

감마선 조사장치 교정용 전리함 선량계의 최고 측정능력 평가

서장수, 원유호, 손중권, 강기두

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25번지

sjsjs@khnp.co.kr

전리함형 선량계는 감마선의 에너지에 대한 반응도가 비교적 일정하게 유지되며, 구조 및 취급이 간단하여 감마선 선량측정 분야 측정기로 널리 사용되고 있는 장비이다. 전리함형 선량계 교정은 국가측정표준과의 소급성이 유지된 교정용 기준기를 사용하여 감마선 빔 내의 특정 지점에 대한 선량률을 측정 후 동일 지점에 피 교정 측정기를 위치시켜 측정하는 치환법과, 교정된 감마선 빔 내의 특정 지점에 피 교정 측정기를 위치시켜 반응도를 측정하는 기준선량법의 두 가지로 분류할 수 있으며, 본 실험에서는 기준선량법에 의한 반응도 시험을 수행하였다. 측정은 첫째, 감마선 조사장치의 교정 결과를 이용하여 기준 점에서의 선량률을 산출하고, 둘째, 기준점에서 이온 전리함 및 전류측정장치를 이용하여 전리전류를 측정, 기준 선량률을 측정전류로 나누어 전리함 선량계의 교정인자를 산출하고, 셋째, 이온화 전류 측정에 대한 상대확장불확도를 산출하는 방법으로 진행하였다.

- 측정절차

- 기준선량법에 따라 측정기를 교정할 때 적용되는 피교정 측정기의 교정인자는 다음 식에 따라 산출한다.

$$N_r = \frac{K_s}{I_r \cdot k_{tp}}$$

여기서

N_r : 피교정 측정기의 교정인자 K_s : 기준선량(율)

I_r : 피교정 측정기의 전리전류 k_{tp} : 피교정 측정기의 환경보정 인자

- 이때 온도 및 기압 변화에 따른 환경보정 인자는 다음 식에 따라 산출하여 적용한다.

$$k_{tp} = \frac{273.15 + t}{273.15 + t_0} \cdot \frac{P_0}{P}$$

여기서

k_{tp} : 환경 보정인자 t_0 : 기준 온도(°C)

t : 측정시의 온도(°C) P_0 : 기준 기압(kPa) P : 측정시의 기압(kPa)

이 때 기준 온도 및 기준 기압은 20 °C, 101.325 kPa로 한다

표1. 감마선 조사장치 교정데이터

구 분	선 원			
	75.5 TBq	7.4 TBq	185 GBq	11.1 GBq
최근 교정일자	2006-12-11	2006-12-11	2006-12-12	2006-12-13
회귀일차항(a)	4.74262	6.80994	5.24506	7.06657
회귀상수항(b)	2.00706	2.01133	2.02018	2.01408
상대확장불확도(%)	1.5	1.5	1.5	3.0

- 전리전류 측정

- Exradin A4, Ion chamber를 사용하여 External feedback mode로, high voltage는 chamber wall에 -300 V를 인가하였으며, 측정 거리는 200.5 cm에서 각 10회 측정 평균하여 전리전류

를 얻었고, BKG는 전리전류 측정 전, 후 각 10회(100초) 측정하여 평균하였다. 그 측정 결과는 아래 표2와 같다.

표2. 측정결과

측정기기	Exradin A4 (30 ml)
조사선원	7.4 TBq
기준선량률(Gy/h)	0.15
Ii(A)	4.09E-11
Ib(A)	6.55E-15
Net I(A)	4.09E-11
표준불확도(A)	2.07E-15
상대표준불확도(%)	0.01

- 교정인자 산출

$$N_r = \frac{N_s}{I_{krp}} = \frac{0.15 \text{ (Gy/h)}}{4.09 \times 10^{-11} \text{ (A)} \times 3600 \text{ (s/h)}} = 1.019 \times 10^6 \text{ (Gy/C)}$$

- 불확도 산출

- 불확도의 전파 법칙에 따라 합성표준불확도는 다음과 같이 주어지며 모든 불확도 요인의 단위가 서로 다르고 곱하기와 나누기로 구성되어 있으므로 각 요인을 상대표준불확도로 전환하여 평가하는 경우 각 요인의 감도계수는 상대표준불확도에 포함(감도계수 = 1)된다. 불확도요인 및 상대표준 불확도를 표 3에 요약하였다.

$$u_c(N_r) = \sqrt{u^2(K) + u^2(I_r) + u^2(k_E) + u^2(k_{pr}) + u^2(k_d)}$$

표3. 불확도 요약

불확도 요인	상대표준불확도(%)	확률분포	적용인자	
기준 커마울	0.750	N	1/2	
측정전류	0.010	t	1.0	
전류측정 장치	Capacitor	0.025	t	1/2
	Voltage	0.028	R	1/√3
	Timer	0.058	R	1/√3
	합 성	0.069	R	-
환경보정 인자	Pressure	0.007	t	1/2
	Temperature	0.012	N	1/2
	합 성	0.014	N	-
위치재현성	0.007	R	1/√3	
상대합성표준불확도	0.75	-	-	

- 상대확장 불확도를 구하기 위해 “측정불확도 표현지침(한국표준과학연구원, 1999)에서 제시한 방법에 따라 Welch-Salterthwaite 식을 이용해서 각 불확도 성분의 자유도로부터 유효 자유도(ν_{eff})를 산출하며, 결정된 유효 자유도가 50 이상이므로 $k = 2.0$ 을 적용하여 상대확장 불확도를 구한다. 즉

$$U(Nr) = k \cdot u_c(Nr) = 2 \times 0.75 \% = 1.5 \%$$

- 최고측정능력 평가

- 이상적인 측정을 가정하여 A형 불확도 성분인 측정전류에 대한 불확도를 제거, 최고 측정능력을 % 단위로 산출한다. 이때 측정전류의 불확도성분이 전체 불확도에 미치는 영향이 미미하므로 산출된 상대확장 불확도를 최고측정능력으로 결정하였다.