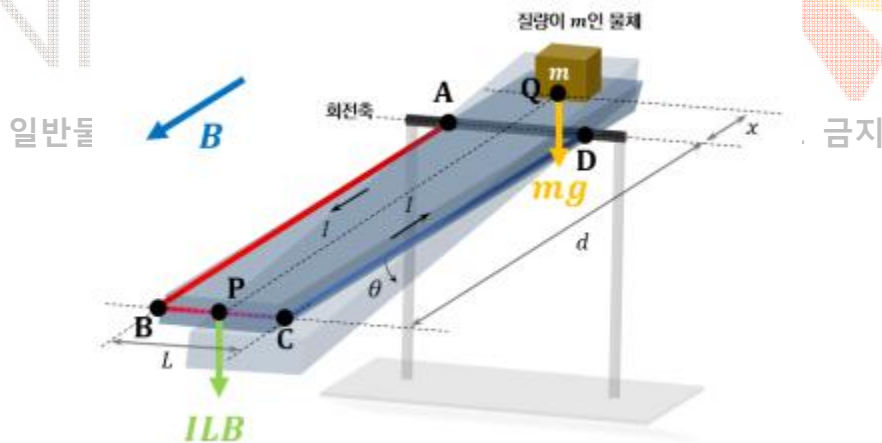
자유 공간에서의 투자율  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$

$I_h$  = 헬름홀츠 코일의 전류

### (3) 전류 천칭을 이용한 자기장 측정

전류천칭 실험 시스템은 헬름홀츠 코일과  $\square$ 자형 구리도선이 내부에 장착된 천칭으로 구성된다. 헬름홀츠 코일에 전류  $I_h$ 를 흘려주면,  $\square$ 자형 구리도선은 자기력을 받아서 천칭이 한쪽으로 기울게 된다. 이 때 천칭의 다른 쪽에 분동추를 놓아 천칭의 수평을 맞추면 역학적 평형에 의한 관계식을 이용해, 헬름홀츠 코일에 의해 유도된 자기장과 천칭에 의해 계산된 자기장의 크기를 비교할 수 있다.

아래 그림과 같이 균일한 자기장  $\vec{B}$ 가  $\square$ 자형 도선이 장착된 천칭 주변에 생성되어 있다. 도선에 흐르는 전류의 방향은  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  이고, 자기장  $\vec{B}$ 의 방향은  $\overline{AB}$ 와 평행하다.



균일한 자기장  $\vec{B}$ 가 작용하는 영역에서 전류  $I$ 가 흐르고 있는 길이 벡터가  $\vec{L}$ 인 직선 도선에 작용하는 자기력은 다음과 같다.

$$\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B}$$

자기장의 방향이 전류가 흐르는 방향과 수직하면

$$\vec{F} = ILB$$

위 그림의  $\square$ 자형 도선에서  $\overline{AB}$ 와  $\overline{CD}$ 는 자기장의 방향과 전류가 흐르는 방향이 평행하므로 자기력이 작용하지 않는다. 따라서 수직인 방향으로 전류가 흐르는  $\overline{BC}$ 에 작용하는 자기력은  $F = ILB$ 이다. (단, 도선  $\overline{BC}$ 의 길이 벡터는  $\vec{L}$ 이고, 점 P는  $\overline{BC}$ 의 중점이다.)

자기력이 작용하면 천칭이 각도  $\theta$ 만큼 기울어질 것이다. 이 때  $\perp$ 자형 도선이 없는 천칭 반대편 지점에 질량이  $m$ 인 물체를 놓아서 천칭이 수평을 이루도록( $\theta = 0$ )한다. 천칭이 수평을 이루었을 때의 물체의 지점을 Q라 하고 회전축에서부터 거리는  $x$ 라 하자. (단,  $\overline{PQ} \parallel \overline{AB}$ 이고, 물체의 크기는 무시한다.)

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

천칭의 무게를 무시할 때, 천칭은 역학적 평형을 이루므로 천칭에 작용하는 알짜 토크(돌림힘)는 0이 된다.  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$  이고, 자기력에 의한 토크와 물체에 의한 토크는 방향이 반대이므로

$$ILBd = mgx$$

$d$ 는 자기력을 받는 도선  $\overline{BC}$ 가 회전축으로부터 떨어진 거리이다.

그러므로 천칭에 의해 계산된 자기장은 다음과 같다.

$$B_{balance} = \frac{mgx}{ILd} \text{ [전류천칭에 의해 계산된 자기장 관계식]}$$

P지점이 반지름이  $R$ 인 헬름홀츠 코일의 중간 지점(양쪽으로부터  $\frac{R}{2}$ 만큼 떨어진 지점)이므로 실측 투자율  $\mu$ 는 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\mu = \left( \frac{5\sqrt{5}}{8} \right) \frac{R}{NI_h} \cdot \frac{mgx}{ILd} \text{ [헬름홀츠 코일 중간 지점에서 실측 투자율 관계식]}$$



일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

실험 방법

주의사항

1. 코일과 도선에 과전류가 흐르지 않도록 주의한다.
2. 감전 또는 발열에 의한 화상을 입을 수 있으므로 코일과 일체 접촉하지 않는다.
3. 전원을 공급하는 도중에 천칭을 임의로 건드리지 않는다.

- 1) 실험기구의 수평을 잡고 수평조절 추를 이용하여 천칭의 수평을 잡아준다.
- 2) 가장 안쪽의 분동추 홈에 분동을 넣고 덮개를 덮고, 현재 분동수 질량의 위치(z)를 읽고 기록한다.
- 3) 헬름홀츠 코일에 전원을 연결하고, 그 때의 전류 값( $I_h$ ) 을 기록한다.  
(2A 이상의 전류를 공급하되, 장비 사양에 따라 제한되는 경우 2A 이하에서도 천칭이 움직이면 실험 가능.)
- 5) 전류 천칭에 전원을 공급한다. 이때부터 전류 천칭은 유도된 자기장에 의한 하향력을 받는다. 공급하는 전원은 낮은 전류 값부터 시작해 전류 천칭이 수평이 될 때까지 전류를 증가시킨다. 전류 천칭이 수평을 이루었으면 그때의 전류 값(I)을 기록한다
- 6) 전류 천칭에 공급하는 전원을 차단한 후 분동추를 바깥쪽으로 이동시킨 후 그 위치를 기록한다.
- 7) 다시 전류 천칭에 전원을 공급하고 실험 5번과 같이 하여 전류 값을 기록한다
- 8) 실험방법 6~7을 반복 실시한다.
- 9) 필요시 헬름홀프 코일의 전압을 높인 후 실험방법 2~9를 반복한다.

<헬름홀츠 코일 규격 정보>

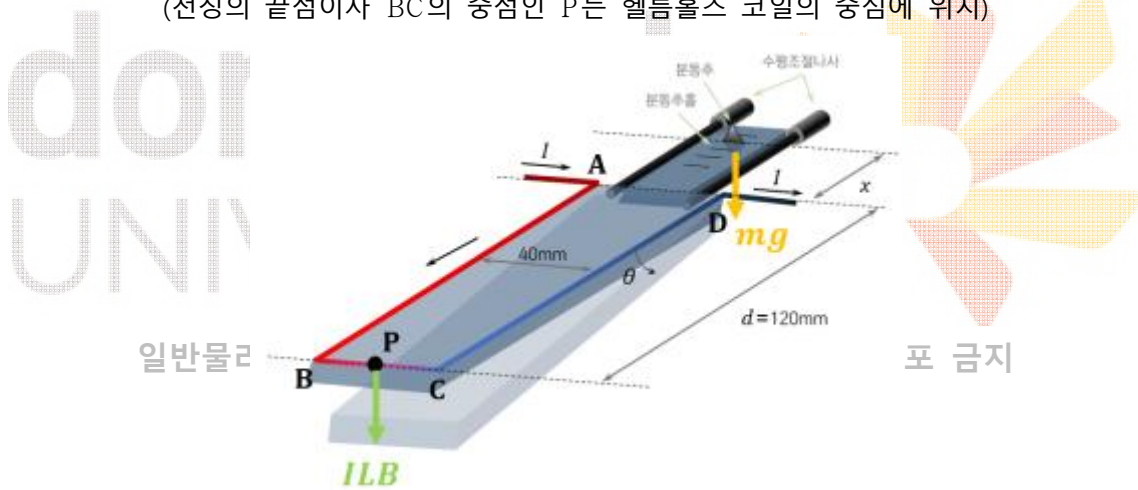
바깥 지름(외경)	안쪽 지름(내경)	평균 지름 $2R$ (평균직경)	평균 반지름 $R$ (평균반경)	감은 수 $N$	도선 두께
136mm	120mm	128mm	64mm	300	0.7mm

<천칭 규격 정보>

$\overline{AB}$ 의 길이 $d$	$\overline{BC}$ 의 길이	회전축~분동추 거리 $x^*$	분동추의 질량 $m$	중력가속도 $g$	자유공간에서의 투자율 $\mu_0$
120mm	40mm	40mm	200mg	9.80m/s <sup>2</sup>	$4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A



(천칭의 끝점이자  $\overline{BC}$ 의 중점인 P는 헬름홀츠 코일의 중심에 위치)



일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지