

‘96 춘계 학술발표회 논문집  
한국원자력학회

기준 베타선 흡수선량 비교 측정

김정목, 장시영, 이기창  
한국원자력연구소

요 약

$\beta$ -선 흡수선량의 1차 표준이 확립되지 않은 상황에서 측정표준이 이미 확립된 외국의 표준기관에서 검증되어 도입된  $\beta$ -선 흡수선량 조사시설에 대해 ISO-6980에서 명시한 항목에 대해 성능시험을 수행하였고, 외삽형전리함을 사용하여 측정된 이온화전류로부터 흡수선량률을 재평가하여 외국의 검증결과와 비교하였다. 조사시설의 성능시험 결과  $Sr^{90}+Y^{90}$ 선원에 대해 선원으로부터 30cm거리에서 빔 균일도, 제동복사선 기여도 및  $\beta$ -선 최대잔여에너지가 기준에 적합한 것으로 나타났다. 그리고 흡수선량 평가결과는 '96. 4. 1을 기준으로하여 20 °C, 1기압에서 2.686 ( $\pm$  2.73%)  $\mu$ Gy/sec로 외국표준기관의 측정치와 1.8%이내에서 일치하는 것으로 나타났다.

1. 서 론

산업발전에 따른 원자력발전량의 증가와 의료용 동위원소 사용량의 증가로 인하여 이들 기관에서 종사하는 작업자들의 방사선 방어에 대한 중요성은 날로 커져가고 있다. 일반적으로  $\gamma$ , X-선이나 중성자와 같이 위해도가 큰 방사선에 대한 방어는 잘 되고 있는 반면 위해도가 작은  $\beta$ -선은 방사선 방어의 대상으로서 중요시 되지 않았었다. 그러나 피복이나 보안경등으로 충분히 차폐되지 않은 상태에서 눈이나 피부 등에  $\beta$ -선이 다량 피폭될 경우 심각한 장애를 초래할 수도 있다. 따라서  $\beta$ -선에 대한 위해도의 정확한 평가가 필요한 실정이다.

$\beta$ -선 흡수선량의 정밀평가를 위한 측정의 1차 표준이 아직 확립되지 않은 상태이므로 2차 교정기관인 원자력연구소에서는 수요자의 요구를 충족시키기 위하여 '93년 3월 측정표준이 확립된 외국의 1차 표준기관에서 검증된  $\beta$ -선 흡수선량 조사시설을 도입, 사용하여왔다. 이들 시설은 그 성능 유지를 위하여 주기적으로 ISO-6980에 명시된 항목에 대하여 성능시험을 실시하여야 하며 또한 외국의 표준기관에서 도출한 흡수선량률에 대하여 교차검증의 차원에서 선량을 재평가하는 작업이 필요하다.

본연구에서는  $\beta$ -선 조사시설에 대한 성능시험 및 선량 재평가작업을 수행하고 외국표준기관 측정치와 비교 검증을 실시하였다.

## 2. 본 론

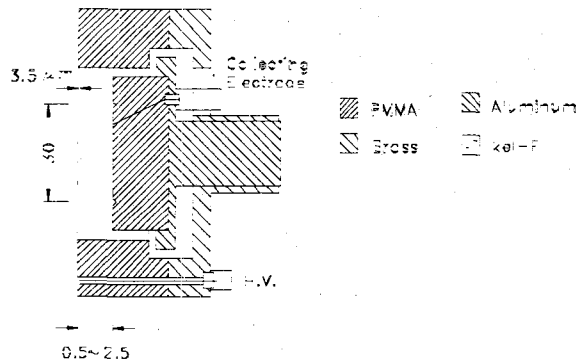


Fig. 1. Cross-Section of the Extrapolation Chamber

그림 1은  $\beta$ -선 흡수선량 정밀 측정에 사용되는 이온전리함의 일종인 외삽형전리함으로 전리함 입사창과 이온수집전극, 마이크로메타가 연결된 이온수집전극 구동부로 구성된다. 이온전리함에 유도되는 이온화전류로부터 흡수선량을 평가하려면 공동이론의 일종인 Bragg-Grey 이론이 적용된다. Bragg-Grey이론을 적용하려면 측정조건이 Bragg-Grey 가정을 만족시켜야 하는데  $\beta$ -선은 매질내에서 산란 및 흡수가 잘 되므로  $\beta$ -선 흡수선량을 측정하려면 미소이온체적상태에서의 이온화전류를 측정하여야 한다. 이를 위하여 외삽형전리함의 마이크로메타로 이온수집전극을 이동시켜 전리함의 이온수집체적을 변화시키면서 이온화 전류를 측정하여 미소이온체적 상태에서의 이온화 전류를 측정할 수 있으며 이 값을 식 1에 대입하여  $\beta$ -선 흡수선량을 평가할 수 있다.

$$\dot{D}_t = s_{t,a} \frac{W}{ea\rho_0} k \left( \frac{d(I)k}{dl} \right)_{BGC} \dots\dots\dots(1)$$

$$k = k_{br} k_{ba} k_{ra} k_{wi}$$

$$k = k_{ab} k_{el} k_{\epsilon} k_{dik} k_{pe} k_{ac}$$

- $S_{t,a}$ : 조각에 대한 공기의 질량충돌저지능비
- $a$  : 외삽형전리함의 유효전하수집 단면적 (cm<sup>2</sup>)
- $\rho_0$  : STP상태에서의 공기 밀도 (kg/m<sup>3</sup>)
- $W/e$  : 공기중 한 이온쌍을 만드는데 드는 전하량 (J/C)
- $\frac{d(I)k}{dl}$  : 전하수집체적 단위두께당 이온화전류 (A/cm)
- $I$  : 외삽형전리함의 이온화전류
- $l$  : 전하수집체적의 두께
- $k_{br}$  : 조사선원의 제동복사선 기여도
- $k_{ba}$  : 전하수집전극의 후방산란을 보정인자
- $k_{ra}$  : 빔의 원주방향 균일도
- $k_{wi}$  : 전리함입사창의 산란을 보정인자
- $k_{ab}$  : 전리함 입사창과 선원사이의  $\beta$ -선 감쇄율

- $k_{el}$  : 수집전압에 의한 입사창의 왜곡 보정인자
- $k_e$  : 전하수집체적내의 공기 감쇄율
- $k_{di}$  : 빔 경사도 보정인자
- $k_{pe}$  : 전리함 외벽산란인자
- $k_{ac}$  : 전리함내의  $\beta$ -선 감쇄인자

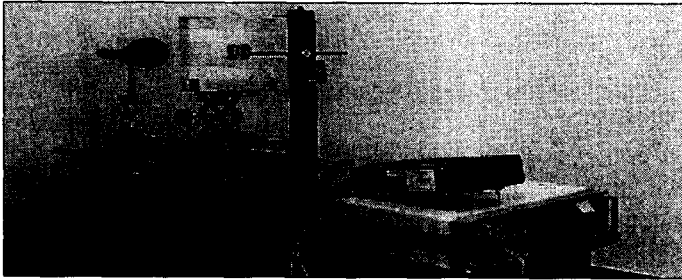


Fig. 2. Cross-Section of  $\beta$ -ray Irradiation Facility

### 3. 실험 및 결과

#### (가) 조사장치 성능평가

$\beta$ -선 조사장치는 그림 2와 같이  $\beta$ -선원( $Sr^{90}+Y^{90}$ ,  $Tl^{204}$ ,  $Pm^{147}$ ), ISO규격에 명시된 Beam Flattening Filter와 조사대로 구성된다. ISO의 규격(ISO-6980)에서 요구하는  $\beta$ -선 조사장치의 주요 성능평가 항목은 다음과 같다.

- Beam Flattening Filter가 설치된 상태에서 선원으로 일정거리( $Sr^{90}+Y^{90}$ 의 경우 30cm) 측정점에서
  - (1)  $\beta$ -선 빔방향에 수직한 원주방향의 빔균일도는 직경 20cm이내에서  $\pm 5\%$ 이하이어야 함
  - (2)  $\beta$ -선으로부터 방출되는 제동복사선은  $\beta$ -선빔의 5%이내 이어야 함.
  - (3)  $\beta$ 선 최대에너지를  $E_{res}$ 라 하면  $Sr^{90}+Y^{90}$ 의 경우 1.8MeV이상이 되어야 함.

표 1은 ISO의 규격에 따라 조사장치( $Sr^{90}+Y^{90}$ )의 선질에 대한 성능을 평가한 결과로서 ISO의 규격을 만족시키는 것으로 나타났다.

Table. 1. Beam Characteristics of  $\beta$ -ray Irradiation Facility

| 구분                                    | ISO권고치       | 측정치          |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| Beam Uniformity                       |              |              |
| - x-direction                         | $\pm 5\%$ 이하 | $\pm 2.08\%$ |
| - z-direction                         |              | $\pm 2.41\%$ |
| 제동복사선 기여도                             | 5%이하         | 2.33%        |
| Maximum Residual Energy ( $E_{res}$ ) | 1.8MeV 이상    | 1.89MeV      |

(나)  $\beta$ -선 흡수선량 측정

그림 2와 같은 조사장치에서  $\beta$ -선원( $\text{Sr}^{90}+\text{Y}^{90}$ )에 대해 선원으로 부터 30cm거리 측정점에서 외삽형전리함으로 부터 유도된 이온화전류를 Electrometer(Keithley 642)를 사용하여 측정하고 식 1로 부터 흡수선량을 평가하였다.

식 1에서 Bragg-Grey조건을 만족하는 미소체적당 이온화전류를 측정하기 위하여 외삽형전리함의 이온화체적 두께를 변화시켜 가며 이온화전류를 측정하였다. 이때 외삽형전리함은 평판형이므로 Polarity 효과가 크게 나타나기 때문에 이 효과를 제거하기 위하여 입사창과 수집전극 사이에 걸리는 전압의 극성을 바꾸어가며 이온화전류  $I^+$ ,  $I^-$ 를 각각 측정하고 이들의 평균값  $(I^+ + I^-)/2$ 를 계산하여 실제 이온화전류값으로 적용하였으며 이온화체적 두께 1을 변화시켜가며 측정한 이온화전류값은 그림 3과 같다.

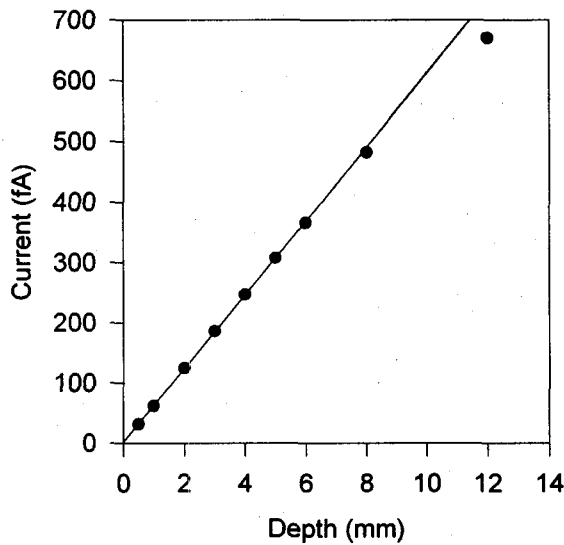


Fig. 3. Ionization Current vs. Chamber Depth

식 1의  $\frac{d(I)}{dl}$ 을 구하기 위하여 그림 3으로 부터 직선으로 regression한 결과  $\frac{d(I)}{dl}$ 는  $610.0469(\pm 0.35\%) \text{ fA/cm}$ 으로 나타났다. 한편 식 1의 흡수선량을 구하기 위한 인자들중 전리함의 제작특성에 관계되는 유효전하수집단면적  $a$ 는 외삽형전리함의 이온화체적 두께를 변화시켜가며 이온화 체적의 충전용량을 측정하여 다음식 2로 부터 계산하였다.

$$a = \epsilon_s \epsilon_0 C \cdot l \dots\dots\dots(2)$$

$\epsilon_s$ : 진공의 유전율 ( $8.85 \times 10^{-2} \text{ pF/cm}$ )

$\epsilon_0$ : 비유전율(공기 = 1)

C : 입사창과 수집전극사이의 충전용량(pF)

그리고 다른인자들은 본 조사시설의 흡수선량을 검증한 독일의 1차 표준기관인 독일연방물리청 (PTB)이 결과 산출시 사용하였던 조건인 20 °C, 1기압 습도 45%에서의 값들을 그대로 인용하였다. 이에 따라 흡수선량을 계산한 결과는 표 2와 같으며 이 결과를 독일의 표준기관 검증치와 비

교한 결과는 표 3과 같이 나타났는데 본 실험의  $\beta$ -선 흡수선량 측정치가 1.8%이내에서 독일의 측정치와 일치하는 것으로 나타났다.

Table. 2. The results of  $\beta$ -ray Absorbed Dose with  $\beta$ -source ('96. 4. 1)

| Correction Factor              | Value                  | Error        |
|--------------------------------|------------------------|--------------|
| $S_{t,a}$                      | 1.110                  | $\pm 1.5\%$  |
| W/e (V)                        | 33.97                  | $\pm 0.2\%$  |
| a (cm <sup>2</sup> )           | 7.22                   | $\pm 2.2\%$  |
| $\rho_0$ (kg/m <sup>-3</sup> ) | $1.205 \times 10^{-5}$ | $\pm 0.04\%$ |
| $\frac{d(Ik)}{dl}$ (fA/cm)     | 610.0469               | $\pm 0.35\%$ |
| $\prod k_i$                    | 1.0159                 | $\pm 0.46\%$ |
| ( $k_{br}$ )                   | (0.998)                | $\pm 0.1\%$  |
| ( $k_{ba}$ )                   | (1.010)                | $\pm 0.3\%$  |
| ( $k_{ra}$ )                   | (1.000)                | $\pm 0.2\%$  |
| ( $k_{un}$ )                   | (1.000)                | $\pm 0.1\%$  |
| ( $k_{ab}$ )                   | (1.000)                | $\pm 0.1\%$  |
| ( $k_{el}$ )                   | (1.000)                | $\pm 0.1\%$  |
| ( $k_{\infty}$ )               | (1.000)                | $\pm 0.0\%$  |
| ( $k_{di}$ )                   | (1.016)                | $\pm 0.1\%$  |
| ( $k_{pe}$ )                   | (0.992)                | $\pm 0.2\%$  |
| ( $k_{ac}$ )                   | (1.000)                | $\pm 0.0\%$  |
| $D_{t,t}(0)$ ( $\mu$ Gy/sec)   | 2.686                  | $\pm 2.73\%$ |

Table. 3. Comparison of  $\beta$ -ray Absorbed Dose Value

| 구분                 | PTB                   | KAERI                 | Difference |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 측정치( $\mu$ Gy/sec) | 2.6391( $\pm 0.8\%$ ) | 2.686( $\pm 2.73\%$ ) | 1.8%       |

#### 4. 결 론

외국의 표준기관인 독일연방물리청에서 검증되어 2차교정기관인 원자력연구소에 도입된  $\beta$ -선 흡수선량 조사시설에 대해 ISO규격에 따라 성능검사를 실시하였고 외삽형전리함을 사용하여 선 원으로부터 30cm거리에서  $\beta$ -선원( $Sr^{90}+Y^{90}$ )에 대해 흡수선량을 측정하였다.

성능실험결과 빔 균일도, 제동복사선 기여도 및 측정점에서의 최대잔여에너지가 ISO규격에 합당한 것으로 나타났으며 흡수선량은 '96. 4. 1. 현재 20 °C, 1기압에서 2,686( $\pm 2.73\%$ )  $\mu$ Gy/sec로 평가되어 독일의 검증치와 1.8%이내에서 일치하는 것으로 나타났다.

#### [참고문헌]

1. J. Bohm, PTB-DOS-13, (1986).
2. J. Bohm, "Certification Report of  $\beta$ -sources", PTB (1993).
3. ISO, ISO-6980, (1983).