

## 쿨롱의 법칙

### 1. 목적

일정한 전하로 대전되어 있는 두 도체판 사이에 작용하는 힘을 측정하여 쿨롱의 법칙을 간접적으로 확인한다.

### 2. 이론

전기현상의 요인을 전하라고 부르며 전하는 질량과 같이 입자가 가지는 기본 속성 중의 하나이다. 전하와 전하 사이에 작용하는 힘으로 인해 나타나는 현상을 통틀어 전기현상이라 한다. 거리  $r$ 만큼 떨어져 있는 두 전하  $q_1, q_2$  사이에는

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

의 힘이 작용하며 이 표현식은 1785년 실험을 통하여 처음으로 이 식을 유도해 낸 쿨롱(Coulomb)을 기념하여 이를 쿨롱의 법칙이라 부른다. 이 식의 형태는 놀랍게도 두 질량  $m_1, m_2$ 가 거리  $r$ 만큼 떨어져 있을 때 작용하는 뉴턴의 중력 법칙과 표현형태가 똑같다.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

즉, 정전기력도 중력과 마찬가지로 두 질점 사이의 거리  $r$ 의 역제곱에 비례한다. 질량과 달리 전하는 양과 음의 두 종류가 존재하여 두 전하의 부호에 따라 정전기력은 인력 또는 척력으로 작용할 수 있다. 전하  $q_1, q_2$ 의 부호가 같을 때 힘은 두 전하를 서로 미는 방향으로 작용하고, 부호가 다를 때는 서로를 끌어당기는 방향으로 작용한다. 중력과 정전기력 모두 식 앞에 (단위계에 따라 그 값이 바뀔 수 있는) 보편상수가 곱해져 있어서 중력의 경우에는 중력상수  $G$ 가 붙고, 정전기력의 경우에는 유전상수  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$ 가 붙어서  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 의 값을 갖는다.

본 실험에서는 전하 사이에 작용하는 쿨롱힘을 측정하기 위해서 평행판 축전기를 사용한다. 일반적으로 축전기는 서로 떨어져 있거나 사이에 부도체가 끼워져 있는 두 도체로 이루어진다. 이 두 도체를 극판이라고 부르며, 평행판 축전기의 경우는 거리가  $d$ 만큼 떨어져 있는 면적  $A$ 의 크기가 같은 두 평행 극판으로 구성되어 있다. 두 극판 사이에 전위차  $V$ 를 가하면 극판들은 각각 크기가 같고 부호가 반대인 전하,  $+q, -q$ 로 대전된다. 이 때 축전기에 대전된 전하  $q$ 와 전위차  $V$ 사이에는 선형 관계

$$q = CV \quad (3)$$

가 성립하고, 극판의 기하학적 모양과 두 도체 사이에 끼인 물질의 유전율에 따라 결정되는 비례상수  $C$ 를 축전기의 전기용량이라 부른다. 평행판 축전기의 전기용량은

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (4)$$

로 주어진다.

전원 장치에서 공급되는 전압이 양극판에 형성되면 양극판 사이에 전위차가 형성되어 양 극판의 마주 보는 면에는 각각  $+q$ ,  $-q$ 의 전하가 대전된다.  $q = CV$ 의 관계식으로부터 알 수 있듯이 전위차가 커질수록 더 많은 전하가 대전된다. 극판은 도체이므로 극판 내에서는 전위차가 없어 극판 위 모든 지점에서는 전기 전위가 똑같다. 그리고 극판에 전하가 고르게 분포한다. 따라서 두 극판 사이의 중간 영역에서의 전기장은 대체로 균일하다. 하지만 극판의 가장자리에서는 기하학적 모양에 기인하여 균일하지 않은 전하 분포가 발생할 수 있고, 이로 인해 전기장 또한 휘어진 모양을 한다. 평행판의 면적이 두 평행판 사이의 간격에 비해 매우 크면, 가장자리에서 발생하는 휘는 전기력선의 영향을 무시할 수 있다.

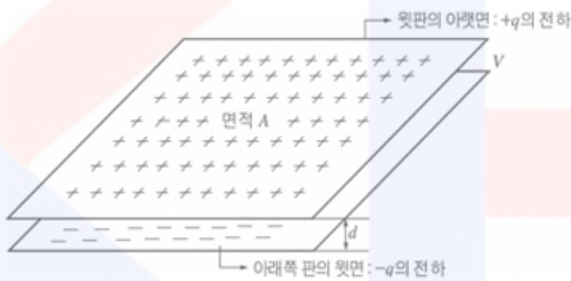


그림 1 평행판 축전기에 대전된 전하

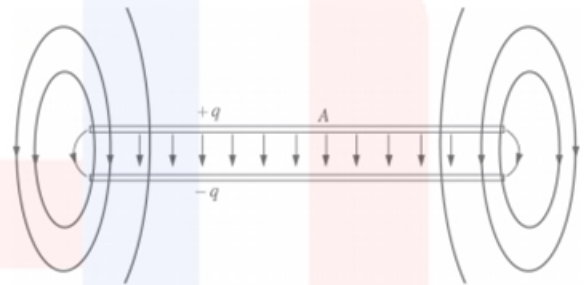


그림 2 극판의 모서리에서 전기력선이 휘는 모양

이제 평행판 축전기의 두 극판 사이에 작용하는 정전기력을 유도해보자. 전위차  $V$ 가 걸렸을 때 평행판 축전기 내에 저장된 총에너지는

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{A}{d} V^2 \quad (5)$$

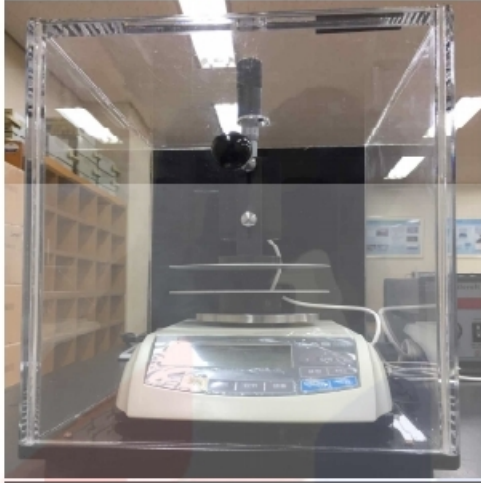
이다. 이를 다른 관점에서 보면, 애초에 각각  $+q$ ,  $-q$ 로 대전된 두 도체판이 붙어있었다가 거리  $d$ 만큼 떨어뜨리기 위해서  $U = W = Fd$ 의 크기로 힘  $F$ 를 가해  $W = U$ 만큼 일을 해야 한다고 볼 수 있다. 이 힘  $F$ 는 결국 두 도체판 사이에 작용하는 인력의 크기와 같다. 따라서 두 도체 판 사이의 힘은

$$F = \frac{U}{d} = \frac{\epsilon_0 A V^2}{2d^2} \quad (6)$$

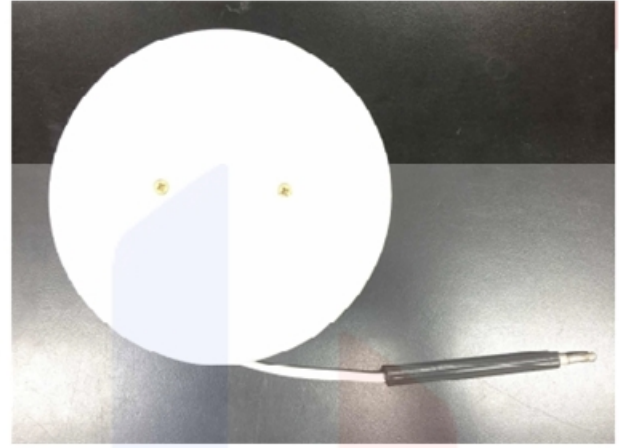
으로 주어진다.

### 3. 실험장치 및 기구

- (1) 쿨롱장치/평행콘덴서판, 접지선
- (2) 직류고전압전원장치
- (3) 전자저울



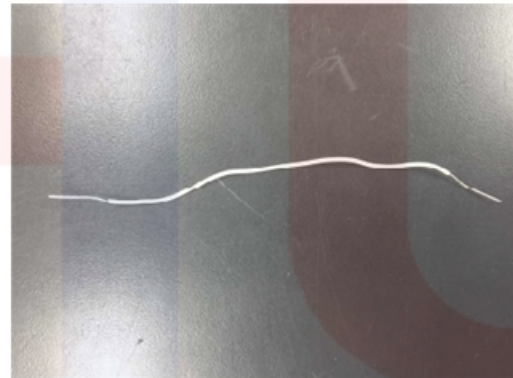
쿨롱장치



평행콘덴서판



직류고전압전원장치



접지선

#### 4. 실험방법

(1) 쿨롱장치와 고전압전원장치를 [그림 3]과 같이 연결한다. 이 때 전원장치의 스위치는 OFF상태로 있어야 한다. 그리고 전원장치의 스위치를 ON으로 하기 전에 전압조정 손잡이를 최소로 설정한다.

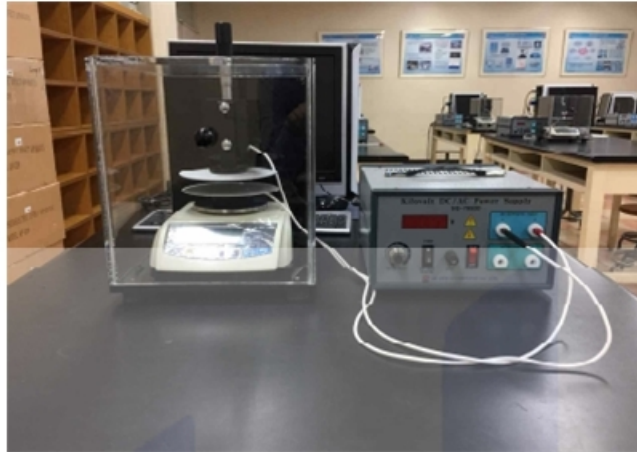


그림 3 쿨롱장치와 고전압전원장치 연결

(2) 전자저울을 수평하게 놓고, 저울 위를 비워둔 채로 저울의 전원을 켜다.  
(3) 접지선을 이용하여 평행콘덴서판을 방전시킨 후, [그림 4]와 같이 저울 위에 아래쪽이 평행콘덴서판을 올려놓는다. 저울의 용기버튼을 눌러 영점을 잡는다. 그러면, 전자저울에 올려진 것의 무게를 0으로 표시하여 증가분이나 감소분만이 표시되어 변화량을 쉽게 측정할 수 있다.

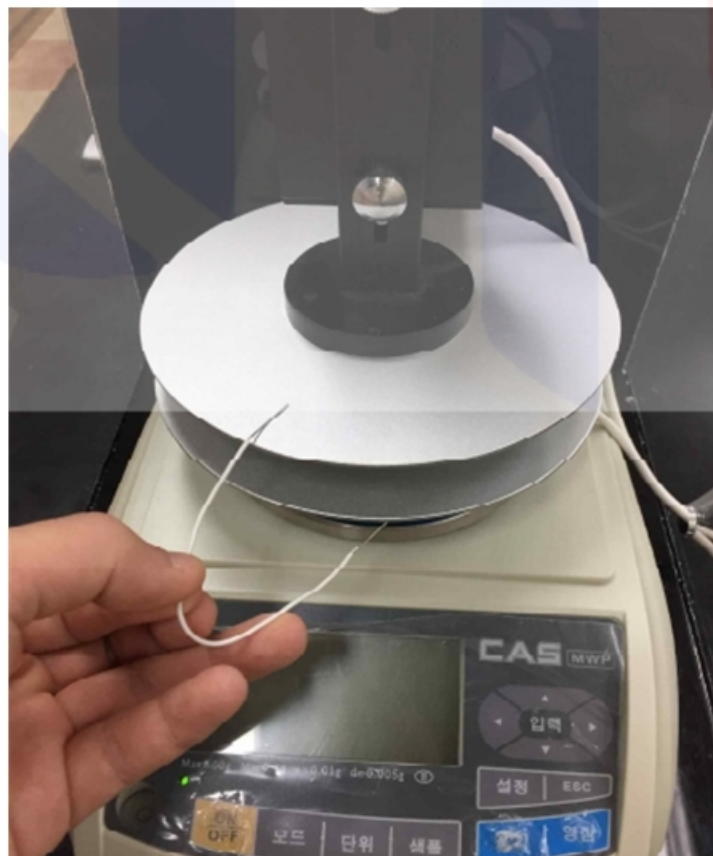


그림 4 접지선을 이용한 방전

(4) 평행콘덴서판 사이의 거리( $d$ )를 쿨롱장치 위쪽에 있는 높이 조절기를 돌려 1.0cm로 맞춘다. 이때, 두 평행콘덴서판이 완전히 포개어지도록 한다(즉, 위 극판을 그대로 아래로 내리면 아래면과 정확히 일치해야 한다).

(5) 전압( $V$ )을 2kV에서 12kV까지 2kV 간격으로 증가시켜가면서 저울에 측정되는 질량( $m$ )을 기록한다. 이때, 6kV 이상은 고전압전원장치에서 [그림 5]에 표시된 버튼의 아래쪽을 눌러 6kV~12kV까지 승압시킬 수 있도록 바꿔준다. 실험장치를 끌 때에는 6kV 이하 전압으로 낮추도록 버튼의 위쪽을 누른 후 전압을 0V로 낮추고나서 전원을 끈다.



그림 5 고전압전원장치 출력변환 스위치

(6) 두 평행콘덴서판 사이의 거리( $d$ )를 1.5cm, 2.0cm, 2.5cm로 바꾸어 가며 과정 (4)~(5)를 반복한다. 이 때 거리를 조절하기 전에, [그림 4]에서와 같이 반드시 두 평행 콘덴서판에 접지선을 접촉시켜 방전시킨다.

(7) 위 실험을 바탕으로 평행콘덴서판 사이의 거리( $d$ ) 변화에 따른 두 판 사이의 힘( $F$ )의 변화와, 전압( $V$ )의 변화에 따른 힘( $F$ )의 변화를 관찰하고, 각 실험 데이터를 그래프로 그려 분석한다.