

# 전하와 전하 사이

-실험 보고서-

물리학실험 2 (030)

담당 조교: 송정근 조교님

서울대학교 컴퓨터공학부

2017-18570 이성찬

2017년 9월 18일

## Abstract

이 실험에서는 쿨롱의 법칙을 바탕으로 전기력에 대해 탐구해 본다. 평행판 축전기에 충전된 전하가 만드는 전기장으로 인해 축전기의 아래 판이 받는 힘을 분석하여 본다. 공기, 유리, 아크릴 판 등을 유전체로 하여 실험하고, 그 힘이 전압의 제곱에 비례하여 나타남을 확인하며, 쿨롱의 법칙을 확인해 본다. 오차 원인으로는 저울 눈금 읽기의 어려움과 전압 값의 정확도가 떨어지는 점을 잡았다.

## 1 Introduction

### 1.1 실험목적

4가지 기본 힘 중 하나인 전자기력은 전하와 전하 사이의 상호작용 속에서 전기력의 형태로 나타난다. 전기력은 전기 현상들의 원인이 된다. 1785년 쿨롱은 전기력에 관한 법칙을 발견했다. 그는 실험에서 비틀린 저울을 사용했는데, 비틀림 저울에서 되돌림 힘이 비틀린 각도에 비례함을 알아낸 그는 실험 장치를 통해 전기력의 거리에 대한 의존성을 알아냈고, 같은 종류의 전하는 척력이 작용함을 알아냈다. 또 다른 종류의 전하에 대해서도 인력이 작용함을 밝혔다. 이 실험에서는 대전된 두 도체 판 사이의 힘을 살펴보고 쿨롱의 법칙을 확인한다.

### 1.2 배경 이론<sup>1)</sup>

#### 1.2.1 쿨롱의 법칙(Coulomb's Law)

위치  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$ 에 있는 두 전하  $q_1$ ,  $q_2$ 가 거리  $r = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ 만큼 떨어져 있을 때, 입자로 인한 전기력은

$$\vec{F}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}_{12}$$

(단,  $\vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ 이며  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율)와 같이 주어진다.

$k_e := \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ 로 두는 경우도 있으며 이를 쿨롱 상수라고 부른다.

#### 1.2.2 축전기와 전기용량

전기용량(Capacitance)는 다음과 같이 정

의된다. 축전기에 전압이  $V$ 만큼 걸릴 때  $q$ 만큼의 전하가 충전되면 이 때 전기용량은

$$C = \frac{q}{V}$$

이다. 특히 극판 사이의 거리가  $d$ 이고 극판의 단면적이  $A$ 인 평행판 축전기의 경우  $V$ 만큼의 전압이 걸려  $q$ 만큼의 전하가 충전되어 있을 때  $C$ 를 구해보자.

극판 사이의 전기장은  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ 이다. ( $\sigma$ 는 면 전하 밀도. 쿨롱의 법칙 or 가우스 법칙으로 확인가능) 그러면  $q = \sigma A$ . 따라서

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\sigma A}{Ed} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

축전기에 저장된 전기 퍼텐셜 에너지는

$$dW = Vdq = \frac{q}{C} dq$$

로부터

$$U_E = W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2$$

이로부터 극판 사이의 단위 부피당 에너지는 (에너지 밀도)  $u = \frac{U_E}{Ad} = \frac{(1/2)CV^2}{Ad} = \epsilon_0 \frac{(V/d)^2}{2}$

또 축전기의 아래 판이 받는 힘은,  $E = \frac{V}{2d}$ 인 전기장에 있으므로

$$F = qE = \frac{qV}{2d} = \epsilon_0 \frac{AV^2}{2d^2}$$

와 같이 주어진다.

#### 1.2.3 축전기의 연결

축전기를 여러 개 연결할 때, 여러 개의 축전기를 같은 효과를 갖는 하나의 축전기로 대신 생각하면 편리하다.

전기용량이  $C_1$ ,  $C_2$ , ...,  $C_n$ 인 축전기를 연결할 때 그와 같은 효과를 내는 하나의 축

1) [참조] 대학물리학, 이기영 저, 한빛미디어

전기의 전기용량을  $C_{tot}$  이라고 하자.

직렬로 연결할 때는

$$\frac{1}{C_{tot}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

병렬로 연결할 때는

$$C_{tot} = \sum_i C_i$$

와 같이 구할 수 있다.

## 1.3 실험 과정

### 1.3.1 준비물

축전기 극판, 자, 전자저울, 전원장치, 마이크로미터, 전선, 유전체(유리판, 아크릴 판)

### 1.3.2 실험 방법

- 1) 극판 사이에 거리를 두고 자로 거리를 측정한다. 이 때 전원장치가 꺼져있는 지 확인 하고, 전압은 최소로 둔다.
- 2) 전자저울의 수평을 맞추고, 전원 장치 전압의 영점을 조절한다. 이 때 조절 나사만을 이용한다.
- 3) 출력단자와 극판을 연결하기 전에 두 극판을 방전시켜 오차를 줄인다.
- 4) 극판 사이의 거리를 측정한 후 거리가 일정한지 육안으로 확인하고 전원을 켜다.
- 5) 전압을 서서히 증가시킨다. 갑자기 증가시키면 아크방전이 일어날 수도 있으므로 주의한다.
- 6) 전압이 일정할 때 극판 사이의 거리 변화에 따른 영향을 관찰한다.
- 7) 극판 사이의 거리가 일정할 때 전압의 변화에 따른 영향을 관찰한다.
- 8) 극판 사이에 유전체를 넣고 위 과정을 반복해 본다. 극판 사이의 간격과 유전체의 두께가 비슷할수록 오차가 줄어든다.
- 9) 6~8을 할 때 1~5의 과정을 반복한다.

## 2 Results

### 2.1 기본 측정값

실험 장치 및 시료에서 측정한 값들이다.

극판의 두께:  $2 \times 10^{-3} \text{ m}$

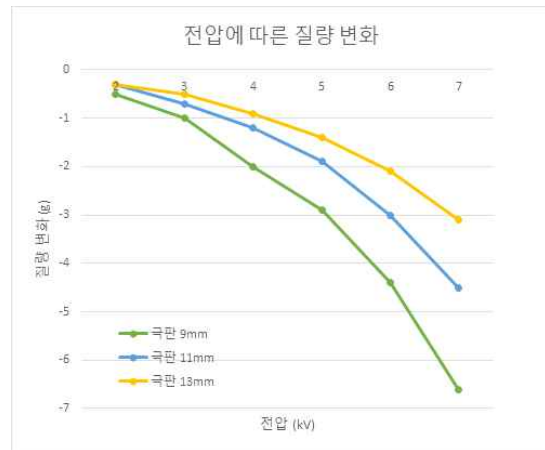
축전기 판의 지름:  $2 \times 10^{-1} \text{ m}$

아크릴판 두께:  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

유리판 두께  $3 \times 10^{-3} \text{ m}$

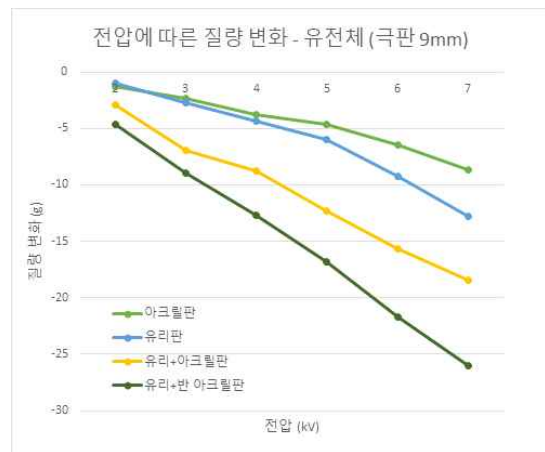
아크릴 절반 판 두께:  $4 \times 10^{-3} \text{ m}$

### 2.2 극판의 간격에 따른 변화 (유전체: 공기)



그래프 1: 전압에 따른 질량 변화

### 2.3 유전체에 따른 질량 변화



그래프 2: 유전체 별 전압에 따른 질량의 변화

## 3 Discussion

### 3.1 공기를 유전체로 할 때

추세선을 그리면 다음 결과를 얻는다.

극판 간격	추세선 식	$R^2$
9mm	$y = -0.18x^2 + 0.12x - 0.49$	0.997
11mm	$y = -0.14x^2 + 0.17x - 0.39$	0.998
13mm	$y = -0.09x^2 + 0.10x - 0.32$	0.999

표1: 전압( $x$ )에 따른 질량변화( $y$ ) 추세선  
쿨롱의 법칙에 따른 도체 판이 받는 힘은

1.2.2에서 구한 것처럼 전압의 제공에 비례한다. 구한 추세선의 식들도 제공에 비례하므로 쿨롱의 법칙을 확인할 수 있었다.

### 3.2 유전체를 넣은 실험 결과

유전체를 넣었을 때의 실험결과와 유전체가 공기일 때와는 다르게 그래프의 형태가 직선의 형태에 가깝게 나왔다. 유전체를 넣는다고 하더라도 여전히 전압의 제공에 비례하는 형태로 결과가 나와야 하는데 그렇지 못했다.

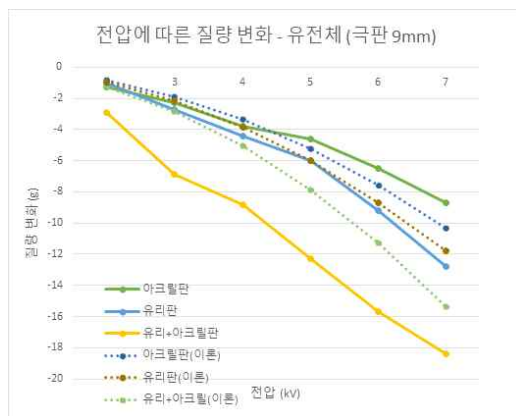


그림 3: 이론 계산 값과의 비교

아크릴판, 유리의 유전율 값을 각각 2.56, 5.6으로 하여 실제로 나타나는 질량의 변화를 계산해 보았다. 아크릴판과 유리판을 각각 계산할 때에는 결과가 유사했으나 유리와 아크릴을 같이 유전체로 넣었을 때는 오차율이 최소 20%일 정도로 오차가 심했다.

각각 오차율은

아크릴판: 12%~54%

유리판: 0.3%~24%

유리+아크릴판: 19%~144%

### 3.3 오차 원인 분석

예상되는 오차원인으로는 다음이 있다.

#### 3.3.1 저울 측정의 어려움

방전을 충분히 시키고 저울의 영점 조절 버튼을 눌렀는데도 저울 값이 멋대로 변하기도 했었다. 또 전압을 준 후 저울의 표시 값

이 특별한 규칙 없이 변하기도 해 정확하게 읽지 못한 값들도 분명 존재할 것이다.

#### 3.3.2 전압 값이 명확하지 않음

전압의 단위가 kV이므로 전압을 정확하게 주기 어려웠고, 실험값들을 계산할 때 유효숫자가 부족해진다.

## 4 Conclusion

이 실험에서는 쿨롱의 법칙을 바탕으로 축전기에 전압의 변화를 주어가며 축전기 극판이 받는 힘의 변화를 관찰하였다. 쿨롱의 법칙과 전기장, 축전기에 관한 이론들을 이용하면 극판이 받는 힘은 전압의 제곱에 비례함을 구해낼 수 있었는데, 공기를 유전체로 실험한 결과 실제로 전압의 제곱에 비례함을 확인하였다. 유리판, 아크릴판 등을 유전체로 사용하며 축전기의 연결에 관한 성질을 사용해 극판이 받는 힘도 계산해 보았다.

저울의 표시 값이 정확하게 측정되지 않아서 이론값에 충분히 가까운 값을 얻지 못했다. 한편 유리판과 아크릴 판을 함께 넣었을 때 지나치게 컸던 오차를 분석하지 못한 것이 한계점이다.

## \* Reference

-대학물리학, 이기영, 한빛미디어

-Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Serway/Jewett, Cengage Learning