**전하와 전하 사이**

축전기를 이용한 전하 간의 전기력 측정

2018-12967 컴퓨터공학부 박재문

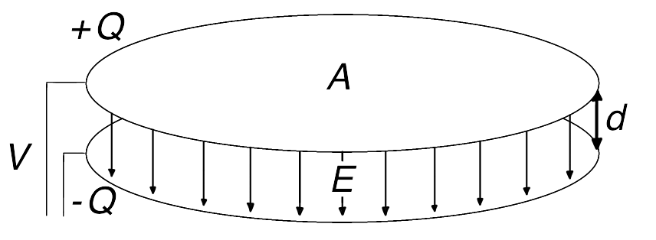
1. **서론**

**1.1. 실험 목적**

두 전하가 극이 서로 같은 경우에는 척력이, 서로 다른 경우에는 인력이 작용한다는 것을 알고 있다. 이를 바탕으로 두 개의 극판을 이용해 대전된 두 물체가 서로에게 힘을 어떻게 가하는지, 또한 이 힘이 대전체 사이의 거리나 이에 걸린 전압의 크기가 변함에 따라 어떻게 달라지는지 알아본다. 또한, 두 극판 사이에 여러가지 유전체를 삽입해 동일한 실험을 진행하며 유전체가 대전된 물체가 받는 힘에 어떠한 영향을 주는지 알아본다.

**1.2. 배경 지식**

**1) 축전기**

****

실험에 사용되는 축전기를 도식적으로 나타낸 그림.

이번 실험에서 사용될 두 개의 극판을 가까이하여 평행하게 둔 뒤 전압을 걸면 두 극판은 하나의 축전기를 이루게 된다. 축전기는 전기 회로에서 전기용량을 전기 퍼텐셜 에너지로 저장하는 장치로, 평행판 축전기의 경우 다음의 식을 만족한다.

여기서 는 축전기의 전기용량, 는 축전기 내 유전체의 유전율을, 는 축전기의 극판의 면적을, 는 두 극판 사이의 거리를 나타내고, 는 축전기에 걸린 전압, 는 축전기에 충전된 전하량이다.

1-1) 축전기의 총 전하량

축전기가 대전되면 반드시 한 쪽에는 의 전하가, 반대쪽에는 의 전하가 충전되고, 전하량 는 이의 절댓값이다. (축전기 내의 총 전하량은 항상 0이다.)

1-2) 유전체의 유전율

유전체의 유전율의 경우 유전체의 재질에 따라 다른데(주변 환경에도 유전율의 값은 영향을 받지만 이에 의한 차이는 크지 않으므로 이 실험에서는 무시한다), 일반적으로 물질들의 유전율의 크기를 진공의 유전율 을 통해 비교한다(. 예를 들어, 유리의 유전율은 5.6 ×이고, 이 때 5.6을 유전상수라고 한다.

1-3) 축전기의 연결

여러 축전기를 연결할 경우, 병렬연결을 하면 총 전기용량이 증가하며, 직렬연결을 하면 총 전기용량이 감소한다.

**2) 극판이 받는 전기력**

평행판 축전기에 전압이 걸리면 두 극판 사이에 균일(하다고 가정)한 전기장이 형성된다. 극판 사이에 형성된 전기장의 세기를 라 하면, 이므로 이를 이용해 극판이 받는 전기력의 크기를 구할 수 있다. 따라서 아래쪽 극판이 받는 전기력 의 크기는

이다(는 위쪽 극판에 의해 아래쪽 극판이 받는 전기장의 세기로, 크기는 이다). 이로부터 아래쪽 극판이 받는 전기력의 크기는 걸린 전압의 크기의 제곱에 비례하고, 극판 사이의 간격의 길이의 제곱에 반비례함을 알 수 있다.

**2. 본론**

**2.1. 실험 방법**

실험의 주요 목적은 극판 사이의 전기력이 극판 사이에 걸린 전압의 크기나 극판 사이의 간격에 따라 어떻게 변하는지, 또한 극판 사이에 넣은 유전체에 따라 전기력의 크기가 어떻게 변하는지 알아본다. 전기력의 크기는 위쪽 극판이 아래쪽 극판을 미는 힘을 전자 저울로 측정하여 구한다. 실험 진행은 유전체를 넣지 않은 상태에서 전압을 세 가지 세기로 걸어 서로 비교하는 과정, 극판 사이의 간격을 세 가지로 나누어 측정해 서로 비교하는 과정, 극판의 간격과 전압을 고정한 채 극판 사이의 유전체만을 교체해가며 서로 비교해 가는 과정으로 나누어 진행한다. 세 가지 전압의 세기는 각각 5kV, 7.5kV, 10kV로, 세 가지 극판의 간격은 각각 10mm, 15mm, 20mm로 나누어 실험한다.

**2.2. 실험 결과**

**실험 1. 공기중 전압/간격 변화 실험(단위: g)**

1. 실험값

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 거리/전압 | 5kV | 7.5kV | 10kV |
| 10mm | 1.2 | 3.0 | 6.0 |
| 15mm | 0.8 | 1.3 | 5.1 |
| 20mm | 0.5 | 1.3 | 3.0 |

1. 이론값(소수점 둘째자리까지 반올림)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 거리/전압 | 5kV | 7.5kV | 10kV |
| 10mm | 3.48 | 7.82 | 13.90 |
| 15mm | 1.54 | 3.48 | 6.18 |
| 20mm | 0.87 | 1.95 | 3.48 |

실험의 결과로부터 극판 사이 간격이 좁을수록, 전압이 강할수록 두 극판 사이에 작용하는 전기력이 커지는 경향성을 확인할 수 있었다. 하지만 실험 결과 전반적으로 오차가 지나치게 크게 나타났고, 이는 극판 사이의 간격이 좁을수록 두드러졌다. 20mm 간격을 두고 실험한 결과 이론값과 실험값의 차이는 이론값의 50% 내였으나, 10mm 간격을 두고 실험했을 때에는 실험값과 이론값의 차이가 2-3배에 달했다. 또한 모든 실험 데이터가 이론값보다 더 작게 나타났다.

**실험 2. 유전체 변화 실험**

(단위: g, 전압: 5kV, 간격: 3mm)

\*아크릴, 유리의 유전상수는 각각 2.56, 5.6이고, 유리+공기의 경우 유리 3mm, 공기 7mm로 실험.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 유전체 | 실험값(e) | 이론값(i) | e/i |
| 공기 | 14.7 | 38.61 | 0.38 |
| 아크릴 | 65.5 | 98.85 | 0.66 |
| 유리 | 203 | 216.23 | 0.94 |
| 유리+공기 | 2.8 | 4.62 | 0.61 |

실험 결과, 같은 간격, 같은 전압일 경우 유전 상수가 큰 유전체를 넣을수록 극판이 받는 힘의 크기가 점점 증가하는 경향성을 확인할 수 있었다. 하지만 실험 1과 마찬가지로 실험값과 이론값 사이의 괴리가 유리만을 유전체로 하였을 때를 제외하곤 매우 컸다. e/i 값을 통해 실험값과 이론값이 얼마나 차이가 나는지 확인해 본 결과, 전반적으로 유전체의 유전율이 증가할수록 오차가 감소하는 것을 확인할 수도 있었다. 실험 2도 실험 1과 마찬가지로 실험값은 항상 이론값보다 작게 나타났다.

**2.3. 오차 원인 분석**

우선 염두에 두어야 할 사항으론, 이번 우리 조의 실험은 **제대로 하지 못했다.** 전반적인 경향성만 어림잡을 수 있을 뿐, 이번 실험에서 그다지 유의미한 데이터라고 할 만한 것은 전혀 얻어내지 못했다. 이번 실험이 왜 이렇게 실패적으로 마무리되었는지, 가장 중요한 요인부터 서술해 본다.

원인 1) 장비의 오작동

일반적으로 실험을 통해 정보를 얻으려 할 때, 장비의 성능에 의해 데이터의 정확성이 조금 떨어지는 경우가 종종 있다. 하지만 이번 실험의 경우 제대로 된 측정이 불가능에 가까웠다. 실험이 정상적으로 진행이 되는 경우, 극판에 전압을 걸어 전기력이 아래에 있는 극판에 힘을 가할 때, 걸려있는 전압이 일정하게 유지되어 전기력의 세기도 계속 일정하게, 또는 최소한 특정 범위 내에서 머물러야 한다. 하지만 이번 실험의 경우 전압계를 일정 전압에 고정시켜 두어도 저울에 표시되는 값은 계속 감소했다(두 극판이 서로 다른 극으로 대전되어 있어서 극판을 올려둔 채 영점을 맞추어 전기력을 가하면 아래쪽 극판에 전기력이 위로 작용하여 저울의 눈금이 음수가 된다). 어느정도 값에 변화가 있은 뒤 값이 멈추면 기록을 해보려 했으나, 값이 낮아지는 것이 5분가량동안 멈추지 않았다. 일례로, 실험 1을 진행할 때 극판 사이의 거리를 20mm로 하고, 5kV의 전압을 걸었을 때 저울에 표시되는 초기값은 -0.3g이었지만, 5분 후 표시된 값은 -1.6~-1.7g이었다(위 실험값으로 입력한 0.5g은 전압을 걸어준 후 약 5초 후 표시된 값을 기록한 것이다). 0.3g은 이론값보다 지나치게 작고, 1.7g은 이론값보다 지나치게 크다. 제대로 된 실험 데이터를 얻는 것이 불가능에 가깝다 판단하여 기다리기를 포기하고, 전압을 걸고 3-5초 후 저울에 표시되는 무게를 실험 데이터로 간주하여 실험 결과를 도출하게 되었다. 실험 1을 진행하면서 이러한 문제점에 직면했다 보니 실험 2를 진행할 때에 자리를 옮겨서 실험을 진행하였다. 실험 2를 진행하기 전에 새로 옮긴 자리에서 실험 1의 10mm 간격에 대한 실험을 다시 진행하였고, 결과는 다음과 같았다.

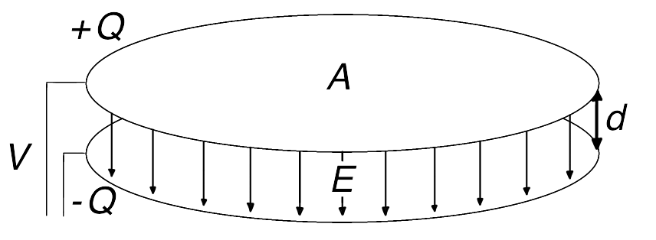
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 거리/전압 | 5kV | 7.5kV | 10kV |
| 10mm | 1.2g | 2.7g | 4.8g |

여전히 이론값과는 차이가 크지만, 전기력의 세기가 전압의 제곱에 정비례한다는 사실을 확실하게 확인해 볼 수 있었다. 즉, 다시 해본 이 실험을 통해 2가지를 알게 되었다.

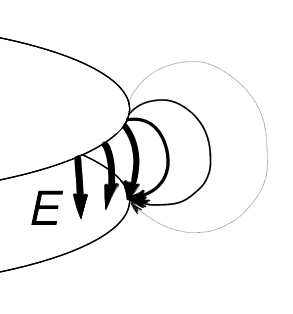
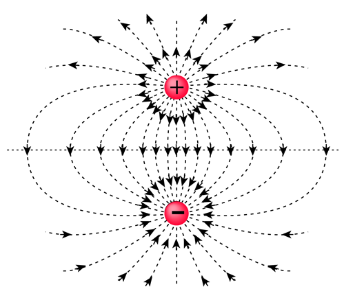
1. 실험 1을 진행한 실험 장비는 심각한 결함이 있다.
2. 실험 장비가 제대로 작동하더라도 실험값과 이론값 간의 오차는 크다.

원인 2) 이론적 설정의 한계

실험 1의 잘못된 결과가 실험 기기의 문제점이었다고 여긴다면, 실험 2의 경우 새로운 곳에서 실험을 진행하였고, 시험삼아 실험 1에서 했던 실험 중 하나를 그대로 다시 진행해 본 결과 훨씬 유의미한 결과를 얻을 수 있음을 확인했다. 하지만 실험 2에서 얻은 모든 데이터도 이론적인 값들에 비교하면 그 크기가 상당히 작았다. 이론적인 값이란 모든 상황이 완벽하게 통제되었을 때 얻을 수 있어야 하는 이상적인 값이어야 하지만, 이번 실험의 경우 이론적 배경에서 가정을 엄밀하게 하지 않은 점이 있다.

****다시 확인해보는 이론적인 평행판 축전기.

위 그림에서 볼 수 있듯 이 실험에서의 가정은 ‘두 평행판 사이에 작용하는 전기장의 세기는 균일하다’이다. 하지만 실제로 생각해보면 두 극판은 각자 여러 개의 +, - 점전하들로 이루어진 판으로 볼 수 있고, 이 전기장은 점전하들이 서로에게 작용하는 전기력이 모여서 생기는 것이다.



좌) 두 개의 점전하가 만드는 전기장.[[1]](#footnote-1)

우) 극판 끝부분의 전하가 만드는 전기장의 모식도.

극판 내부의 경우 한 점 주위의 모든 방향으로전하가 존재하므로 여러 전기장이 겹쳐 직선에 가까운 전기장이 형성된다. 하지만 극판의 가장자리로 가면 바깥쪽에 전하가 없는 부분이 생김에 따라 전기장을 직선으로 유지해 줄극판 가장자리의 전기장이 직선의 전기장을 유지하기 힘들어지고, 바깥으로 퍼져나가는 형태의 전기장이 형성된다. 이럴 경우 전기장이 완벽히 균일한 전기장에 비해 약해질 수 밖에 없고, 전기력 또한 전기장의 세기에 비례하므로 약해진다.

**3. 결론**

이 실험은 축전기를 활용하여 전하 사이의 전기력이 극판 사이의 거리, 극판에 걸린 전압의 세기, 극판 사이에 들어있는 유전체의 종류에 따라 어떻게 변하는지 관찰함을 통해 전하 간 전기적 상호작용에 어떠한 규칙이 있는지 확인해보는 것이 주요 목적이었다. 하지만 저번 한 학기 물리학실험 1에서 진행했던 그 어떤 실험보다도 이번 실험은 실패적이었고, 만족스럽지 못했다. 물체의 병진운동, 회전운동 등을 다루는 역학이나 파동에 대한 실험을 할 때에는, 데이터를 충분히 여러 번 수집한 경우 상당히 정확한(이론적인 값에 근접한) 실험값을 얻을 수 있었다. 이번 실험을 시작하기에 앞서 전자기학을 다루는 이번 실험의 경우 오차의 요인으로 작용할 수 있는 사항이 동역학에 비해 훨씬 적을 것이라 생각했으나 크나큰 오산이었다. 극판의 거리가 멀어질수록 전기력이 약해진다는 것은 확인했고, 전압이 강해지고 유전체가 높은 유전율을 넣을수록 전기력이 강해진다는 것은 알 수 있었으나, 정확한 값을 얻을 수 없어 수학적인 규칙을 찾아내는 것은 불가능했다. 또 다른 문제가 있다면 실험 시작 전 동역학에 관련된 실험보다 오차의 원인이 적을것이라 생각했던 만큼, 완전 불규칙한 데이터를 얻고도 그에 대한 정확한 원인을 찾아낼 수 없었다는 것이다. 비록 실험 1의 경우 오차 원인 분석에서 기술한 원인 1이 가장 큰 이유로 보이지만, 극판의 가장자리에서는 전기장이 직선으로 형성되지 않아 전기력이 약해진다는 원인 2 하나만으로는 이론적인 값의 절반 아래까지도 낮아지는 실험값을 설명하기 힘들다. 이런 오차가 생긴 데에 다른 중요한 요인이 있을지도 모르나, 지식의 한계에 부딪히게 되었다. 이번 실험을 통해 올바르게 작동하는 실험 장비 없이는 정상적인 실험 진행이 불가능함을 깨달았고, 설령 정상적인 장비가 있더라도 충분한 지식이 없으면 실험이 바로잡히기 힘들다는 것을 다시 한번 느낀다.

\*참고 자료

서울대학교 물리학실험 실험매뉴얼 – 전하와 전하 사이(<http://physlab.snu.ac.kr/>)

1. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/dipole.html> [↑](#footnote-ref-1)