

# 등전위면

## -실험 보고서-

물리학실험 2 (030)  
담당 조교: 송정근 조교님

서울대학교 컴퓨터공학부  
2017-18570 이성찬

2017년 9월 28일

## Abstract

이 실험에서는 등전위선 실험장치 위에서 전극을 놓고 전원을 켜고 때 형성되는 전기장에 대하여 등전위선을 구해본다. 점전하와 선전하를 올려서 실험을 하고, 각종 도체와 부도체도 올려보았다. 탐침과 컴퓨터 등전위선 프로그램을 활용하여 등전위선을 그려보고 그려지는 등전위선의 형태를 관찰해 보았다. 오차의 원인은 측정하는 컴퓨터의 한계로 생각하였다.

## 1 Introduction

### 1.1 실험목적

서로 떨어진 두 전하들은 어떻게 서로에게 힘을 작용하는 것일까? 이 힘을 이해하기 위해 전기장을 생각해 보게 된다. 전하는 전기장을 생성한다. 전하가 생성한 전기장 안에 있는 다른 전하는 그 전기장에 의해 전기력을 받게 된다. 전기장을 +1C의 단위전하가 장 내부에서 받는 힘의 크기로 정의한다. (N/C) 힘을 받은 입자는 운동을 하고, 그 힘은 입자에게 일을 해준다. 이 때 +1C의 전하를 특정 거리만큼 이동시킬 때 해주어야 하는 일을 전위차라고 한다. +1C의 전하가 있을 때  $\infty$ 거리에서의 전위를 0이라고 하면  $\infty$  거리에서 특정위치  $r$ 까지 해주어야 하는 일이 전위차, 그 일의 양은  $r$ 에서의 전위가 된다. 등전위선은 전위가 같은 지점을 연결한 선이다. 등전위선 상에서 전하를 이동시키면 전위차가 0이므로 드는 일이 0이다. 그리고 전기력선과 등전위선은 항상 수직이다. 이 실험에서는 종이 위에서 전극을 놓고 전극 사이에 형성되는 전기장의 등전위선을 구한다.

### 1.2 배경 이론<sup>1)</sup>

#### 1.2.1 전기장(Electric Field)

전기장은 +1C의 전하를 지점  $\vec{r}$ 에 놓았을 때 받는 힘  $\vec{F}$ 가 전기장이다. (전기장은 벡터장이다) 전하 + $q$ 가 원점에 있을 때  $\vec{r}$ 에서의 전기장은 다음과 같다.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \hat{r} \quad \left( r = |\vec{r}|, \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} \right)$$

#### 1.2.2 전위차(Electric Potential Energy)

전기장  $\vec{E}$ 가 있을 때, 곡선  $C$ 를 따라 지점  $\vec{r}_1$ 에서  $\vec{r}_2$ 까지 +1C의 전하를 등속도로 움직일 때 전기력이 해준 일에 -1을 곱한 값인

$$W = - \int_C \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

을 두 지점  $\vec{r}_1, \vec{r}_2$ 의 전기 퍼텐셜 차, 전위차라고 한다.

한편,  $\vec{E} = -\nabla V$  이므로,

$$W = - \int_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_C \nabla V \cdot d\vec{r}$$

이고, 선적분의 기본정리로부터 이는

$$W = V(\vec{r}_2) - V(\vec{r}_1)$$

과 같음을 안다. 그런데 이는 곡선  $C$ 의 선택에는 무관하므로, 전위차는  $\vec{r}_1$ 에서  $\vec{r}_2$ 로 이동하는 경로에는 무관하다.

#### 1.2.3 등전위선(Equipotential Line)

전위가 같은 지점을 선으로 연결한 것을 등전위선이라 한다. 위치  $\vec{r}$ 에 대하여 전위 함수  $V(\vec{r})$ 의 등위선(면)이라고 볼 수 있다.

일반적인 일급함수  $f$ 에 대하여  $\nabla f$ 와  $f$ 의 등위면은 수직이므로, 전위 함수  $V$ 의 등위면과  $\nabla V = -\vec{E}$  (전기장)도 수직이다. 따라서 등전위면과 전기력선은 수직이다.

또한, 식  $W = V(\vec{r}_2) - V(\vec{r}_1)$ 로부터, 이동 경로와는 무관하게 두 지점  $\vec{r}_1, \vec{r}_2$ 에서의 전위가 같다면 해주는 일의 양은 0이 된다. 등전위선 상에서 전하를 이동시키면 드는 일이 0인 것 또한 자명하다.

1) [참조] 대학물리학, 이기영 저, 한빛미디어

### 1.2.4 전기장 차폐

도체 내부에서 전기장은  $\vec{0}$ 이다.

도체를 대전시키면 전하는 모두 도체의 표면에 존재하게 된다.

## 1.3 실험 과정

### 1.3.1 준비물

등전위선 장치, Power Supply, 탐침, 입력 단자대, 컴퓨터, 막대 전극, 어댑터, USB, 등전위선 프로그램

### 1.3.2 실험 방법

- 1) 전선줄로 전극과 전원을 연결한다. 전압을 적절히 조절한다.
- 2) 실험 장치에 전극을 올린다.
- 3) 컴퓨터에서 등전위선 프로그램을 켜고 포트를 적절히 선택하여 연결을 확인한다.
- 4) 프로그램에서 몇 V 간격으로 전위차를 측정할지 설정한다. 설정 후 탐침으로 전위차를 측정한다. 전위차가 설정된 간격의 정수배인 지점에 점이 찍힌다.
- 5) 찍힌 점들을 모아 등전위선을 그린다.
- 6) 이 과정을 도체, 부도체를 놓아보며 반복하고, 전극의 배치를 다르게 해가며 등전위선을 그려본다.

## 2 Results

### 2.1 기본 측정값

양쪽 전극의 전위차를 2V로 두었다.

### 2.2 점전하

점전하를 두고 0.2V 간격으로 설정했을 때의 결과이다.

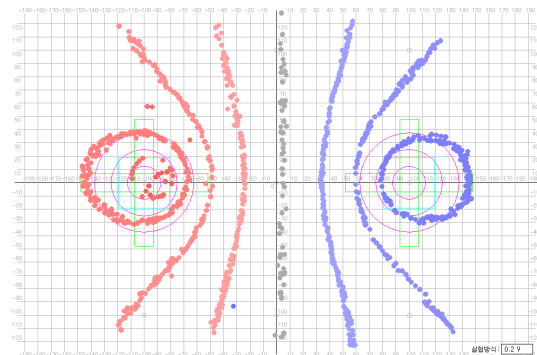


그림1: 점전하, 0.2V

점전하에 동전을 올린 결과이다.

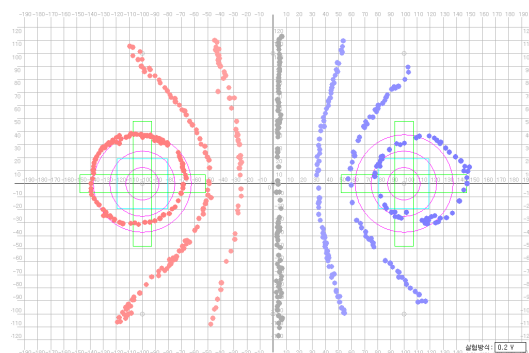


그림2: 점전하에 동전, 0.2V

점전하에 선 도체를 올린 결과이다.

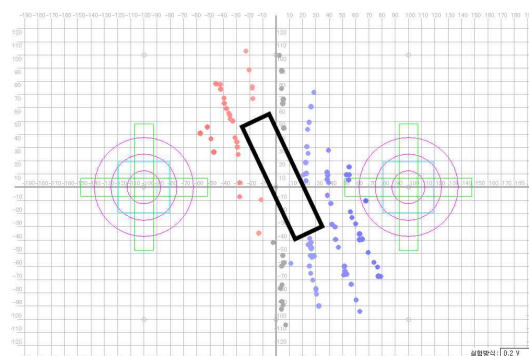


그림3: 점전하에 선도체, 0.2V

### 2.3 선전하

선전하를 두고 0.2V 간격으로 설정했을 때의 결과이다.

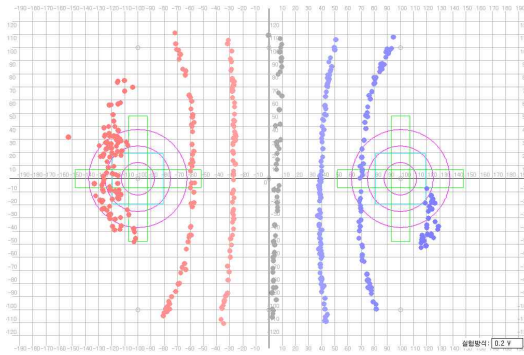


그림4: 선전하, 0.2V

선전하에 지우개를 올린 결과이다.

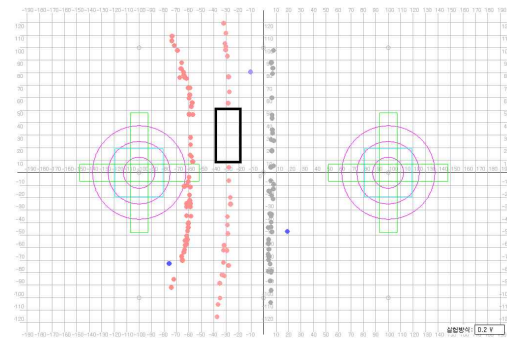


그림4: 선전하, 0.2V

## 3 Discussion

### 3.1 점전하

점전하를 올렸을 때는 가운데에서는 전위가 0으로 측정되고, +에 가까워질수록 전위가 높아지고, -쪽에 가까워질수록 전위가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 양쪽 전하의 전하량이 같으므로 등전위선은 대칭적인 모양이었다.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

에 따르면 대칭임을 확인할 수 있다.

도체 동전을 올렸을 때에는 등전위면 자체에는 그림2와 같이 큰 변화가 없었다. 그리고 점전하에 선도체를 올려본 결과 그림3과 같은 결과를 얻었는데, 이 또한 등전위면 자체에는 큰 변화가 없었다. 하지만 도체의 표면 자체는 등전위면이 될 것이고, 도체가 놓인 영역은 측정이 어려웠기에 이러한 결과를 얻었다.

### 3.2 선전하

선전하를 올려놓고 측정했을 때, 선전하 사이에서는 등전위면이 직선의 형태로 나타났다. 두 개의 선전하를 두 도체판 이라고 생각하면 두 도체판 사이에 형성되는 전기장의 세기는 대략  $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$  로 균일하기 때문에 등전위면이 직선의 형태임을 이해할 수 있다.

한편 선전하 끝을 벗어난 영역에서는 등전위선이 휘어지는 모습을 볼 수 있는데 이는 edge effect가 원인이라고 볼 수 있다.

또 부도체인 지우개를 올려놓고 등전위선을 그려보았으나, 지우개는 부도체이기에 이 결과 또한 큰 차이가 없었다.

### 3.3 오차 원인 분석

예상되는 오차원인으로는 다음이 있다.

#### 3.3.1 등전위선 프로그램 오차

전위차 간격을 0.2V 간격으로 측정을 했지만 실제 측정된 전위차는 유효숫자가 2개 이상이였다. (0.2V는 1개) 그러다 보니  $0.2 \pm \alpha V$ 인 지점도 등전위인 지점으로 프로그램이 판단하여 점을 찍었다.

## 4 Conclusion

이 실험에서는 등전위선 측정 장치를 이용해 선전하와 점전하를 올려 탐침을 이용해 전위차를 측정하고 측정된 전위차를 컴퓨터 프로그램을 이용해 등전위선을 그려 보았다.

점전하는  $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$  식의 등위선과 같은 결과를 얻을 수 있었고, 선전하의 경우에는 등전위선이 직선 형태로 나타남을 관찰했고 edge effect도 관찰했다. 또한 전극들 사이에 도체와 부도체를 올려서 등전위면을 그려 보았으나 등전위선에는 큰 차이가 없었음을 확인할 수 있었다.

## **\* Reference**

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