

이온전리함(Ion Chamber) 교정 및 불확도 추정

조문형, 서장수

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

02190559@khnp.co.kr

1. 서론

이온전리함은 감마선 조사장치의 교정 및 중간점검 등에 사용되는 교정용 표준기이며, 이온전리함의 교정은 감마선 조사장치에 의해 형성된 공기커마울과 전류측정장치의 지시값과의 관계를 구하는 것을 목적으로 한다.

교정방법에는 동일조건외 방사선장에 기준 측정기와 피 교정측정기를 교대로 치환하여 교정하는 치환법과 기준 감마선 조사장치에 의해 형성된 공기커마울을 기준으로 피 교정측정기를 교정하는 기준선량법이 있으며, 본 교정에서는 기준선량법을 사용하여 교정하였다.

교정시 기준 공기커마울은 180 mGy/h로 교정선원의 방사능을 붕괴 보정하여 1798.82 mm의 거리에서 교정을 수행하였으며, 교정을 수행하기 전에 이온전리함을 교정대 위에 설치하고 일렉트로미터에 연결하여 -300 V의 고전압을 이온전리함 벽에 공급, 충분히 안정시킨 후 교정을 수행하였다.

2. 교정 방법 및 결과

이온전리함의 중심이 감마선 조사장치의 빔 중심축 상에 놓이도록 레이저 조준장치와 측정기 이동장치(unislide, rack jack 등)를 사용하여 좌우 상하방향을 조절하였고,

측정점 재현장치(레이저 또는 측각기)를 지면에 수평되게 조절하여 측벽의 확인용 기준점이 측정점 재현장치의 중심에 있음을 확인하였다.

교정대를 기준점으로 이동시킨 후 측정점 재현장치(레이저 또는 측각기 등) 중심점의 이동선이 교정대 상단의 기준선과 일치함을 확인한 후 측정점 재현장치와 측정기 이동장치를 사용하여 이온전리함의 중심점이 기준점을 포함한 기준면 상에 위치하도록 측정기의 전후방향을 조절하였고 측정지점에서 빔의 크기가 검출기의 1.5배 이상이 되도록 빔 크기 조절기를 선택하였다.

그리고 감마선 조사장치 교정 성적서를 이용하여 교정이 수행되는 시점에서 기준 공기커마울과 이에 해당하는 측정거리를 산출하여 이온전리함을 측정거리로 이동하였다.

이온전리함의 이온화 전류 및 누설전류(BKG)를 10회 이상 측정하였으며, 누설전류는 측정 전후 평균값으로 하여 이온화 전류 측정값을 보정하였다.

전류는 $I = C \times \Delta V / \Delta t$ 의 식으로 산출되며, 이를 위한 개시전위는 0.2 V, 종료전위는 1.5 V, 이온화 전류와 누설전류 측정용으로 각각 10,224 pF, 9,789 pF의 캐패시터를 사용하였다.

또한, 전리기체가 공기이므로 온도 및 기압을 각각 20°C, 101.325 kPa 기준으로 측정 전류를 보정해 주었다.

교정인자는 다음 식에 따라 산출되며,

$$N_r = \frac{\dot{K}}{I_r \cdot k_E \cdot k_p \cdot k_d} \quad (1)$$

기준 공기커마울 180 mGy/h에서 측정된 전류와 상대표준불확도는 표 1과 같다.

표 1. 측정결과

구분	측정값
$I_r(A)$	4.96E-11
$I_b(A)$	2.43E-15
Net I(A)	4.96E-11
표준불확도(A)	4.13E-15
상대표준불확도(%)	0.01

3. 측정불확도 평가

- 기준 커마(율)의 불확도 : $u(\dot{K})$

감마선 조사장치 성적서에 주어진 확장불확도가 포함인자 $k = 2.0$ 을 적용하여 1.6 % 이므로 상대표준 불확도는 $u(\dot{K}) = 1.6/2 = 0.8 \%$ 를 적용한다.

- 이온화 전류의 불확도 : $u(I_r)$

측정값의 평균에서 측정 전후의 BKG 전류값의 평균을 빼고, 아래의 식으로 계산된 합성불확도의 값을 해당 전류값으로 나누어 상대표준불확도를 산출한다.

$$i_n = (i_i \pm \sigma_i) - (i_b \pm \sigma_b) = (i_i - i_b) \pm (\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_b^2}) \quad (2)$$

- 이온화 전류 측정장치 불확도 : $u(k_E)$

이온화 전류 측정값은 $I = C \times \Delta V / \Delta t$ 의 식에 의해 구해지므로 캐패시터, 전압측정장치 및 타이머의 불확도를 합성하여 평가한다.

- 환경보정인자 불확도 : $u(k_{tp})$

환경보정인자는 기압 및 온도의 불확도를 합성하여 평가하며, 각각의 불확도는 교정성적서에 주어진 상대확장불확도를 $k = 2$ 로 나누어 적용한다.

- 위치재현성 불확도 : $u(k_d)$

거리 측정에 사용되는 magnetic scale 및 inside micrometer를 사용한 거리 측정시의 표준불확도를 합성하여 평가하되, 선량률은 거리의 제곱에 반비례하므로 선량값에 미치는 영향(기여도)을 따로 평가하여 2를 곱한 값을 적용해 준다.

이상과 같이 각 요인들의 불확도를 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 불확도 요약

불확도 요인	추정값	상대표준 불확도(%)	확률분포	감도계수	기여량 (%)	자유도
공기커마율(\dot{K})	180 mGy/h	0.8	N	1.0	0.8	∞
측정전류(I_r)	4.96E-11 A	0.008	t	1.0	0.008	9
전류측정장치(k_E)	1	0.079	R	1.0	0.079	∞
환경보정인자(k_{tp})	1.007 ~ 1.011	0.014	N	1.0	0.014	543
위치재현성(k_d)	1.0	0.024	R	1.0	0.024	∞
상대합성표준불확도					0.804	∞

4. 결론

가. 이온전리함의 Calibration Factor는 1.01E+06 Gy/C으로 나타났으며, 상대합성표준불확도는 0.804 %로 아주 양호함을 알 수 있었다.

나. 확장불확도로 표현되는 측정불확도는 신뢰수준 약 95 %, $k = 2$ 에서 유효숫자 두자리를 취하면 $0.804 \times 2 = 1.6 \%$ 로 산출되었다.

다. 교정결과의 적합성을 확인하기 위하여 전년도 표준과학연구원의 교정결과를 기준값(X_r)으로 한 En값을 아래의 식에 따라 비교하였고

$$En = \frac{(X_m - X_r) \times 100 / X_r}{\sqrt{U_r^2 + U_m^2}} = 0.66 \quad (3)$$

합성불확도와 상대오차의 비율인 En 값이 1을 초과하지 않았으므로 이온전리함의 교정결과가 유효하며, 교정용 표준기로 활용 가능성을 입증하였다.

참고문헌

1. 이온전리함형 선량계의 표준교정절차(KASTO 02-26-1030-042)
2. 측정불확도 표현 지침(KRISS-99-070-SP)