

일반물리학실험 보고서

교류 회로

학과 :

학번 :

이름 :

공동실험자 :

담당 교수 :

담당 조교 :

실험 날짜 : 2019.11.11(월)

제출 날짜 : 2019.11.18(월)

1. 실험 목적

저항 및 축전기(capacitor)로 구성된 직렬 R-C회로에서 교류 전압과 교류 전류를 측정하여 저항 R(resistance, 전기 용량(capacitance) C의 특성을 이해하고 직류 회로와의 차이점을 배운다.

2. 실험 원리

옴의 법칙은 '일정한 온도에서 금속 도체의 두 점 사이의 전위차와 전류의 비는 일정하다'라는 것으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta V = IR$$

여기서 ΔV 는 전위차이고 I 는 전류, R 은 저항이다. 저항의 단위는 Ω 이며 V/A 이다.

직류 회로에서 전압과 전류는 시간에 따라 변하지 않고 일정하지만 교류 회로에서는 전압 v 와 전류 i 는 시간(t)에 대한 함수이며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v(t) = V\sin\omega t \quad (\text{ex1})$$

$$i(t) = I\sin(\omega t - \Phi) \quad (\text{ex2})$$

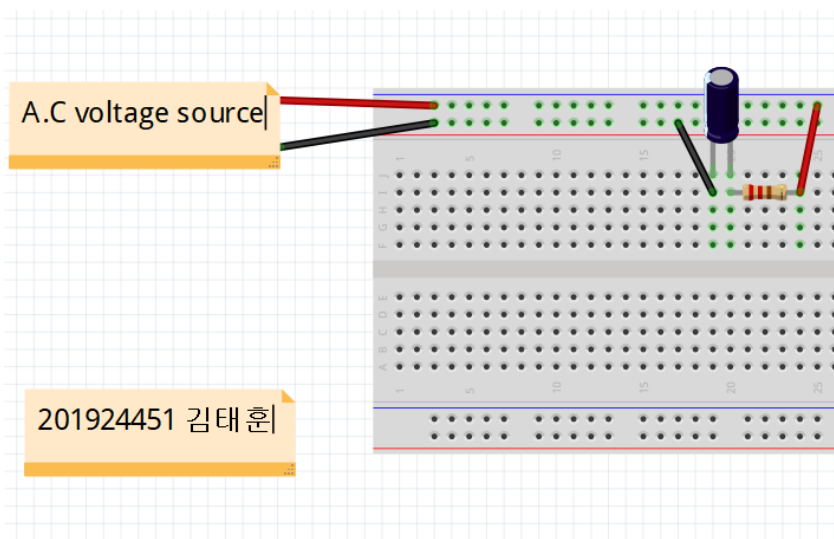
여기서 V 와 I 는 각각 전압과 전류의 진폭(최대값)이며, ω 는 $2\pi/T$ 또는 $2\pi f$ 로 표시되는 각진동수이다.

그리고 f 는 진동수로서 Hz 또는 s^{-1} 로 나타내며, Φ 는 위상 상수 즉 전압 v 에 대한 전류 i 의 위상차를 나타낸다.

그림1과 같이 교류 기전력 ε 를 저항 R와 전기용량 C인 축전기와의 직렬회로에 가하는 경우를 생각해 보자. 이 회로에서 R, C 각각에 걸리는 전압 v_R , v_C 는 다음과 같다.

$$v_R = iR \quad (\text{ex3})$$

$$v_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt \quad (\text{ex4})$$



<그림1 : R-C 회로 - Fritzing으로 작성>

임의의 시간에 회로의 각 요소에 걸리는 전압의 합은 다음과 같이 교류 기전력 ε 과 같으며

$$\varepsilon = v_R + v_C = iR + \frac{1}{C} \int i dt$$

가 된다. 한편 ex2를 ex3, ex4에 대입하면

$$v_R(t) = RI \sin(\omega t - \Phi)$$

$$v_C(t) = -\frac{1}{\omega C} I \sin(\omega t - \Phi) = \frac{1}{\omega C} I \sin(\omega t - \Phi - \frac{\pi}{2})$$

로 주어진다. 여기서 v_C 는 v_R 에 대해 $-\frac{\pi}{2}$ 의 위상차가 나는 것을 알 수 있으며, 각 요소의 전압의 진폭을 V_R, V_C 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_R = RI$$

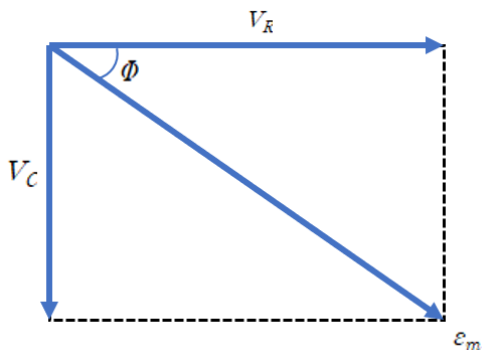
$$V_C = \frac{I}{\omega C}$$

이들의 진폭을 벡터 도형법으로 나타내면 그림2와 같이 되며, 이로부터 회로에 걸리는 총 교류전압의 진폭은 다음과 같다.

$$\epsilon_m = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

또, $V_C = \frac{I}{\omega C}$ 에서 $\frac{I}{\omega C}$ 를 용량성 리액턴스(capacitive reactance)라 하며 X_C 로 나타낸다. 즉

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$



<그림2 : 전압 간의 위상 관계>

여기서 전기용량 C는 F(Farad)로 단위를 표시하며 X_C 는 저항 R과 같은 $\Omega(\text{ohm})$ 의 단위를 갖는다.

또 앞에서 구한 식으로부터 R-C 교류 회로에서 전압과 전류의 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon_m = I \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$$

여기서 임피던스 Z를 도입하여 $\epsilon_m = IZ$ 로 표현하면

$$Z = \frac{\epsilon_m}{I} = \frac{\epsilon_{ac}}{I_{ac}} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$$

가 된다. 그리고 위상 상수 Φ 는

$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\omega RC}\right)$$

가 된다.

3. 실험 기구 및 재료

멀티미터 2대, 함수 발생기, 직류 전원 장치, 오실로스코프, 저항(1.5kΩ), 축전기 1μF, 전선, 단자박스

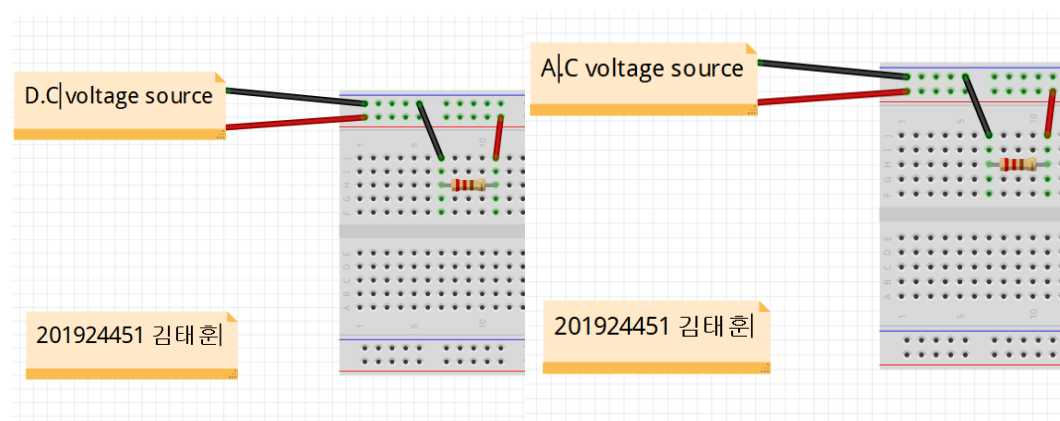
4. 실험 방법

(1) R 회로

- ① 직류 전원 장치를 사용하여 그림 3-a 와 같이 회로를 연결한다.
- ② 인가 기전력 ε 을 0V부터 5V까지 1V 간격으로 바꾸면서 회로의 전류를 측정한다.
- ③ 전류와 전압과의 관계 그래프를 그리고 기울기를 구한다.
- ④ 직류 전원 장치를 함수 발생기로 바꾸어서 그림 3-b와 같이 회로를 연결한다.
- ⑤ 함수 발생기의 진동수를 100Hz에 고정시키고 인가 기전력 ε 을 0V부터 5V까지 1V 간격으로 바꾸면서 회로의 전류를 측정한다.
- ⑥ 전류와 기전력과의 관계 그래프를 그리고 기울기를 구한다.
- ⑦ 인가 기전력을 5V로 유지하고 진동수를 100Hz부터 500Hz까지 100Hz 간격으로 바꾸면서 전류를 측정한다.
- ⑧ 진동수와 전류의 관계 그래프를 그리고 기울기를 구한다.

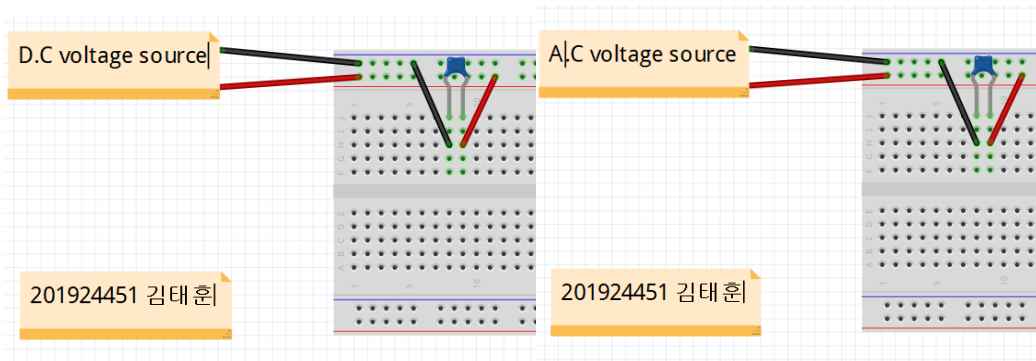
(2) C 회로

- ① 직류 전원 장치 및 함수 발생기를 사용하여 그림 3-c또는 3-d와 같이 회로를 연결한다.
- ② 실험 1의 과정을 반복한다.



<그림3-a : 회로도>

<그림3-b : 회로도>



<그림3-c : 회로도>

<그림3-d : 회로도>

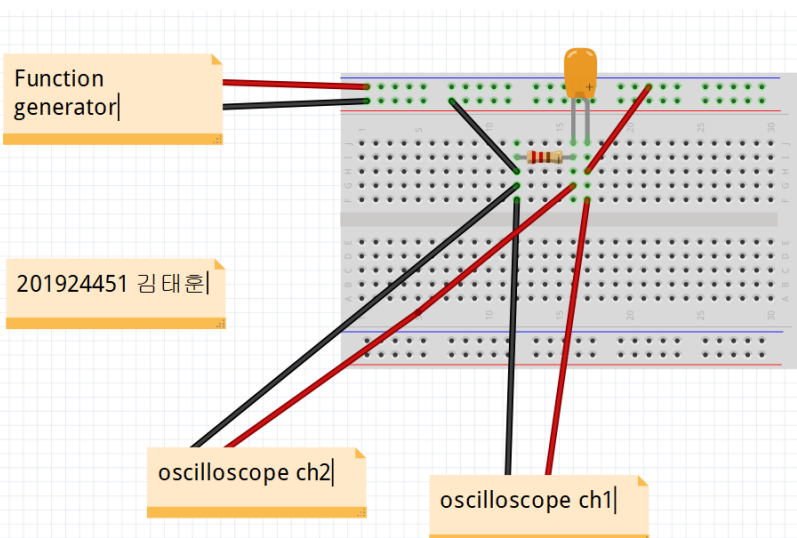
(3) R-C 회로

- ①함수 발생기를 사용하여 그림1과 같이 회로를 연결한다.
- ②함수 발생기의 진동수를 100Hz에 고정시키고 인가 기전력 ϵ 를 0V부터 5V까지 1V 간격으로 바꾸면서 회로의 전류를 측정한다.
- ③전류와 기전력과의 관계 그래프를 그리고 기울기를 구한다. 회로의 임피던스를 이론적으로 계산하고 구한 기울기와 비교한다.
- ④인가 기전력을 5V로 유지하고 진동수를 100Hz부터 500Hz까지 100Hz 간격으로 바꾸면서 전류를 측정한다.
- ⑤진동수와 전류의 관계 그래프를 그린다.
- ⑥그림4와 같이 오실로스코프와 함수 발생기를 회로에 연결한다. 연결을 할 때 함수 발생기와 오실로스코프의 입출력선의 검은색 클립은 모두 직접 연결이 되도록 해야한다.
- ⑦인가 기전력을 5V로 유지하고 진동수를 100Hz부터 500Hz까지 100Hz 간격으로 바꾸면서 인가한 기전력 ϵ 와 저항 양단의 전위차 v_R 의 위상 차이를 오실로스코프로부터 읽고 식

$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\omega RC}\right)$$

으로부터 계산한 위상 상수와 비교한다.

- ⑧진동수와 전류의 관계 그래프를 그리고 기울기를 구한다.



<그림4 : 오실로스코프를 사용한 위상차 관측법. 함수 발생기와 오실로스코프 입출력선 클립의 색에 유의해야 한다.>

5. 측정 결과

(1) R 회로

직류 실험

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$

$\varepsilon(V)$	$I(mA)$	$I_{이론}(mA)$
0	0	0
1	0.68	2/3 (=0.6667)
2	1.41	4/3 (=1.3333)
3	2.04	2
4	2.71	8/3 (=2.6667)
5	3.37	10/3 (=3.3333)

<표1 : R 회로 직류 실험(그림3-a)에서 전압과 회로의 전류의 측정값과 이론값>

교류 실험

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $f=100Hz$

$\varepsilon_{ac}(V)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac이론}(mA)$
0	0	0
1	0.62	2/3 (=0.6667)
2	1.28	4/3 (=1.3333)
3	1.92	2
4	2.57	8/3 (=2.6667)
5	3.22	10/3 (=3.3333)

<표2 : R 회로 교류 실험(그림3-b)에서 전압과 회로의 전류의 측정값과 이론값>

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $\varepsilon_{ac}=5V$

$f(Hz)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac이론}(mA)$
100	3.2	10/3 (=3.3333)
200	3.2	10/3 (=3.3333)
300	3.2	10/3 (=3.3333)
400	3.2	10/3 (=3.3333)
500	3.2	10/3 (=3.3333)

<표3 : R 회로 교류 실험(그림3-b)에서 진동수와 회로의 전류의 측정값과 이론값>

(2) C 회로

직류 실험

$$C = 1\mu F$$

$\varepsilon(V)$	$I(mA)$	$I_{이론}(mA)$
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0

<표4 : C 회로 직류 실험(그림3-c)에서 전압과 회로의 전류의 측정값과 이론값>

교류 실험

$$C = 1\mu F \quad f = 100Hz$$

$\varepsilon_{ac}(V)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac이론}(mA)$
0	0	0
1	0.62	0.6283
2	1.25	1.2566
3	1.85	1.885
4	2.49	2.5133
5	3.10	3.1416

<표5 : C 회로 교류 실험(그림3-d)에서 전압과 회로의 전류의 측정값과 이론값>

$$C = 1\mu F \quad \varepsilon_{ac} = 5V$$

$f(Hz)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac이론}(mA)$
100	3.10	3.1416
200	6.17	6.2832
300	9.21	9.4248
400	12.19	12.5664
500	15.10	15.708

<표6 : C 회로 교류 실험(그림3-d)에서 진동수와 회로의 전류의 측정값과 이론값>

(3) R-C 회로

교류 실험

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $C = 1\mu F$ $f=100Hz$

$\varepsilon_{ac}(V)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac\text{이론}}(mA)$
0	0	0
1	0.457	0.4572
2	0.900	0.9145
3	1.312	1.3717
4	1.756	1.819
5	2.26	2.2862

<표7 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 전압과 회로의 전류의 측정값과 이론값>

$$Z=2.188k\Omega$$

$$Z_{\text{이론}}=2.187k\Omega$$

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $C = 1\mu F$ $\varepsilon_{ac}=5V$

$f(Hz)$	$I_{ac}(mA)$	$Z(k\Omega)$	$Z_{\text{이론}}(k\Omega)$	$I_{ac\text{이론}}(mA)$
100	2.26	2.212	2.187	2.2862
200	2.89	1.730	1.698	2.9446
300	3.07	1.628	1.591	3.1416
400	3.15	1.587	1.551	3.2219
500	3.18	1.572	1.553	3.2607

<표8 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 진동수와 회로의 전류 및 임피던스의 측정값과 이론값>

오실로스코프로 위상 상수 측정

$f(Hz)$	TIME/DIV	칸 수(한 주기)	칸 수(위상차)	$\Phi(^{\circ})$	$\Phi_{\text{이론}}(^{\circ})$
100	1ms	10	0.6	21.6	44.9692
200	500 μs	10	1	36	27.9467
300	500 μs	6.6	0.4	21.8	19.4775
400	500 μs	5	0.2	14.4	14.8361
500	250 μs	8	0.2	9	11.9808

<표9 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 진동수와 위상차의 측정값과 이론값>

6. 실험 결과

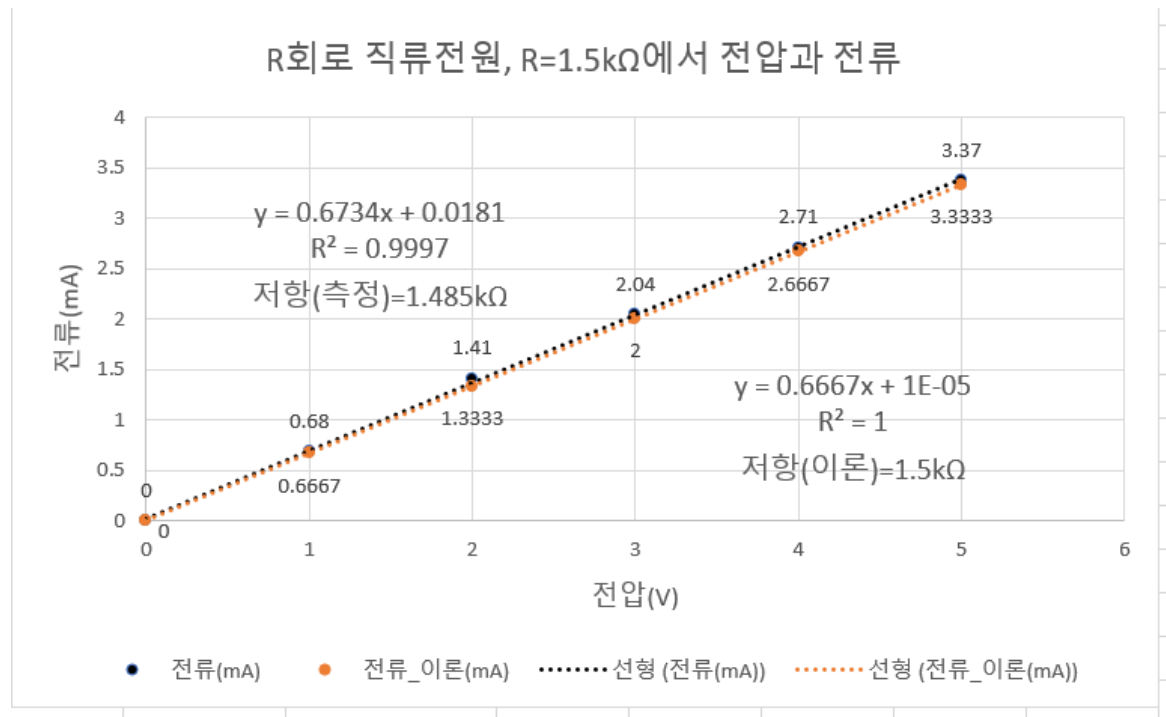
(1) R 회로

직류 실험

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$

$\varepsilon(V)$	$I(mA)$	$I_{이론}(mA)$	이론 대비 측정값
0	0	0	0%
1	0.68	0.6667	1.99%
2	1.41	1.3333	5.75%
3	2.04	2	2.00%
4	2.71	2.6667	1.62%
5	3.37	3.3333	1.10%

<표10 : R 회로 직류 실험(그림3-a)에서 전압과 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>



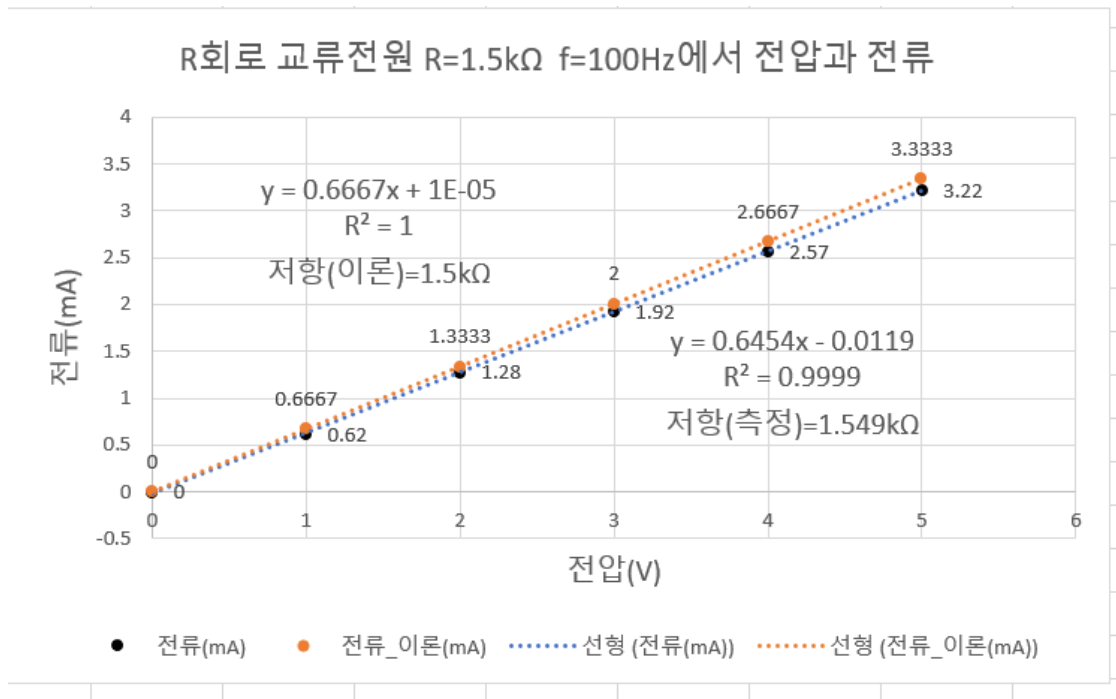
<그림5 : R회로 직류전원, $R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ 에서 전압과 전류. 여기서 저항 이론값은 $1.5k\Omega$, 저항 측정값은 $1.485k\Omega$ 임을 알 수 있다.>

교류 실험

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $f=100\text{Hz}$

$\varepsilon_{ac}(V)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac\text{이론}}(mA)$	이론 대비 측정값
0	0	0	0%
1	0.62	0.6667	-7.00%
2	1.28	1.3333	-4.00%
3	1.92	2	-4.00%
4	2.57	2.6667	-3.63%
5	3.22	3.3333	-3.40%

<표11 : R 회로 교류 실험(그림3-b)에서 전압과 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>

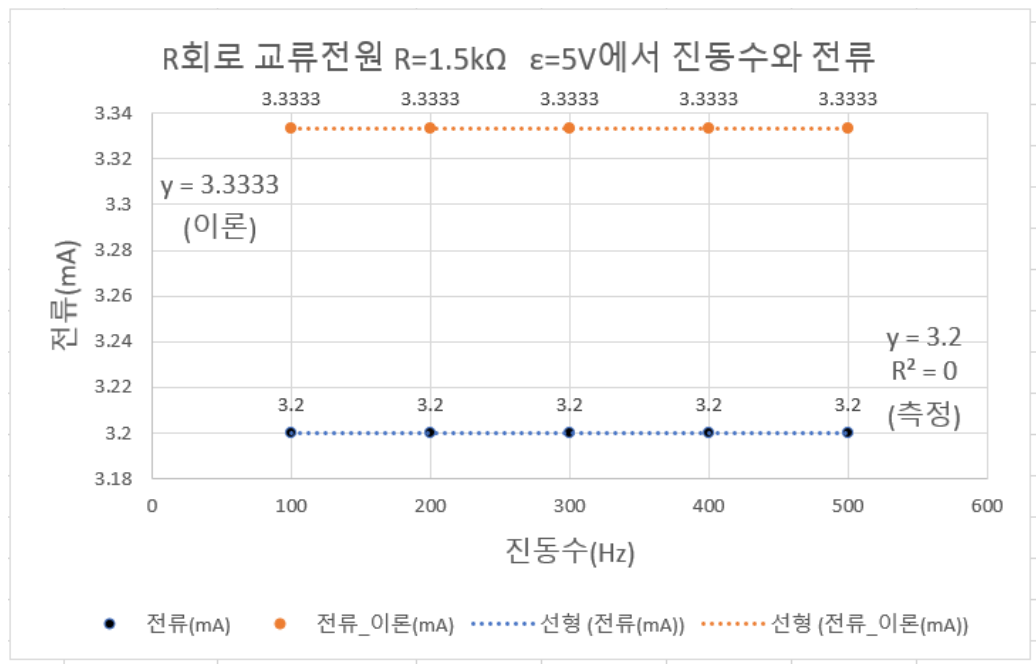


<그림6 : R회로 교류전원, $R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $f=100\text{Hz}$ 에서 전압과 전류. 여기서 저항 이론값은 $1.5k\Omega$, 저항 측정값은 $1.549k\Omega$ 임을 알 수 있다.>

$R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$ $\varepsilon_{ac}=5V$

$f(\text{Hz})$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac\text{이론}}(mA)$	이론 대비 측정값
100	3.2	3.3333	-4.00%
200	3.2	3.3333	-4.00%
300	3.2	3.3333	-4.00%
400	3.2	3.3333	-4.00%
500	3.2	3.3333	-4.00%

<표11 : R 회로 교류 실험(그림3-b)에서 진동수와 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>



<그림7 : R회로 교류전원, $R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $\varepsilon_{ac}=5V$ 에서 진동수와 전류>

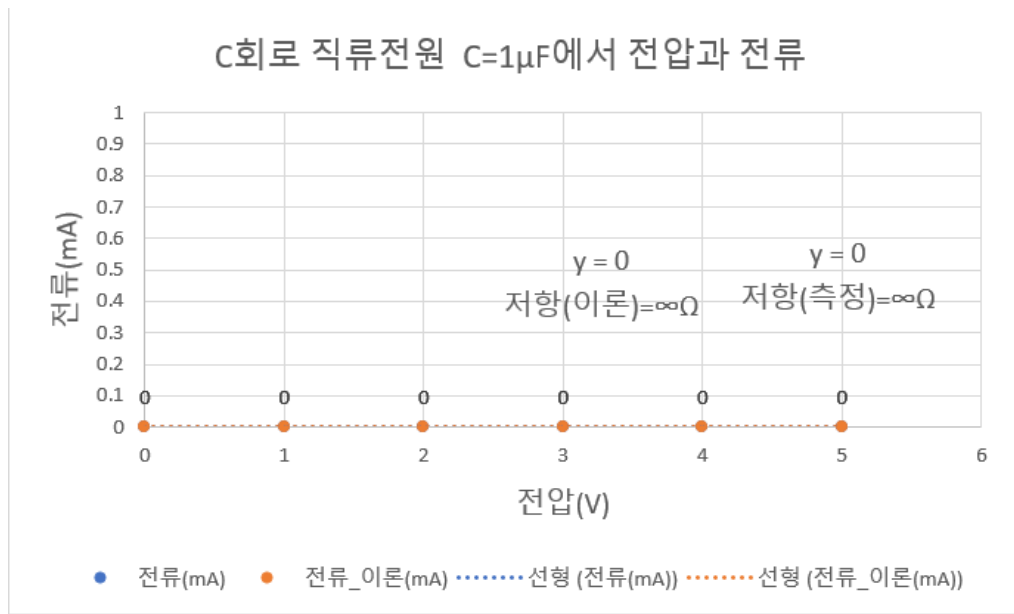
(2) C 회로

직류 실험

$$C = 1\mu F$$

$\varepsilon(V)$	$I(mA)$	$I_{이론}(mA)$	이론 대비 측정값
0	0	0	0%
1	0	0	0%
2	0	0	0%
3	0	0	0%
4	0	0	0%
5	0	0	0%

<표12 : C 회로 직류 실험(그림3-c)에서 전압과 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>



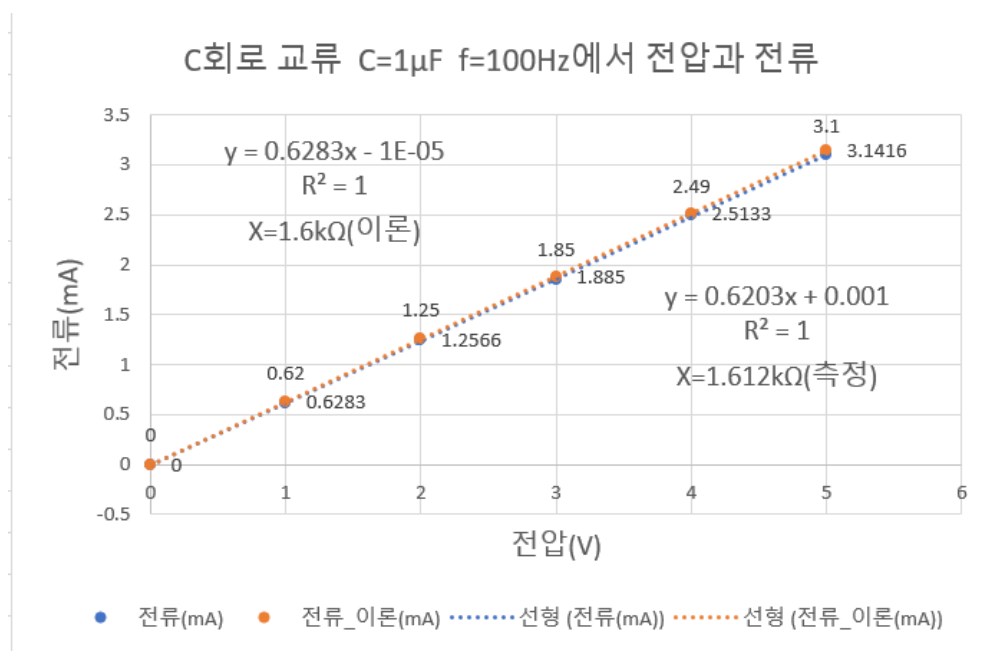
<그림8 : C회로 직류전원, $C=1\mu F$ 에서 전압과 전류>

교류 실험

$C = 1\mu F$ $f = 100\text{Hz}$

$\varepsilon_{ac}(V)$	$I_{ac}(mA)$	$I_{ac\text{이론}}(mA)$	이론 대비 측정값
0	0	0	0%
1	0.62	0.6283	-1.32%
2	1.25	1.2566	-0.53%
3	1.85	1.885	-1.86%
4	2.49	2.5133	-0.93%
5	3.1	3.1416	-1.32%

<표13 : C 회로 교류 실험(그림3-d)에서 전압과 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>

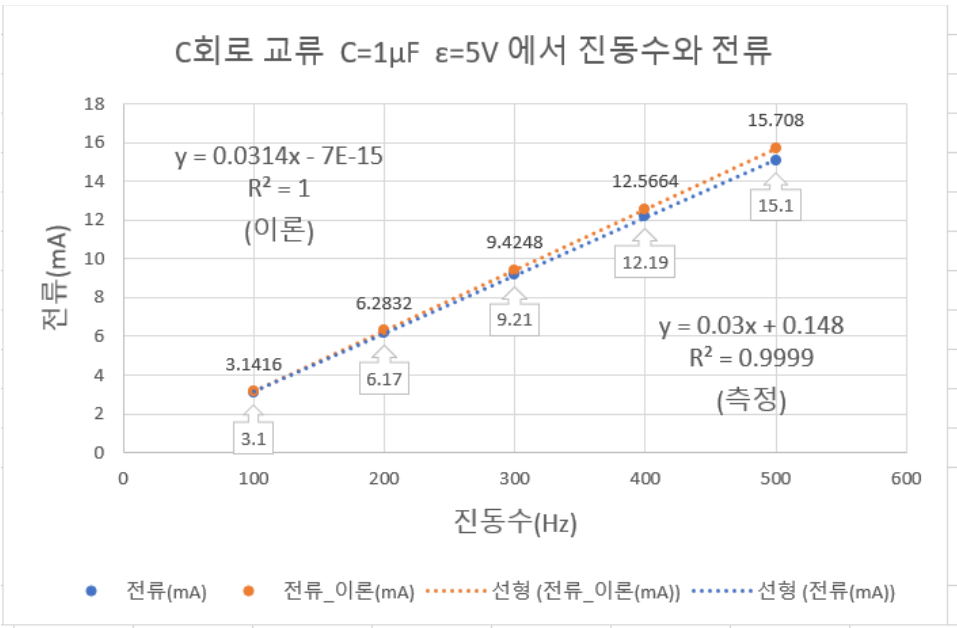


<그림9 : C회로 교류 전원, $C=1\mu F$, $f=100\text{Hz}$ 에서 전압과 전류. 여기서 용량 리액턴스를 구하면 리액턴스 이론값은 $1.6\text{k}\Omega$, 측정값은 $1.612\text{k}\Omega$ 이다.>

$$C = 1\mu F \qquad \varepsilon_{ac} = 5V$$

$f(\text{Hz})$	$I_{ac}(\text{mA})$	$I_{ac\text{이론}}(\text{mA})$	이론 대비 측정값
100	3.1	3.1416	-1.32%
200	6.17	6.2832	-1.80%
300	9.21	9.4248	-2.28%
400	12.19	12.5664	-3.00%
500	15.1	15.708	-3.87%

<표14 : C 회로 교류 실험(그림3-d)에서 진동수와 회로의 전류의 이론값 대비 측정값>



<그림10 : C회로 교류 전원, $C=1\mu F$, $\varepsilon_{ac}=5V$ 에서 전압과 전류>

(3) R-C 회로

교류 실험

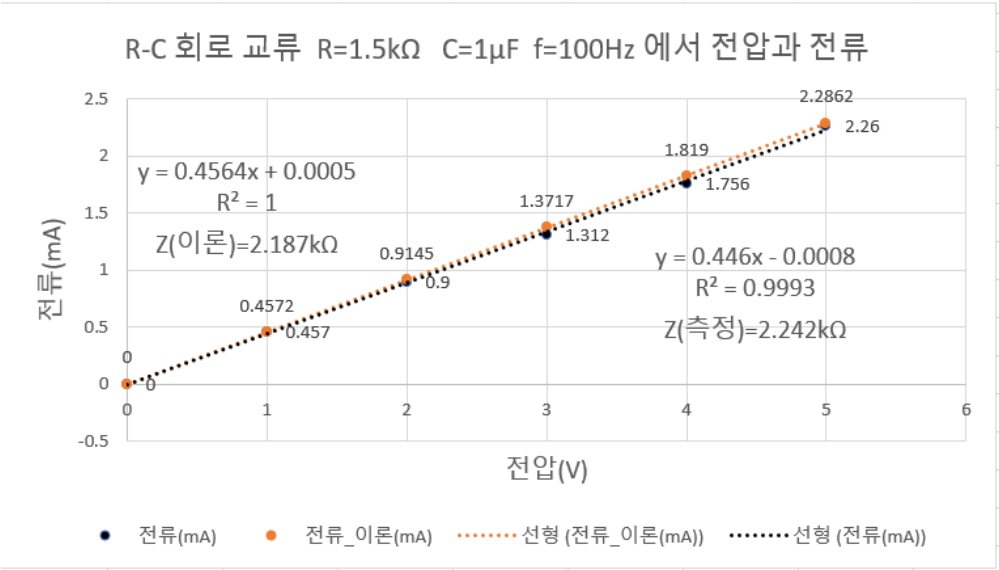
$$R=1.5\text{k}\Omega \pm 1.5\% \qquad C = 1\mu F \qquad f=100\text{Hz}$$

$\varepsilon_{ac}(\text{V})$	$I_{ac}(\text{mA})$	$I_{ac\text{이론}}(\text{mA})$	이론 대비 측정값
0	0	0	0%
1	0.457	0.4572	-0.04%
2	0.9	0.9145	-1.59%
3	1.312	1.3717	-4.35%
4	1.756	1.819	-3.46%
5	2.26	2.2862	-1.15%

<표15 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 전압과 회로의 전류의 이론값과 측정값>

$$Z=2.242\text{k}\Omega$$

$$Z_{\text{이론}} = 2.187k\Omega$$

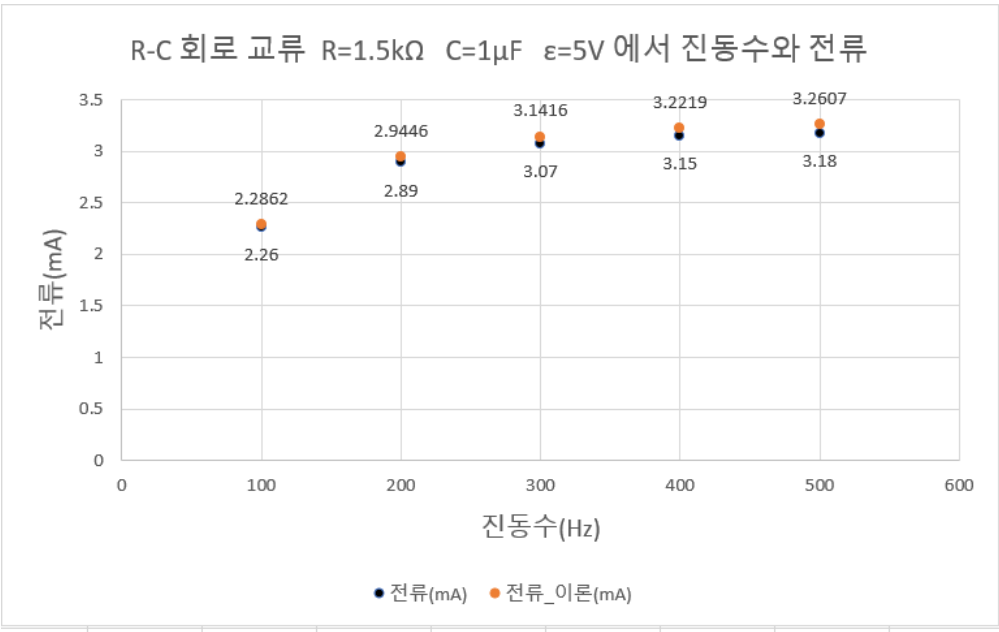


<그림11 : R-C회로 교류 전원, R=1.5kΩ±1.5%, C=1μF, f=100Hz에서 전압과 전류. 여기서 임피던스를 구하면 임피던스 이론값은 2.187kΩ, 측정값은 2.242kΩ이다.>

$$R=1.5k\Omega \pm 1.5\% \quad C = 1\mu F \quad \varepsilon_{ac}=5V$$

f (Hz)	I_{ac} (mA)	Z (kΩ)	$Z_{\text{이론}}$ (kΩ)	$I_{ac\text{이론}}$ (mA)	이론 대비 측정값(임피 던스)	이론 대비 측정값(전류)
100	2.26	2.212	2.187	2.2862	1.14%	-1.15%
200	2.89	1.73	1.698	2.9446	1.88%	-1.85%
300	3.07	1.628	1.591	3.1416	2.33%	-2.28%
400	3.15	1.587	1.551	3.2219	2.32%	-2.23%
500	3.18	1.572	1.553	3.2607	1.22%	-2.47%

<표16 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 진동수와 회로의 전류 및 임피던스의 이론값 대비 측정값>



<그림12 : R-C회로 교류 전원, R=1.5kΩ±1.5%, C=1μF, f=100Hz에서 진동수와 전류>

오실로스코프로 위상 상수 측정

f(Hz)	TIME/DIV	칸 수(한 주기)	칸수(위상차)	$\phi(^{\circ})$	$\phi_{이론}(^{\circ})$	이론 대비 측정값
100	1ms	10	0.6	21.6	44.9692	-51.97%
200	500μs	10	1	36	27.9467	28.82%
300	500μs	6.6	0.4	21.8	19.4775	11.92%
400	500μs	5	0.2	14.4	14.8361	-2.94%
500	250μs	8	0.2	9	11.9808	-24.88%

<표17 : R-C 회로 교류 실험(그림1)에서 진동수와 위상차의 이론값 대비 측정값>

7. 결과에 대한 논의

(1) R 회로

①직류 실험(독립변수 = 전압)

그림5에서 알 수 있듯, 전류 측정값 그래프의 추세선은 0.6734x+0.0181이고, 전류이론 값 그래프의 추세선은 0.6667x+1E-05이다. 여기서 기울기는 (전류/전압)이므로, (전압/전류)를 구하면 각각 1.485kΩ, 1.5kΩ이다. 이론 저항값 대비 측정된 저항값이 -1% 차이나므로, 저항에 표시된 오차(±5%)안에 들며, 앞서 실험원리에서 논의한 옴의 법칙

$$\Delta V = IR$$

이 성립함을 알 수 있다.

②교류 실험 - R=1.5kΩ±1.5% f=100Hz (독립변수 = 전압)

그림6에서 알 수 있듯, 전류 측정값 그래프의 추세선은 0.6454x-0.0119이고, 전류이론 값 그래프 추세선은 0.6667x+1E-05이다. 여기서 기울기는 (전류/전압)이므로, (전압/전류)를 구하면 각각 1.549kΩ, 1.5kΩ이다. 이론 저항값 대비 측정된 저항값이 3.267%차이난다.

그림6에서 전류가 커질수록, 이론값과 측정값의 차이는 점점 더 벌어지는 것을 알 수 있는데, 이는 내부 저항(내부 임피던스)가 존재한다는 뜻인데,

$$\epsilon_m = I\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2} \text{ 이여서}$$

$$I = \frac{\epsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}} \text{ 이므로}$$

전압이 증가할수록 그에 비례하여 작아지기 때문이다.

1.549kΩ과 1.5kΩ은 49Ω이 차이난는데, 임피던스 식을 활용하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$1549\Omega = \sqrt{(R + 1500)^2 + (\frac{1}{200\pi C})^2} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{200\pi C})^2 + 2 \times 1500R + 1500^2} = \sqrt{2500 + 2 \times 1500R + 1500^2}$$

여기서 함수 발생기에 표시된 내부 임피던스가 50Ω임을 사용하여 $\sqrt{R^2 + (\frac{1}{200\pi C})^2} = 50$ 으로 바꾸었다.

위 식을 풀면 R은 48.967Ω 이 나오고, $\sqrt{R^2 + (\frac{1}{200\pi C})^2} = 50$ 에 대입하면 $C = 0.0001574F = 157.4\mu F$

즉 함수 발생기 내부 저항 48.967Ω , 내부 축전기 $157.4\mu C$ 에 의해 오차가 발생함을 알 수 있다.
따라서 오차를 감안하면 실험원리에서 논의한 옴의 법칙

$$\Delta V = IR$$

이 성립함을 알 수 있다.

③교류 실험 - $R = 1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $\varepsilon_{ac} = 5V$ (독립변수 = 진동수)

그림7에서 알 수 있듯이, 진동수에 변화없이 전류가 일정한 것을 알 수 있으며 $\Delta V = IR$ 이 성립함과 R회로에 교류 전원을 연결했을 때 전류가 진동수의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

(2) C 회로

①직류 실험(독립변수 = 전압)

그림8에서 1V~5V 모두 전류가 0이므로, 직류에서 축전기는 저항이 ∞ 인 끊어진 도선으로 생각할 수 있다.

②교류 실험 - $C = 1\mu F$, $f = 100Hz$ (독립변수=전압)

그림9에서 알 수 있듯, (전류/전압)의 이론값은 $y = 0.6283x - 1E-05$ 이고 측정값은 $0.6203x + 0.001$ 이다.
따라서 유도 리액턴스는 이론값은 $1.6k\Omega$, 측정값은 $1.612k\Omega$ 이다.

일반적으로 축전기의 전기 용량의 오차는 7%인데, 이는 실험에서 사용한 축전기의 전기 용량의 범위가

$$0.93\mu F < C < 1.07\mu F$$

이다.

따라서 유도 리액턴스의 범위는($X_C = \frac{1}{\omega C}$ 임을 이용)

$$1487.43\Omega \leq X_C \leq 1711.34\Omega$$

와 같고, 실험결과값이 오차안에 들어가므로, 유도 리액턴스는 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 임을 알 수 있다.

②교류 실험 - $C = 1\mu F$, $\varepsilon_{ac} = 5V$ (독립변수=진동수)

그림10에서 알 수 있듯, (전류/진동수)의 이론값은 $0.0314x - 7E-15$ 이고, 측정값은 $0.03x + 0.148$ 이다.

실험원리에서 논의한 $V_C = \frac{I}{\omega C}$ 식에서 $\frac{I}{f} = 2\pi C V_C$ 인데, 전기 용량의 오차가 $\pm 7\%$ 이면

$$0.93\mu F < C < 1.07\mu F \text{이고 이는 } \frac{I(mA)}{f} = 2\pi C V_C \text{의 범위가}$$

$$0.0292 < 2\pi C V_C < 0.0336$$

이 된다는 것으로 실험 결과가 오차범위안에 든다.

이 실험으로, 용량 리액턴스는 진동수에 반비례함을 알 수 있다.

(3) R-C 회로

①교류 실험($R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $C=1\mu F$, $f=100Hz$)

그림11에서 알 수 있듯, (전류/전압)의 이론값은 $y=0.4564x+0.0005$ 이고 측정값은 $y=0.446x-0.0008$ 이다.

따라서 임피던스의 이론값은 $2.187k\Omega$, 측정값은 $2.242k\Omega$ 이다.

앞서 R회로 직류실험에서 측정한 저항값이 $1.485k\Omega$ 임을 알아냈다. 또 전기용량의 범위는 $0.93\mu F < C < 1.07\mu F$

이므로, 임피던스의 오차범위는 다음과 같다. ($Z=\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}$ 임을 이용)

$$2101.826\Omega < Z < 2265.816\Omega$$

측정값이 오차범위 안에 든다.

이 실험으로, 임피던스가 $Z=\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}$ 임을 알 수 있다.

②교류 실험($R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $C=1\mu F$, $\varepsilon_{ac}=5V$)

$\varepsilon_m = I\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}$ 에서 $(\varepsilon_m)^2 = I^2 R^2 + \frac{I^2}{4\pi^2 f^2 C^2}$, $\therefore \frac{I}{f} = 2\pi C\sqrt{V^2 - I^2 R^2}$ 인데 전기용량 C의 오차범위가 7%인데 표16에서 알 수 있듯 이론값 대비 측정값이 7%미만이다.

이 실험에서 임피던스는 진동수가 커지면 작아짐을 알 수 있는데, 진동수가 커질수록 전류가 상승하기 때문이다.

③오실로스코프로 위상 상수 측정($R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $C=1\mu F$, $\varepsilon_{ac}=5V$)

이론적으로 $I = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}}$ 이고, 따라서 저항에 걸리는 전압(진폭)과 축전기에 걸리는 전압(진폭)은

각각

$$V_R = R \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}}$$
$$V_C = \frac{1}{\omega C} \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2+(\frac{1}{\omega C})^2}}$$

따라서 100Hz일 때 계산하면 다음과 같다. ($R=1.5k\Omega \pm 1.5\%$, $C=1\mu F$, $\varepsilon_{ac}=5V$)

$$V_R = 3.43V$$

$$V_C = 3.64V$$

그러나 100Hz일 때를 측정할 때 두 전압차가 확연히 드러나 합선 등의 문제가 있었던 것으로 보인다 (나머지 200Hz~500Hz는 문제없이 잘 측정되었다.).

실험원리에서 위상차가

$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\omega RC}\right)$$

라고 하였다.

또 축전기 전기 용량 범위가

$$0.93\mu F < C < 1.07\mu F$$

이고

측정한 저항값 $R = 1485\Omega$ 임으로 위상차 식에 대입하여 오차 범위를 구하면 다음과 같다.

진동수(Hz)	$\phi(^{\circ})$	범위1($^{\circ}$)(최댓값)	범위2($^{\circ}$)(최솟값)
100	21.6	49.1	45.0
200	36	30.0	26.6
300	21.8	21.0	18.5
400	14.4	16.1	14.1
500	9	13.0	11.3

<표18 : 위상차의 최댓값과 최솟값>

100Hz를 제외하면 어느정도 맞다는 것을 알 수 있다. 그러나 위상차 측정을 오실로스코프를 보고 눈으로 칸 수를 측정하였기 때문에 범위안에 들어가지 않는 것도 많다.

오차를 고려하면

$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\omega RC}\right)$$

를 확인할 수 있다.

8. 결론

R회로, C회로에 직류, 교류전원을 연결하여 전압과 전류와의 관계, 진동수와 전류와의 관계를 측정하였으며 R-C회로에 교류 전원을 연결하여 전압과 전류와의 관계, 진동수와 전류와의 관계, 위상차를 측정하였다. 실험 오차의 원인은 함수 발생기의 내부 저항(또는 임피던스), 저항의 오차($\pm 5\%$), 축전기의 오차($\pm 7\%$)이며 오차를 고려하면 실험 원리에서 논의한 식

$$V_R = RI$$

$$V_C = \frac{I}{\omega C}$$

$$\epsilon_m = I\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{V_C}{V_R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\omega RC}\right)$$

임을 알 수 있었다.

9. 참고 문헌

- (1)디바이스마트, <http://www.devicemart.co.kr/goods/view?no=4217>
- (2)일반물리학실험, 5판, 부산대학교 물리학교재편찬위원회, 청문각,2019
- (3)대학물리학,4판, Randall D.Knight(심경무 외 옮김),청문각,2019
- (4)완자 고등 물리 2, 비상교육 편집부, 비상교육, 2013
- (5)부산대학교 일반물리학실험실, <https://gplab.pusan.ac.kr/gplab/index..do>
- (6)연세대학교 일반물리학실험실, <http://phylab.yonsei.ac.kr/>
- (7)xl380l manual,
<https://usefulldata.com/manual-guide-multimeter-xl830l-with-pdf-instructions/>