

'95 춘계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

외삽형전리함의 유효 단면적 측정

김정묵
한국원자력연구소
하석호, 김현문
표준과학연구원

요 약

베타선 흡수선량의 정밀측정에 사용되는 평판형전리함의 일종인 외삽형전리함(Extrapolation Chamber)으로 베타선 이온화전류의 정확한 측정을 위하여는 이온수집 단면적의 정확한 평가가 필요하다. 이를 위하여 표준 폴리축전기와 표준전압원을 이용한 충전용량 측정법으로 실제 유효 단면적을 구하였으며 측정결과는 기계적 측정치와 약 10.5%의 차이가 있음이 밝혀졌다.

1. 서 론

베타선은 매질내에서 흡수 또는 산란이 잘되므로 흡수선량의 정밀측정을 위해서는 이온전리함의 일종인 외삽형전리함이 널리 사용된다. 외삽형전리함은 입사창에 수집전극이 평행으로 되어 있는 평판형 전리함으로 수집전극에 마이크로메타가 부착되어 있으므로 이온수집체적을 변화시킬수 있어서 미소한 수집체적내에서의 이온화 전류를 측정하여 베타선 흡수선량의 정밀 평가가 가능하다. 베타선 흡수선량을 측정하려면 입사창과 수집전극의 간격을 변화시키면서 전류를 측정하여 단위체적당 전하량을 환산하여 흡수선량을 평가하는데 선량 평가를 위한 전류 측정방법은 입사창에 potential을 걸고 수집전극에 측정되는 전하를 측정하는데 입사창과 수집전극사이의 전계 분포가 왜곡되어 실제 전하가 수집되는 유효체적의 단면적은 수집전극의 기계적 단면적보다 클수가 있으며 그양은 선량평가에 직접적인 영향을 미치므로 매우 정확한 평가가 요구된다.

2. 이론적 배경

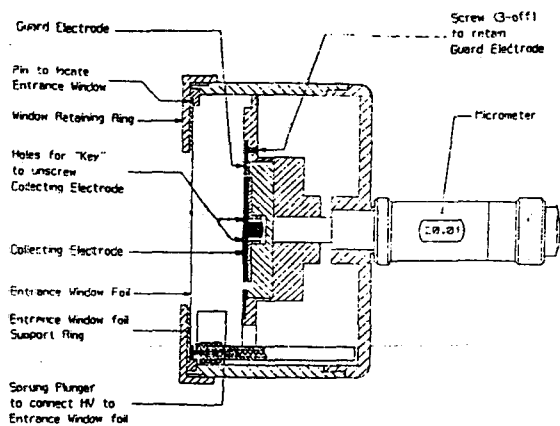


그림 1. 외삽형전리함 구조

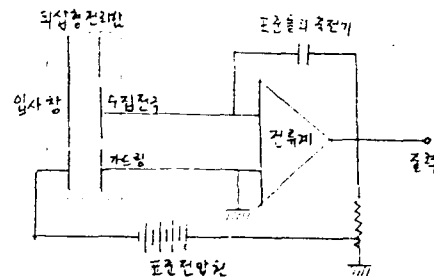


그림 2. 전리함 충전용량 측정 시스템 구성도

베타선 흡수선량 측정에 사용되는 외삼형전리함은 그림 1과 같이 입사창, 수집전극, 가드링, 수집전극 구동부로 구성되는데 입사창에 전압을 걸면 수집전극과의 사이에 전계가 형성되고 베타선이 입사하여 이온쌍을 생성하면 전계에 의해 수집전극에 유도되어 이온화 전류로 흐르게 된다. 측정된 이온화전류로부터 흡수선량을 평가하는 방법은 Bragg-Gray 이론에 따라 다음식과 같이 된다.

$$D = \frac{W}{e} S_{T,A} \left(\frac{dI}{dt} \right)_{t=0} \frac{1}{\rho A} \quad (1)$$

W/e : 이온쌍을 형성하는데 드는 에너지 (J/C)

$S_{T,A}$: 공기에 대한 조직의 질량 저지능 비

ρ : 0 °C 1기압에서의 공기밀도 ($1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$)

A : 외삼형전리함의 단면적 (cm^2)

$\left(\frac{dI}{dt} \right)$: Bragg-Gray 이론을 만족시키는 미소 수집전극에서의 이온화 전류량

여기서 실제 전압이 전리함에 걸렸을때 전하가 수집되는 유효체적은 기계적으로 계산되는 수집체적보다 클 수가 있다. 따라서 유효체적의 단면적을 $A_{eff}(\text{cm}^2)$, 전극간격 t 를 $d(\text{cm})$ 로 조정하였을 때 입사창과 수집전극사이의 충전용량을 C (pF)라 하면 다음식이 성립한다.

$$C = \epsilon_s \epsilon_0 \frac{A_{eff}}{d} \quad (2)$$

여기서 ϵ_s = 진공의 유전율 ($8.85 \times 10^{-2} \text{ pF/cm}$)

ϵ_0 = 비유전율 (공기 = 1)

여기서 전극간격 d (cm) 는 마이크로메타로 측정하는데 게이지의 눈금치와 정확하게 일치하지 않을 수도 있으므로 전극간격을 변화시켜가며 충전용량을 측정하여 다음식으로 부터 A_{eff} 를 계산한다.

$$A_{eff} = \frac{C_{x1} C_{x2}}{C_{x2} - C_{x1}} (d_2 - d_1) \frac{1}{\epsilon_s \epsilon_0} \quad (3)$$

외삼형전리함의 전극 사이 충전용량을 측정하는 방법은 전류계의 Internal Capacitance 를 이미 알고 있으므로 이 값을 표준 충전용량을 하여 그림 2와 같이 결선한 후 일정 전압을 Voltage Source로 인가하여 전류계의 출력 전압을 측정하면 다음식으로 부터 충전용량을 구할 수 있다.

$$C_{chamber} = C_{total} \frac{V_{out}}{V_{in} - V_{out}} \quad (4)$$

여기서 v_{out} = 전류계의 측정 전압

v_{in} = Voltage Source의 인가전압

$C_{chamber}$ = Total internal 충전용량

3. 실험 및 결과

3.1 실험장치

본 실험에서 사용한 측정시스템은 그림 2 와 같이 외삼형전리함(NE 2535, Nuclear Technology Co., U.K.), Voltage Source(Fluke 3540, Fluke Co., U.S.A.), Electrometer(TR-8401, Advantest

Co., Japan) 및 표준과학연구원에서 교정된 표준플리축전기로 구축하였으며 외삽형전리함의 재질은 "kapton" polyimide 75 μm 의 입사창과 A-150 tissue equivalent plastic(dia. 3 cm)의 수집전극으로 구성되어 있다.

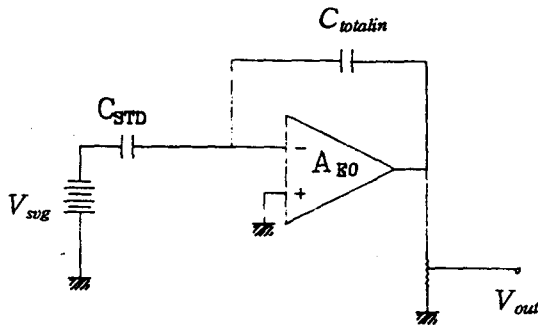


그림 3. $C_{total\ in}$ 측정하기 위한 회로.

3.2 $C_{total\ in}$ 측정

전류계의 앰프에 피드백으로 걸리는 충전용량 $C_{total\ in}$ 은 앰프에 피드백으로 연결된 순수 충전용량 C_{in} 과 전류계 회로, 전리함 및 케이블에 의한 stray 충전용량으로 구성되는데 $C_{total\ in}$ 의 측정을 위하여 이미 용량을 알고 있는 표준 축전기를 그림 3와 같이 연결하고 표준전압원에 일정전압을 인가한 후 출력전압을 측정하여 다음식으로 부터 $C_{total\ in}$ 을 계산하였다.

$$C_{total\ in} = C_{in} + C_{stray} = C_{std} \frac{V_{sug} - V_{out}}{V_{out}} \quad (5)$$

여기서 C_{std} = 표준축전기(9.678 pF)

V_{in} = 표준전압원

V_{out} = 출력전압이며 측정결과 $C_{total\ in}$ 는 $11.16 \pm 0.02\text{pF}$ 으로 측정되었다.

3.3 $C_{chamber}$ 측정

위에서 측정된 $C_{total\ in}$ 을 바탕으로 그림 2와 같이 결선된 회로에서 외삽형전리함의 전극간격을 변화시키면서 표준전압을 인가한 후 출력전압을 측정하여 식 4로 부터 $C_{chamber}$ 을 계산하였으며 그 결과는 그림 4와 같다.

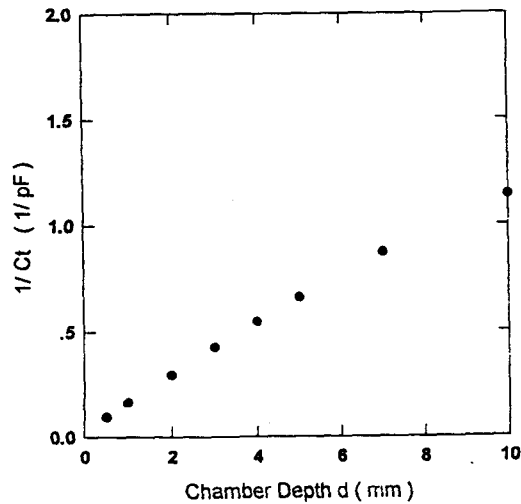


그림 4. $C_{chamber}$ 측정 결과.

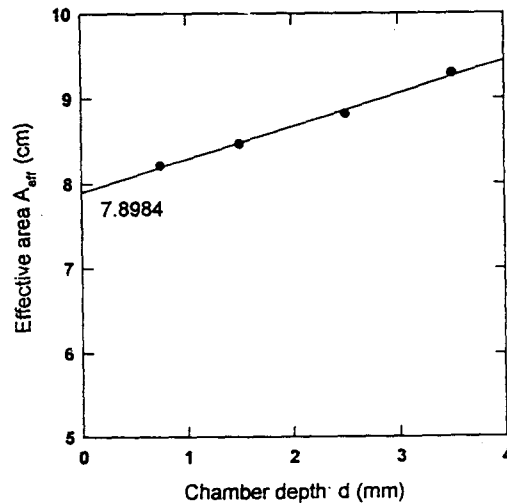


그림 5. A_{eff} 계산결과

3.4 A_{eff} 평가

전리함의 전극 간격별로 측정된 $C_{chamber}$ 를 식 3에 대입하여 A_{eff} 를 계산한 결과는 그림 5와 같이 전리함 간격이 커짐에 따라 다르게 나타났는데 이 원인은 전극 간격이 커짐에 따라 전극사이에 형성된 전계가 더 왜곡되기 때문으로 풀이된다. 그런데 식 1의 흡수선량을 평가하기 위한 이온화체적은 전극간격이 0에 가까운 미소체적이어야 하므로 A_{eff} 의 계산결과를 전극간격 0으로 외삽시키면 A_{eff} 는 7.90 cm^2 가 되며 직경 3 cm인 수집전극의 기계적 단면적 7.07 cm^2 와 비교하면 약 10.5%의 차이가 있음을 알 수 있으며 이 차이는 흡수선량 평가에 직접적인 영향을 줄 수 있어서 A_{eff} 의 정확한 평가가 필수적임이 밝혀졌다.

4. 결론

베타선 흡수선량 정밀평가를 위하여 이온화전류 측정에 사용되는 외삽형전리함 이온수집체적의 단면적을 정확히 평가하기 위하여 전리함의 충전용량 평가를 통한 방법과 기계적 측정치를 비교하였으며 비교결과는 10.5%의 차이가 나는 것으로 나타나 단면적의 정확한 평가가 필수적임을 알 수 있었다.

[참고문헌]

- [1]. J. Bohm, PTB-DOS-13 (1986)
- [2]. 松本, 崎原, 山地, “베타선 조직 흡수선량 표준,” 日本保健物理學會 第 23 會 研究發表會 論文集, 23 (1989)