

# 펠티에 소자를 이용한 안개상자 개발

우종관\*, 권진영†, 박상태‡

\*재현고등학교, 서울특별시 139-928, †전민고등학교, 대전광역시 305-390, ‡공주대학교 물리교육과, 충청남도 312-314

2011년 4월 20일 접수 / 2011년 7월 5일 1차 수정 / 2011년 7월 7일 2차 수정 / 2011년 7월 8일 채택

본 연구에서는 핵물리학 실험에 활용할 목적으로 기존의 안개상자 실험 장치를 개선하여 펠티에 소자를 이용한 새로운 안개상자 실험 장치를 개발하였다. 개발된 안개상자 실험 장치와 캠코더를 활용한 실험을 통해 우주선 비적을 관찰하고 측정된 자료를 비교·분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 기존의 안개상자 실험 장치는 우주선 비적이 발생하는 빈도가 낮고 따라서 발생된 우주선 비적을 육안으로 관찰하기가 매우 어려웠다. 그러나 본 연구에서 새로 개발한 안개상자 실험 장치는 우주선 비적이 발생하는 빈도가 높고, 실험에 캠코더를 함께 활용하면 발생된 우주선 비적을 편리하고 뚜렷하게 관찰할 수 있었다. 둘째, 본 연구에서 개발한 안개상자 실험 장치를 이용한 실험에서 이소프로판올  $1.04 \times 10^{-5} \text{ ml} \cdot \text{mm}^{-3}$  이상을 사용하고, 안개상자내의 냉각플레이트 상부 1 mm 지점의 온도가  $5^\circ\text{C}$  이하가 될 때 우주선 비적이 잘 발생하는 최적조건임을 확인하였다. 셋째, 본 연구에서 개발한 안개상자 실험 장치에서 안개상자내의 냉각플레이트의 온도를 전류의 세기에 의해 자동으로 제어할 수 있는 시스템이 개발된다면 더 정확하고 개선된 안개상자 실험 장치를 만들 수 있을 것이며, 그 결과 핵물리학 실험 또는 방사선 종사자 교육에서 개발된 안개상자 실험장치가 쉽게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

중심어 : 안개상자, 우주선, 방사선측정

## I. 서론

1875년 Coulier는 수증기의 응결과정을 위해서는 먼지분자가 필요하다는 것을 발견하였다. 그리고 Wilson(1897)은 어떤 특정한 상태에서 전기를 띤 이온도 구름을 형성하는데 중요한 역할을 할 수 있다는 것을 실험으로 입증하였다[1]. Wilson은 확장상자 속에 먼지가 많고 습한 공기로 채우면 미세한 확장으로 인해 짙은 안개를 만들어진다는 사실을 발견하였다. Wilson의 안개상자는 현대 물리학의 발전에 있어 매우 중요한 역할을 수행해왔다. Rutherford는 이 안개상자를 “과학사에 있어 가장 독창적이며 놀라운 도구”라고 묘사했으며, 당시 설명할 수 없었던 많은 간접적인 방사선 실험결과들을 설명하는데 단 한 장의 안개상자 사진은 충분한 설득력을 제공한다고 하였다.

수 백 만년 동안 지구상의 생물체는 계속 방사선의 영향을 받아왔고 오늘날 우리 모두는 우리가 그것을 좋아하든 싫어하던 방사선의 영향 속에서 살고 있다. 인간이 자연 방사선에 노출되는 경우는 대기권 밖에서 오는 우주선과 지각의 방사능 물질에서 자연적으로 발생하는 외부 방사선과 인간이 공기를 호흡하고 음식물과 물을 섭취함으로써 인체에 흡수된 방사능 물질로 인한 내부 방사선이 있다. 우리는 방사선속에서 살고 있지만 공기와 같이 그 존재를 직접 볼 수가

없다[2]. 과학은 자연현상에 대한 궁극적 이치를 깨닫게 하는 학문이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 자연 현상을 관찰하고 의문을 발견하며, 그 의문에 대한 이치를 생각하여 가설을 세우고, 이를 검증하여 결과를 분석하고 정리하는 과정을 거쳐야 한다. 그러나 아쉽게도 방사선을 직접 눈으로 보기란 쉽지 않으며 이는 방사선에 대한 막연한 두려움으로 발전하게 된다.

안개상자를 이용한 우주선 비적 관찰은 핵물리학의 기초가 되는 매우 중요한 실험이다[3-7]. 이와 같은 중요성에 따라 대학 학부과정의 핵물리학에서는 물론이고 고등학교 물리II 교과에서도 입자검출기의 시초가 된 윌슨의 안개상자에 대한 이론적 원리를 배우고 있다[8-13]. 하지만 학생들이 학교현장에서 안개상자를 직접 볼 기회도 없을 뿐더러 안개상자를 이용하여 우주선 비적을 직접 관찰할 수 있는 탐구활동은 거의 이루어지지 않고 있다. 요즘에 와서 첨단과학 교사연수과정이나 대학원 핵물리학 강좌에서 드라이아이스를 냉각에 이용하는 간단한 안개상자를 제작하여 실험을 실시하는데 여러 번인들의 작용으로 우주선의 비적을 관찰하기가 쉽지 않다.

이에 본 연구에서는 우주선 비적 관찰을 용이하게 할 수 있는 보다 개선된 안개상자를 개발하는데 그 목적을 두었으며, 더 나아가서는 우리 주변에는 항상 방사선이 존재하며 [2] 방사선과 함께 생활하고 있음을 체험하게 함으로써 방사선에 대한 막연한 두려움을 해소하고자 하는데 있다.

교신저자 : 박상태, stpark@kongju.ac.kr  
충남 공주시 신관동 182 공주대학교

구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 기존에 사용하고 있는 안개상자에 대한 개선점을 찾는다.

둘째, 새로이 제작된 안개상자를 이용하여 실험을 실시하고, 이를 기존 안개상자와 비교하여 새로운 안개상자의 유용성을 검증한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 안개상자 (Cloud Chamber)

Wilson의 만든 초기의 안개상자(그림 1)는 많은 교과서에서 자세하게 설명되어 왔다. 그래서 여기에서는 Wilson의 원래 장치를 기본으로 하여 본 연구에서 특별히 제작한 펠티에 소자를 이용한 안개상자(그림 2)에 대해 설명하겠다.

그림 2에서 보듯이 안개상자 안의 알코올 때문에 상자는 알코올 증기로 포화된다. 상자 아래의 펠티에 소자는 상자의 바닥을 매우 차갑게 유지시키는 반면에 상자의 위쪽 부분은 상온이다. 상자 위쪽의 높은 온도는 문풍지의 알코올로부터 아래 방향으로 떨어지는 알코올 증기를 더 만들어 낼 수 있게 한다. 상자 아래쪽의 낮은 온도는 일단 알코올 증기가 아래 방향으로 떨어지면, 과포화상태를 만들어준다. 즉 과포화상태의 증기는 쉽게 액화 상태로 응결될 것이다. 전기적으로 하전된 우주선이 안개상자 안에 들어오면, 그림 3과 같이 우주선 입자들은 공기나 알코올 증기 분자들과 충돌하여, 자유 이온들을 만들게 된다. 이들 이온들을 핵으로 해서 상자안의 증기들이 응축하여, 대전 입자가 안개상자를 통과한 경로를 따라 형성된 작은 물방울(비적)들을 볼 수 있다.

수증기(water vapor)로 포화된 공기덩어리가 대류(공기의 흐름)에 의해 위에서 형성될 때, 그 공기는 단열로 팽창하고 온도는 떨어진다. 초과된 양의 수증기는 구름이나 안개로 나타나는 액체방울의 형태로 분리된다. Wilson의 안개상자는 이러한 원리로 작동한다. 농축되지 않고 증기(혹은 증기혼합물)를 포함한 일정한 양의 기체는 이 장치에서 갑자기 팽창한다. 이에 따라 기체는 더 낮은 온도에서는 가수된 상태(saturated state)에서 보다 더 많은 증기를 포함하게 된다. 즉, 그 공기는 초과수화(supersaturated) 되는 것이다. 초과되는 양의 증기(vapor)는 응결핵 역할을 하는 이온에 의해 응축되고, 전하를 띤 분자의 경로를 볼 수 있게 되는 것이다.

### 2. 펠티에 소자(Peltier Device)

#### 1) 펠티에 효과

1834년 Jean Peltier 는 서로 다른 두 종류의 금속을 붙여서 전류를 흘릴 때 붙인 곳(접합, junction)이 냉각되는 현상을 발견하였다. 이는 1821년에 Thomas Seebeck 에 의해서 먼저 발견된 제백 효과(Seebeck effect)와 함께 열전기효과(thermoelectric effect)라고 불리우는 것으로 그 이론적인 이해가 톰슨(William Thomson)에 의해 이루어졌다. 제백 효과는 균일한 전도체에 온도 물매(temperature gradient)가 주어졌을 때 온도가 높은 곳과 낮은 곳 사이에 전기퍼텐셜차가 생기는 현상으로, 주로 온도 측정(열전쌍, thermocouple)에 이용된다[14,15].

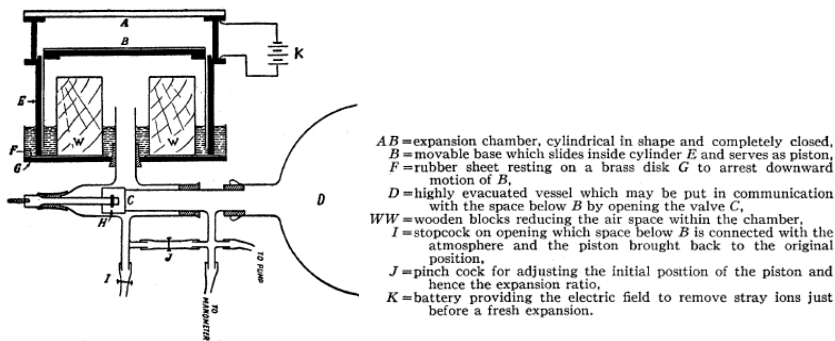


Fig. 1. Wilson's Original Cloud Chamber.

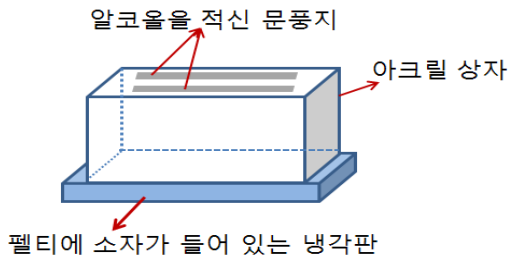


Fig. 2. Structure of Cloud Chamber.



Fig. 3. Principle of Drop Formation.

1834년 외부에서 전압을 가하여 회로에 전류가 흐르게 할 때 회로의 한 접점에서 전류에 의한 Joule 열( $I^2R$ ) 외에도 가역적인 열의 흡수와 방출이 있다는 것은 열전회로의 접점이 기전력의 원천이 되는 것을 의미한다. 또한 전류를 흘려 보내지 않고 접점에 온도를 올리거나 내리면 역으로 전류가 흐르는 것이 관측되었는데 이러한 현상을 Peltier 효과라 부른다. 이때 나타나는 기전력을 Peltier 전압이라 부른다. Peltier 효과에 의해 나타나는 열의 흡수율과 방출률은

$$q = \pi_{ab} \cdot I_{ab}$$

로 표현된다. 여기서  $\pi_{ab}$ 는 Peltier 전압으로 전류가 금속 A에서 B로 흐를 때 접점에서 열이 흡수되는 양으로 잡는다.

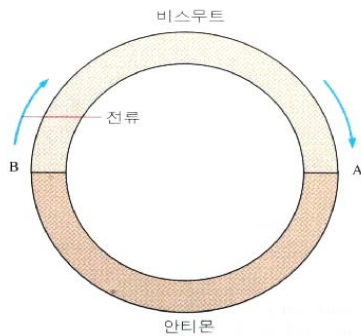


Fig. 4. Junction of Peltier Device.

그림 4와 같이 비스무트와 안티몬을 접속하여 전류를 화살표 방향으로 흐르게 하면, 전류가 비스무트에서 안티몬으로 향하는 접점 A에서는 온도가 내려가고, 다른 접점 B에서는 온도가 올라간다. 또 전류를 반대로 흐르게 하면 A에서는 온도가 올라가고, B에서는 내려간다. 이것은 이종(異種)인 금속에서는 금속 내의 전자의 페텐셜에너지에 차가 있기 때문에 페텐셜에너지가 낮은 상태에 있는 금속으로부터 높은 상태에 있는 금속으로 전자를 운반하는 데는, 외부로부터 에너지를 얻어야 할 필요가 있으므로 접점에서 열에너지를 빼앗기고, 반대의 경우에는 열에너지가 방출되게 된다. 일반적으로 이 효과에 의하여 단위시간에 두 종류의 금속 A, B의 접점에서 발생 또는 흡수되는 열량 Q는 전류의 세기(운반되는 전자의 수) I에 비례하고, I/Q는 두 금속의 종류에 따라 정해진 값을 가진다. 이 값을 금속 A와 B의 조합에 대한 펠티에 계수라 하고, 그 크기는 두 금속의 전자 페텐셜에너지의 차에 해당하는 열전력(熱電力)과 절대온도에 비례한다.

펠티에 효과는 전자를 작업물질로 하는 열펌프효과로 간

주되며, 적당한 펠티에 소자들로 구성해 냉각장치로 이용할 수 있다. 전자냉동(電子冷凍)·전자냉방 등은 이러한 종류의 장치인데, 보통 이극형 반도체(異極型半導體)를 조합했을 때에 생기는 냉각효과를 이용하고 있다[14].

펠티에접합(Peltier junction)은 양(+)의 열전기력(thermo power, 또는 Seebeck coefficient)을 갖는 물질과 음(-)의 열전기력을 갖는 물질로 만든다. 접합을 이루는 두 물질의 페르미 준위(Fermi level)가 다르므로, 접합 부위에서는 일부 전하들의 이동과 그에 따른 접합 퍼텐셜(junction potential)이 생겨난다[16]. 이제 이 접합을 통해서 전류가 흐르도록 하면 접합을 지나는 전하들의 에너지에 변화가 생기므로, 전류의 방향에 따라서 접합 부위가 가열되거나 냉각하게 된다. 한 물질의 양쪽에 다른 물질을 각각 접합시킨 뒤 전류를 흘리면 한 접합은 냉각되고, 다른 접합은 가열된다. 냉각되는 접합에서 1초 동안에 흡수하는 열(냉각력, cooling power)은 전류 I에 비례하여

$$\frac{dQ}{dt} = \pi I$$

라 쓸 수 있고, 비례상수  $\pi$ 를 펠티에 상수(Peltier constant)라고 부른다. 펠티에 효과를 써서 열전기냉각(thermoelectric cooling)장치를 만드는 경우 그 성능은 감도지수 (figure of merit)

$$\eta = S^2T / \rho\kappa$$

로 주어진다. 여기서 S[V/K]는 열기전력(thermoelectric power), T[K]는 절대온도,  $\rho[\Omega \cdot \text{cm}]$ 는 비저항,  $\kappa[\text{W}/\text{cm} \cdot \text{K}]$ 는 열전도도이다. 현재로는 에너지 간격이 작은 반도체 물질들이 각광받고 있으며, 상온에서 감도지수가  $\eta \sim 1$  정도이어서 범용 냉각장치로서 다른 방식들에 비해서는 효율이 낮은 편이다. 그러나 압축기(compressor)와 같은 역학적인 기구를 전혀 쓰지 않는 특성으로 인해, 진동이나 소음이 문제되는 경우와 크기에 제한이 주어지는 소형 냉각장치에 활용되고 있다.

## 2) 펠티에 소자의 기본 원리

열전모듈, Thermo Electric Cooler (TEC), Thermo Electric Module (TEM) 등으로 다양한 이름을 갖고 있는 펠티에 소자는 작은 Heat Pump (저온의 열원으로 부터 열을 흡수하여 고온의 열원에 열을 주는 장치)이다.

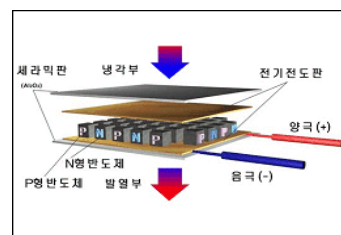
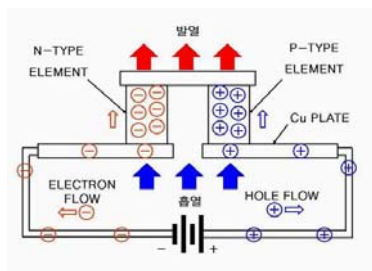


Fig. 5. Structure of Peltier Device.

그림 5에서 펠티에 소자 양단에 직류 전압을 인가하면 열이 흡열부에서 발열부로 이동하게 된다. 따라서 시간이 지남에 따라 흡열부의 온도가 떨어지고 발열부는 온도가 상

승하게 되는 것이다. 이때 인가전압의 극성을 바꿔주면 흡열부와 발열부는 서로 바뀌게 되고 열의 흐름도 반대가 된다.

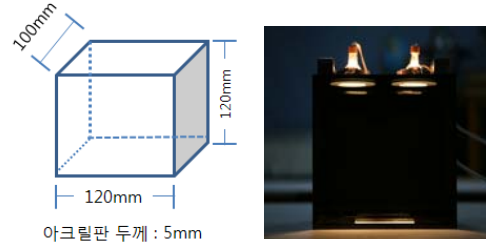
### III. 안개상자 실험장치 개발

#### 1. 안개상자 실험장치 제작 및 세팅

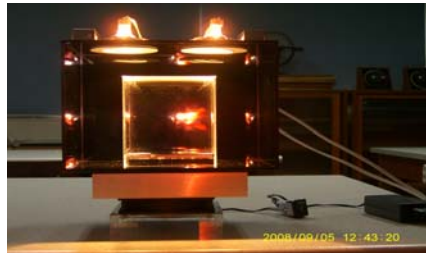
(1) 펠티에 소자를 이용한 냉각장치 제작



(2) 안개발생상자와 배경상자·조명장치 제작



(3) 안개상자 실험장치 세팅 : (1) ~ (2)에서 제작한 장치를 세팅한다.



#### 2. 개발된 실험 장치를 이용한 실험최적조건 및 실험결과

##### (1) 실험최적조건

가. 실험에 사용한 알코올의 최적조건

- ① 알코올의 종류에 따른 실험의 최적조건 : 같은 실험 조건에서 이소프로판올을 사용하여 실험할 때 메탄올과 에탄올을 사용하여 실험할 때 보다 우주선의 비적이 더 뚜렷하게 관찰되었다. 이는 이소프로판올( $(CH_3)_2CHOH$ )의 물질량(60 g)이 에탄올( $C_2H_5OH$ )의 물질량(46 g)이나 메탄올( $CH_3OH$ )의 물질량(32 g)에 비해 커서 광학적 밀도가 크기 때문에 방사선과의 충돌이 더 많이 일어나기 때문인 것으로 보인다.
- ② 알코올 양에 따른 실험의 최적조건 : 알코올의 양이  $1.04 \times 10^{-5} ml \cdot mm^{-3}$  이상이 되면 시간적 차이만 있을 뿐 우주선의 비적이 빈번하게 발생함을 관찰할 수 있었다.

나. 개발된 안개상자 실험장치 내부온도의 최적조건

안개상자 내부온도에 관한 최적조건을 찾기 위해 상자 바닥에서부터 1 mm 간격으로 온도센서를 올리면서 바닥에서 3 cm까지 상자 내부의 온도를 측정하였다. 바닥에서 3 cm

까지만 측정한 이유는 방사선에 의한 궤적 발생이 3 cm 이상에서는 일어나지 않았기 때문이다. 그러나 이러한 지점은 안개상자의 크기에 따라 달라질 수 있기 때문에 절대적인 값이라고 보기는 어렵다.

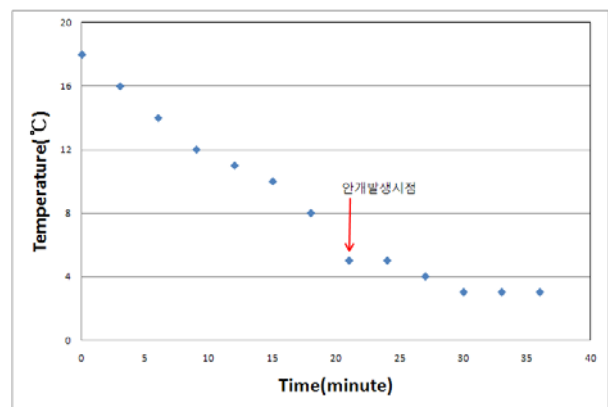


Fig. 6. Temperature of Cloud Chamber by time.

위와 같은 측정을 10회 반복했을 때, 온도의 편차가 가장 적었던 곳은 바닥에서 1 mm 떨어진 지점이었다. 따라서 본 연구에서는 안개상자의 온도에 따른 최적조건을 찾는 위치

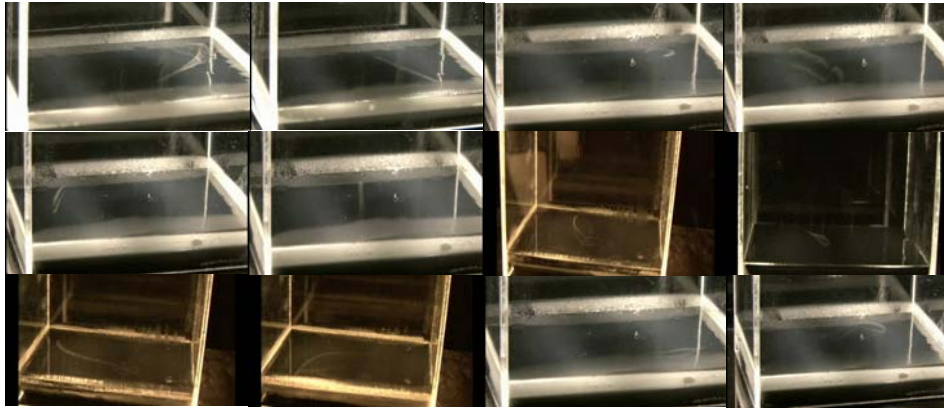


Fig. 7. Track of Cosmic Rays in the Cloud Chamber.

를 바닥에서 1 mm인 지점을 선택하였다. 그림 6은 1 mm 지점에서 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 안개상자의 냉각장치를 가동한 후 20~25분이 경과하고, 상자내의 냉각플레이트 상부 1 mm 지점의 온도가 5°C 이하가 될 때 우주선 비적이 빈번하게 발생하는 최적조건임을 확인할 수 있었다.

(2) 실험결과 : 개발된 안개상자 실험 장치와 캠코더를 이용한 실험결과 다음 그림 7과 같은 다양한 우주선 비적이 관찰되었다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 고등학교 및 대학교의 핵물리학 실험 나아가서는 방사선 종사자 교육에 활용할 목적으로 기존의 안개상자 실험 장치를 개선하여 펠티에 소자를 이용한 새로운 안개상자 실험 장치를 개발하였다. 개발된 안개상자 실험 장치와 캠코더를 활용한 실험을 통해 우주선 비적을 관찰하고 측정된 자료를 비교·분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론 및 제언을 얻었다.

첫째, 기존의 안개상자 실험 장치는 우주선 비적이 발생되는 빈도가 낮고 발생된 우주선 비적을 육안으로 관찰하기가 매우 어려웠다. 이는 안개를 발생시킬 수 있는 최적의 조건을 조절하기 힘들었기 때문이다. 새로이 개발된 안개상자 실험 장치 펠티에 소자를 이용하여 외부에서 가해주는 전류를 조절함으로써 안개를 발생시킬 수 있는 최적의 조건을 임의대로 조절이 가능하기 때문에 우주선 비적이 발생하는 빈도가 높았다.

둘째, 새로이 개발된 안개상자 실험 장치를 이용한 실험에서 이소프로판올  $1.04 \times 10^{-5} \text{ ml} \cdot \text{mm}^{-3}$  이상을 사용하고, 안개상자내의 냉각플레이트 상부 1mm 지점의 온도가 5°C 이하가 될 때 우주선 비적이 잘 발생되는 최적조건임을 확인하였다.

셋째, 새로이 개발된 안개상자 실험 장치에서 안개상자내의 냉각플레이트의 온도를 전류의 세기를 자동으로 제어할 수 시스템 개발이 이루어진다면 더 정확하고 개선된 안개

상자 실험 장치를 만들 수 있을 것이며, 그 결과 고등학교 및 대학교의 핵물리학 실험 또는 방사선 종사자 교육에서 개발된 안개상자 실험장치가 쉽게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Das Gupta NN and Ghosh SK. A Report on the Wilson Cloud Chamber and Its Applications in Physics, Reviews of Modern Physics. 1946;18(2):225.
2. 최종범. 가속기와 인간의 삶. 전북대학교 양성자가속기연구소, 2005.
3. 김종오. 물리학 총론. 교학사, 1991.
4. 안정근, 김현철, 정운혁. 기초핵물리학. 부산대학교 출판부, 2003.
5. 차동우. 교양물리. (주)북스힐, 2004.
6. 장준성, 이재형. 현대물리학. (주)학술정보, 2005.
7. Serway RA. 대학물리학. (주)북스힐, 2006.
8. 이춘우, 김영유, 류지욱, 김준태, 송영곤, 이영직. 고등학교 물리II. 중앙교육진흥연구소, 2008.
9. 장준성, 이성욱, 이경운, 전영석, 손정우. 고등학교 물리II. (주)지학사, 2008.
10. 권재술, 김범기, 문충식, 천조현, 최혁준, 김연수. 고등학교 물리II. (주)교학사, 2008.
11. 채광표, 송용갑, 김진만, 김성진, 정대영, 장동호. 고등학교 물리II. (주)금성출판사, 2008.
12. 방형찬, 차동우, 이재일, 우정원, 박완규, 정혜경. 고등학교 물리II. (주)천재교육, 2008.
13. 박봉상, 이태우, 김수용, 신근섭, 박영도, 이상욱, 조봉제. 고등학교 물리II. (주)대한교과서, 2008.
14. Cornell University News: Thermoelectric Cooling Devices.
15. Fisher LH and Varney RN. Contact Potentials Between Metals : History, Concepts, and Persistent Misconceptions. Am. J. Phys. 1976;44:464.
16. Chang KN, Cook MS, Hamlyn KM and Chaplin RL. Modern Thermocouple Experiment. Am. J. Phys. 1978;46:1180.

## Development of Cloud Chamber by Using Peltier Device

Jong-Kwan Woo<sup>\*</sup>, Jin-Young Kwon<sup>†</sup>, and Sang-Tae Park<sup>‡</sup>

<sup>\*</sup>Jae-Hyun High School, Seoul 139-928, Korea,

<sup>†</sup>Jeon-Min High School, Daejeon 305-390, Korea,

<sup>‡</sup>Department of Physics Education, Kongju National University, Chungnam 312-314, Korea

**Abstract** - In this research, we developed the newly cloud chamber apparatus by using Peltier device to apply nuclear physics experiment in high school or university. We observed the cosmic rays track by using the developed apparatus and a camcorder. And we compared and analyzed the acquired data. From the results, we acquired the following conclusions and suggestions : First, it is very difficult to observe the cosmic rays track in the typical cloud chamber because of the low frequency of it. But in the newly developed cloud chamber we can observe easily the cosmic rays track owing to the high frequency of it. Second, when we do the experiment with the newly developed apparatus, we found that the cosmic rays track happens well under the condition that the temperature of the upper place of cooling plate must be below 5°C with more than isopropanol  $1.04 \times 10^{-5} \text{ ml} \cdot \text{mm}^{-3}$ . Third, the newly developed apparatus will be improved to have better precision by controlling the temperature of cooling plate in the cloud chamber by current intensity. Therefore we think that it is very useful to use the newly developed apparatus in the nuclear physics experiment in highschool or university.

**Keywords** : Cloud Chamber, Cosmic Ray, Radiation Measurement