실험 경연 – 문제 1

홀 효과와 자기 저항 효과

장치와 재료

1. 디지털 멀티미터 세 개.
2. 핀 네 개 MNPQ(M은 검은 선, N은 노란 선, P는 빨간 선, Q는 초록 선)가 달려 인쇄 회로 기판에 고정된 홀 센서, M, N으로 이어지는 도선 한 쌍, P, Q로 이어지는 도선 한 쌍.

3. 반지름 r = 14 mm, 두께 t = 4 mm인 원판 모양의 영구 자석. 자화는 원판 면에 수직이다. 자석 표면에서의 자기장 값 B_0(테슬라 단위)는 자석 표면에 적혀 있다.

실험하는 동안 자석을 쓰지 않을 때는 홀 센서에서 멀리 떼어 두시오.

4. 강자성 물질로 만든 토로이드 모양의 심에 N번 감긴 코일. 심의 평균 지름은 ρ = 25 mm이다. 토로이드에는 너비 d = 3 mm인 틈이 있다.

5. 서로 독립인 1.5 V 건전지 두 개가 든 상자. 10 kΩ 가변 저항과 직렬로 연결된 건전지(건전지 1)는 홀 센서에 전류를 공급하는 데 쓴다. 다른 건전지(건전지 2)는 측정하는 동안에만 코일에 전류를 공급하는 데 쓴다.

6. 가운데에 작은 구멍이 있는 각도기.
7. 작은 바늘이 고정된 플렉시글라스 조각.
8. 홀 센서가 달린 인쇄 회로 기판의 받침.
9. 센서를 바늘에 고정하는 작은 플라스틱 조각.
10. 저항을 무시할 수 있는 도선.
11. 그래프 용지.

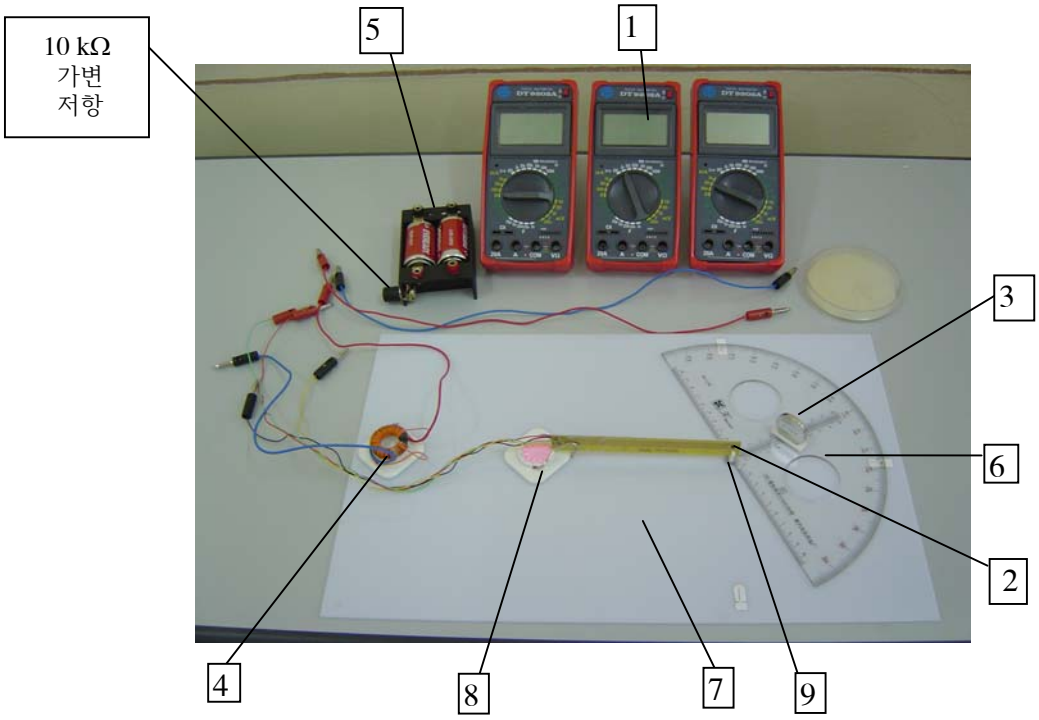


그림 1

실험

I. 들어가며

1. 자기 저항 효과와 홀 효과

길이 a, 너비 b, 두께 c인 직육면체 모양의 도체 시료를 생각하자(그림 2 참고). 전류 I는 a 방향으로 흐른다. 시료를 자기장 B 속에 놓으면 자기장이 시료의 저항 R에 영향을 준다. 이 효과를 자기 저항 효과(MRE)라 한다. 시료의 저항 R의 증가를 △R, 자기장이 없을 때의 저항 값을 R_0이라 하면, MRE의 크기는 비 $\triangle R/R_0$으로 정의된다.

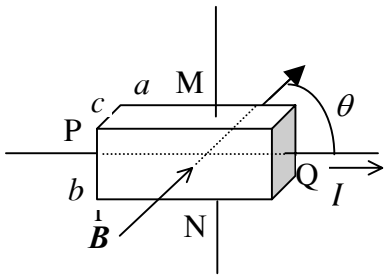


그림 2

가해 준 자기장이 균일하고 자기 유도 벡터 B가 그림 2처럼 시료의 윗면에 평행하다고 하자. 전하 운반자가 전자라면 로런츠 힘이 전자를 위로 휘게 하므로 시료의 윗면이 음전하로 대전된다. 이 효과를 홀 효과라 한다. (윗면의) 전극 M과 (아랫면의) 전극 N 사이에 나타나는 전압을 홀 전압이라 한다. 이 전압은 전압계로 잴 수 있다.

전극 M과 N 사이에서 잰 전위차는 다음과 같다.

$$U_{\mathrm{MN}} = U_{\mathrm{H}} + V_{\mathrm{MN}} \qquad (1)$$

여기서 U_H는 홀 전압이고, V_{MN}은 원하지 않는 효과(전극 M과 N이 정확히 마주 보지 않는 것 등) 때문에 자기장이 없을 때도 생기는 전위차이다.

보통 홀 전압 U_H는 IB sin θ에 비례하고, MRE의 크기는 $B^2 \sin^2\theta$에 비례한다. 여기서 θ는 벡터 B와 전류 방향 사이의 각이다. 그러나 시료의 모양이 불규칙하면 U_H와 △R/R이 B sin θ에 의존하는 방식이 더 복잡할 수 있다.

홀 효과는 자기장을 재는 장치를 만드는 데 쓰인다. 이 장치를 홀 센서라 한다. 홀 센서에서 U_H는 다음과 같이 주어진다.

$$U_{\mathrm{H}} = \alpha . I . B . \sin\theta \qquad (2)$$

여기서 α는 정의상 홀 센서의 감도이다.

II. 측정 시료

이 실험의 측정 시료는 시판 홀 센서이다. 이것은 플라스틱으로 덮인 작고 얇은 반도체 판에 저항성 전극 4개가 달려 있고, 전극은 핀 M, N, P, Q로 이어진다(그림 3 참고). 이 실험에서는 이것으로 MRE와 홀 효과를 모두 조사한다.



그림 3

센서를 자기장 속에 두고 저항계로 핀 M과 N 사이의 저항을 재면 MRE의 크기를 알아낼 수 있다. P에서 Q로 전류(I ~ 1 mA)를 흘리고 밀리볼트계로 M과 N 사이의 전압을 재면 홀 효과를 조사할 수 있다.

III. 실험

1. 홀 센서의 감도 α 정하기

센서에 흐르는 전류를 I ~ 1 mA로 맞추시오. 센서와 자석 표면 중심 사이의 거리를 y = 2 cm로 유지하시오. 홀 전압이 최대가 되도록 자석의 방향을 맞추시오. I의 값 몇 가지에 대해 홀 전압을 재고 홀 센서의 감도 α를 정하시오.

반지름 r, 두께 t인 원판 모양의 자석에서, 원판 표면 중심으로부터 축 위로 거리 y (y ≫ t)인 점의 자기장은 다음 식으로 주어진다.

$$B(y)=\frac{1}{2}B_0\left[\frac{y+t}{\sqrt{(y+t)^2+r^2}}-\frac{y}{\sqrt{y^2+r^2}}\right] \qquad (1)$$

여기서 B_0은 자석 표면에서의 자기 유도이다. B_0의 값은 자석 표면에 적혀 있다. [2.0점]

2. 벡터 B와 전류 방향 사이의 각 θ에 대한 U_H의 의존성 조사

센서에 흐르는 전류를 I ~ 1 mA로 맞추시오. 센서와 자석 표면 중심 사이의 거리를 y = 2 cm로 유지하시오. 자석 면이 센서와 자석 중심을 잇는 선에 수직이 되도록 자석을 각도기 위에 놓으시오.

a. 실험 배치를 간단히 그리시오.
b. $-90^\circ \le \theta \le 90^\circ$ 범위에서 θ에 대한 U_H 값을 표로 만드시오.
c. 알맞게 그린 그래프로 U_H와 sin θ 사이의 비례 관계를 확인하시오. [2.5점]

3. 시료 면에 수직인 B에 대한 △R/R의 B 의존성 조사

MRE는 자기장이 충분히 셀 때만 뚜렷하다. 그러므로 될 수 있는 한 센 자기장을 쓰기를 권한다.
a. 실험 배치를 간단히 그리고 측정 원리를 설명하시오.

b. 측정하고 데이터를 표로 만드시오.
c. $\triangle R/R \sim B^k$라고 가정하고, 알맞게 그린 그래프로 k의 값을 정하시오. 얻은 k 값의 최대 편차를 어림하시오. [4.0점]

4. 토로이드 코일 심을 이루는 강자성 물질의 비투자율 μ 정하기

다음 안내를 차례로 따라, 잰 전류 세기 I에서 심 물질의 비투자율 μ를 정하시오.

- 홀 센서를 심의 틈에 넣으시오.
- 코일과 전류계를 건전지 2에 연결하시오. 이때 전류계의 COM과 20A 입력 단자만 쓰시오.
- 코일의 전류 I와 틈 속의 자기장 B를 재시오.
- μ의 값을 계산하시오.

다음 관계를 써도 된다:

$$\frac{B.(\rho-d)}{\mu}+B.d=4\pi.10^{-7}.N.I \qquad [1.5점]$$