

유도 기전력

학과 : 전기컴퓨터공학부

학번 : 201924451

이름 : 김태훈

공동실험자 :

담당 교수 : 정광식

담당 조교 :

실험 날짜 : 2019.11.04(월)

제출 날짜 : 2019.11.11.(월)

1. 실험 목적

시간에 따라 변하는 자기 다발 속에 코일이 놓이면 기전력이 유도된다. 이 유도 기전력이 자기장의 크기, 코일의 단면적 및 코일의 감은 횟수에 따라 어떻게 변하는지를 측정하여 패러데이 유도 법칙을 이해한다.

2. 실험 원리

매우 긴 이상적인 솔레노이드 내부의 자기장 B 는 흐르는 전류 i 와 단위 길이당 감긴 횟수 n 에 비례하며

$$B = \mu_0 n i$$

로 나타낸다. 여기서 μ_0 는 진공에서의 투자율이며 그 값은 $4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A$ 이며 B 의 단위는 $N/(A \cdot m)$ 이다.

코일을 지나는 자기 다발 Φ 가 시간에 따라 변화할 때 코일에 유도 기전력이 발생한다. N 을 코일의 감은 횟수라고 할 때 발생하는 유도 기전력 ε 은 Faraday 유도 법칙에 따라

$$\varepsilon = - \frac{d(N\Phi)}{dt}$$

로 주어진다.

따라서, 교류 전류 $i = I \sin \omega t$ 가 흐르는 매우 긴 솔레노이드 내부에 또 다른 코일이 놓여 있다면 이 코일을 지나는 자기 다발 Φ_i 는 $B = \mu_0 n i$ 로부터 $\Phi_i = B A_i = \mu_0 n i A_i$ 가 되고 코일에 유

도되는 기전력 ε_i 는 $\varepsilon = - \frac{d(N\Phi)}{dt}$ 로부터

$$\varepsilon = - \frac{d(N\Phi)}{dt} = - N_i A_i \frac{dB}{dt} = - \mu_0 \omega N_i A_i n I \cos \omega t$$

이 된다. 이때 N_i 는 내부 코일의 감은 횟수, A_i 는 코일의 단면적이다. 여기서 유도 기전력의 진폭을 ε_{i0} 라고 하면

$$\varepsilon_{i0} = \mu_0 \omega N_i A_i n I$$

가 되므로 유도 기전력의 실효값 ε_{iac} 는

$$\varepsilon_{iac} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac}$$

가 된다. 여기서 I_{ac} 는 전류의 실효값이다.

3. 실험 기구 및 재료

멀티미터 2대, 솔레노이드 코일 6개, 함수 발생기, 자

4. 실험 방법

(1) 내부 솔레노이드 코일의 길이와 유도 기전력

- ① 함수 발생기의 진동수를 100Hz에 맞춘다.
- ② 외부 솔레노이드 코일의 직경과 길이를 측정한다.
- ③ 내부 코일 하나를 선택하여 코일의 직경, 코일의 길이를 측정한다.(이미 측정된 값이 스티커에 표시되어 있어 그 값을 사용함)
- ④ 내부 코일에 전압계를 연결하고, 함수 발생기-전류계-외부 솔레노이드 코일을 직렬로 연결한다.
- ⑤ 함수 발생기의 진폭을 조정하여 외부 솔레노이드 코일의 전류(실효값, I_{ac})를 50mA에 맞춘다.
- ⑥ 내부 코일을 외부 솔레노이드 코일에 천천히 넣는다. 이때 내부 코일의 길이(내부 코일이 외부 솔레노이드 코일과 겹치는 길이)를 5cm 간격으로, 내부 코일이 외부 솔레노이드 코일의 중심에 위치할 때까지 단계별로 증가시키며 유도 기전력을 측정한다(내부 코일의 표면이 외부 솔레노이드 코일에 닿아서 굽히지 않도록 조심한다).

(2) 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력

- ① 내부 코일에 전압계를 연결하고, 함수 발생기-전류계-외부 솔레노이드 코일을 직렬로 연결한다.
- ② 내부 코일을 반쪽만 밀어넣고, 외부 솔레노이드 코일의 전류를 0mA부터 10mA 간격으로 50mA까지 바꾸면서 내부 코일의 유도 기전력을 측정한다.

(3) 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력

- ① 외부 솔레노이드 코일의 전류를 50mA에 맞춘다.
- ② 함수 발생기의 진동수를 100Hz부터 100Hz 간격으로 500Hz까지 바꾸면서 내부 코일의 유도 기전력을 측정한다. 만약 진동수를 바꿀 때 전류가 변하면 진폭을 조절하여 전류가 일정하도록 한다.

(4) 진동수와 유도 기전력

- ① 코일의 감은 횟수는 같고 단면적이 서로 다른 3개의 내부 코일을 선택하고 각각의 코일의 직경과 코일의 길이를 측정한다.
- ② (1)-④와 같이 장치를 연결하고 외부 솔레노이드 코일의 전류를 50mA에 맞춘다.
- ③ 3개의 내부 코일을 번갈아 외부 솔레노이드에 반쪽만 넣고 유도 기전력을 측정한다.

(5) 코일의 감은 횟수와 유도 기전력

- ① 단면적은 같고 감은 횟수가 서로 다른 3개의 내부 코일을 선택하고 각각의 코일 직경과 코일의 길이를 측정한다.
- ② (1)-④와 같이 장치를 연결하고 외부 솔레노이드 코일의 전류를 50mA에 맞춘다.
- ③ 3개의 내부 코일을 번갈아 외부 솔레노이드에 반쪽만 넣고 유도 기전력을 측정한다.

5. 측정값

*외부 솔레노이드

진동수(f)=100Hz

외부 솔레노이드 코일의 직경= 76mm (=0.076m)

외부 솔레노이드 코일의 단면적(A)= 4536.46mm^2 (=0.00453646 m^2)

외부 솔레노이드 코일의 감은 횟수(N)=930번

외부 솔레노이드 코일의 길이(L)=500mm (=0.5m)

외부 솔레노이드 코일의 단위 길이당 감은 횟수=1860번/m

(1) 내부 솔레노이드 코일의 길이와 유도 기전력

내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번

전류 I_{ac} =50mA

길이(mm)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)
0	0	0
50	2.3	3.4
100	5.0	7.2**
150	8.0	10.8
200	10.8	14.3
250	13.2	18.0
300	15.4	21.7

<표1 : 내부 솔레노이드 코일의 길이와 유도 기전력의 측정값과 이론값>

**유도 기전력 이론값(ε_{iac} 이론)의 계산

$\varepsilon_{iac} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac}$ 인데,

μ_0 는 진공에서의 투자율로서 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$,

ω 는 각진동수로서 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 100 = 200\pi$,

N_i 는 내부 코일의 감은 횟수로서 $N_i = 558 \times \frac{100}{300} = 186$,

A_i 는 내부 코일 단면적으로서 $A_i = \pi \times (13 \times 10^{-3})^2 = 530.93 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

n 은 외부 솔레노이드 코일의 단위 길이당 감은 횟수로서 $\frac{930}{500 \times 10^{-3}} = 1860$

I_{ac} 는 전류 실효값으로서 $I_{ac} = 50 \times 10^{-3} \text{ A}$

$\therefore \varepsilon_{iac \text{ at } 100\text{mm 이론}} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac} = 4\pi \times 200\pi \times 186 \times 530.93 \times 1860 \times 50 \times 10^{-16} \text{ (V)}$
 $= 72514171744534.48 \times 10^{-16} \text{ (V)} = 0.0072 \text{ V} = 7.2 \times 10^{-3} \text{ V} = 7.2 \text{ mV}$

(2) 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력

내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

전류(mA)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)
0	0	0
10	1.5	2.1
20	3.1	4.3
30	4.6	6.5
40	6.3	8.7
50	8.1	10.8

<표2 : 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력의 측정값과 이론값>

(3) 진동수와 유도 기전력

외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

f(Hz)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)
100	7.7	10.8
200	15.9	21.7
300	25.2	31.6
400	35.0	43.5
500	45.9	54.3

<표3 : 진동수와 유도 기전력의 측정값과 이론값>

(4) 코일의 단면적과 유도 기전력

진동수(f)=500Hz

외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

직경(mm)	단면적(mm^2)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)
26	530.93	45.9	54.4
32	804.25	71.8	82.4
38	1134.11	88.5	116

<표4 : 코일의 단면적과 유도 기전력의 측정값과 이론값>

(5) 코일의 감은 횟수와 유도 기전력

진동수(f)=500Hz

외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

내부 코일의 직경 : 38mm (=0.038m)

내부 코일의 단면적= 1134.11mm^2 (=0.0113411 m^2)

내부 코일의 감은 횟수(N) [*]	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)
558	88.5	116
800	146	166
1100	334	230

<표5 : 코일의 감은 횟수와 유도 기전력의 측정값과 이론값, 측정할 때 내부 코일을 반만 외부 솔레노이드에 넣었으므로, 이론값을 계산할 때 감은 횟수는 $\frac{N}{2}$ 으로 계산, ex)558->279>

6. 실험 결과

(1) 내부 솔레노이드 코일의 길이와 유도 기전력

내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

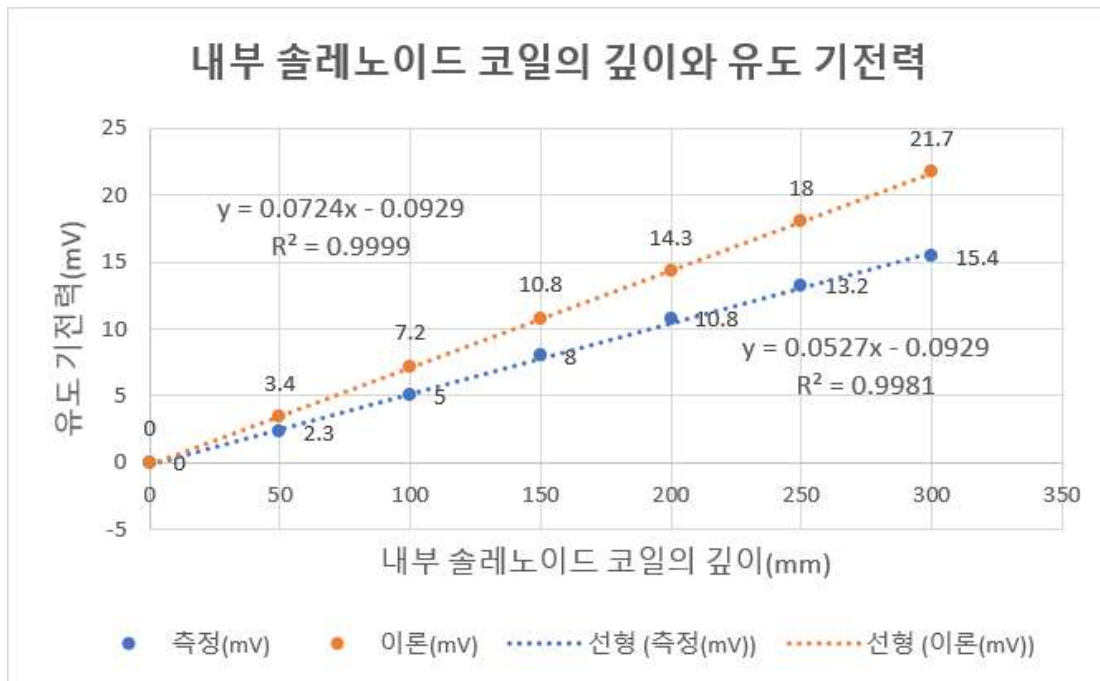
내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번

전류 I_{ac} =50mA

길이(mm)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)	ε_{iac} 이론 대비 ε_{iac} 의 오차
0	0	0	0.00%
50	2.3	3.4	-32.35%
100	5.0	7.2	-30.56%
150	8.0	10.8	-25.93%
200	10.8	14.3	-24.48%
250	13.2	18.0	-26.67%
300	15.4	21.7	-29.03%

<표6 : 내부 솔레노이드 코일의 길이와 유도 기전력의 이론값 대비 측정값의 오차>



<그림1 : 내부 솔레노이드 코일의 깊이와 유도 기전력의 측정값과 이론값. 왼쪽 위에 있는 식 $0.0724x-0.0929$ 는 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.0527x-0.0929$ 는 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 -27.21% 차이 난다.>

(2) 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력

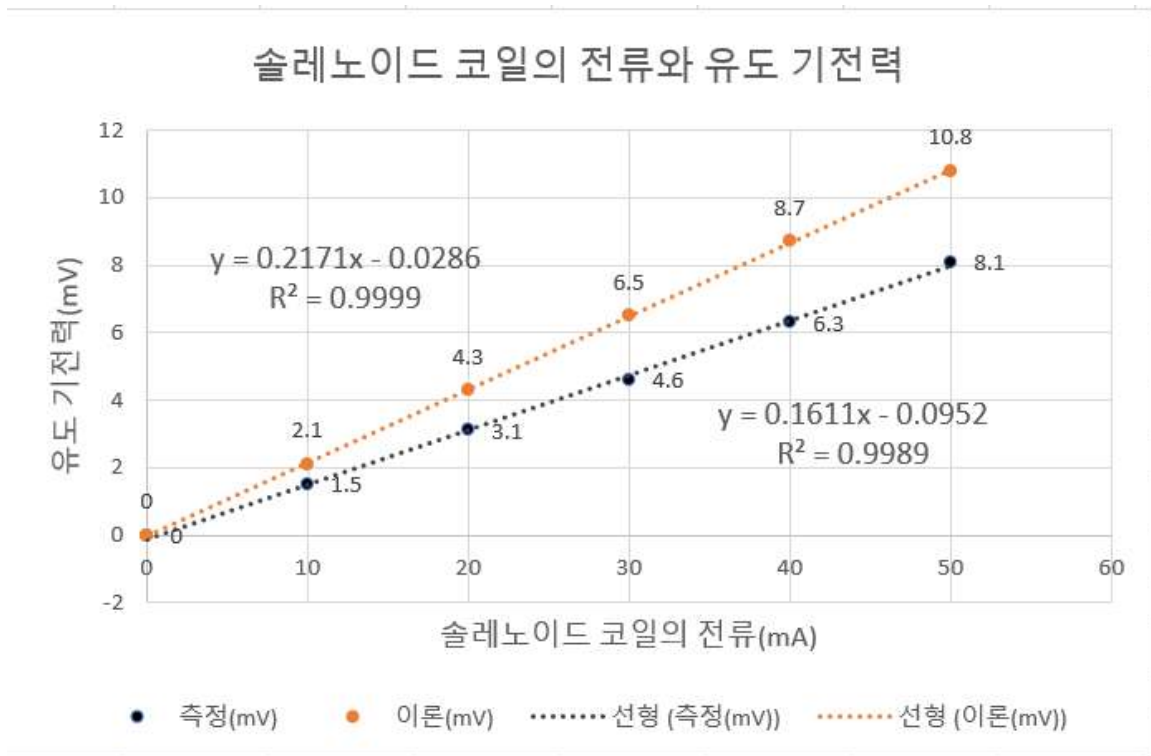
내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

전류(mA)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)	ε_{iac} 이론 대비 ε_{iac}
0	0	0	0.00%
10	1.5	2.1	-28.57%
20	3.1	4.3	-27.91%
30	4.6	6.5	-29.23%
40	6.3	8.7	-27.59%
50	8.1	10.8	-25.00%

<표7 : 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력의 이론값대비 측정값의 오차>



<그림2 : 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력의 측정값과 이론값. 왼쪽 위에 있는 식 $0.2171x - 0.0286$ 은 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.1611x - 0.0952$ 는 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 -25.79% 차이 난다.>

(3) 진동수와 유도 기전력

외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

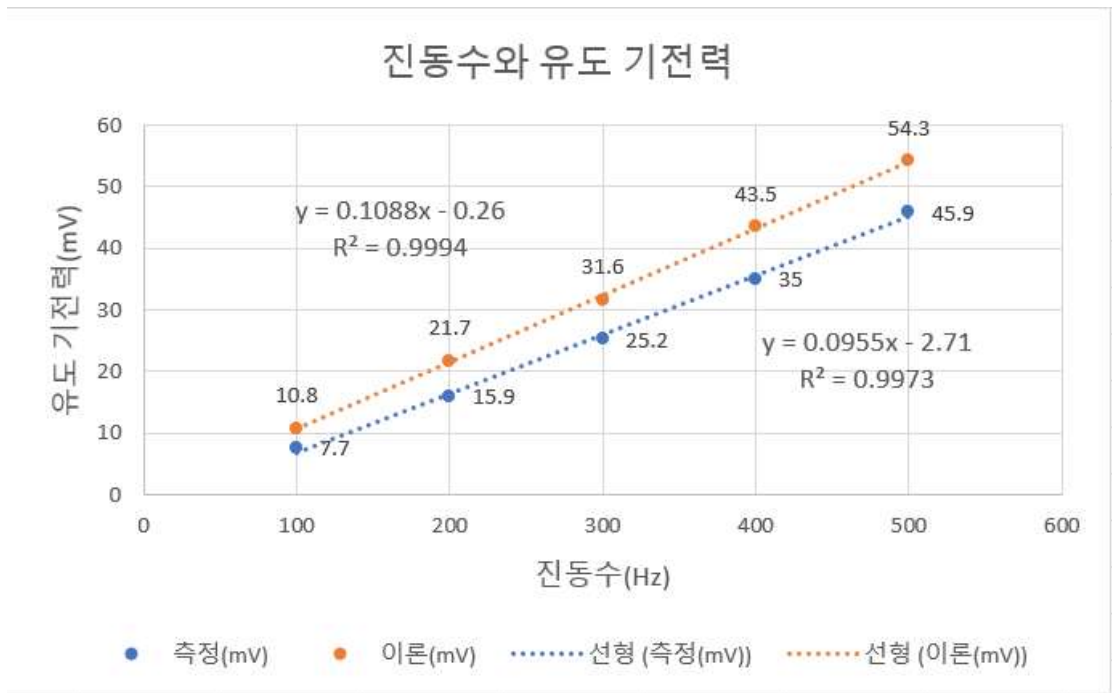
내부 코일의 직경 : 26mm (=0.026m)

내부 코일의 단면적 : 530.93mm^2 (=0.00053093 m^2)

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

진동수(Hz)	$\varepsilon_{iac}(\text{mV})$	$\varepsilon_{iac\text{이론}}(\text{mV})$	$\varepsilon_{iac\text{이론}}$ 대비 ε_{iac}
100	7.7	10.8	-28.70%
200	15.9	21.7	-26.73%
300	25.2	31.6	-20.25%
400	35.0	43.5	-19.54%
500	45.9	54.3	-15.47%

<표8 : 진동수와 유도 기전력의 측정값과 이론값대비 측정값의 오차>



<그림3 : 솔레노이드 코일의 전류와 유도 기전력의 측정값과 이론값. 왼쪽 위에 있는 식 $0.1088x - 0.26$ 은 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.0955x - 2.71$ 은 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 -12.22% 차이 난다.>

(4) 코일의 단면적과 유도 기전력

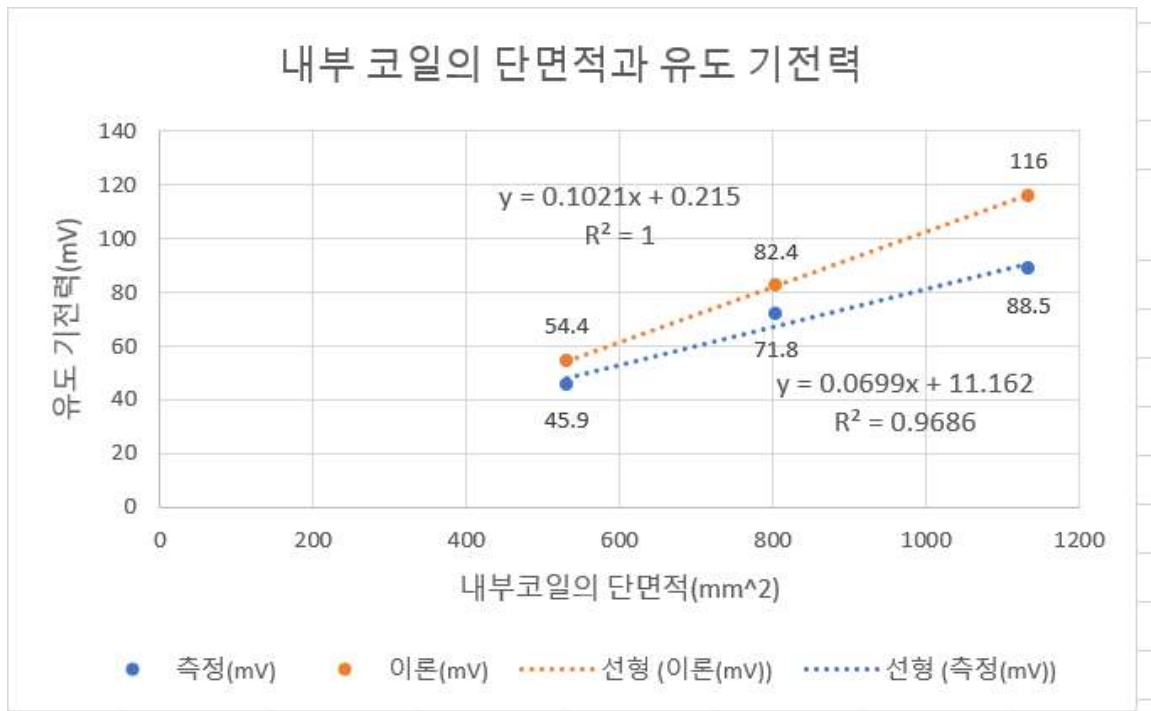
진동수(f)=500Hz

외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

내부 코일의 감은 횟수 : 558번(내부 코일의 반만 넣었으므로, 계산할 때는 감은 횟수 279 사용)

직경(mm)	단면적(mm^2)	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)	ε_{iac} 이론 대비 ε_{iac}
26	530.93	45.9	54.4	-15.63%
32	804.25	71.8	82.4	-12.86%
38	1134.11	88.5	116	-23.71%

<표9 : 코일의 단면적과 유도 기전력의 측정값과 이론값대비 측정값의 오차>



<그림4 : 내부 코일의 단면적과 유도 기전력의 측정값과 이론값. 왼쪽 위에 있는 식 $0.1021x+0.215$ 은 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.0699x+11.162$ 는 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 -31.54% 차이 난다.>

(5) 코일의 감은 횟수와 유도 기전력

진동수(f)=500Hz

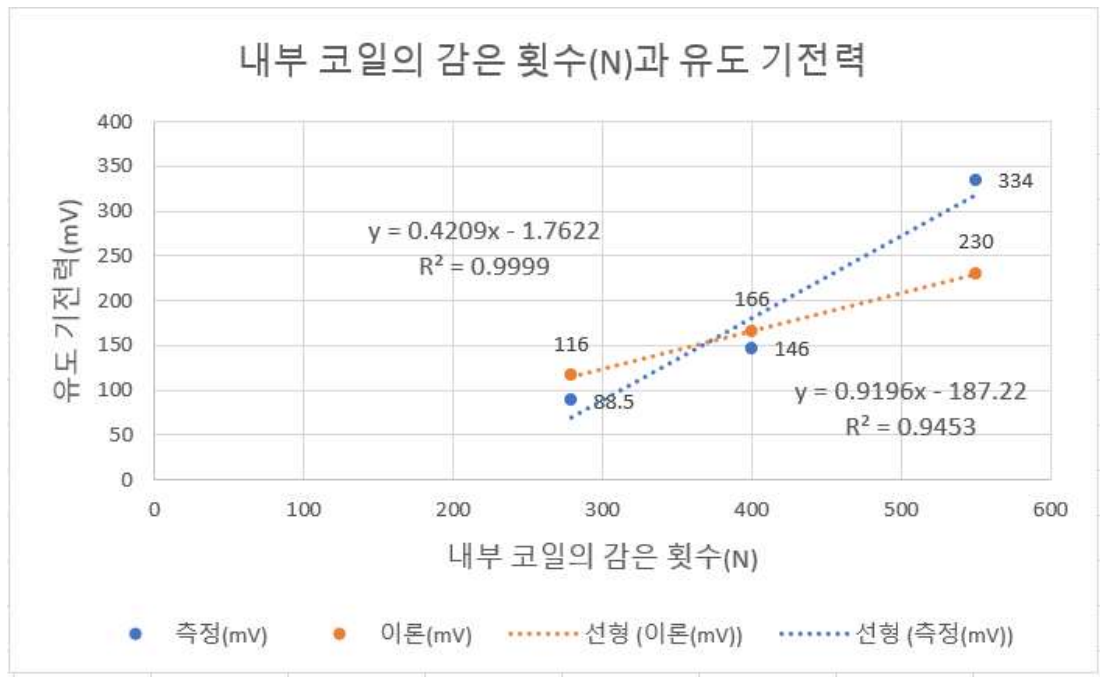
외부 솔레노이드 코일의 전류=50mA

내부 코일의 직경 : 38mm (=0.038m)

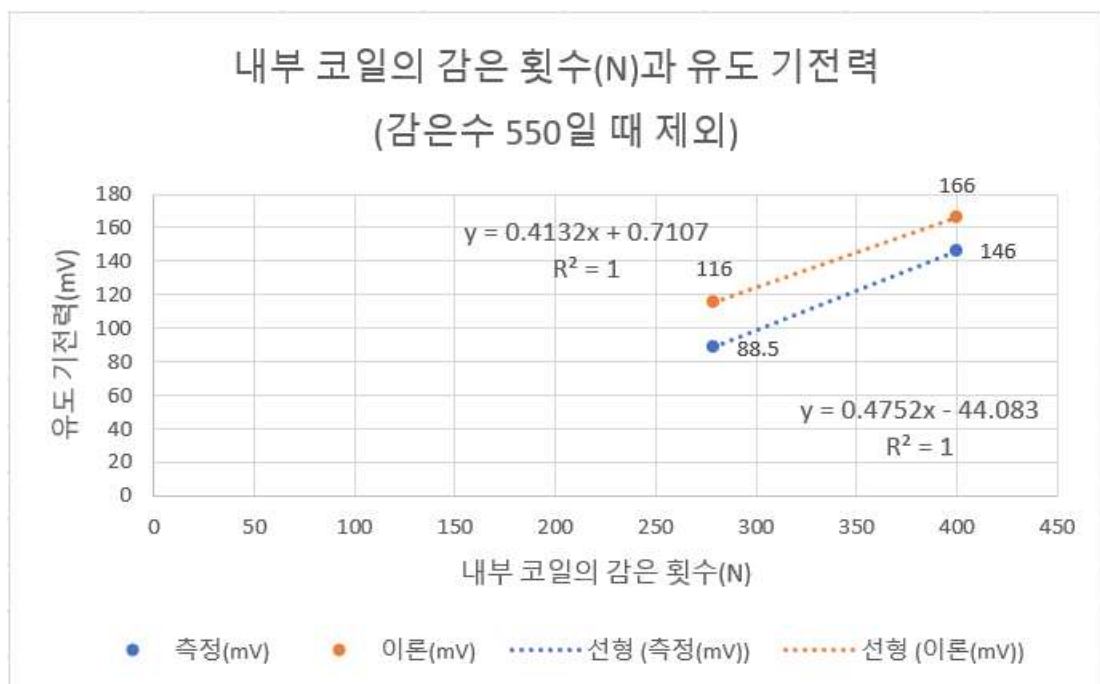
내부 코일의 단면적=1134.11mm² (=0.0113411m²)

내부 코일의 감은 횟수(N)*	ε_{iac} (mV)	ε_{iac} 이론(mV)	ε_{iac} 이론 대비 ε_{iac}
558(279로 계산)	88.5	116	-23.71%
800(400으로 계산)	146	166	-12.05%
1100(550으로 계산)	334	230	45.22%

<표10 : 코일의 감은 횟수와 유도 기전력의 측정값과 이론값대비 측정값의 오차>



<그림5 : 내부 코일의 감은 횟수와 유도 기전력의 측정값과 이론값. 왼쪽 위에 있는 식 $0.4209x-1.7622$ 는 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.9196x-187.22$ 는 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 118.48% 차이 난다.>



<그림6 : 내부 코일의 감은 횟수와 유도 기전력의 측정값과 이론값이며 감은 수 550일 때의 값을 제외하여 그래프를 그린 것이다. 왼쪽 위에 있는 식 $0.4132x+0.7107$ 은 이론값의 추세선 식이며 오른쪽 아래에 있는 $0.4752x-44.083$ 는 측정값의 추세선 식이다. 이론값 기울기 대비 측정값 기울기는 약 15.00% 차이 난다.>

7. 결과에 대한 논의

[1]오차의 원인

(1) 공기에서 투자율

공기에서 투자율을 μ_{air} 라 할 때 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\mu_{air}}{\mu_0} = 1.00000037$$

따라서 측정값이 이론값보다 0.000037%차이날 것이다. 이는 결과에 거의 영향을 주지 않았을 것이다.

(2) 이상적인 솔레노이드

이상적인 솔레노이드(길이가 무한하고, 연속적인(continuous) 솔레노이드)의 자기장은 다음과 같음을 실험원리에서 언급하였다.

$$B = \mu_0 n i = \frac{\mu_0 N i}{l}$$

여기서, μ_0 는 진공에서의 투자율, N 은 감은 수, l 은 솔레노이드의 길이, i 는 전류이다.

그러나 실험에서 사용한 솔레노이드는 길이가 유한하고, 비연속적인 솔레노이드(Finite non-continuous solenoid)이다. 이러한 솔레노이드의 자기장은 다음과 같다고 알려져 있다.

$$B_z = \frac{\mu_0 N I}{2} \left(\frac{L/2 - z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right)$$

(I 는 전류, L 은 솔레노이드의 길이, R 은 솔레노이드의 반지름, z 는 자기장을 측정할 점의 위치이다.- 솔레노이드의 중심이 $z=0$)

이상적인 솔레노이드에서의 자기장 대비 실제 솔레노이드에서의 자기장은

$$\frac{B_z - B_{이상적}}{B_{이상적}} = \frac{\frac{\mu_0 N I}{2} \left(\frac{L/2 - z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right) - \frac{\mu_0 N I}{L}}{\frac{\mu_0 N I}{L}}$$

$$= \frac{L}{2} \left(\frac{L/2 - z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{L\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right) - 1$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{L/2 - z}{\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right) - 1$$

$$\therefore B_{이상적 대비 실제} = \frac{1}{2} \left(\frac{L/2 - z}{\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right) - 1$$

이것을 적분하면

$$\int_a^b \frac{1}{2} \left(\frac{L/2 - z}{\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2}} + \frac{L/2 + z}{\sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}} \right) - 1$$

(대학물리학의 표준 적분 공식을 참고하여 계산)

$$= \left[\frac{1}{2} (\sqrt{R^2 + (L/2 - z)^2} + \sqrt{R^2 + (L/2 + z)^2}) - z \right]_b^a$$

외부 솔레노이드는

외부 솔레노이드 코일의 직경= 76mm (=0.076m)

외부 솔레노이드 코일의 단면적(A)= 4536.46mm^2 (=0.00453646 m^2)

외부 솔레노이드 코일의 감은 횟수(N)=930번

외부 솔레노이드 코일의 길이(L)=500mm (=0.5m)

외부 솔레노이드 코일의 단위 길이당 감은 횟수=1860번/m

이므로

$R=0.038$, $L=0.5$ 대입하면

$$B_{\text{이상적 대비 실제}} = \left[\frac{1}{2} (\sqrt{0.001444 + (0.25 - z)^2} + \sqrt{0.001444 + (0.25 + z)^2}) - z \right]_b^a$$

이때 $a=0.25$, $b=0$ 이면(내부 솔레노이드가 외부 솔레노이드의 반정도 들어갔을 경우)

$$B_{\text{이상적 대비 실제}} = -0.23315 = -23.315\%$$

또, $a=0.25$, $b=0.1$ 이면(300mm길이의 내부 솔레노이드가 반정도 들어갔을 경우)

$$B_{\text{이상적 대비 실제}} = -0.13368 = -13.368\%$$

따라서 실제 계산한 값보다 측정한 값이 10%~20%정도 낮은 것이다.

(3)멀티미터의 오차

멀티미터의 교류전압 측정은 $\pm 1.2\%$ 정도 오차가 생긴다.

(4)기타(식으로 설명하기 힘든 오차들)

내부 솔레노이드의 중심이 외부 솔레노이드 중심과 일치하지 않았을 수 있고, 함수 발생기에서 내보내는 전류 실효값이 일정하지 않기 때문에 오차가 발생했을 수 있다.

[2]결과에 대한 논의

그림1, 그림2, 그림3, 그림4, 그림5, 그림6으로부터 알 수 있듯이, 유도 기전력이 내부 솔레노이드 코일의 길이, 솔레노이드 코일의 전류, 진동수, 코일의 단면적, 내부코일의 감은 횟수와 비례함을 알 수 있다.

실험 독립변수	이상	측정	측정값대비	이상값대비
내부 솔레노이드 코일의 길이	0.0724	0.0527	37.38%	-27.21%
솔레노이드 코일의 전류	0.2171	0.1611	34.76%	-25.79%
진동수	0.1088	0.0955	13.93%	-12.22%
내부 코일의 단면적	0.1021	0.0699	46.07%	-31.54%
내부 코일의 감은 횟수	0.4209	0.9196	-54.23%	118.48%
내부 코일의 감은 횟수(550 제외)	0.4132	0.4752	-13.05%	15.00%

<표11 : 각 실험에서 (유도 기전력/독립변수) 의 이상값과 측정값의 기울기와 측정값대비 이상값 차이, 이상값대비 측정값차이를 나타내었다.>

이상적인 값과의 차이는 [1]에서 논의했듯이, 이상적인 솔레노이드라고 가정하고 실험한 것이 크다고 할 수 있다. 따라서 이 실험으로 실험원리에서 나온 식

$$\epsilon_{iac} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac}$$

이 실제로 성립함을 알 수 있으며, 이 식은 $B = \mu_0 n i$ 와 패러데이 유도 법칙

$$\epsilon = - \frac{d(N\Phi)}{dt}$$

에서 나온 식으로, 패러데이 유도 법칙(faraday's law of induction)이 실제로 성립함을 알 수 있다.

8. 결론

외부 솔레노이드 코일에 전류를 흐르게 하고 내부에 솔레노이드 코일을 넣어 내부 솔레노이드 코일에 생기는 유도 기전력을 멀티미터를 사용해 측정하였다. 이때 내부 솔레노이드 코일의 길이, 솔레노이드 코일의 전류, 진동수, 내부 코일의 단면적, 내부 코일의 감은 횟수를 변화시키면서 유도 기전력을 측정하였다.

또 실험원리에서 논의된 식($\epsilon_{iac} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac}$)를 활용하여 이론값을 계산하였다. 각 실험에서 구한 이상값, 측정값의 그래프의 기울기는 표11과 같다,

오차의 원인은 진공과 공기에서 투자율의 차이, 이상적인 솔레노이드와 실제 사용한 솔레노이드 자기장의 차이, 멀티미터의 오차가 있으나, 이상적인 솔레노이드와 실제 사용한 솔레노이드 자기장의 차이가 가장 큰 오차의 원인임을 알 수 있다.

오차를 고려했을 때 이 성립함을 알 수 있으며, 유도 기전력이 내부 솔레노이드 코일의 길이, 솔레노이드 코일의 전류, 진동수, 내부 코일의 단면적, 내부 코일의 감은 횟수에 비례함을 볼 때

$\epsilon_{iac} = \mu_0 \omega N_i A_i n I_{ac}$ 이 성립함을 알 수 있으며 이 식은 패러데이 유도 법칙

$$\epsilon = - \frac{d(N\Phi)}{dt}$$

에서 나온 것으로 실험 결과로 패러데이 유도 법칙을 확인할 수 있었다.

9. 참고 문헌

- (1)일반물리학실험, 5판, 부산대학교 물리학교재편찬위원회, 청문각,2019
- (2)대학물리학, 4판, Randall D.Knight(심경무 외 옮김),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)xl380l manual,
<https://usefulldata.com/manual-guide-multimeter-xl830l-with-pdf-instructions/>
- (7)테슬라, 두산백과
<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1152826&cid=40942&categoryId=32372>

(8)Solenoid, Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid#Finite_non-continuous_solenoid_estimate

(9)Permeability (electromagnetism)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_\(electromagnetism\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_(electromagnetism))