문제 1: 지구 자기장의 수평 성분

부분 I

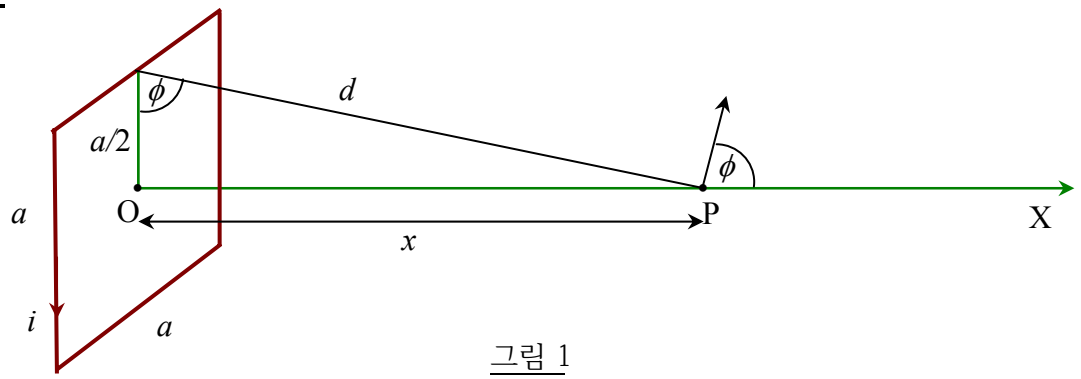


그림 1

코일의 중심 O에서 한 번 감은 코일의 자기장은

$$B_{\mathrm{O}} = 4\times\frac{\mu_0 i}{2\pi\left(\frac{a}{2}\right)}\frac{(a/2)}{\sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}} = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 i}{\pi a}.$$

P에서 수평 자기장은

$$B_{\mathrm{PX}} = 4\frac{\mu_0 i}{2\pi d}\frac{(a/2)}{\sqrt{d^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}}\cos\phi\,. \qquad \text{[0.3점]}$$

그림 1에서 $d = \sqrt{x^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}$ 이고 $\cos\phi = \frac{(a/2)}{\sqrt{x^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2}}$. [0.2점]

그러면 N번 감은 정사각형 코일에 대해 [0.2점]

$$B_{px} = \left(\frac{2\mu_0 iN}{\pi}\right)\cdot\frac{a/2}{\sqrt{x^2+2\left(\frac{a}{2}\right)^2}}\cdot\frac{a/2}{\left(x^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2\right)}$$

또는

$$B_{px} = \left(\frac{\mu_0 a^2 iN}{2\pi}\right)\left[\frac{1}{\left(x^2+\left(\frac{a}{2}\right)^2\right)\sqrt{x^2+2\left(\frac{a}{2}\right)^2}}\right] \qquad \text{[0.3점]}$$

이것은 $B_O = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 iN}{\pi a}$ $x = 0$.일 때.

부분 II

실의 비틀림을 무시해도 됨을 보이는 측정.

실의 길이 (cm)	10회 진동 시간 (s)
2	9.38
4	9.69
6	9.90
8	10.13
10	10.13
12	10.22
14	10.12
25	10.12

(이 데이터는 부분 III에서 쓴 것과 다른 자석으로 얻은 것이다.)
실의 길이가 10 cm 이상이면 주기가 일정함을 알 수 있다.

부분 III

a), b), c)에서 자석의 중심과 받침판 윗면 사이의 거리는 14.0 ± 0.5 cm이다.

a) 코일의 자기장과 지구 자기장의 수평 성분이 같은 방향일 때

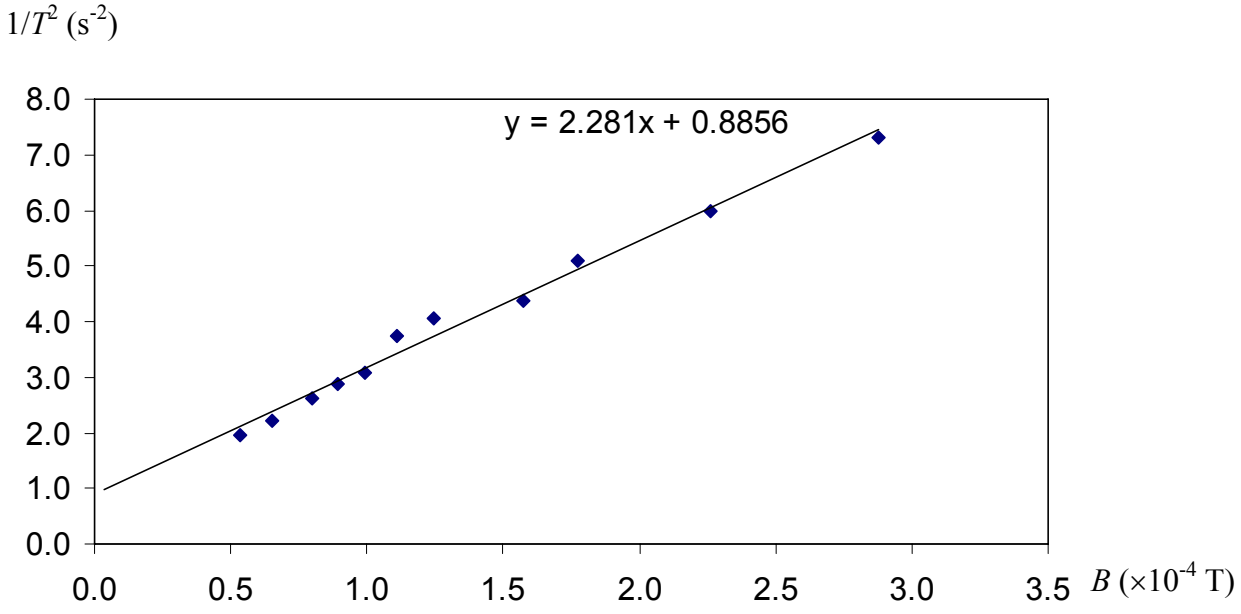
코일의 자기장(B)과 지구 자기장(B_H)이 같은 방향이므로,

$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mB}}$ 에서 $\frac{1}{T^2} = \beta B + \beta B_H$ 여기서 $\beta = \frac{m}{4\pi^2 I}$. 다음 그래프를 그리면: $\frac{1}{T^2}$

와 B의 선형 그래프의 기울기와 절편에서 B_H를 구할 수 있다.

코일에서 거리를 달리하며 20회 진동을 재면 표와 같은 결과를 얻는다.

x (cm)	20회 진동 시간 (s)		주기 T (s)	$B\left(\times 10^{-4}\mathrm{T}\right)$	$1/T^2$
10	7.44	7.35	0.370	2.878	7.305
12	8.19	8.13	0.408	2.259	5.998
14	8.87	8.91	0.443	1.773	5.088
15	9.5	9.62	0.478	1.573	4.377
17	9.91	9.97	0.497	1.245	4.048
18	10.43	10.35	0.518	1.111	3.734
19	11.47	11.31	0.569	0.994	3.085
20	11.78	11.81	0.591	0.891	2.866
21	12.41	12.34	0.619	0.801	2.613
23	13.41	13.4	0.671	0.652	2.222
25	14.22	14.28	0.714	0.535	1.964



그래프에서: 기울기 $\beta = (2.281 \pm 0.063) \times 10^4$ $\mathrm{s}^{-2}/\mathrm{T}$

절편 $\beta B_{\mathrm{H}} = 0.886 \pm 0.076$ s^{-2}

지구 자기장의 값은

$$B_{\mathrm{H}} = \frac{0.8856}{2.281 \times 10^4} = 0.39 \times 10^{-4}\ \mathrm{T} = 0.39 \pm 0.04\ \mathrm{G}$$

자석의 자기 모멘트는

$$m = \beta^2 4\pi^2 M \left(\frac{L^2}{12} + \frac{r^2}{4}\right) = 1.68 \pm 0.09\ \mathrm{A\ m^2}$$

b) 지구 자기장만 있을 때

30회 진동 시간: 36.28, 36.25, 36.24 s.

평균 주기 $T_E = 1.209 \pm 0.001$ s

$$B_{\mathrm{H}} = \frac{1}{T_E^{\,2}\beta} = \frac{1}{1.21^2 \times 2.281 \times 10^{-4}} = 0.30 \pm 0.01\,\mathrm{G}$$

c) 코일의 자기장과 지구 자기장의 수평 성분이 반대 방향일 때

평형(중립) 위치 $x_0 = 31.0 \pm 0.2\,\mathrm{cm}.$

$$B_{\mathrm{H}} = \left(\frac{\mu_0 a^2 iN}{2\pi}\right)\left[\frac{1}{\left(x_0^{\,2} + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)\sqrt{x_0^{\,2} + 2\left(\frac{a}{2}\right)^2}}\right] = 0.31 \pm 0.01\,\mathrm{G}$$

****