19th APhO
Asian Physics Olympiad
HANOI - VIET NAM 2018

Q1-1

Korean (Korea (Republic of))

거대 자기저항 (GMR)

I. 머리말

*자기저항*은 시료의 전기 저항이 외부 자기장의 세기에 의존하는 현상이다. 이는 다음 식으로 특징지어진다:

$$\delta(B) = \frac{R(B) - R(0)}{R(0)} \tag{1}$$

여기서 *R(B)* 는 자기장 *B* 안에서의 시료의 저항이고, *R(0)* 는 $B = 0$ 일 때에 해당한다. $\delta(B)$ 를 *저항의 상대 변화*라 한다.

저항의 상대 변화가 작은 몇 가지 "보통의" 자기저항 효과가 있는데, 비교적 약한 자기장에서 보통 몇 퍼센트 미만이다. 예를 들어 자기저항 효과 가운데 하나는 자기장이 전류에 직접 작용하는 데에서 생길 수 있다. 로런츠 힘 때문에 전하 운반자의 흐름이 휘어져 이동도가 실질적으로 줄어든다. 따라서 자기장이 커지면 전기 전도도가 줄고 시료의 저항은 커진다. 이는 자기장 세기 변화의 비교적 넓은 범위에서 일어난다.

*거대 자기저항*은 전도 전자의 스핀과 고체 안의 자기 모멘트의 상호작용에서 생긴다. 이 효과는 두께가 몇 나노미터인 강자성 층과 비강자성 층이 번갈아 쌓인 다층 구조에 외부 자기장을 걸었을 때 전기 저항이 줄어드는 것이다. 비교적 약한 자기장에서 전기 저항의 변화가 크므로 거대 자기저항(GMR) 효과라 한다. GMR의 실용적 중요성 때문에 발견자인 알베르 페르와 페터 그륀베르크는 2007년 노벨 물리학상을 받았다.

그런 다층 구조에서 이웃한 두 강자성 층은 외부 자기장이 없을 때 서로 반대 방향의 자발 자기화를 갖는다. 고체의 자기 모멘트에 의한 전도 전자의 산란이 자기화 방향과 나란한 스핀을 갖는 전자에 대해서는 약하고, 자기화 방향과 반평행한 스핀을 갖는 전자에 대해서는 강하다고 하자. 그러면 나란한 스핀 전자와 반평행 스핀 전자 모두 강자성 층 가운데 하나에서 강하게 산란된다. 따라서 이 경우 다층 구조의 전체 비저항은 높다(그림 1a 참조).

층 평면에 나란하게 충분히 강한 자기장을 걸면 모든 강자성 층이 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 그 결과 자기화 방향과 나란한 스핀을 갖는 전자는 자기 모멘트에 거의 산란되지 않고 구조를 통과한다. 반대로 자기화와 반평행한 스핀을 갖는 전자는 강자성 층 안에서 강하게 산란된다. 전도가 두 스핀 통로에 대해 병렬로 일어나므로 다층 구조의 전체 저항은 주로 전도도가 높은 나란한 스핀 전자로 정해지며 낮게 나타난다(그림 1b 참조). 그림 1에서 *R* 은 산란이 강한 층의 높은 저항, *r* 은 산란이 약한 층의 낮은 저항을 나타낸다. R_0 은 자기장이 0인 구조의 저항이고, R_B 는 이웃한 두 강자성 층이 같은 방향으로 자기화되도록 충분히 강한 자기장에서의 저항이다. GMR 효과의 등가 전기 모형(이른바 "두 저항" 모형)을 그림 1의 아래쪽에 나타냈다. 이 모형의 회로는 GMR 요소 하나를 나타낸다.

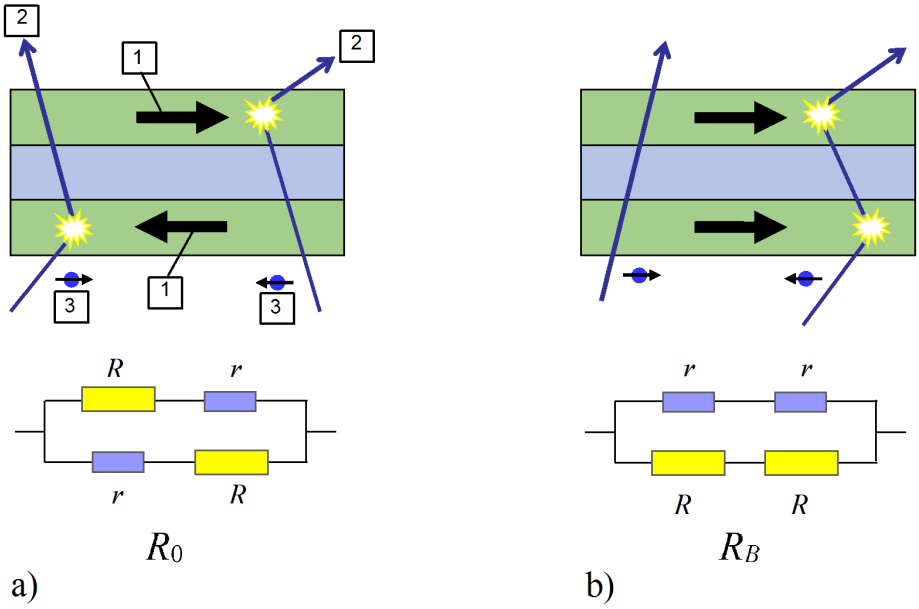


그림 1: GMR 효과 모형. (1) 자기화; (2) 전자 경로; (3) 전자 스핀

GMR의 응용 가운데 하나는 *자기 센서*(자력계라고도 한다)로, 걸어 준 자기장의 세기를 재는 데 쓸 수 있다. 널리 쓰이는 GMR 자기 센서는 그림 2b처럼 휘트스톤 브리지로 연결된 GMR 요소 네 개로 이루어진다. 각 GMR 요소는 위 모형에서 설명한 다층 구조로 되어 있다. 이 요소 가운데 둘은 걸어 준 자기장이 닿지 않도록 가려져 있어 외부 자기장에 민감하지 않다. 자기 센서는 그림 2a처럼 8핀 소자로 포장되어 있다. 공급 전압은 핀 4와 8에 연결한다. 신호 출력은 핀 1과 5에서 얻는다. 이것이 보통의 작동 방식이다. 그러나 문제를 푸는 동안에는 센서를 망가뜨리지 않고 다른 어떤 핀 쌍에도 전원을 연결할 수 있다. 센서의 감도 축은 그림 2a의 화살표로 표시되어 있다. 자기 센서는 이 축에 수직으로 걸린 자기장에는 민감하지 않다.

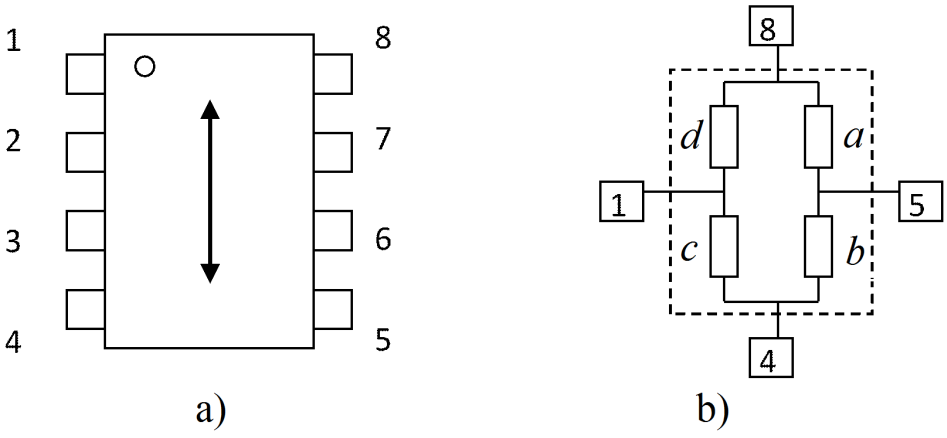


그림 2

그림 2b에 나타낸 대로 요소들의 저항을 a, b, c, d 라 부른다.

요소들의 저항은 전류에 의존하지 않는다고 볼 수 있음에 유의하라.

감도가 서로 다른 센서를 만들기 위해 집적된 *자속 집중기*를 쓴다. 그 덕분에 센서 안의 요소에 작용하는 자기장은 걸어 준 자기장보다 강하다.

자속 집중기와 다층 구조의 자성 층에 강자성 물질이 있기 때문에 센서의 전기적 특성에는 이력 현상이 나타난다.

이 실험의 목적은 다음과 같다:

1. GMR 효과의 탐구.
2. GMR 자기 센서의 탐구.
3. GMR 자기 센서의 몇 가지 응용에 대한 연구.

II. 장치

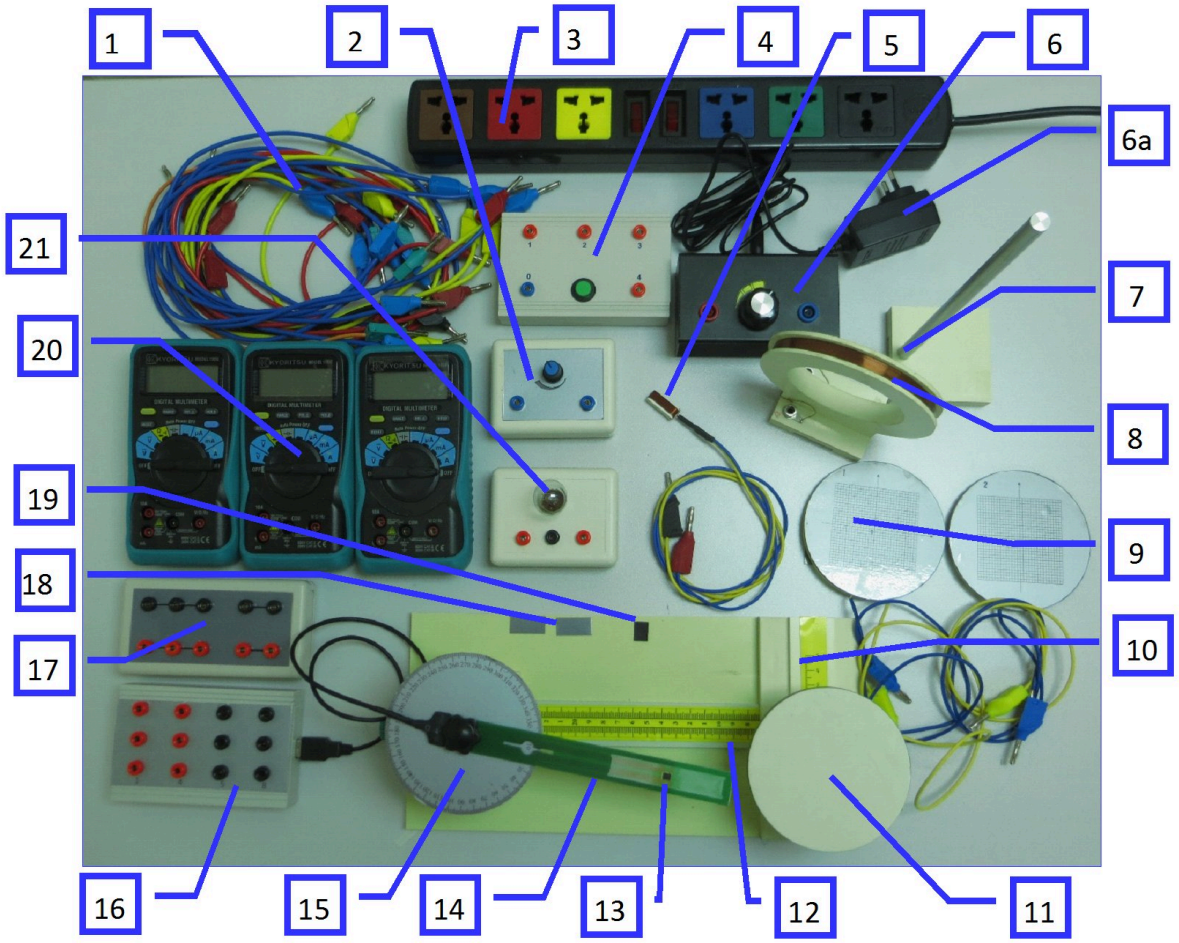


그림 3

1	도선	12	세로 레일이 있는 받침대
2	가변저항기	13	자기 센서
3	220 V 교류 전원 코드	14	센서 홀더
4	전지 *)	15	짧은 기둥이 달린 지지대에 고정된, 도(°) 눈금이 새겨진 원판(사진에는 보이지 않음)
5	평면 코일	16	센서 연결 상자 *)
6	조정 가능한 직류 전원(어댑터 [6a] 포함)	17	연결 상자
7	긴 기둥이 달린 지지대	18	강자성 판
8	원형 코일	19	영구자석 판
9	전기 회로가 숨겨진 인쇄 회로 기판	20	멀티미터 *) (3개)
10	가로 레일	21	이중 필라멘트 전구
11	회전판		

*) 자세한 내용은 부록을 보라

경고: *220 V 교류 전압은 탁상 램프(그림 3에는 없다)와 조정 가능한 직류 전원의 어댑터(6a)에만 쓴다. 다른 어떤 장치도 이 전압에 연결하는 것은 엄격히 금지한다.*

III. 실험

A. 자기장의 이해 (1.0점)

이 실험 문제에서 자기장은 다음과 같은 것일 수 있다

- 다음에 의해 만들어지는 자기장
  - 전류가 흐르는 원형 코일;
  - 전류가 흐르는 평면 코일;
  - 영구자석 판.
- 지구 자기장.

1. 원형 코일이 만드는 자기장의 이해

원형 코일 [8]은 평균 지름 d = 10.0 cm, 감은 수 $N = 500$ 이다. 이 코일에 전류 I 가 흐를 때 코일 중심에 만들어지는 자기장은, 반지름이 원형 코일의 평균 반지름과 같고 전류가 $500I$ 인 원형 전류 고리가 만드는 자기장으로 근사할 수 있다.

A.1	원형 코일 중심에서 자기장의 크기는 $B = kI$ 의 꼴로 쓸 수 있다. B 를 mT, I 를 mA 단위로 잴 때 k 의 수치 값을 계산하라.	0.5pt

2. 지구 자기장의 이해

지구 자기장은 어디에나 있다. 주어진 각 점 둘레의 넓은 공간 영역에서 균일한 자기장으로 볼 수 있다. 지구 자기장의 수평 성분의 크기를 B_h 로 나타낸다.

A.2	수평면 안에서, 지구 자기장의 수평 성분과 각 β 를 이루는 방향으로 잰 지구 자기장의 크기 B_β 를 β 와 B_h 로 나타내는 식을 써라.	0.5pt

참고: *자기 측정에서는 언제나 지구 자기장의 효과를 고려하라.*

B. GMR 자기 센서를 이용한 GMR 효과의 탐구 (7점)

참고: *이 파트는 나머지 파트와 비교적 독립적이다. 파트 B를 풀지 않고도 파트 C와 D를 풀 수 있다.*

이 파트에서는 자기 센서 안 각 요소의 저항이 외부 자기장에 어떻게 의존하는지 조사한다. 원형 코일 [8]은 세로 레일 위에 세운다. 센서 홀더 [14]는 원판 [15]에 수평으로 나사로 고정하며, 자기 센서 [13]가 원형 코일의 중심에 오고 센서 축이 코일 평면에 수직이 되도록 한다. 코일의 전류를 바꾸어 센서에 작용하는 자기장을 바꾼다. 지구 자기장이 측정에 영향을 주지 않도록 자기 센서의 감도 축이 동–서 방향(실험 탁자에 표시되어 있다)을 향하도록 하라. 동서 방향은 자기 나침반으로 그 자리에서 확인했음에 유의하라.

자기 센서에는 전지 [4]로 전원을 공급한다. 원형 코일에는 조정 가능한 직류 전원 [6]으로 전류를 흘린다.

1. GMR 요소의 저항 측정

a. $B = 0$ ***에서 요소들의 저항.***

원형 코일의 전류를 $I = 0$ 으로 맞춘다.

B.1	실험의 개략도를 그리고, 측정 자료로부터 각 요소의 저항을 계산하는 식을 구하라.	1.25pt

B.2	$B = 0$ 에서 요소 *a, b, c, d* 의 저항을 정하기 위한 측정과 계산을 하라.	1.25pt

b. 최대 외부 자기장에서 요소들의 저항.

코일의 전류 I 를 가능한 가장 큰 값으로 맞춘다.

B.3	최대 외부 자기장에서 요소 *a, b, c, d* 의 저항을 정하기 위한 측정과 계산을 하라.	0.5pt

c. 요소들의 성질.

B.4	어느 요소들이 자기장에 민감한지 밝혀라.	0.25pt

2. GMR 요소의 특성

이 절에서는 가려져 있지 않은 두 GMR 요소 가운데 하나의 성질을 연구한다. 그런 GMR 요소 하나를 골라 저항의 상대 변화가 외부 자기장에 의존하는 관계 $\delta(B)$ 를 정하라.

B.5	고른 GMR 요소의 이름을 밝혀라. 실험의 개략도를 그리고 측정 자료로부터 $\delta(B)$ 를 계산하는 식을 구하라.	0.75pt
B.6	외부 자기장 B 를 0에서 가능한 최댓값까지 바꾸면서 $\delta(B)$ 를 정하기 위한 측정과 계산을 하라. 측정한 양의 값으로 표를 채우고, 전류 I 와 외부 자기장 B 의 값에 대응하는 $\delta(B)$ 를 구하라.	1.25pt
B.7	외부 자기장 B 의 함수로 $\delta(B)$ 를 그래프로 그려라 (**그래프 1**)	0.5pt
B.8	$\delta(B)$ 가 B 에 강하게 의존하는 영역에서 곡선 $\delta(B)$ 의 평균 기울기 $\alpha = \frac{\triangle\delta(B)}{\triangle B}$ 를 구하라.	0.25pt
B.9	요소의 GMR 계수 $\delta = \frac{\triangle R_{max}}{R(0)}$ 를 구하라. 여기서 $\triangle R_{max}$ 는 자기장 안에서 저항의 최대 변화이다.	0.25pt
B.10	그림 1에 주어진 모형에 따라 GMR 요소의 저항 R 과 r 의 값과 비 $\gamma = \frac{r}{R}$ 를 구하라.	0.75pt

C. GMR 자기 센서에 대한 연구 (6점)

이 파트에서는 자기 센서 [13]의 가장 중요한 특성을 조사한다. 원형 코일 [8]은 세로 레일 [12] 위에 세운다. 센서 홀더 [14]는 원판 [15]에 수평으로 나사로 고정하여, 센서가 원형 코일의 중심에 오고 센서 축이 코일 평면에 수직이 되도록 한다. 코일의 전류를 바꾸어 센서에 작용하는 자기장을 바꾼다. 지구 자기장이 측정에 영향을 주지 않도록 자기 센서의 감도 축이 동–서 방향을 향하도록 하라.

1. 센서 출력 신호의 특성

자기 센서에는 전지 [4]로 최대 전압을 공급한다. 공급 전압은 핀 4와 8에 연결한다. 원형 코일에는 조정 가능한 직류 전원 [6]으로 전류를 흘린다.

a. 먼저 코일의 전류 I 를 가능한 가장 큰 값으로 맞춘다. 핀 1과 5 사이의 전압이 센서의 출력 신호 S 이다.

b. 코일의 전류를 $I = 0$ 까지 서서히 줄이면서 각 I 값에 대응하는 S 값을 읽는다.

c. 코일의 전류 방향을 바꾼다. 전류를 최댓값까지 서서히 키우면서 각 I 값에 대응하는 S 값을 읽는다.

d. 전류를 $I = 0$ 까지 서서히 줄이면서 각 I 값에 대응하는 S 값을 읽는다.

e. 코일의 전류 방향을 바꾼다. 전류를 최댓값까지 서서히 키우면서 각 I 값에 대응하는 S 값을 읽는다.

C.1	위의 측정 과정에서 코일의 전류 I 와 외부 자기장 *B* 의 값에 대응하는 *S* 의 값으로 표를 채워라.	1.0pt

C.2	외부 자기장 *B* 의 함수로 출력 신호 *S* 의 그래프 $S(B)$ 를 그려라 (**그래프 2**).	1.0pt

C.3	1. 곡선 $S(B)$ 에서 포화 영역을 표시하고 "S"라고 이름 붙여라. 2. 곡선 $S(B)$ 에서 선형 영역을 표시하고 "L"이라고 이름 붙여라. 이 영역에서 기울기 $m = \frac{\triangle S}{\triangle B}$ 의 평균값을 구하라.	0.5pt

C.4	그래프 $S(B)$ 로부터 항자기장 B_C 를 구하라. 이는 포화 자기장으로 반대 방향으로 자기화된 뒤 *S* 를 최소로 만드는 데 필요한 외부 자기장이다.	0.5pt

참고: *곡선 $S(B)$ 의 선형 영역을 쓰고 싶은 경우를 위해 작은 영구자석 판 [19]이 주어진다. 영구자석을 센서 [13] 가까이 센서 홀더 [14]에 놓고, 자석과 센서의 상대 위치를 바꾸어 곡선 위의 작동점을 고른다. 알맞은 작동점을 찾으면 접착 테이프로 자석을 홀더에 고정할 수 있다. 이 과정을* 바이어싱*이라 한다.*

2. 출력 신호의 공급 전압 의존성

자기 센서에는 전지 [4]로 전원을 공급한다. 전지 상자의 서로 다른 소켓에 센서를 연결하여 공급 전압 *E* 를 바꿀 수 있다. 원형 코일의 전류 I 는 곡선 *S(B)* 의 선형 영역에 해당하는 값으로 맞춘다.

C.5	E 의 값에 대응하는 S 의 값으로 표를 채워라.	0.25pt

C.6	E 의 함수로 S 의 그래프를 그려라.	0.25pt

C.7	센서의 출력 신호 *S* 를 B.8에서 구한 GMR 요소의 기울기 α, 공급 전압 E, 걸어 준 자기장 *B* 와 관계짓는 해석적 식을 이끌어 내라. 여기서 두 요소에 대해 α 가 같고 요소들의 특성에 이력 현상이 없다고 가정한다. 또 자기장이 없을 때 네 요소의 저항값이 모두 같다고 가정한다.	0.5pt

3. 자속 집중기 효과에 대한 연구

자기 센서 안에 집적된 자속 집중기는 두께가 마이크로미터 정도이고 길이가 수백 마이크로미터 정도인 박막 강자성 구조 두 개로 이루어져 있다. 자속 집중기의 목적은 두 구조 사이의 틈에서 자기장을 크게 하는 것이다.

자기 센서에 대한 자속 집중기의 효과를 연구하기 위해, 길이가 L_2 이고 서로의 거리가 L_1 인 강자성 판 두 개(그림 4 참조)를 센서의 양 끝 가까이에 놓아 만든 외부 자속 집중기를 쓴다.

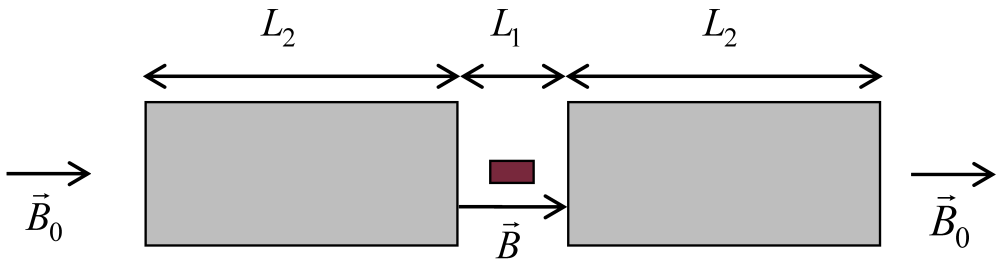


그림 4. 자속 집중기의 도해

자속 집중기가 달린 센서를 크기 B_0 인 균일한 자기장 안에 놓으면 센서에 작용하는 유효 자기장은 B 가 된다. L_1 의 변화 범위가 그리 크지 않을 때 B 는 다음 실험식으로 근사적으로 구할 수 있다:

$$\frac{B}{B_0} = n\frac{L_2}{L_1} + 1 \tag{2}$$

자기 센서와 강자성 판 두 개 [18]로 실험을 하여 식 (2)의 *n* 값을 정하라.

C.8 1.0pt

이 실험에서는 다음 가운데 어떤 자기장을 쓰겠는가? a. 전류가 흐르는 원형 코일의 자기장 b. 전류가 흐르는 평면 코일의 자기장 c. 영구자석 판의 자기장 d. 지구 자기장	0.25pt
실험의 개략도를 그리고 측정 자료로부터 *n* 값을 정하는 식을 구하라.	0.75pt

C.9 서로 다른 L_1 값에 대해 B/B_0 를 구하는 실험을 하고 측정 자료로 표를 채워라. 0.5pt

C.10 n 값을 정하기 위해 알맞은 변수의 함수로 B/B_0 의 그래프를 그려라 (**그래프 4**). n 의 값을 제시하라. 0.5pt

D. GMR 자기 센서의 응용 (6점)

이 파트에서는 자기 센서의 몇 가지 응용을 살펴본다.

1. 지구 자기장의 측정

자기 센서를 써서 지구 자기장의 몇 가지 변수를 정하라. 이 문항을 푸는 데 필요할 경우를 대비해 여분의 그래프 용지가 주어진다.

a. 지구 자기장 수평 성분의 크기

원판 [15]를 수평면에 고정한다. 센서 홀더 [14]는 원판에 나사로 고정한다. 센서 홀더를 원판 위에서 돌리면 센서 축의 여러 방향에 대해 지구 자기장의 수평면 성분을 정할 수 있다.

D.1	실험의 개략도를 그리고, 측정 자료로부터 지구 자기장 수평 성분의 크기 B_h 를 계산하는 식을 구하라.	0.5pt

D.2	B_h 를 구하기 위한 측정과 계산을 하라.	0.25pt

b. 지구 자기장의 크기와 자기 복각

자기 복각은 지구 자기장 벡터 $\vec{B}_{Earth}$ 와 수평면 사이의 각 θ 로 정의한다.

원판 [15]를 긴 기둥 [7]에 고정하되, 원판이 남북 방향을 포함하는 연직면 안에 오도록 한다. 센서 홀더 [14]는 원판에 나사로 고정한다. 센서 홀더를 원판 위에서 돌리면 센서 축의 여러 방향에 대해 지구 자기장의 성분을 정할 수 있다.

D.3	실험의 개략도를 그리고, 측정 자료로부터 지구 자기장 B_{Earth} 와 자기 복각 θ 를 계산하는 식을 구하라.	0.75pt

D.4	B_{Earth} 와 θ 를 구하기 위한 측정과 계산을 하라.	0.5pt

2. 직류 전력계

이 절에서는 자기 센서를 써서 전력계 회로를 구성한다. 평면 코일 [5]이 센서를 감싼다. 이 평면 코일은 부하와 직렬로 연결되므로 평면 코일의 전류 I 는 부하의 전류와 같다. 평면 코일의 전류 I 는 센서에 작용하는 자기장을 만들고, 부하 양단의 전압 U 는 센서에 전원을 공급하는 데 쓴다.

센서의 출력 신호 S 를 써서 부하에서 소비되는 일률 P를 정한다.

이중 필라멘트 전구 [21]를 부하로 쓴다. 전구의 세 단자를 서로 다르게 쓰면 부하 저항 R_L 의 여러 값을 얻을 수 있다.

많은 경우, 자기 센서의 휘트스톤 브리지는 외부 자기장이 작용하지 않아도 평형이 맞지 않는다. 이는 요소들의 저항이 조금 다르고 강자성 층에 잔류 자기가 있기 때문이다. 그러므로 전력계 회로에 쓰기 전에 브리지의 평형을 맞추어야 한다. 센서 홀더 [14]를 원판 [15]에 수평으로 나사로 고정한다. 센서에는 전지 [4]로 최대 전압을 공급한다. 센서 축을 지구 자기장에 수직으로 향하게 한다. 멀티미터로 출력 신호 S 를 관찰한다. $S = 0$ 이면 브리지의 평형이 맞은 것이므로 아무것도 할 필요가 없다. $S \neq 0$ 이면 브리지의 평형이 맞지 않은 것이므로 평형을 맞추어야 한다. 가변저항기 [2]를 요소 *a, b, c, d* 가운데 하나에 병렬로 연결하되, 가변저항기를 연결했을 때 S 의 크기가 줄어드는 요소를 고른다. 가변저항기를 조절하여 S 를 0으로 줄인다. 이제 브리지의 평형이 맞았다. 이 과정을 *평형 맞추기*라 한다.

어떤 경우에는 가변저항기를 써도 브리지의 평형을 맞출 수 없다. 그런 경우에는 출력 신호 S 가 $S = 0$ 이 되도록 센서 홀더를 작은 각도만큼 돌리면 된다.

D.5	부하와 측정에 쓴 멀티미터를 함께 나타낸 전력계 회로의 개략도를 그려라.	0.5pt

연결 상자 [17]을 써서 여러분의 회로도에 따라 전력계 회로를 구성하라. 부하의 저항 R_L 을 바꾸고 직류 전원 [6]의 출력을 조절하여 부하 양단의 전압 U 를 바꾸어라.

D.6	I 와 U 의 값, 그리고 $P = U.I$ 의 값에 대응하는 센서 출력 신호 S 의 값으로 표를 채워라.	0.75pt

D.7	S 의 함수로 P 의 그래프를 그려라 (**그래프 5**)	0.5pt

곡선 $P = f(S)$ 를 전력계의 눈금 곡선이라 한다.

D.8	눈금 곡선의 함수 $P = f(S)$ 의 꼴을 구하고 그 계수의 값을 정하라.	0.25pt

3. 숨겨진 전기 회로의 탐지

이 절에서는 자기 센서를 써서, 숨겨진 전기 회로 두 개의 모양을 찾아내는 장치를 구성한다. 전기 회로는 인쇄 회로 기판의 가려진 면에 만들어져 있다. 인쇄 회로 기판의 뒷면에 붙은 모눈종이가 좌표계 역할을 한다.

이 실험은 다음과 같이 수행할 수 있다. 원판 [15]를 수평 위치에 놓고 짧은 기둥에 고정한다. 센서 홀더 [14]는 원판에 나사로 고정한다. 숨겨진 전기 회로가 있는 인쇄 회로 기판 [9]를 회전판 [11] 위에 평평하게 놓는다. 회전판은 수평면 안에서 자유롭게 돌 수 있고, 레일 [10]과 [12]를 따라 서로 수직인 두 방향으로 움직일 수도 있다. 인쇄 회로 기판의 도선을 조정 가능한 직류 전원 [6]에 연결하되 빨간 도선을 양극 단자에 연결한다. 직류 전원을 조절하여 회로의 전류 값을 고른다. 인쇄 회로 기판을 자기 센서 [13]에 대해 움직이며 센서의 출력 신호 S 의 변화를 살펴보면, 숨겨진 회로의 위치와 모양, 그리고 회로에 흐르는 전류의 방향까지 알아낼 수 있다. 이 문항을 푸는 데 필요할 경우를 대비해 더 큰 모눈종이가 주어진다.

D.9	답안지의 모눈종이 위에 숨겨진 전기 회로와 그 안의 전류 방향을 함께 그려라.	2.0pt

부록

1. 멀티미터 사용법

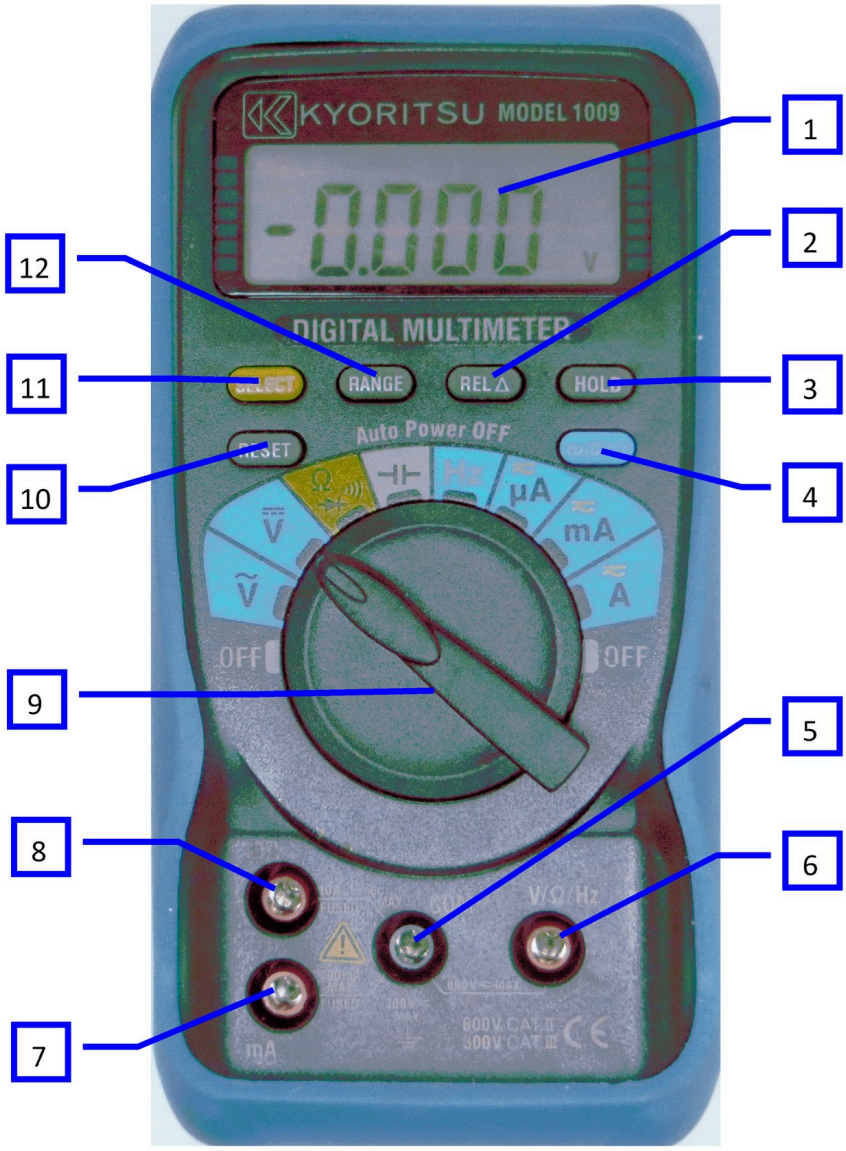


그림 A1

1	표시창	7	측정 단자 (mA)
2	REL 키	8	측정 단자 (A)
3	HOLD 키	9	기능 선택 스위치
4	Hz/DUTY 키	10	RESET 키
5	측정 단자 (COM)	11	SELECT 키
6	측정 단자 (V/Ω/Hz)	12	RANGE 키

- 복잡해지지 않도록 다음 키는 쓰지 마라: REL 키 [2], HOLD 키 [3], Hz, DUTY 키 [4], RESET 키 [10].
- 멀티미터의 전원을 켜고 측정을 시작하려면 기능 선택 스위치 [9]를 원하는 기능으로 돌려라.
- 전압과 저항을 잴 때는 측정 단자 (V/Ω/Hz) [6]과 측정 단자 (COM) [5]를 써라.
- 전류를 잴 때는 측정 단자 (A) [8]과 측정 단자 (COM) [5], 그리고 기능 A를 써라.
- 멀티미터는 전원을 켠 뒤 약 30분이 지나면 자동으로 꺼진다. 기능 선택 스위치를 OFF로 돌린 다음 다시 해당 기능으로 돌려 측정을 계속하라.

자동으로 꺼지는 것을 막으려면 기능 선택 스위치를 원하는 기능으로 돌리면서 SELECT 키를 눌러라.

2. 전지

전지의 회로를 그림 A2에 나타냈다.

단추를 누르면 전지가 켜지고, 단추를 놓으면 꺼진다.

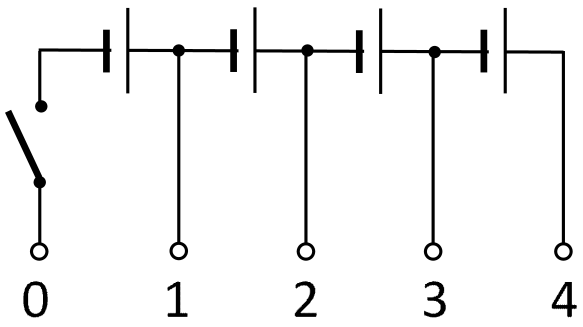


그림 A2

3. 센서 연결 상자

센서를 쓰기 전에 센서의 케이블을 센서 연결 상자에 꽂아야 한다. 센서를 이 상자에 연결하면 상자에 표시된 번호가 그림 2의 핀 번호에 대응한다.