

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

# 9. RLC 교류 회로



일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

**실험 목표**

- RLC 교류 회로를 구성하는 각 소자의 특성을 이해한다.
- 교류 회로에서의 전압과 전류 사이의 위상에 대한 개념을 이해하고, 임피던스를 계산한다.

**기본 이론**

**(1) 교류 회로 (Alternating-Current Circuits)**

교류 회로는 회로 요소와 시간에 따라 사인형으로 변하는 교류 전압  $\Delta v$ 으로 이루어진다.

$$\Delta v = \Delta V_{\max} \sin \omega t \quad (\Delta V_{\max} : \text{전압 진폭}, \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} : \text{각진동수}, t : \text{시간})$$

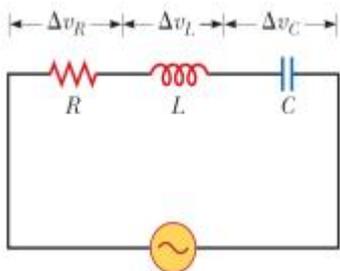
**(2) RLC 직렬 회로 (RLC series circuit)**

RLC 직렬 회로는 교류 전원과 함께 저항기, 인덕터, 그리고 축전기가 직렬 연결되어 있는 회로를 말한다. (직렬과 직류, 병렬과 교류는 완전히 다른 개념을 나타내는 용어임에 주의하자!)

인가 전압이 사인형으로 변해서  $\Delta v = \Delta V_{\max} \sin \omega t$ 라고 하자. 저항기 외에 인덕터와 축전기가 포함된 RLC 회로에서의 전류는 전압과 같은 위상에 있지 않을 것이라고 예상되므로

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - \phi)$$

라 하자. 이 때  $\phi$ 는 전류와 전압 사이의 위상각(phase angle)이다.



개별 회로 요소 양단에서의 순간 전압을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t = \Delta V_R \sin \omega t$$

$$\Delta v_L = I_{\max} X_L \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \Delta V_L \cos \omega t$$

$$\Delta v_C = I_{\max} X_C \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\Delta V_C \cos \omega t$$

이들 세 전압의 합은 교류 전원에서 공급하는 순간 전압  $\Delta v$ 와 같아야 한다. 그러나 세 전압은 전류에 대하여 각각 다른 위상 관계를 가지기 때문에 간단한 대수합  $\Delta v = \Delta v_R + \Delta v_L + \Delta v_C$ 로 계산할 수 없다. 따라서 회전하는 벡터인 위상자를 이용하는데, 각 전압 위상자간 벡터합을 이용해 세 전압의 합을 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\max} &= \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} = \sqrt{(I_{\max} R)^2 + (I_{\max} X_L - I_{\max} X_C)^2} \\ &= I_{\max} \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \end{aligned}$$

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

그러므로 최대 전류  $I_{\max}$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

이 식에서 분모는 **저항과 같은 역할을** 하므로 회로의 **임피던스(impedance)**  $Z$ 라 하며 저항과 같이 단위는 옴(ohm)이다.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{[임피던스 관계식]}, \quad I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{Z}$$

임피던스와 전류는 저항, 유도 계수, 전기용량과 진동수에 의존한다.

위상각  $\phi$ 는 직각삼각형에 의해  $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta V_L - \Delta V_C}{\Delta V_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{I_{\max}X_L - I_{\max}X_C}{I_{\max}R}\right)$  **이므로**

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) \quad \text{[위상각 관계식]}$$

### (3) RMS 전류, RMS 전압

교류 회로에서 중요한 개념 중 하나는 **rms 전류(rms current)**이다. rms는 root-mean-square 즉 제곱-평균-제곱근을 나타낸다. 즉 rms 전류는 전류의 제곱-평균-제곱근을 말한다. 교류 회로에서는 직류와 달리 한 주기 동안 어느 한 순간에서만 전류가 최대값  $I_{\max}$ 를 가진다. 따라서 rms 전류를 이용하여 전류의 시간에 대한 평균값을 이용하면 교류 회로의 여러 상황에서 보다 실용적이다.

정의에 의해  $I_{rms} = \sqrt{(i)_{avg}^2} = \sqrt{(I_{\max}^2)_{avg}(\sin^2\omega t)_{avg}}$  이고,  $\sin^2\omega t$ 의 시간에 대한 평균값은  $\frac{1}{2}$ 이므로(반각공식),  $i^2$ 의 시간에 대한 평균값은  $\frac{1}{2}I_{\max}^2$ 이 된다. 즉 rms 전류에 대하여 정리하면

$$I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{[rms 전류식]}$$

마찬가지로 교류 전압도 같은 형태로 표현된다.

$$\Delta V_{rms} = \frac{\Delta V_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{[rms 전압식]}$$

이제 rms 전류와 rms 전압을 평균전력 식에 대입하면,

$$P_{avg} = \frac{1}{2}(\sqrt{2}I_{rms})(\sqrt{2}\Delta V_{rms})\cos\phi = I_{rms}\Delta V_{rms}\cos\phi$$

전력 인자  $\cos\phi = I_{\max}\frac{R}{\Delta V_{\max}} = \frac{R}{Z}$ 이고,  $\Delta V_{rms} = I_{rms}Z$  이므로

$$P_{avg} = I_{rms}^2 R = \frac{\Delta V_{rms}^2}{R} \quad \text{[평균전력 식]}$$

$\phi = 0$ 인 경우  $\cos\phi = 1$ , 즉 부하가 순수한 저항성일 때  $P_{avg} = I_s \Delta V_{rms}$ 이다.

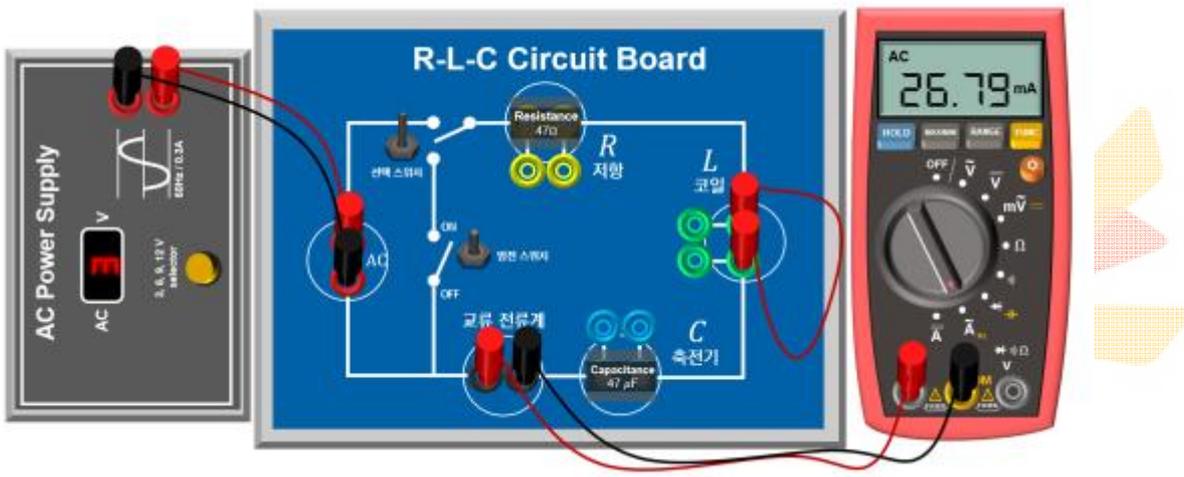
rms값을 사용하는 이유 중에 하나는, **교류 전류계와 전압계의 눈금은 rms 값을 읽도록 만들어졌기 때문**이다. 대부분의 멀티미터 또한 특별한 설정을 하지 않는 한 교류 전류 또는 전압의 rms값을 읽는다. **※ 이 실험에서 측정된 값들도 모두 rms값이기 때문에 각각 최대값을 논하려면  $\sqrt{2}$ 를 곱한 값을 사용해야 한다.**

실험 방법

[실험1] R-C회로

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
- (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압  $\Delta V_{R,rms}$  을 기록한다. 다시 축전기 양단에 꽂고 축전기에 걸리는 전압  $\Delta V_{C,rms}$  을 기록한다.
- (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 꽂아 회로에 흐르는 전류  $I_{rms}$  를 측정한다.
- (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
- (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각  $\phi$  을 비교한다.  
전원  $\Delta V_{max} = 3V$ , 진동수  $f = 60Hz$



실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)

$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{C,rms}$ (V)	$I_{rms}$ (mA)	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_C$ (V)	$\Delta V_{max}$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )

이론값

$X_C$ ( $\Omega$ )	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_C$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	위상각 $\phi$ 간 오차율 (%)

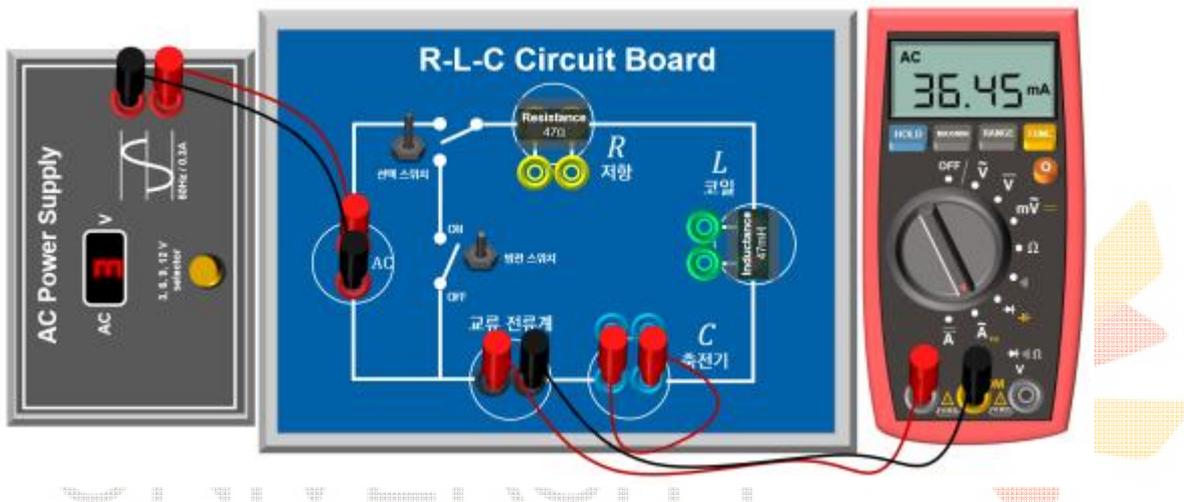
$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{-X_C}{R} \right)$$

※ 위상각이 음수일 경우, 오차를 구할 때 각각의 절댓값으로 비교한다.

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

[실험2] R-L회로

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
  - (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압  $\Delta V_{R,rms}$  을 기록한다. 다시 코일 양단에 꽂고 코일에 걸리는 전압  $\Delta V_{L,rms}$  을 기록한다.
  - (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 쏘아 회로에 흐르는 전류  $I_{rms}$  를 측정한다.
  - (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
  - (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각  $\phi$  을 비교한다.
- 전원  $\Delta V_{max} = 3V$ , 진동수  $f = 60Hz$



실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)								
$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{L,rms}$ (V)	$I_{rms}$ (mA)	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_L$ (V)	$\Delta V_{max}$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )

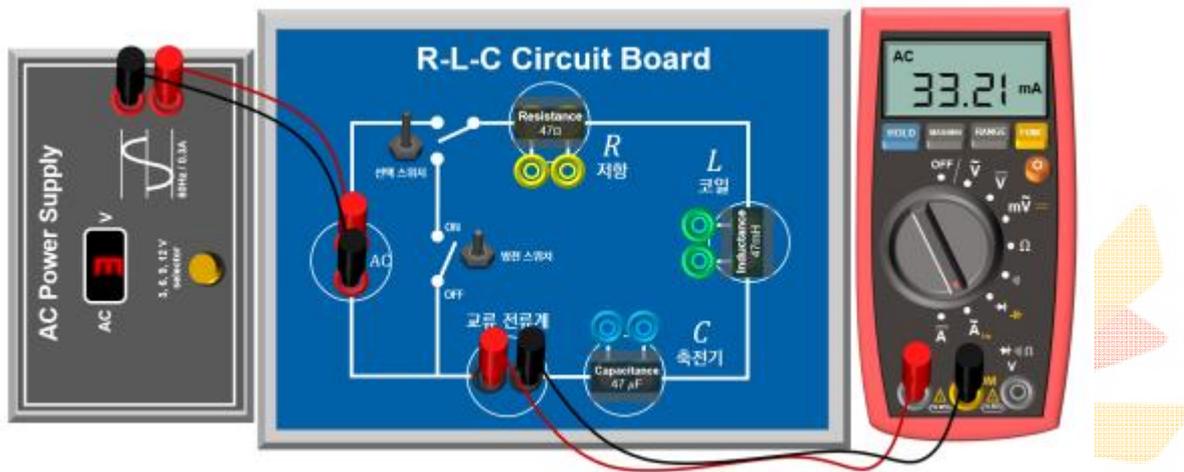
  

이론값						위상각 $\phi$ 간 오차율 (%)
$X_L$ ( $\Omega$ )	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_L$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	

$$\ast \phi = \tan^{-1} \left( \frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{X_L}{R} \right)$$

**[실험3] R-L-C회로**

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
  - (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압  $\Delta V_{R,rms}$  을 기록한다. 코일과 축전기 양단에 걸리는 전압  $\Delta V_{L,rms}$ ,  $\Delta V_{C,rms}$  을 각각 기록한다.
  - (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 꽂아 회로에 흐르는 전류  $I_{rms}$  를 측정한다.
  - (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
  - (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각  $\phi$  을 비교한다.
- 전원  $\Delta V_{max} = 3V$ , 진동수  $f = 60Hz$



실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)										
$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{L,rms}$ (V)	$\Delta V_{C,rms}$ (V)	$I_{rms}$ (mA)	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_L$ (V)	$\Delta V_C$ (V)	$\Delta V_{max}$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )

이론값								위상각 $\phi$ 간 오차율 (%)
$X_L$ ( $\Omega$ )	$X_C$ ( $\Omega$ )	$\Delta V_R$ (V)	$\Delta V_L$ (V)	$\Delta V_C$ (V)	$I$ (mA)	$Z$ ( $\Omega$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	

**주의사항**

1. 회로에 고전압을 인가하여 과전류가 흐르지 않도록 한다.
2. 전류계(멀티미터) 사용 시 적절한 범위를 설정하여 사용하도록 한다.