풀이

A. 자기장의 이해 (1.0점)

1. 원형 코일이 만드는 자기장의 이해

A.1	$k = 6.28 \times 10^{-3}\ \mathrm{mT/mA}$	0.5 pt

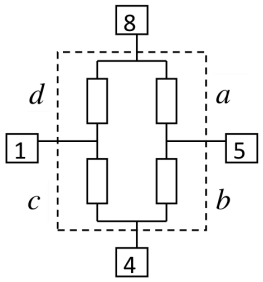
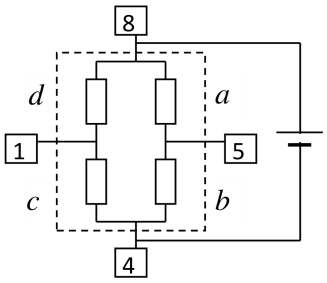
2. 지구 자기장의 이해

A.2	$B_\beta = B_\mathrm{h} \cos\beta$	0.5 pt

B. GMR 자기 센서를 이용한 GMR 효과의 탐구 (7점)

2. GMR 요소의 저항 측정

a. $B = 0$ *에서 요소들의 저항.*

B.1	실험의 개략도와 각 요소 a, b, c, d 의 저항을 계산하는 식. a. 핀 8과 4를 단락시킨다. $R_{5,84} = m;\ R_{1,84} = n$ $\dfrac{1}{m} = \dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{b}$ (1) $\dfrac{1}{n} = \dfrac{1}{c} + \dfrac{1}{d}$ (2)  b. 핀 8과 4를 전지에 연결한다. $\dfrac{U_{8,5}}{U_{5,4}} = p;\ \dfrac{U_{8,1}}{U_{1,4}} = q$ $\dfrac{a}{b} = p$ (3) $\dfrac{d}{c} = q$ (4)  연립방정식 (1), (2), (3), (4)를 풀면 다음을 얻는다: $a = m(p+1);\ b = m\left(1 + \dfrac{1}{p}\right)$	1.25 pt

	$c = n\left(1+\frac{1}{q}\right);\ d = n(q+1)$	
B.2	$B = 0$ 에 대해: $a = 4960\ \Omega;\ b = 4870\ \Omega;\ c = 4950\ \Omega;\ d = 4970\ \Omega$	1.25 pt

b. 최대 외부 자기장에서 요소들의 저항

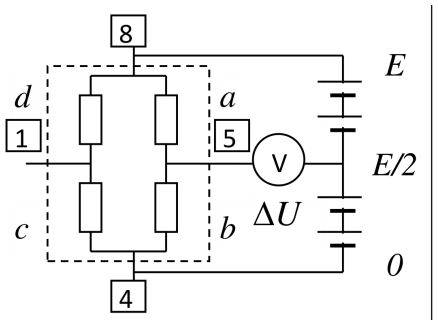
B.3	$a = 4320\ \Omega\ ;\ b = 4870\ \Omega;\ c = 4310\ \Omega\ ;\ d = 4970\ \Omega$	0.5 pt

c. 요소들의 성질

B.4	자기장에 민감한 요소는: a, c	0.25 pt

2. GMR 요소의 특성

B.5	고른 요소의 이름: a 실험의 개략도와 $\delta(B)$ 를 계산하는 식. **1.** 방법 1: 원형 코일의 전류 I 값을 달리하면서 B.1과 같은 방법을 쓴다. **2.** 방법 2: 그림과 같이 센서를 전지에 연결하여 브리지를 만든다. 살펴볼 GMR 요소는 a 이다. $I = 0$ 에서 브리지의 평형이 맞으면 $\Delta U = 0$ 이다. 코일에 전류 I 를 흘리면 a 의 저항은 $R + \Delta R$ 이 되고, 그러면 $\Delta U \neq 0$ 이다. 그런데 $\Delta U = \frac{E \cdot R}{R + R + \Delta R} - \frac{E}{2}$ 이므로 $\delta(B) = \frac{\Delta R}{R} \approx -\frac{\Delta U}{E/4}$ 이다. $I = 0$ 에서 브리지의 평형이 맞지 않아 처음 전압이 ΔU_0 이면, $\frac{\Delta R}{R} = -\frac{\Delta U - \Delta U_0}{E/4}$ 이고 $\delta(B) = \frac{\Delta R}{R} \approx -\frac{\Delta U - \Delta U_0}{E/4}$ 이다. 전압은 전지의 중간점에 대해 잰다.	0.75 pt

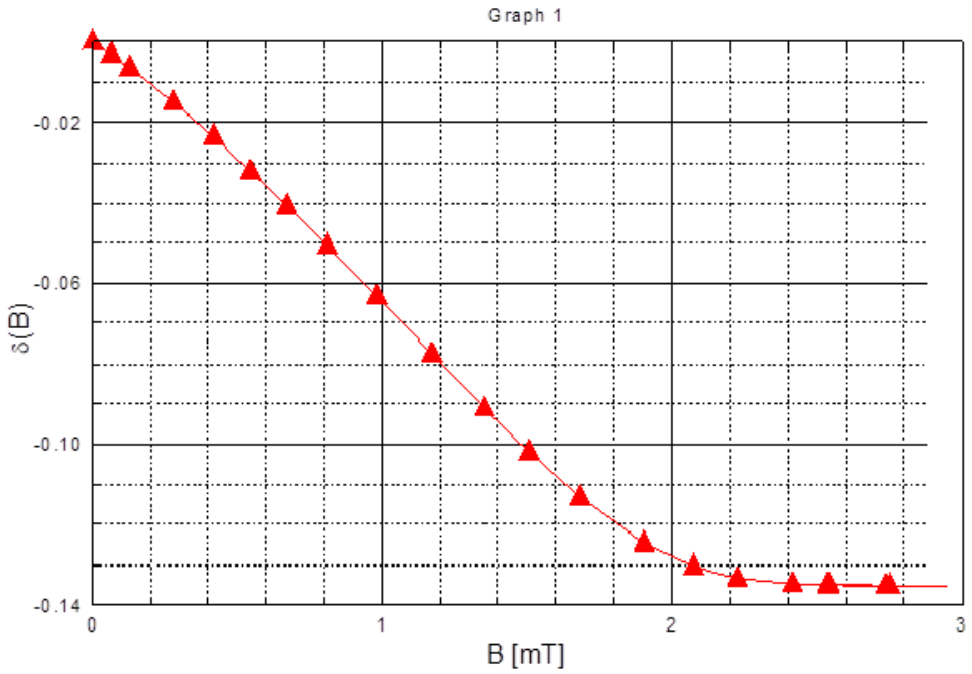


	$\Delta R/R$ 의 최댓값은 약 10%이다. 위의 근사를 써서 정할 때의 오차는 1%보다 작아 받아들일 만하다.	

B.6	I 와 B 의 값에 대응하는 $\delta(B)$ 의 표. $E = 6300\,\mathrm{mV}$	1.25 pt

I (mA)	B (mT)	ΔU (mV)	$\Delta U - \Delta U_0$	$\delta(B)$
0	0	-25.8	0	0
10	0.0628	-21	4.8	-0.00305
20	0.126	-15.7	10.1	-0.00641
45	0.283	-2.1	23.7	-0.01504
67	0.421	11.1	36.9	-0.02343
87	0.546	24.5	50.3	-0.03193
107	0.672	38.1	63.9	-0.04057
129	0.810	54	79.8	-0.05067
156	0.980	74	99.8	-0.06336
186	1.168	96	121.8	-0.07733
215	1.350	117.3	143.1	-0.09085
240	1.507	134.5	160.3	-0.10177
268	1.683	152.6	178.4	-0.11326
303	1.903	170.6	196.4	-0.12469
330	2.072	179.6	205.4	-0.13041
354	2.223	184.1	209.9	-0.13326
384	2.411	186.2	212	-0.13460
405	2.543	186.7	212.5	-0.13492
436	2.738	187.1	212.9	-0.13517
469	2.945	187.2	213	-0.13523

B.7	**그래프 1** - 저항의 상대 변화의 그래프	0.5 pt



B.8	곡선 $\delta(B)$ 의 평균 기울기 $\alpha = \dfrac{\Delta\delta(B)}{\Delta B}$ $\alpha = -0.067\,\mathrm{mT}^{-1}$	0.25 pts
B.9	GMR 계수 $\delta = \dfrac{\Delta R_{\max}}{R(0)} = 13.5\,\%$	0.25 pts
B.10	GMR 요소의 저항 r 과 R 의 값: $r = R_0 - \sqrt{R_0(R_0 - R_\mathrm{B})}\,;\; R = R_0 + \sqrt{R_0(R_0 - R_\mathrm{B})}$ B.2와 B.3에서 요소 a 를 고르면, $r = 3180\Omega;\; R = 6740\Omega;\; \gamma = \dfrac{r}{R} = 0.47$	0.75 pts

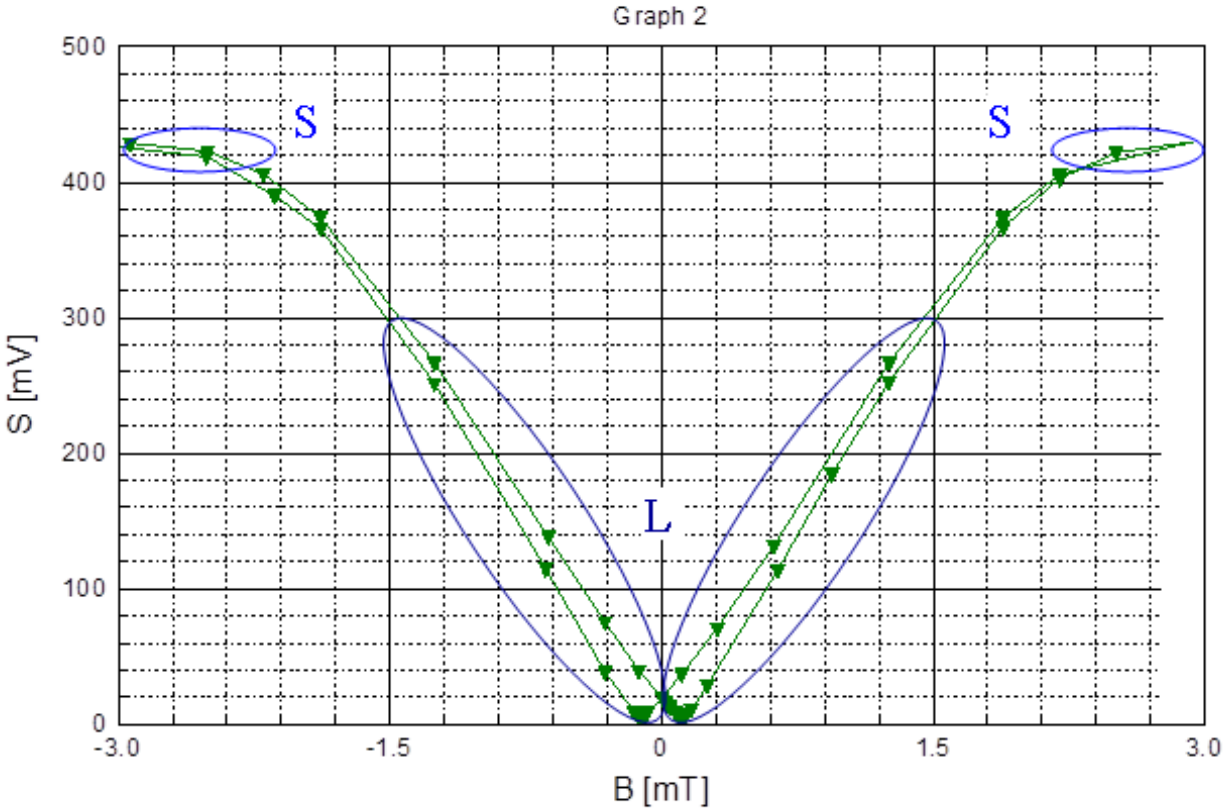
C. GMR 자기 센서에 대한 연구 (6점)

1. 센서 출력 신호의 특성

C.1	코일의 전류 I 와 자기장 B 의 값에 대응하는 출력 신호 S 값의 표.	1.0 pts

I	B	S	I	B	S

C.2	**그래프 2** - 걸어 준 자기장 B 의 함수로 출력 신호 S 의 그래프 $S(B)$.	1.0 pts



C.3	1. 곡선 $S(B)$ 에서 포화 영역: S 2. 곡선 $S(B)$ 에서 선형 영역: L $m = 2.0 \times 10^2\,\mathrm{mV/mT}$	0.5 pts
C.4	항자기장은 $B_\mathrm{c} = 0.10\,\mathrm{mT}$	0.5 pts

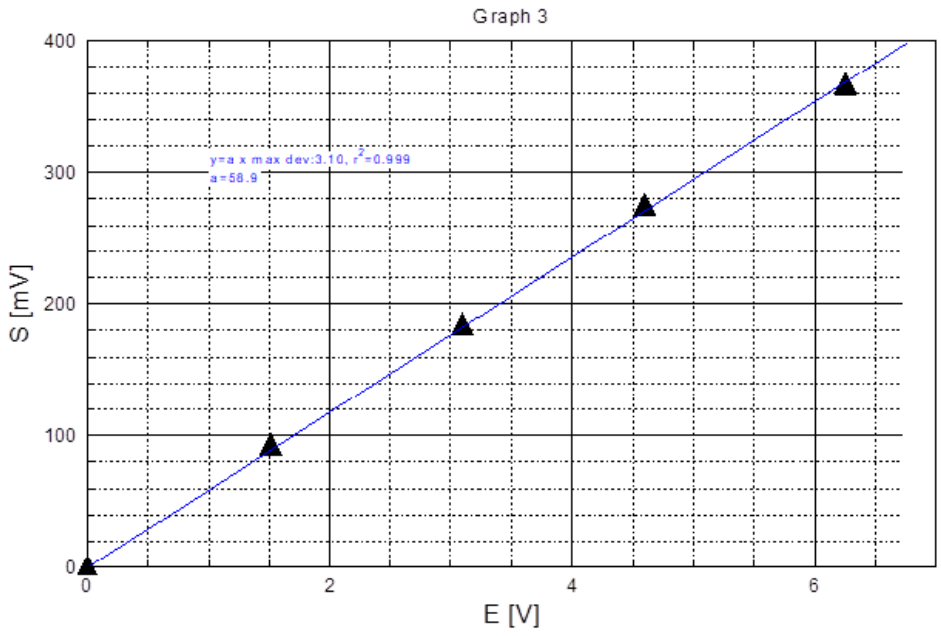
2. 출력 신호의 전압 의존성

C.5	E 값에 대응하는 S 값의 표.	0.25 pts

E (V)	S (mV)
0	0

1.51	91.5
3.1	183
4.6	274
6.25	365

C.6	**그래프 3** - E 의 함수로서의 S.	0.25 pts



C.7	$\lvert S\rvert = \frac{E}{2} \cdot \lvert\alpha\rvert \cdot B$	0.5 pt

3. 자속 집중기 효과에 대한 연구

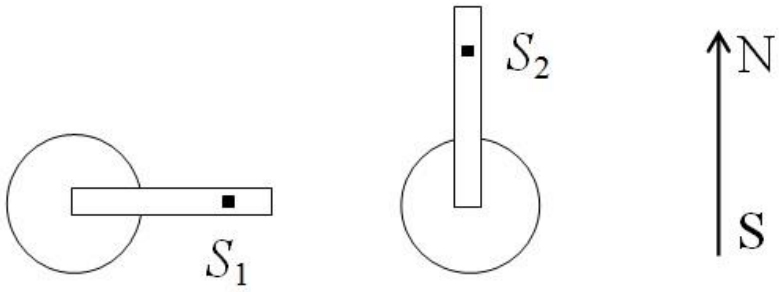
C.8

1. 이 실험에 쓴 자기장. 0.25 pt
알맞은 칸에 × 표를 하라

a. 전류가 흐르는 원형 코일의 자기장	
b. 전류가 흐르는 평면 코일의 자기장	
c. 영구자석 판의 자기장	
d. 지구 자기장	X

0.75 pt

2. 실험의 개략도와 *n* 값을 정하는 식.
1. 수평면 안의 원판 위에 놓인 센서.
2. 자속 집중기가 없을 때



a. 센서를 남북 방향에 수직으로 향하게 한다. 그 값 S_1 을 적는다.
b. 센서를 남북 방향을 따라 돌린다. 그 값 S_2 를 적는다.
c. $\Delta S_0 = S_2 - S_1;\ B_0 = |\Delta S_0|/m.$

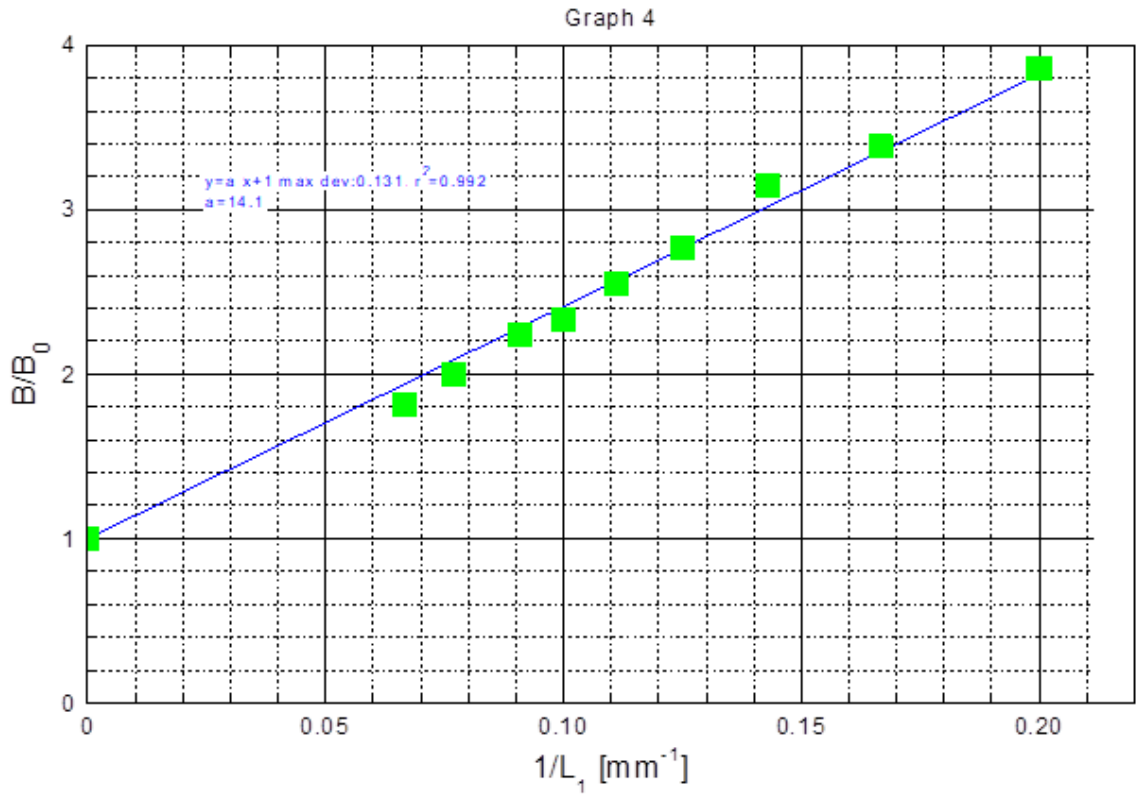
3. 자속 집중기가 있을 때
L_1 의 각 값에 대해 같은 방법으로 $B = |\Delta S|/m$ 을 얻는다.

C.9 서로 다른 L_1 값에 대해 B/B_0 를 구하는 표. $B/B_0 = \Delta S/\Delta S_0$ 0.5 pt
$S_1 = 17\,\mathrm{mV}\,;\ \Delta S_0 = 21.2 - 17 = 4.2\,\mathrm{mV}.$

L_1 (mm)	S_2(mV)	$1/L_1$ (mm^{-1})	$\Delta S = S_2 - S_1$	B/B_0
5	33.2	0.200	16.2	3.86
6	31.2	0.167	14.2	3.38
7	30.2	0.143	13.2	3.14

8	28.6	0.125	11.6	2.76
9	27.7	0.111	10.7	2.55
10	26.8	0.100	9.8	2.33
11	26.4	0.0909	9.4	2.24
13	25.4	0.0769	8.4	2.00
15	24.6	0.0667	7.6	1.81
∞	21.2	0.0000	4.2	1.00

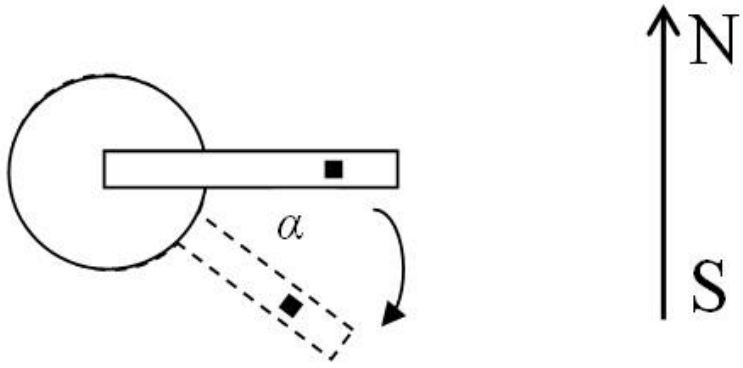
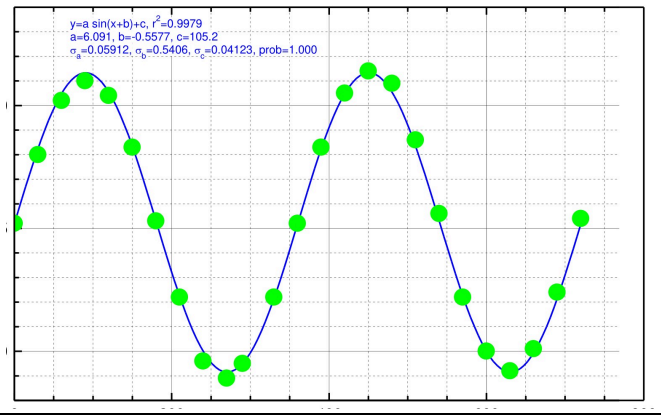
C.10	**그래프 4** – $1/L_1$ 의 함수로 B/B_0 의 그래프. 함수 $\frac{B}{B_0} = nL_2 \cdot \frac{1}{L_1} + 1$ 을 쓴다. $a = nL_2 = 14.1$ 을 구한다. $n = \frac{a}{L_2} = \frac{14.1}{25} = 0.56$ 을 얻는다.	0.5 pt

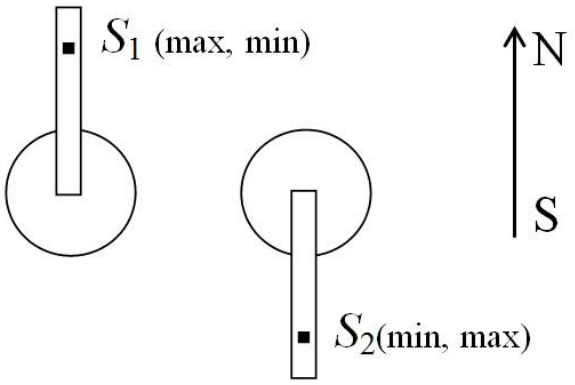


D. GMR 자기 센서의 응용 (6점)

1. 지구 자기장의 측정

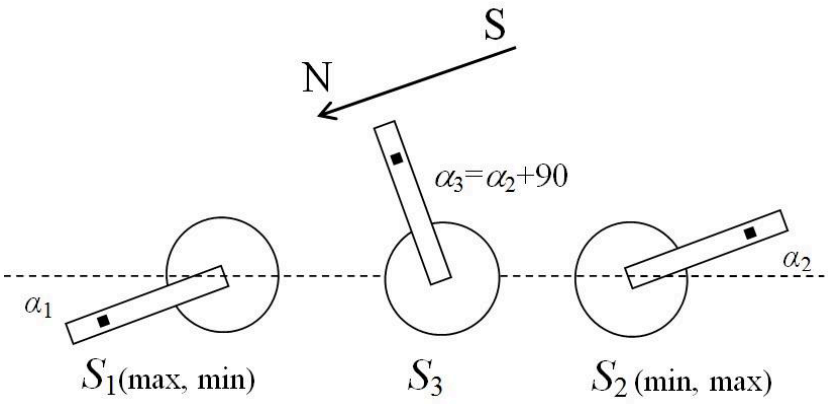
a. 지구 자기장 수평 성분의 크기

D.1	실험의 개략도와 B_h 를 계산하는 식. **1.** 수평면 안의 원판 위에 놓인 센서. 바이어싱을 한다. **2.** 방법 1  a. $\alpha = 0$ 으로 놓는다 – 센서를 남북 방향에 수직으로. b. 센서 홀더를 돌리며 $S = f(\alpha)$ 를 측정한다. c. 곡선 S 를 사인 함수 $S = a \sin \alpha$ 로 맞춘다. d. $B_\mathrm{h} = a/m$ 	0.5 pt

	3. 방법 2  a. 센서를 지구 자기장을 따라 향하게 한다. S 값이 최대(또는 최소)가 되는 방향을 찾는다. 그 값을 S_1 이라 적는다 b. 센서 홀더를 약 180° 돌린다. S 값이 최소(또는 최대)가 되는 방향을 찾는다. 그 값을 S_2 라 적는다 $B_{\mathrm{h}} = \dfrac{\lvert S_1 - S_2 \rvert}{2m}$	

D.2	$B_{\mathrm{h}} = 0.035\,\mathrm{mT}$.	0.25 pts

b. 지구 자기장의 크기와 자기 복각

D.3	실험의 개략도와 B_{Earth} 와 θ 를 계산하는 식. **1.** 남북 방향을 포함하는 연직면 안의 원판 위에 놓인 센서. 바이어싱을 한다. **2.** 방법 1  	0.75 pts

a. 센서를 지구 자기장을 따라 향하게 한다. S 값이 최대(또는 최소)가 되는 방향을 찾는다. 그 값 S_1 과, 센서 방향과 수평면 사이의 각 α_1 을 적는다.

b. 센서 홀더를 약 $180°$ 돌린다. S 값이 최소(또는 최대)가 되는 방향을 찾는다. 그 값 S_2 와, 센서 방향과 수평면 사이의 각 α_2 를 적는다.

c. α_1 과 α_2 의 중간 방향, 곧 각 $\alpha_3 = \alpha_2 + 90^{\circ}$ 로 센서를 향하게 한다. 그 값 S_3 을 적는다.

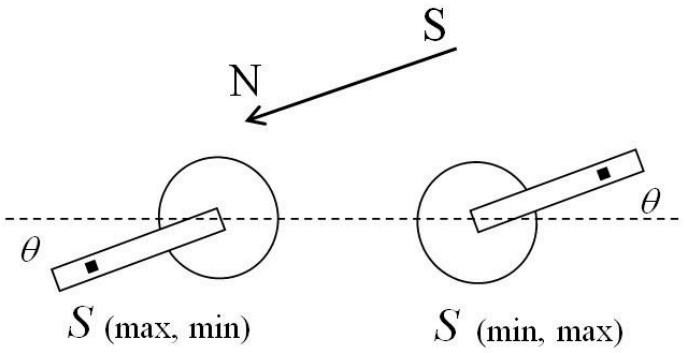
d. α_3 에서 시작하여 센서 홀더를 돌리며 α 값에 대응하는 S 값을 얻는다. $S = f(\alpha)$ 를 측정한다.

e. $S - S_3 = a \sin \alpha$. 맞춤에서 a 를 얻는다.

f. $B_{\text{Earth}} = a/m$

g. $\theta = \text{Arccos} \dfrac{B_{\text{h}}}{B_{\text{Earth}}}$

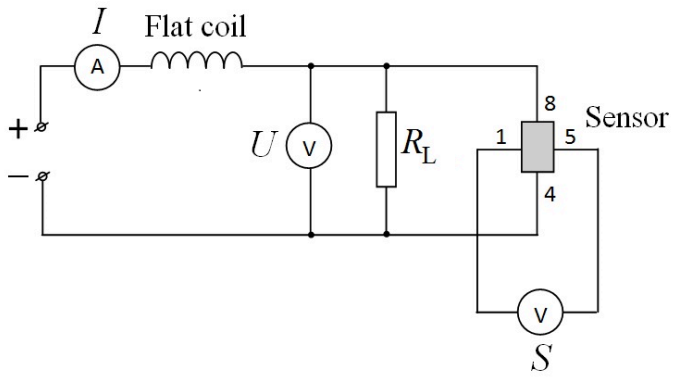
3. 방법 2
센서를 지구 자기장을 따라 향하게 한다. S 값이 최대(또는 최소)가 되는 방향을 찾는다. 센서 방향과 수평면 사이의 각 θ 가 자기 복각이다.



얻은 θ 로부터 $B_{\text{Earth}} = B_{\text{h}} / \cos \theta$ 이다.
이 방법은 센서와 센서 홀더의 상대적 어긋남 때문에 계통 오차가 생길 수 있다. 이 오차를 없애려면, 남북 방향을 따르는 수평축 둘레로 원판과 센서 홀더를 함께 $180°$ 돌려 측정을 되풀이한다. 자기 복각은 얻은 두 각의 평균값이다.

D4	$B_{\text{Earth}} = 0.041\,\text{mT}$ $\theta = 31^{\circ}$	0.5 pts

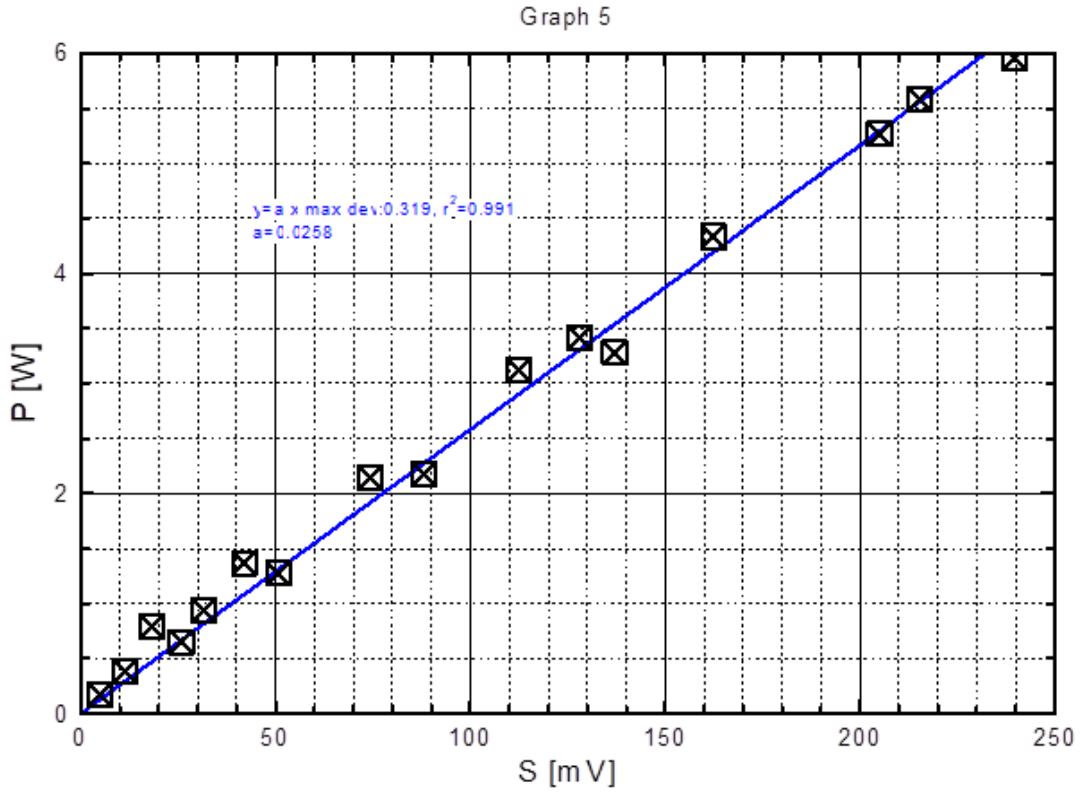
2. 직류 전력계

D.5	부하와 멀티미터를 함께 나타낸 전력계 회로도. 	0.5 pt

D.6	I 와 U, 그리고 $P = I \cdot U$ 의 값에 대응하는 센서 출력 신호 S 값의 표.	0.75

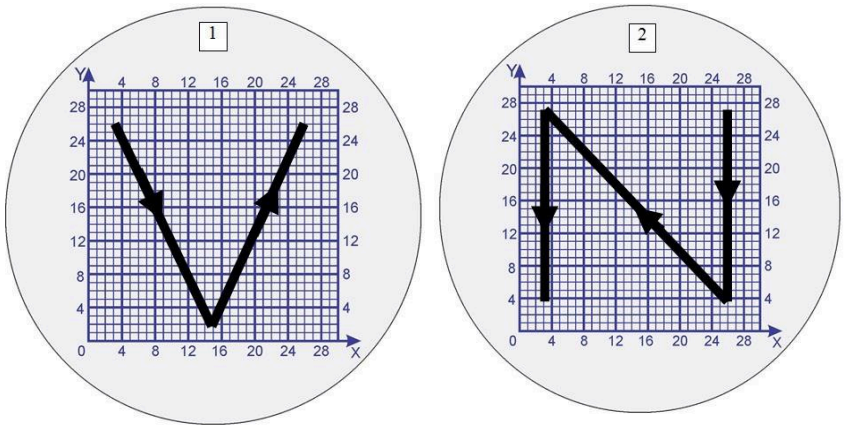
I (A)	U (V)	P (W)	S (mV)
0.30	2.64	0.792	18.3
0.35	3.9	1.365	42
0.40	5.37	2.15	74.3
0.45	6.94	3.12	112.4
0.50	8.67	4.34	162.4
0.543	10.29	5.59	215.4
0.20	0.89	0.178	4.9
0.25	1.53	0.382	11.5
0.50	1.3	0.65	25.8
0.60	2.13	1.28	50.7
0.70	3.1	2.17	88.1
0.80	4.1	3.28	137
0.97	6.11	5.92	253
0.30	3.13	0.939	31.4
0.442	7.74	3.42	128

D.7	**그래프 5** - 전력계의 눈금 곡선 $P = f(S)$.	0.5 pt



D.8	함수: $P = \kappa S$ 계수: $\kappa = 0.026\ \mathrm{W/mV}$	0.25 pt

b. 숨겨진 전기 회로의 탐지

D.9		2.0 pt