문제 1: 지구 자기장의 수평 성분

원통형 막대자석의 작은 진폭 진동을 이용해 지구 자기장의 수평 성분 B_{H}를 구한다. 자석은 지구의 정자기장과 정사각형 코일이 만드는 정자기장이 합쳐진 장 속에서 진동한다.

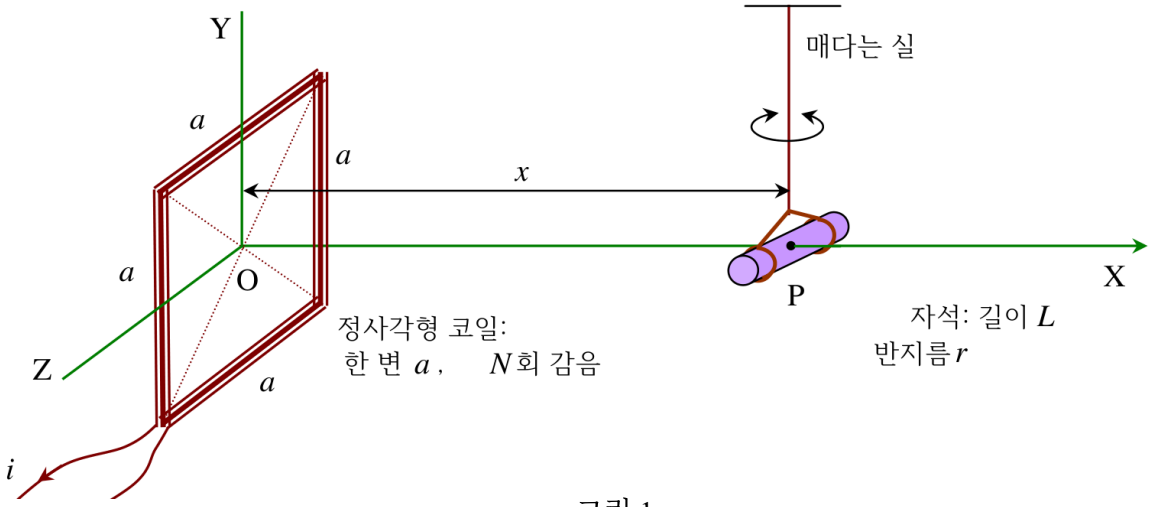


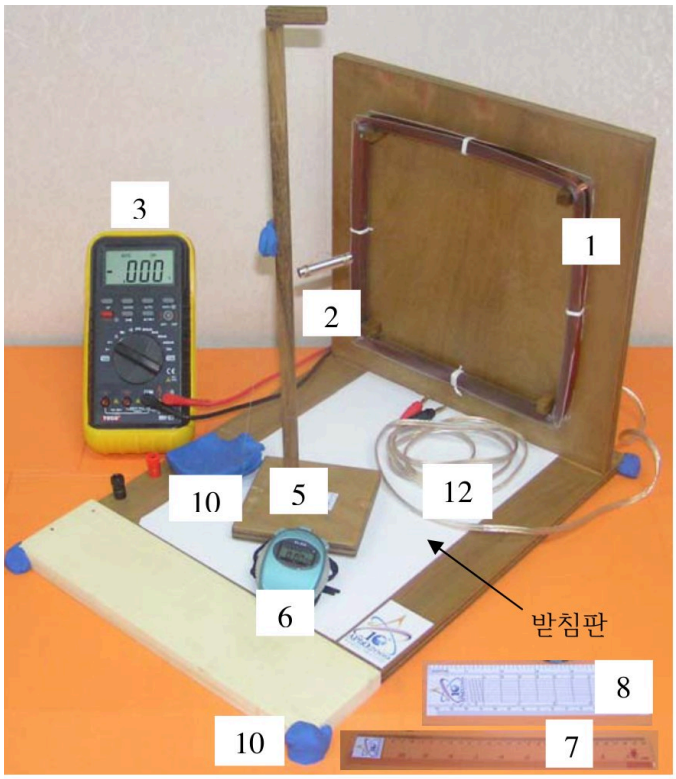
그림 1

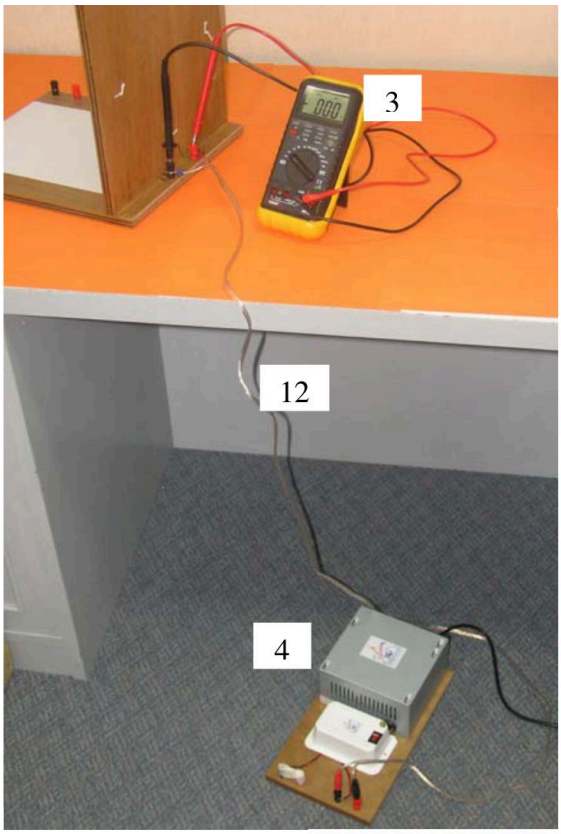
실험은 세 부분으로 나누어 한다. 부분 I은 부분 III에서 쓸 공식을 유도하는 것이다.

장치

학생마다 그림 2와 같은 장치가 주어진다.

1. 저항이 $5.2 \pm 0.2\ \Omega$이고 130번 감은 정사각형 코일
2. 나일론 실이 달린 질량 15.0 ± 0.2 g의 작은 원통형 자석
3. 전압계(코일 양단의 전위차를 재는 데만 쓴다)
4. 전원 장치(그 자기장의 간섭을 피하려고 탁자 아래에 둔다)
5. 나무 스탠드
6. 스톱워치
7. 자
8. 각도기
9. 흰 라벨(글을 쓸 수 있다)
10. 색 점토
11. 모눈종이
12. 전기 코드





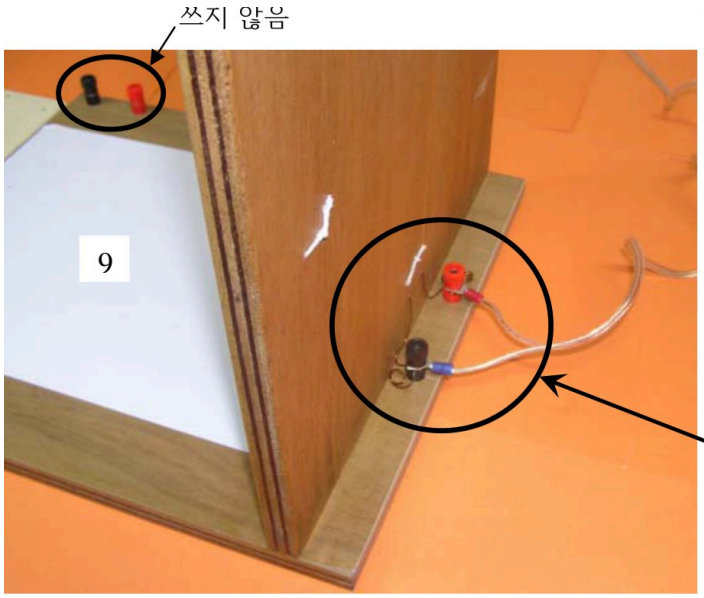


그림 2

경고

멀티미터는 코일의 전압차를 재는 데에만 쓰시오. 다른 모드로 멀티미터를 쓰면 전원 장치가 망가질 수 있다!!!

부분 I

[1점]

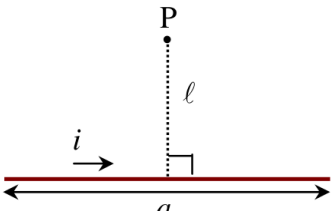


그림 3

곧은 전류 요소 ia의 가운데에서 수직 거리 ℓ만큼 떨어진 곳의 자기 선속 밀도 B_{P}는 다음과 같이 주어진다.

$$B_{\mathrm{P}} = \frac{\mu_0 i}{2\pi\ell}\frac{(a/2)}{\sqrt{\ell^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}} \qquad \text{..... (i)}$$

여기서 $\mu_0 = 4\pi\times 10^{-7}$ 헨리/미터는 자유 공간의 투자율이다.

이 식을 써서, 그림 1의 점 P에서 정사각형 코일이 만드는 자기 선속 밀도의 크기가 다음과 같음을 보이시오.

$$B_{px} = \left(\frac{\mu_0 a^2 iN}{2\pi}\right)\left[\frac{1}{\left(x^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2\right)\sqrt{x^2+2\left(\frac{a}{2}\right)^2}}\right] \qquad \text{..... (ii)}$$

또한 알짜 자기장 B 속에서 자석의 작은 진폭 진동의 주기는 다음과 같이 주어진다.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mB}} \qquad \text{..... (iii)}$$

여기서 m은 질량 M인 자석의 자기 모멘트이고, I는 질량중심을 지나는 축에 대한 자석의 관성 모멘트로 다음과 같다.

$$I = M\left(\frac{L^2}{12}+\frac{r^2}{4}\right) \qquad \text{..... (iv)}$$

부분 II [0.8점]

부분 III의 실험에서는 자석을 그림 1과 같은 위치에 맞추어야 한다. 실의 길이가 너무 짧으면 자석의 진동에서 실의 비틀림을 무시할 수 없다. 알맞은 측정(예컨대 지구 자기장만 있을 때 자석의 진동)을 해서 실의 비틀림을 무시해도 됨을 보이시오. 그래프는 그리지 않아도 된다.

부분 III

아래 실험(a, b, c)에서는 자석을 그림 1과 같은 위치에 맞추어야 한다. 자석의 중심과 받침판 윗면 사이의 거리를 재어 적으시오. [0.2점]

a) 코일의 자기장과 지구 자기장의 수평 성분이 같은 방향일 때 [5점]

경고

코일을 전원 장치에 연결하고 적어도 5분 동안 켜 두시오.

코일의 자기장과 지구 자기장이 같은 방향일 때, 합쳐진 장의 세기를 여러 가지로 바꾸며 진동 주기를 재시오. 직선 그래프를 그리고, 이 그래프에서 B_{H}와 자기 모멘트 m의 값을 계산하고 그 오차를 어림하시오.

b) 지구 자기장만 있을 때 [1점]

(a)에서 구한 m의 값과, 부분 II에서 잰 코일 자기장이 없을 때 자석 막대의 진동 주기를 써서 B_{H}의 값을 다시 계산하고 그 오차를 어림하시오.

c) 코일의 자기장과 지구 자기장의 수평 성분이 반대 방향일 때 [2점]

전원 장치에서 연결을 뒤바꾸어, 지구 자기장과 그에 맞서는 코일의 자기장 사이의 X 방향 평형 위치 x_0를 찾으시오. x_0의 값을 써서 B_{H}의 값을 다시 계산하고 그 오차를 어림하시오.

****