

일반물리학실험 보고서

전류 저울

학과 : 전기컴퓨터공학부

학번 : 201924451

이름 : 김태훈

공동실험자 :

담당 교수 : 정광식

담당 조교 :

실험 날짜 : 2019.09.30(월)

제출 날짜 : 2019.10.14(월)

1. 실험 목적

전류가 흐르는 전선이 자기장 속에서 받는 힘을 측정하여 자기장을 계산하고, 전류와 자기력과의 관계를 이해한다.

2. 실험 원리

전류가 흐르는 도선이 자기장 속에 있으면 다음과 같은 자기력을 받는다.

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

여기서 I 는 전류의 크기(단위 A), L 은 도선의 길이(단위 m), B 는 자기장(단위 T, 또는 $N/(A \cdot m)$, Wb/m^2)

전류의 방향과 자기장 사이의 각을 Φ 라 하면 자기력의 크기는

$$|\vec{F}_B| = ILB \sin \Phi$$

가 된다. Φ 가 $90^\circ (= \frac{\pi}{2} rad)$ 인 경우에는

$$|\vec{F}_B| = ILB$$

이며, I, L 값이 주어진 상태에서 힘 \vec{F}_B 를 측정하면 자기장의 크기 B 는

$$B = \frac{|\vec{F}_B|}{IL} \text{ (단위 : } N/(A \cdot m) \text{)}$$

로 구할 수 있다.

전기력과 자기력이 수직일 때 도선이 힘을 받는 이유는 전류에 의해서 자기장이 생기기 때문이다.

직선 도선일 때(전류가 직선으로 흐를 때) 직선 도선을 중심으로 원형 자기장이 생기는데, 이때 자기장의 세기는 전류의 세기를 I , 직선 도선으로부터의 수직 거리를 r 이라 할 때 다음과 같다.

$$B = k \frac{I}{r} \text{ (단위 : } T, k = \frac{\epsilon_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} T \cdot m/A \text{)}$$

또, 전류가 나오는 방향이면 자기장의 방향은 시계 반대 방향, 전류가 들어가는 방향이면 자기장의 방향은 시계 방향이다.

따라서, 균일한 자기장(자석 등)에 수직으로 직선 도선이 있고, 전류가 흐른다면, 한쪽은 자기력선의 방향이 일치해 자기력이 증가하고, 한쪽은 자기력선의 방향이 서로 반대여서 자기력이 약해진다.

따라서 $\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$ 와 같은 식이 성립하는 것이다.

3. 실험 기구 및 재료

전류저울 장치, 전류 고리 세트, 전자저울(0.01g), 직류 전원 공급기(3A)

4. 실험 방법

④ 직류 전원 장치의 (+), (-) 출력 단자에 아무것도 연결시키지 말고 전원을 켜다.

⑥ 전압 조정 손잡이를 돌려 3V에 맞추고 전류 조정 손잡이를 시계 반대 방향으로 끝까지 돌린다.

㉔회로에 연결하고 정전류 상태 표시등이 켜진 것을 확인한 후 전류 조정 손잡이를 돌려 전류를 제어한다.

*자석 장치 주위에 자기장에 의해 손상될 수 있는 기기의 접근을 피한다.

㉕저울의 전원을 켜다.

㉖자석 장치를 저울 위에 올리고 전류 고리를 내려서 고리면이 자기장의 방향과 나란하도록(고리의 아랫변을 이루는 도선이 자기장과 수직하도록) 자석 장치의 위치를 조정한다.

㉗직류 전원 장치에서 전선을 잠시 분리하여 완벽히 0A로 만들고 저울의 ‘용기’ 버튼을 눌러 저울 눈금이 0이 되게 한다.

㉘전류를 1A씩 최대 3A까지 올리면서 저울을 읽고 힘을 계산하여 기록한다.

㉙전류가 1A, 2A, 3A일 때 도선의 길이와 힘의 그래프, 전류와 힘의 그래프를 그리고 자기장을 구한다.

5. 측정값

*책에는 ‘실험 결과’에 적혀있지만, 측정값에 적습니다.(그래프와 자기장값은 실험 결과에 기술함)

L=1cm			L=2cm			L=3cm			L=4cm		
전류(A)	질량(g)	힘(mN)	전류(A)	질량(g)	힘(mN)	전류(A)	질량(g)	힘(mN)	전류(A)	질량(g)	힘(mN)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.095	0.931	1	0.18	1.764	1	0.270	2.646	1	0.355	3.479
2	0.19	1.862	2	0.365	3.577	2	0.545	5.341	2	0.725	7.105
3	0.285	2.793	3	0.550	5.39	3	0.825	8.085	3	1.100	10.78

<표1 : 측정값>

6. 실험 결과

(1)전류와 힘

L=1cm : $y=0.931x$			L=2cm, $y = 1.7983x - 0.0147$			L=3cm, $y = 2.695x - 0.0245$			L=4cm, $y = 3.5966x - 0.0539$		
전류(A)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	전류(A)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	전류(A)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	전류(A)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$
0	0		0	0		0	0		0	0	
1	0.931	0.931	1	1.764	1.764	1	2.646	2.646	1	3.479	3.479
2	1.862	0.931	2	3.577	1.7885	2	5.341	2.6705	2	7.105	3.5525
3	2.793	0.931	3	5.39	$1.7966\over 667$	3	8.085	2.695	3	10.78	$3.5933\over 333$

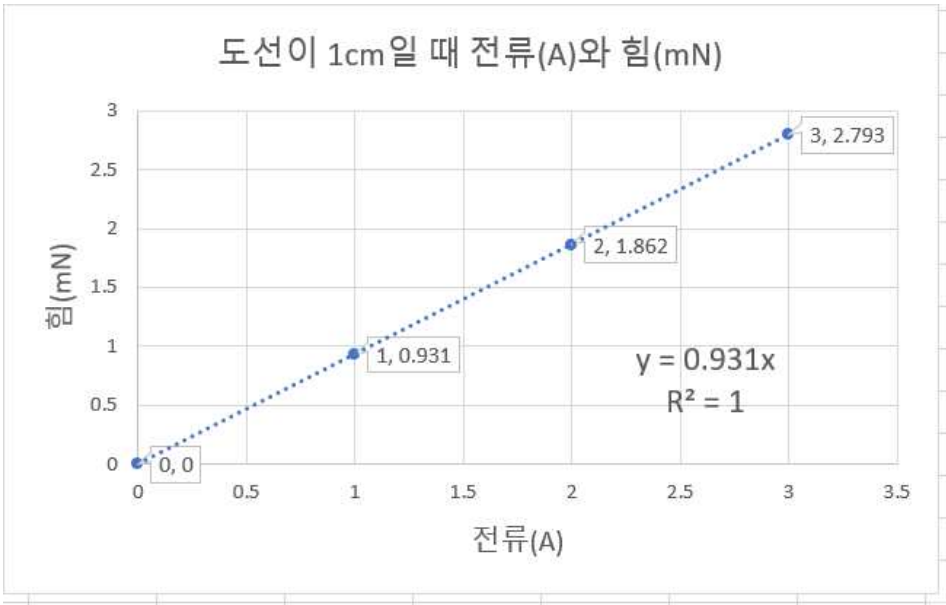
<표2 : 전류와 힘의 관계>

표2는 도선의 길이가 같을 때 전류와 힘의 관계를 나타낸 것으로, $\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$ 와 추세선의 식도 함께 표시하였다.(추세선에서, y는 힘(mN), x는 전류(A))

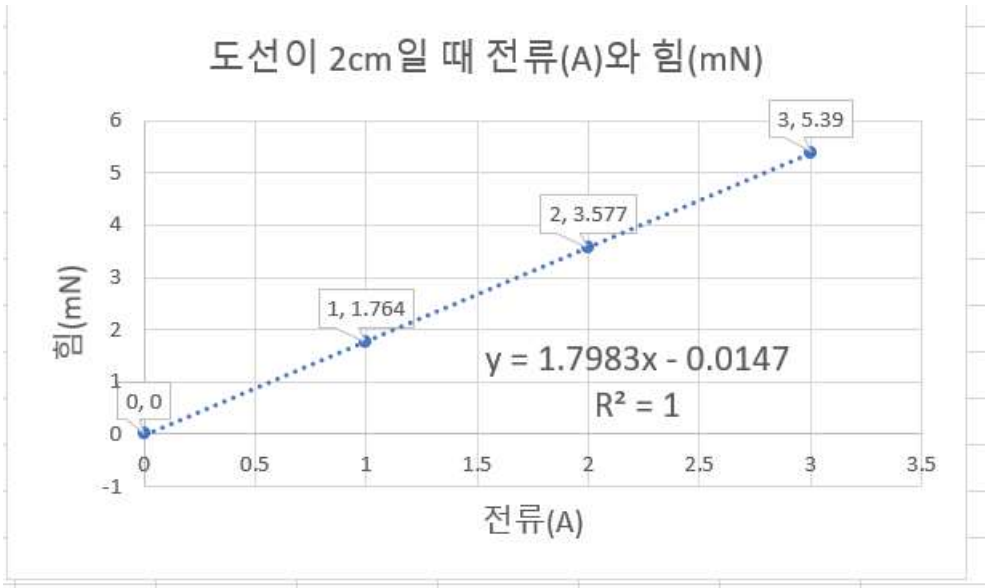
L=1cm : $y=0.931x$			L=2cm, $y = 1.7983x - 0.0147$			L=3cm, $y = 2.695x - 0.0245$			L=4cm, $y = 3.5966x - 0.0539$		
전류(A)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	추세선 기울기 대비	전류(A)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	추세선 기울기 대비	전류(A)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	추세선 기울기 대비	전류(A)	$\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$	추세선 기울기 대비
0			0			0			0		
1	0.931	0.00%	1	1.764	-1.91%	1	2.646	-1.82%	1	3.479	-3.27%
2	0.931	0.00%	2	1.7885	-0.54%	2	2.6705	-0.91%	2	3.5525	-1.23%
3	0.931	0.00%	3	$1.7966\over{667}$	-0.09%	3	2.695	0.00%	3	$3.5933\over{333}$	-0.09%

<표3 : $\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$ 와 추세선 기울기의 비교>

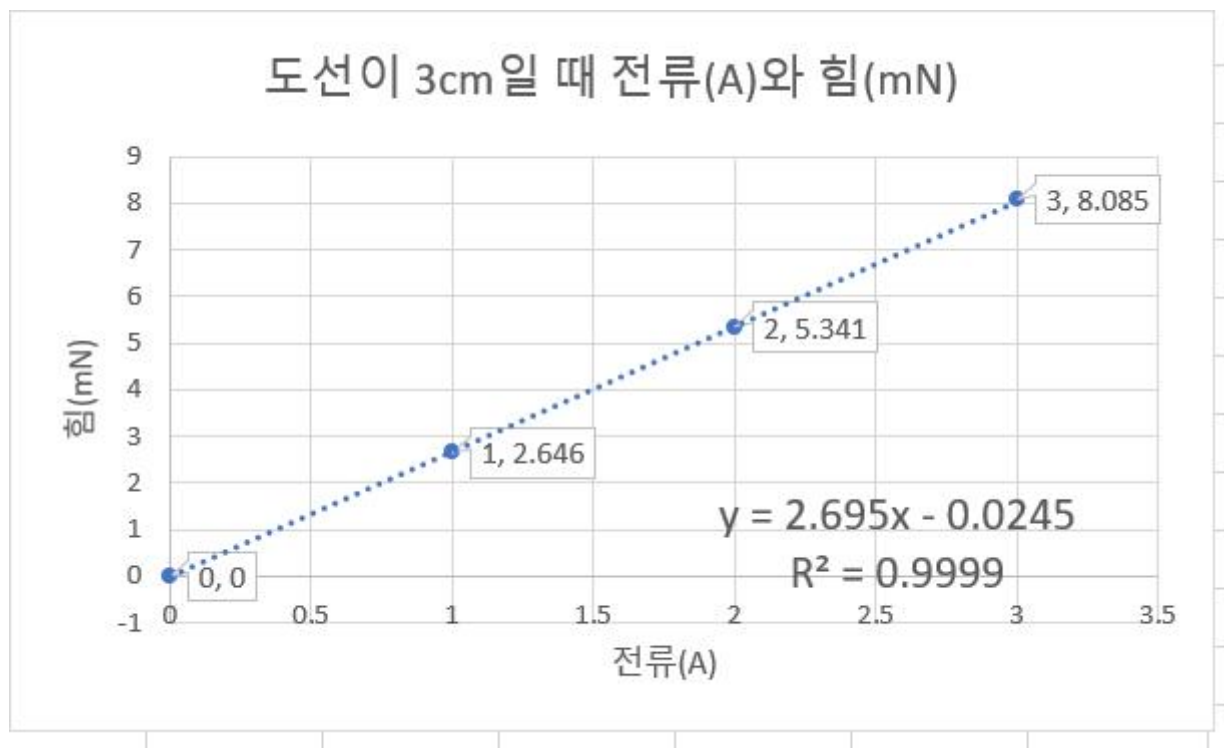
표3은 $\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$ 와 최소제곱법을 이용해 구한 추세선의 기울기를 비교한 것이다.



<그림1 : 도선이 1cm일 때 전류(A)와 힘(mN)>



<그림2 : 도선이 2cm일 때 전류(A)와 힘(mN)>



<그림3 : 도선이 3cm일 때 전류(A)와 힘(mN)>



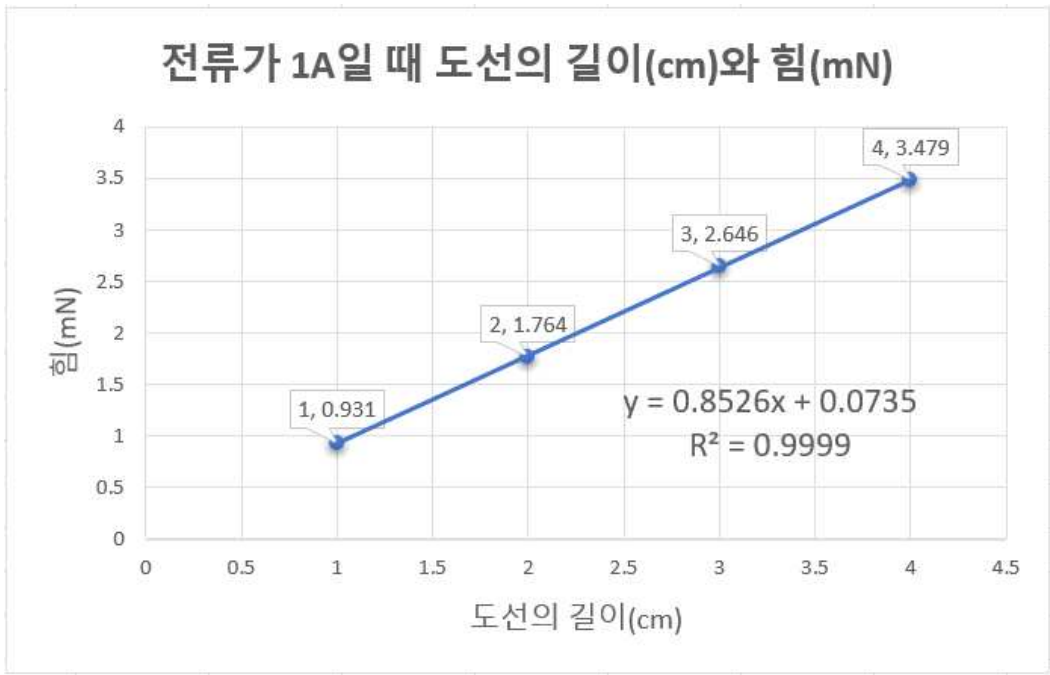
<그림4 : 도선이 4cm일 때 전류(A)와 힘(mN)>

(2)도선의 길이와 힘

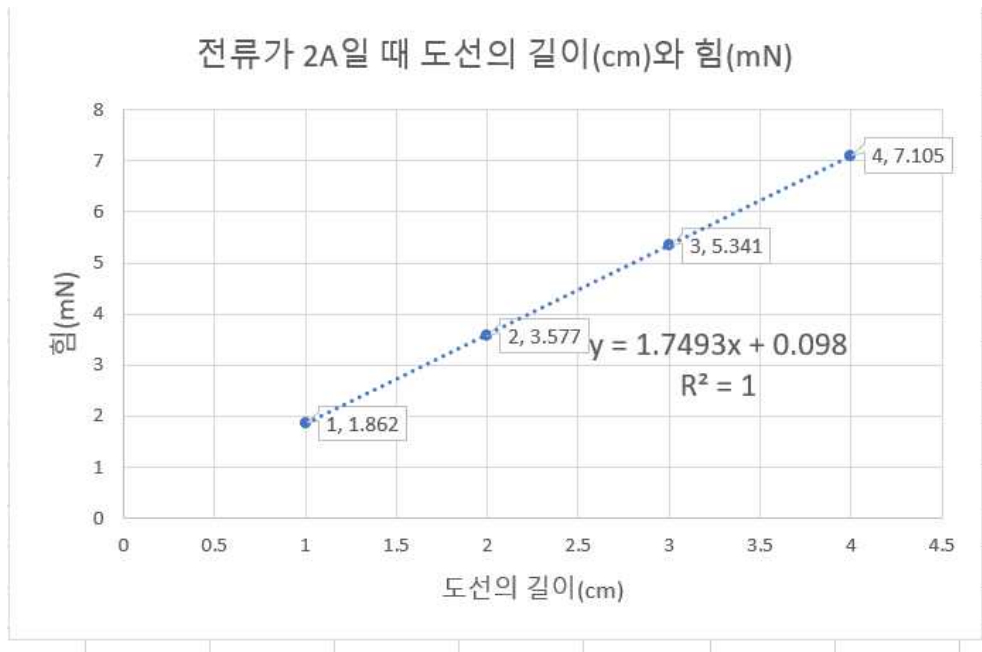
1A, $y = 0.8526x + 0.0735$				2A, $y = 1.7493x + 0.098$				3A, $y = 2.6656x + 0.098$			
길이 (cm)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{길이}}$	추세선 대비	길이 (cm)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{길이}}$	추세선 대비	길이 (cm)	힘(mN)	$\frac{\text{힘}}{\text{길이}}$	추세선 대비
1	0.931	0.931	9.195%	1	1.862	1.862	6.443%	1	2.793	2.793	4.779%
2	1.764	0.882	3.448%	2	3.577	1.789	2.241%	2	5.39	2.695	1.103%
3	2.646	0.882	3.448%	3	5.341	1.780	1.774%	3	8.085	2.695	1.103%
4	3.479	0.870	2.011%	4	7.105	1.776	1.541%	4	10.78	2.695	1.103%

<표4 : 도선의 길이와 전류와의 관계>

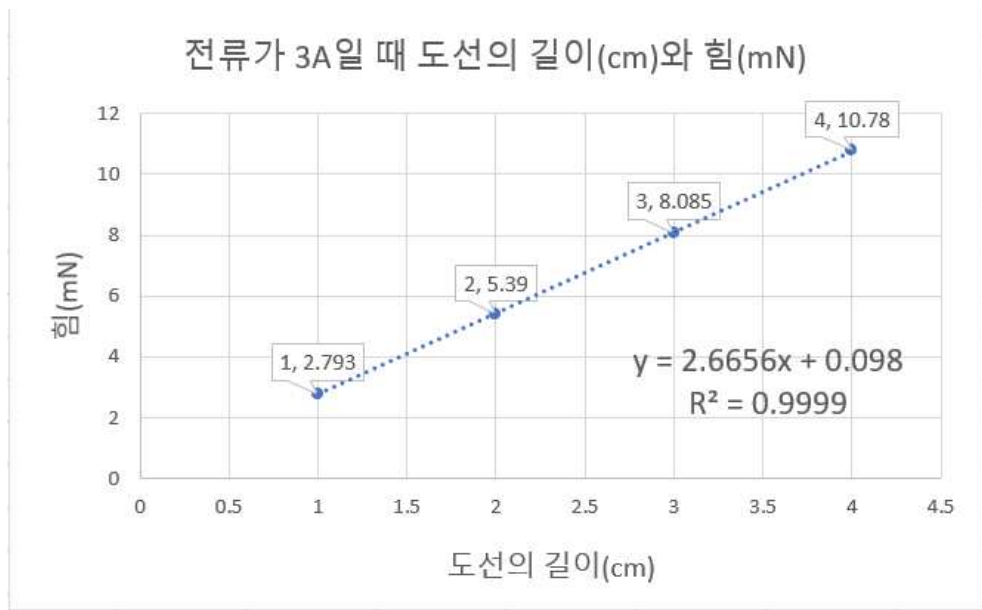
표4는 도선의 길이와 전류와의 관계를 나타낸 것으로, 최소제곱법을 이용한 추세선 식과 추세선 기울기와 $\frac{\text{힘}}{\text{길이}}$ 을 비교한 것이다.



<그림5 : 전류가 1A일 때 도선의 길이(cm)와 힘(mN)>



<그림6 : 전류가 2A일 때 도선의 길이(cm)와 힘(mN)>



<그림7 : 전류가 3A일 때 도선의 길이(cm)와 힘(mN)>

(3)자기장 구하기

L=0.01m, $y = 0.0931x$					
전류(A)	질량(g)	힘(N)	IL(m*A)	B(N/(A*m))	추세선대비
0	0	0	0		
1	0.095	0.000931	0.01	0.09310	0.000%
2	0.19	0.001862	0.02	0.09310	0.000%
3	0.285	0.002793	0.03	0.09310	0.000%

<표5 : L=0.01m에서 전류*도선의 길이(IL, m*A)와 힘(N)을 이용하여 자기장(B, N/(A*m))을 구하고, 최소제곱법을 이용해 구한 추세선과 비교>

L=0.02m, y = 0.0899x - 1E-05					
전류(A)	질량(g)	힘(N)	IL(m*A)	B(N/(A*m))	추세선대비
0	0	0	0		
1	0.18	0.001764	0.02	0.08820	-1.891%
2	0.365	0.003577	0.04	0.08943	-0.528%
3	0.55	0.00539	0.06	0.08983	-0.074%

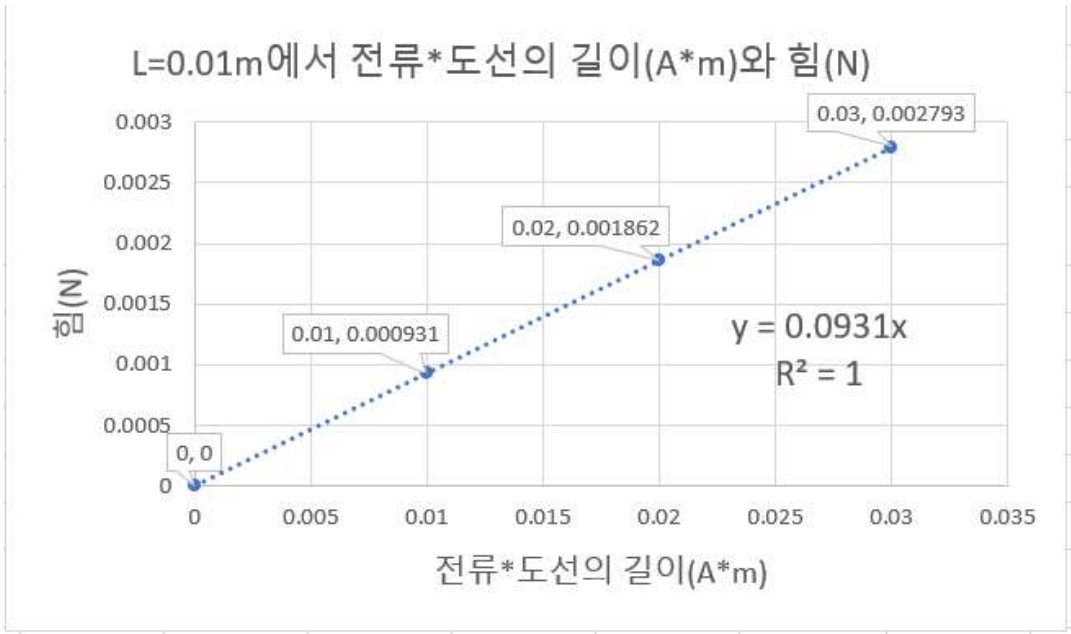
<표6 : L=0.02m에서 전류*도선의 길이(IL, m*A)와 힘(N)을 이용하여 자기장(B, N/(A*m))을 구하고, 최소제곱법을 이용해 구한 추세선과 비교>

L=0.03m, y = 0.0898x - 2E-05					
전류(A)	질량(g)	힘(N)	IL(m*A)	B(N/(A*m))	추세선대비
0	0	0	0		
1	0.27	0.002646	0.03	0.08820	-1.782%
2	0.545	0.005341	0.06	0.08902	-0.872%
3	0.825	0.008085	0.09	0.08983	0.037%

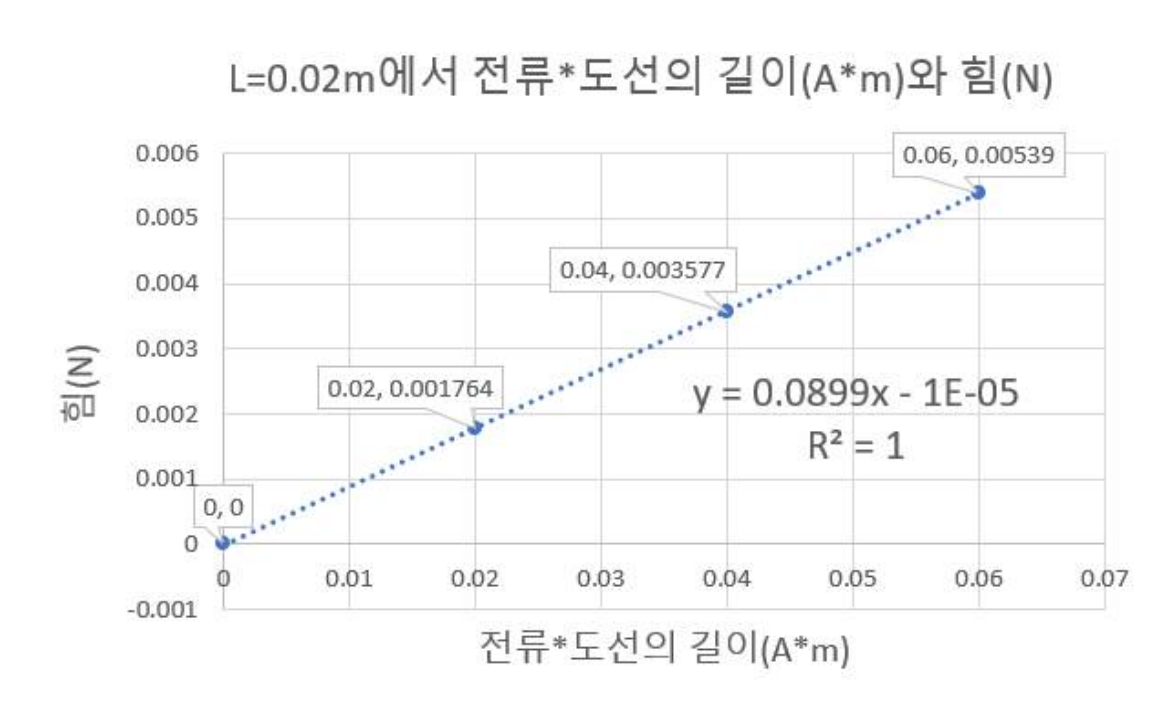
<표7 : L=0.03m에서 전류*도선의 길이(IL, m*A)와 힘(N)을 이용하여 자기장(B, N/(A*m))을 구하고, 최소제곱법을 이용해 구한 추세선과 비교>

L=0.04m, y = 0.0899x - 5E-05					
전류(A)	질량(g)	힘(N)	IL(m*A)	B(N/(A*m))	추세선대비
0	0	0	0		
1	0.355	0.003479	0.04	0.08698	-3.254%
2	0.725	0.007105	0.08	0.08881	-1.210%
3	1.1	0.01078	0.12	0.08983	-0.074%

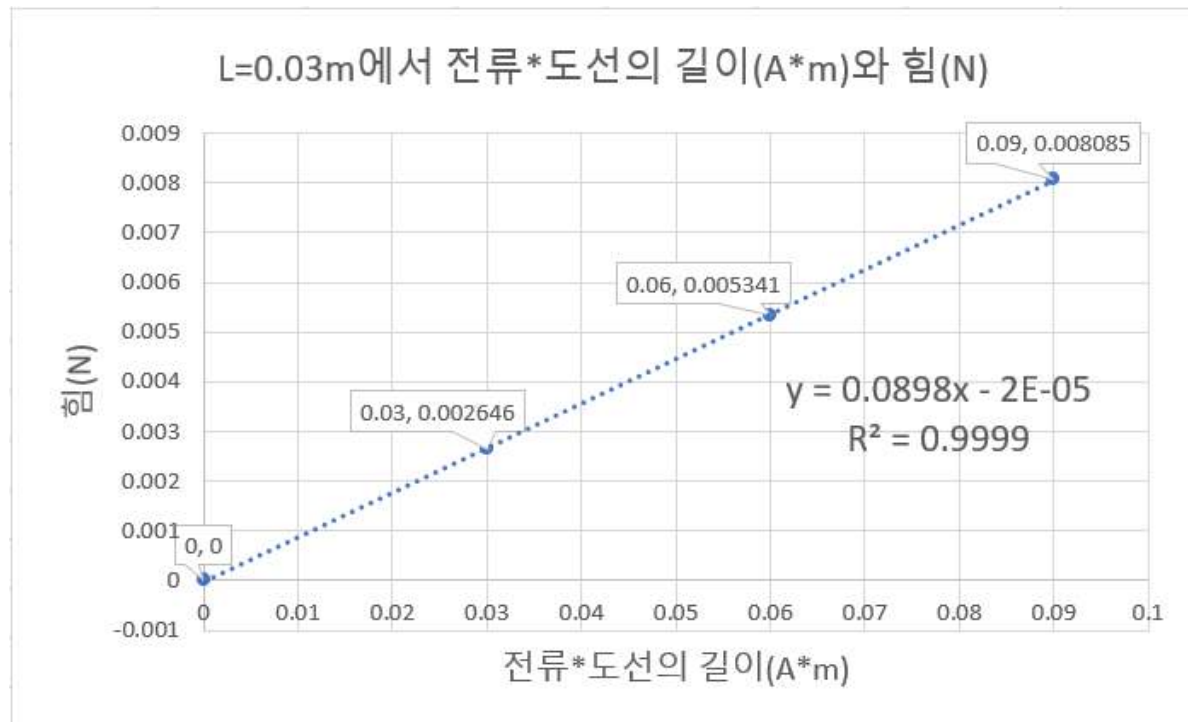
<표8 : L=0.04m에서 전류*도선의 길이(IL, m*A)와 힘(N)을 이용하여 자기장(B, N/(A*m))을 구하고, 최소제곱법을 이용해 구한 추세선과 비교>



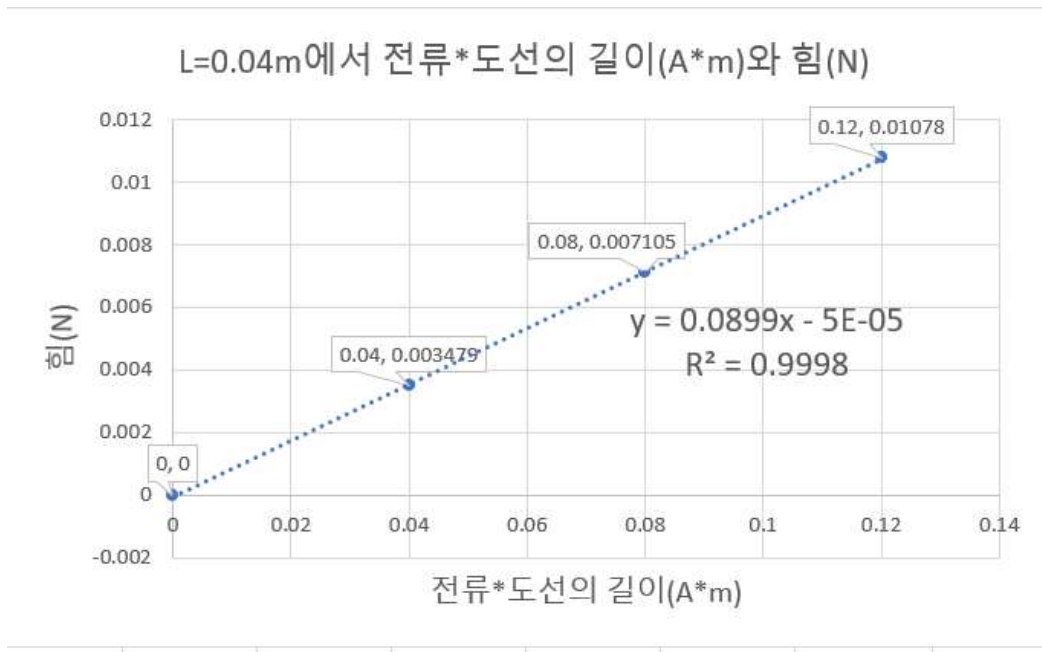
<그림8 : L=0.01m에서 전류*도선의 길이(A*m)와 힘(N)의 관계를 그래프로 나타내고, 최소 제곱법을 이용해 자기장(0.0931N/(A*m))을 계산한 것>



<그림9 : L=0.02m에서 전류*도선의 길이(A*m)와 힘(N)의 관계를 그래프로 나타내고, 최소 제곱법을 이용해 자기장(0.0899N/(A*m))을 계산한 것>



<그림10 : L=0.03m에서 전류*도선의 길이(A*m)와 힘(N)의 관계를 그래프로 나타내고, 최소 제곱법을 이용해 자기장(0.0898N/(A*m))을 계산한 것>



<그림11 : L=0.04m에서 전류*도선의 길이(A*m)와 힘(N)의 관계를 그래프로 나타내고, 최소 제곱법을 이용해 자기장(0.0899N/(A*m))을 계산한 것>

7.결과에 대한 논의

(1)기울어진 각도

L=0.01m일 때 구한 자기장이 가장 크고 일관성이 있다. 따라서 L=0.01m일 때 구한 자기장이 $\phi = 90^\circ$ 일 때라고 가정하자.

$F = ILB\sin\phi$ 에서 $B = \frac{F}{IL\sin\phi}$ 이므로, 자석의 자기장이라고 가정한 값을 $B_{magnet} (= 0.0931 T)$ 이라

하고 계산한 전기장 $\frac{F}{IL}$ 을 B_{calc} 라 하면 각도 ϕ 는 다음과 같다.

$$\phi = \arcsin\left(\frac{B_{calc}}{B_{magnet}}\right)$$

따라서 기울어진 각도 θ 는 다음과 같다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \phi = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{B_{calc}}{B_{magnet}}\right)$$

L=0.01m, $y = 0.0931x$				
전류(A)	B(N/(A*m))	차이	각도	기울어진 각도
1	0.0931	0.000%	90°	0°
2	0.0931	0.000%	90°	0°
3	0.0931	0.000%	90°	0°
추세선	0.0931	0.000%	90°	0°

<표9 : L=0.01m에서 계산한 자기장과 실제 자기장과의 차이>

L=0.02m, y = 0.0899x - 1E-05				
전류(A)	B(N/(A*m))	차이	각도	기울어진 각도
1	0.0882	-5.263%	71.328°	18.672°
2	0.08943	-3.942%	73.859°	16.141°
3	0.08983	-3.512%	74.769°	15.231°
추세선	0.0899	-3.437%	74.934°	15.066°

<표10 : L=0.02m에서 계산한 자기장과 실제 자기장과의 차이>

L=0.03m, y = 0.0898x - 2E-05				
전류(A)	B(N/(A*m))	차이	각도	기울어진 각도
1	0.0882	-5.263%	71.328°	18.672°
2	0.08902	-4.382%	72.975°	17.025°
3	0.08983	-3.512%	74.769°	15.231°
추세선	0.0898	-3.545%	74.699°	15.301°

<표11 : L=0.03m에서 계산한 자기장과 실제 자기장과의 차이>

L=0.04m, y = 0.0899x - 5E-05				
전류(A)	B(N/(A*m))	차이	각도	기울어진 각도
1	0.086975	-6.579%	69.101°	20.899°
2	0.088813	-4.605%	72.544°	17.456°
3	0.089833	-3.509%	74.777°	15.223°
추세선	0.0899	-3.437%	74.934°	15.066°

<표12 : L=0.04m에서 계산한 자기장과 실제 자기장과의 차이>

따라서, 1cm도선에서 측정했을 때 보다 2cm, 3cm, 4cm 도선에서 측정했을 때 15도 정도 틀어서 측정되었음을 알 수 있다.

(2)전류와 힘

표2와 표3에서 $\frac{\text{힘}}{\text{전류}}$ 값과 x축을 전류(A), y축을 힘(mN)으로 하여 얻은 추세선(최소제곱법 이용)의 기울기와 -3.27%~0%정도 차이가 났다. 0.5%정도의 오차는 저울이 0.005g 단위로 측정되는 것이 원인이라 할 수 있다. 왜냐하면 예를 들어, 정확하게 0.365g이 아니라 0.367g인데 0.365g으로 표시된 것이었다면, 오차는 $100 \times (0.365 - 0.367) / 0.367 = 0.545\%$ 가 되기 때문이다. 그리고 직류 전원공급장치에서 공급한 전류가 표시는 1A였지만, 1.01A가 들어갔다면, 1/1은 1이고, 1/1.01은 약 0.9901이므로 1/1대비 1/1.01은 약 -0.99% 차이난다. 따라서 오차를 감안하면, 전류와 힘(자기력)은 비례함을 알 수 있다.(또, 그림1, 그림2, 그림3, 그림4에서도 알 수 있듯, 그래프가 거의 직선 형태이다.)

(3)도선의 길이와 힘

표2와 표4에서 $\frac{\text{힘}}{\text{길이}}$ 값과 x축을 도선의 길이(cm), y축을 힘(mN)으로 하여 얻은 추세선(최소제곱법 이용)의 기울기와 1.103%~9.195%정도 차이가 났다. 0.5%정도의 오차는 저울이 0.005g 단위로

측정되는 것이 원인이라 할 수 있다. 왜냐하면 예를 들어, 정확하게 0.365g이 아니라 0.367g인데 0.365g으로 표시된 것이었다면, 오차는 $100 \times (0.365 - 0.367) / 0.367 = 0.545\%$ 가 되기 때문이다. 따라서 오차를 감안하면, 도선의 길이와 힘(자기력)은 비례함을 알 수 있다.(그림5, 그림6, 그림7에서 그래프가 거의 직선 형태이다.)

8. 결론

자석 사이의 도선의 길이와 도선에 흐르는 전류를 변화시키면서 자기력과 도선의 길이의 관계, 자기력과 전류의 관계를 알아보고, 자기장을 구하였다.

저울의 측정 정확도(0.005g)이나 전류 표시문제로 인한 오차를 감안하면, 자기력과 도선의 길이가 비례하고, 자기력과 전류가 비례함을 알 수 있었다. ($|\vec{F}_B| = kIL$)

앞서 실험원리에서 비례상수 $k = B(\text{자기장})$ 임을 알 수 있고, x축을 도선의 길이*전류, y축을 자기력으로 두어 최소제곱법으로 기울기를 구하여 자기장을 구하면 L=0.01m일 때 0.0931T, L=0.02m일 때 0.0899T, L=0.03m일 때 0.0898T, L=0.04m일 때 0.0899T로 나타났다.

(여기서 T는 자기장 단위로 $1T = 1N/(A \cdot m) = 1Wb/m^2$)

도선의 길이가 0.01m, 0.02m, 0.03m, 0.04m일 때 모두 같은 자석으로 실험하였으므로, 자기장은 같아야 한다. 따라서 자기장 값이 가장 크게 나온 L=0.01m일 때 계산한 자기장 0.0931T를 실제 자석의 자기장으로 본다면 오차와 기울어진 각도는 L=0.01m일 때 0.000%(0°), L=0.02m일 때 -3.437%(15.066°), L=0.03m일 때 -3.545%(15.301°), L=0.04m일 때 -3.437%(15.066°)이며 각각 오차(각도)로 표시하였다.

9. 참고 문헌

(1) 일반물리학실험, 5판, 부산대학교 물리학교재편찬위원회, 청문각, 2019

(3) 완자 고등 물리 2, 비상교육 편집부, 비상교육, 2013

(4) 부산대학교 일반물리학실험실, <https://gplab.pusan.ac.kr/gplab/index..do>

(5) 연세대학교 일반물리학실험실, <http://phylab.yonsei.ac.kr/>

(6) 테슬라, 두산백과

<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1152826&cid=40942&categoryId=32372>

(7) 자기장, 두산백과

<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1137335&cid=40942&categoryId=32244>