

G-M 計數管을 利用한 β -ray 의 吸收測定

信一專門大學 放射線科

李 原 鎭 · 崔 泰 珍*

Abstract

Experiments of Absorption of Beta Radiation

Won Jin Lee, Tae Jin Choi*

Dept. of Radiotechnology, Shin Il Junior College,
Dae-gu, Korea

In this experiments the operation of the Geiger-Mueller tube is investigated by measuring the relationship between the count rate and the applied voltages. The length and slope of the plateau are characteristic of the tube. In our experiments, the average plateau length of the tube is extend for about 100 [V] and the slope 0.017 [%/V]. For normal counting purposes the working voltage is usually selected at value about 50 volts larger than the threshold of the plateau.

To investigate the absorption of beta particles by matter. We performed an absorption experiments by using the Al absorber and Sr-90 (0.125 μ Ci) beta source. The maximum range of the beta radiation can be determined by visual extrapolation of the curve after subtraction of the constant background-rate and the maximum beta energy 2.09 [MeV] can be calculated from the range using an experimental relation.

I. 서 론

Becquerel 은 우라늄염 결정으로부터 X선과 같이 투과력이 강한 방사선이 방출되는 것을 발견(1896) 하였으며, Curie 는 폴로늄과 라듐 두 원소를 이용하여

Becquerel 실험을 확증(1898)하게 되었다. 즉, 자장내에서 실험한 결과 방사성 물질에서는 α , β , γ 선들이 방출됨을 알았다. 이 후 천연방사성 물질외에 인공핵 변환(1919) 및 핵 분열 실험(1939)과 입자가속기 및 원자로의 개발로 수천종의 인공방사성 물질을 발견하

* 大邱保健專門大學 放射線科, Dept. of Radiotechnology, Dae Gu Health Junior College

였으며, 그 이용분야도 날로 증가하여 정밀 측정기기는 물론 화재 감시용 및 비파괴검사 등 이공학의 이용과 의학, 농업 등에서도 이용가치가 높아지고 있다.

방사선은 인간의 감각으로 인지될 수 없고 다만 방사선과 물질과의 상호작용에서 나타나는 현상을 이용하여 검출할 수 있다. 이 중 방사선이 공기나 기체를 전리시키는 성질을 이용한 선량 계측기에는 공기 전리함(air ionization chamber), 비례계수관(proportional counter) 및 G-M 계수관(Geiger-Mueller counter)등¹⁷⁻²⁰이 있다. G-M 계수관은 β -ray에 대해 거의 100%의 검출효율을 가지므로, 본 실험에서는 G-M 계수관의 동작특성을 알아보고 이를 토대로 물질에 대한 β -ray 흡수현상과 입사 방사선의 비정, 최대 에너지를 조사하였기에 보고한다.

II. G-M 계수관의 구조 및 계수원리

G-M 계수기는 1908년 처음으로 Rutherford와 Geiger가 α 입자의 전하를 측정할 목적으로 α 입자의 개수를 계수하기 위해 사용되었던 것으로, Geiger 점계수관(point counter)²¹(Fig.1)은 α 입자의 계수용으로 많이 사용되고 있다. 이것은 철사의 끝에 점 P를 가지고 있으며, 관내에는 대기압 정도의 전조한 공기를 충전시키고 입자가 얇은 창을 통해서 관내로 들어

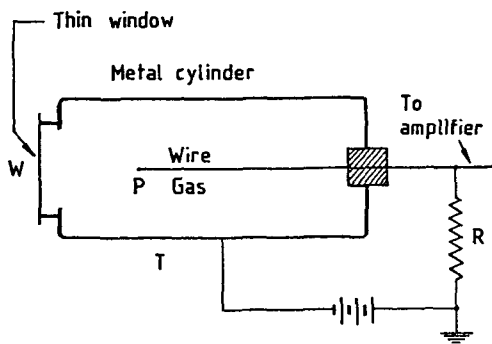


Fig.1. Diagram of a Geiger point counter

오게 되어 있다.

Fig.2는 G-M 계수관의 동작에 필요한 전자회로 장치인데 전치증폭기(preamplifier), 주증폭기(main amplifier), 고전압원(high voltage supply), 선별기(discriminator) 및 계수장치 또는 계수율의 사용배열 결

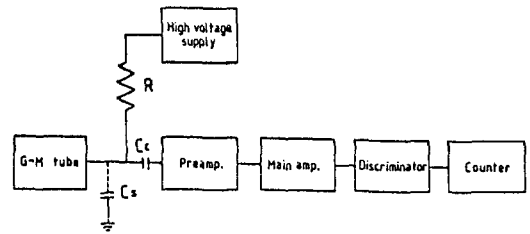


Fig.2. Block diagram of the counting electronics normally associated with a G-M tube

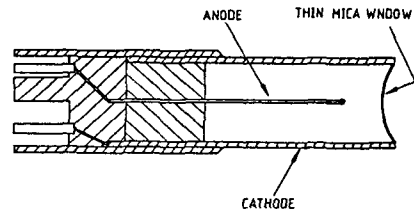


Fig.3. Schematic arrangement of typical end window Geiger-Mueller counter

선도²²이다.

본 실험에 사용한 G-M tube는 단창 원통형(thin end window type)으로서 Fig.3과 같다.

관의 주입기체로서는 90%의 아르곤 가스와 10%의 에칠알콜의 혼합체 및 소량의 소멸가스로 브롬을 넣어 대기압보다 약간 낮은 100Torr의 압력으로 봉입되어 있다. 창은 얇은 운모(약 2 mg/cm^2)로 되어 있고 양극은 tungsten wire로 그 끝에 glass bead가 부착되어 있다.

III. 실험방법

본 실험에서는 Fig.4와 같은 측정장치를 사용하였으며, 선원-G-M tube의 배열도는 Fig.5와 같았다.

사용한 주요 기구는 G-M tube(end window type)와 Scaler or Ratemeter with EHT supply(Type 102 ST) 등이었고, β -particle은 Sr-90($0.125\mu\text{Ci}$)였으며, 흡수체는 Al 판으로 흡수체 설치 방법은 Fig. 6과 같았다.

측정방법은 먼저 G-M tube를 EHT전원의 holder에 연결하여 전원을 입력시킨 후 고전압으로 서서히 올렸다. 그 다음 동작전압이 안정되도록 몇 분 정도

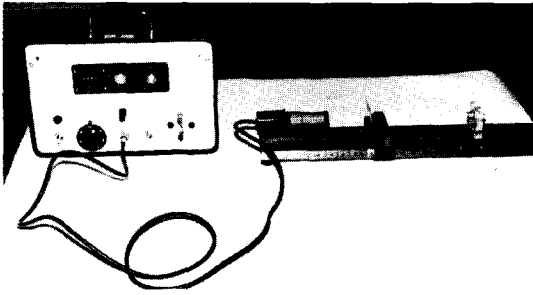


Fig.4. Photography showing the β -ray absorption measurement apparatus

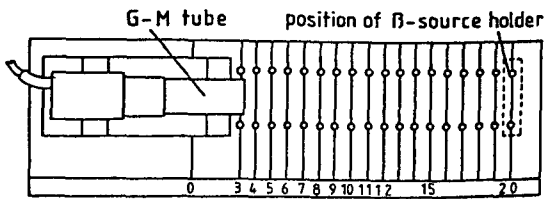


Fig.5. G-M counter arrangement

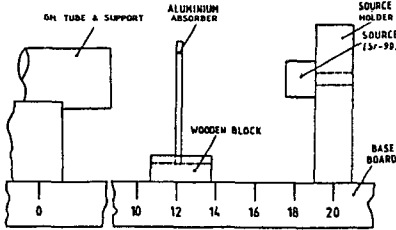


Fig.6. Absorber mounting method

지난 후 G-M tube를 측정판 위에 놓았다.

30 초 간격으로 10 분간 자연방사선을 측정 한 후에 β -particle 을 G-M tube 로부터 20 cm 전방인 "position 20" 에 장치하고, scaler 로서 30 초 간격으로 계수하였다. 또 흡수체 Al 판을 "position 12" 에 설치한 후에 흡수선량을 측정하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 거리에 따른 계수율의 변화

G-M tube 의 위치는 "position 0" 에 고정시켜 놓고 β -particle 의 위치를 변화시키면서 각 20 초간격 측정하였다.

Fig.7 은 β -particle (Sr-90)의 거리에 따른 계수율

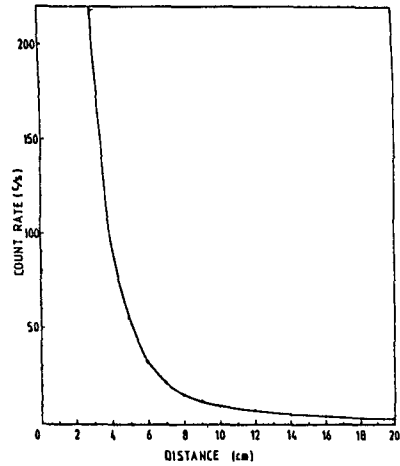


Fig.7. Count rate versus distance for Sr-90

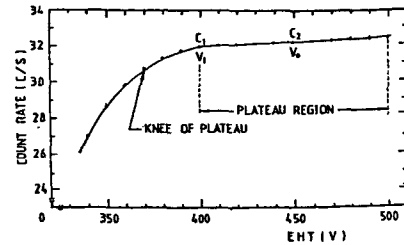


Fig.8. Characteristic curve for G-M tube

의 변화로서 지수함수적인 감소 곡선을 보이고 있었다. 이것은 β -ray 의 강도가 거리 역자승의 법칙과 물질내의 흡수와 산란등에 의해 감약되었음을 알 수 있었다.

2. 동작특성

G-M 계수관에 340 [V]의 전압을 입력시키고 30 초간격 10 회 반복 측정 한 다음 10 [V] 씩 증가시켜 입력전압에 따른 계수율의 변화를 알아본 결과, Fig. 8 과 같은 특성곡선을 얻었다. 이 때에 G-M tube 와 β -particle 의 간격은 20cm로 하였다. 340 [V] 에서부터 계수율이 급격히 증가하기 시작하였고, 370 ~ 400 [V] 사이에서는 기울기가 완만하여 plateau를 형성하게 되었다. 일반적으로 900 ~ 1,100 [V] 사이에 plateau region 이 형성되는 것으로 알고 있는데, EHT 전원을 이용한 β -ray 계수율 측정에서는 이보다 훨씬 낮은 400 ~ 500 [V]에서 계수율이 거의 일정하게 유지되어 plateau를 형성하였다.

Fig. 8에서 plateau의 발단전압(V_t)은 400 [V] 에
서 나타났고, plateau의 길이는 100 [V] 정도이었으
며, 동작전압(V_0)은 plateau region의 1/2 위치
에 해당하는 전압을 택하였다. 한편, plateau의 경사도
S는¹⁾

$$S = \frac{C_2 - C_1}{V_0 - V_t} \cdot \frac{100}{C_m} [\%/V] \dots\dots\dots(1)$$

에서 구하였다. 여기서, C_1 은 plateau의 발단 전압
(V_t)에서의 계수율, C_2 는 동작전압(V_0)에서의 계수율,
 C_m 은 $(C_1 + C_2) / 2$ 이다.

Fig. 8에서 $V_t = 400$ [V], $V_0 = 450$ [V], $C_1 =$
 31.90 [C/S], $C_2 = 32.18$ [C/S]이므로 식 (1)에 의
한 경사도 S는 0.017 [%/V]를 얻었는데, 보통 G-
M 계수관의 plateau 경사도가 0.1 [%/V] 이하이면 우
수한 편이다.

3. β -ray의 흡수와 비정

β -ray가 물질을 통과할 때는 주로 전리작용, 저지
X선 및 원자핵과의 탄성충돌등을 일으켜 그 운동에너
지를 잃고 물질내 어느 곳에서 정지해 버린다. 한편,
물질은 하전입자에 생긴 전리나 여기를 통해 β -ray
의 에너지를 흡수하게 된다. 이와 같이 전자의 전리
나 여기작용에 의한 단위 경로당 평균 에너지손실 즉
저지능(stopping power) S(E)는⁹⁾

$$S(E) = - \frac{dE}{dx} \dots\dots\dots(2)$$

이고,

$$- \frac{dE}{dx} = \alpha \frac{\rho}{v^2} = \frac{\rho}{E} \dots\dots\dots(3)$$

로 주어지는데, 여기서, v 는 전자의 속도, ρ 는 흡
수물질의 밀도; E는 전자의 운동에너지, α 는 비례
상수이다.

한편, 하전입자인 전자가 물질내를 통과할 때 그 운
동이 정지될 때까지 진행되는 최대 직선거리인 비정 R
과 에너지 E 사이에는^{9,10)}

$$R = \int_0^{E_0} \frac{1}{S(E)} dE \dots\dots\dots(4)$$

이다. 여기서 E_0 는 전자의 초기 운동에너지이다.

전자가 원자핵과 충돌할 때의 에너지 손실은 1회의
충돌로 대부분의 에너지를 잃는 경우도 있지만 여러번
충돌하여 손실되는 경우가 많다. 따라서 전자의 물질
속에서의 경로는 무질서하다.

Fig. 9는 흡수체 (Al 판)의 두께에 따른 β -particle

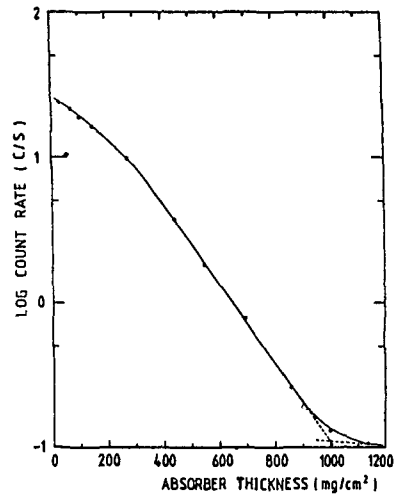


Fig. 9. Beta absorption curve for Sr-90

의 흡수특성을 나타낸 것이다. 전자의 비정 R는 Fig.
9의 직선부분의 연장선이 자연계수율과 만나는 점
(외삽비정 또는 실용비정)에서 연직선상의 흡수체 두
께로 결정되는데, 본 실험에서 비정 R은 약 1,000
[mg/cm²]을 얻을 수 있었다. 한편, Sr-90의 β -
ray 방사체의 최대에너지 E_{max} 는 흡수체의 비정으로
부터

$$E_{max} = \frac{R + 0.133}{0.542} \dots\dots\dots(5)$$

을 이용하여 구하는데 E_{max} 의 단위는 [HeV]이다.
Fig. 9에서 얻는 최대에너지 E_{max} 는 2.09 HeV이었
다.

V. 결 론

단창형 계수관을 이용하여 β -particle의 흡수 특성
을 실험한 결과, plateau region은 400~500 [V]로 그
길이가 100 [V] 정도였으며, 경사도는 0.017 [%/V]
로 성능이 우수한 편이었다. 동작전압은 450 [V]였
으며, β -particle (Sr-90)의 물질내 흡수에 따른 비
정은 실용외삽법으로 계산하여 1,000 [mg/cm²]로
나타났다. 또한, 실험식에 의한 Sr-90의 최대에너지
가 2.09 [HeV] 정도였다.

EHT 전원을 이용한 G-M 계수관은 취급하기가 편
리하고 측정장치도 간편하므로 β -ray 흡수측정에 적
당하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. William J. Price, Nuclear Radiation Detection, McGraw Hill, 115-143, 1958.
2. Atam P. Arya, Fundamentals of Nuclear Physics, Allyn and Bacon, 51-54, 1966.
3. W.E. Meyerhof, Elements of Nuclear Physics, McGraw-Hill, 107, 1967.
4. I. Kaplan, Nuclear Physics, Addison-Wesley Publishing Co., 39-44, 1969.
5. Douglas A. Skoog and Donald M. West, Principles of Instrumental Analysis, Holt, Rinehart and Winston, 393-394, 1971.
6. H. Semat and J.R. Albright, Introduction to atomic and Nuclear Physics, Holt, Rinehart and Winston, 404-408, 1972.
7. I. Kaplan, Nuclear Physics, Addison-Wesley Publishing Co., 43, 1969.
8. Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John, Wiley and Sons, 229-231, 1979.
9. William J. Price, Nuclear Radiation Detection, McGraw-Hill, 7-11, 1958.
10. Geoffrey G. Eichholz and John W. Poston, Principles of Nuclear Radiation Detection, Ann, Arbor Science, 33-37, 1979.