

이온전리함을 이용한 저준위 감마선조사장치 최고측정능력(BMC) 산출

서장수, 하석호*, 원유호**

한수원(주) 원자력교육원, 울산광역시 울주군 서생면 신암리 991

*한국표준과학연구원, 대전광역시 유성구 도룡동 1

**한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

sissis@khnp.co.kr

1. 서론

감마선 조사장치란 감마선을 방출하는 핵종을 차폐체 내부에 두고 일정 방향으로 빔을 조사할 수 있도록 하는 장치로 거리에 따른 선량률을 이용하여 서베이미터 등의 교정에 사용되며 특히 원자력발전소 방사선계측기의 교정에 사용되는 감마선조사장치는 ^{137}Cs 밀봉 선원을 사용하고 있다.

최고측정능력^[1]이란 규정된 시험실 조건 하에서 기 확립된 교정 또는 교정 유형에 대하여 교정기관이 달성할 수 있는 최소의 측정 불확도를 말하며, 이 때 측정에 기여하는 불확도 요인은 작은 것이라 할지라도 누락됨이 없이 모두 평가되어야 한다.

본 논문의 최고측정능력은 감마선 조사장치(^{137}Cs 111 MBq)의 교정 결과를 바탕으로 산출한 것이며, 측정 범위는 $0.3 \mu\text{Gy/h} \sim 10 \mu\text{Gy/h}$ 이다.

2. 측정 및 방법

감마선 조사장치의 교정은 국가측정표준과의 소급성이 유지된 이온전리함을 이용하여 공기커마울을 측정하고 거리와 커마울과의 관계를 식으로 표현하는 것으로 아래와 같은 절차^[2]에 따라 수행되었다.

첫째, 이온전리함을 교정대에 설치하고 레이저와 교정대 이동장치를 사용하여 감마선 조사빔과 전리함의 중심이 일치하도록 측정기의 상하 좌우 방향을 조정한다.

둘째, 측각기를 사용하여 기준면 상에 전리함의 중심이 위치하도록 측정기의 전후 방향을 조절한다.

셋째, 전리함에 고전압을 공급하여 충분히 안정시킨 후 선원을 인출시켜 60 분간 예비조사를 수행한다.

마지막으로 교정레일 범위(100 cm ~ 500 cm)

에 대하여 100 cm 간격으로 이온화 전류를 측정하고, 측정값이 10^{-14} A 정도의 미소 전류임을 감안하여 누설전류(BKG)는 각 측정 점마다 측정 전후의 평균값을 산출하여 이온화 전류 측정값을 보정하여준다.

이러한 절차에 따라 각 측정 지점에 대하여 10 회 이상의 반복 측정을 수행하였으며, 측정기 지시 값의 변동이 $\pm 1\%$ 이상이 되거나 측정 중 온도, 압력에 의한 보정인자의 변동이 $\pm 0.2\%$ 이상이 되는 경우 재측정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

상기와 같은 절차에 따라 측정된 거리별 이온화 전류에 이온전리함의 교정상수를 곱하여 공기커마울을 구하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Air Kerma Rate

Distance (cm)	Net I (A)	C.F.of Chamber (Gy/C)	Kair ($\mu\text{Gy/h}$)
100	2.388E-13	9.32E+03	8.012
200	1.774E-13	3.09E+03	1.973
300	7.646E-14	3.09E+03	0.851
400	4.323E-14	3.09E+03	0.481
500	2.779E-14	3.09E+03	0.309

Table 1의 결과를 회귀시켜 다음과 같은 거리-커마울의 관계식을 얻었으며,

$$\dot{K} = 10^{5.18472} \cdot D^{-2.033556}$$

여기서

\dot{K} : 공기 커마울(mGy/h)

D : 거리(cm)

이때의 각 요인별 불확도는 다음과 같이 산출하였다.

- 기준기 교정인자의 불확도 : $u(N_s)$
이온전리함 성적서에 주어진 상대 확장 불확도를 포함인자 $k = 2$ 로 나누어 적용함
- 측정 전류의 불확도 : $u(I_s)$
BKG를 보정한 전류 값의 표준편차를 해당 전류값으로 나누어 상대 표준 불확도로 표시함
- 이온화 전류 측정장치의 불확도 : $u(k_E)$
Capacitor, 전압측정장치 및 타이머의 불확도를 합성하며, 성적서 및 매뉴얼 등에 표기된 내용을 바탕으로 평가함
- 환경보정인자의 불확도 : $u(k_{fp})$
온도계 및 기압계의 불확도를 합성하여 평가함
- 위치 재현성 불확도 : $u(k_d)$
마그네틱 스케일, 텔레스코프 및 인사이드 마이크로미터, 선원 중심으로부터 인사이드 마이크로미터 측정 기준면까지 거리의 불확도를 합성하여 평가하되 선량률에 미치는 영향(기여도)을 따로 평가하여 2를 곱한 값을 적용함
- 조사 빔 균질성의 불확도 : $u(k_f)$
유효 조사 빔 영역에서의 최대 퍼짐 5 %의 절반을 직사각형 분포로 평가함
- 내삽함수의 불확도 : $u(SDF)$
아래의 식에 따라 구하며 이 때 자유도는 데이터의 개수에서 변수의 개수를 뺀 값을 적용함

$$u(SDF) = \sqrt{\frac{\sum [100 \cdot (\dot{K}_m - \dot{K}_f) / \dot{K}_f]^2}{n - m}}$$

여기서 \dot{K}_m : 측정값, \dot{K}_f : 내삽값,
n : 데이터개수 m : 변수의 개수

이상을 종합하면 Table 2와 같다.

Table 2. Uncertainty Budget

Component	Expectation value	Standard uncertainty (%)	PDF	Degree of freedom
Ns	3.09×10^3 Gy/C	2.55	N	∞
kE	1.0	0.07	R	∞
ktp	1.015 ~ 1.025	0.013	N	∞
kd	1.0	0.02	R	∞
kf	1.0	1.44	R	∞
Is	2.8×10^{-14} A $\sim 2.4 \times 10^{-13}$ A	2.67	t	9
SDF	1.0	1.02	t	4
Combined uncertainty (%)		4.09		70

* PDF : 확률분포함수(Probability Density Function)

측정기가 이상적으로 작동하는 것으로 간주하여 측정 전류에 의한 불확도 $u(I_s)$ 및 내삽함수의 불확도 $u(SDF)$ 를 제거 ('0'으로 평가)하고 나머지의 불확도를 합성하여 2.93 %의 상대합성 표준불확도를 산출하였으며, 유효 자유도가 충분히 큰 것을 감안하여 신뢰수준 약 95 %에서의 포함인자^[3] $k = 2$ 를 적용, 5.9 %의 최고측정능력을 산출하였다.

유효 빔 크기에서의 조사 빔에 대한 균질도는 따로 측정하여 적용하여야 하나, 조사장치 및 선원의 기하학적 구조에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 '감마선조사장치의 표준교정절차'에 기술된 조사장치의 성능요건(± 2.5 %)을 적용하였다.

4. 결론

본 시험에서는 신뢰수준 약 95 %에서의 포함인자 $k = 2$ 를 적용, 저준위 감마선조사장치의 최고측정능력을 5.9 %로 산출하였다.

일반적으로 교정대상 기기는 이상적으로 작동하지 않으며, 이러한 요인들이 불확도에 기여하는 정도는 각기 다르므로 실제 측정에서의 불확도는 최고측정능력보다 항상 크게 나타나게 되며, 실제로 조사장치 교정시에는 최고측정능력 산출시 제외 하였던 측정전류 및 내삽함수의 불확도를 포함하여 확장 불확도를 산출하여야 한다.

5. 참고문헌

- [1] KOLAS-G-0004 최고측정능력산출 및 유지관리 지침(2008).
- [2] KASTO 02-80107-102 감마선 조사장치의 표준교정 절차(2002).
- [3] KRIS-99-070-SP 측정불확도 표현지침(1999).