

## 표면오염감시기 교정인자 산출 및 불확도 평가

이영주, 이병두, 서장수

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

ramsess55@khnp.co.kr

## 1. 서론

방사선 계측의 가장 큰 목적은 피폭의 저감화이다. 즉 정확한 방사능 준위를 평가하여 작업자의 안전을 도모하고 최대한의 안전장구와 쾌적한 작업환경의 유지 및 원전주변 주민들의 피폭 방지에 가장 큰 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 장비의 교정이 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 신속한 표면오염관리를 위해 원전 현장에서 사용되고 있는 표면오염감시기를 국가측정표준과 소급성이 유지되고 있는 기준면적선원을 이용한 교정방법을 기술하였고, 교정을 실시하여 교정인자를 산출하였다. 또한 불확도를 요소를 8개로 구분하여 측정불확도를 평가하였다.

## 2. 교정 방법 및 결과

표면오염 측정기(표면오염감시기)는 직사각형 타입(ASP-2/HP380AB, Eberline)을 사용하였다. 기준 면적선원(CI-36,  $\Phi$  50mm)의 표면방출률값은 국가측정표준대표기관(KRISS)에서 발행한 성적서의 결과를 이용하였다. 교정 결과의 재현성을 보장하기 위해, 기준 면적선원과 표면오염감시기의 검출기의 크기와 모양에 따라 조절 가능한 기준 선원 지지대, 표면오염감시기 검출부 거치대와 선원과 검출부 이격거리를 측정할 수 있는 장치 등으로 구성된 교정 장치를 표준과학연구원과 공동 개발하였다. 교정 장치는 유효검출부외의 영역에서 알파 또는 베타입자를 완전하게 차단하기 위해 납으로 차폐하였다. 또한 검출부와 선원의 거리는 1/1000 mm까지 측정할 수 있는 장치를 이용하여, 선원표면에서 10 mm 이격하여 측정하였다. 최초 표면오염감시기의 전원을 가하여 최소 10분간의 기기 안정화 시간을 가진 후 배경 계수율(BKG)을 측정 후 기준면적선원을 장착하고 계수율을 측정하였다.

교정인자는 참값을 구하기 위하여 기기 지시값을 보정해주는 인자로서 식(1)을 이용하여 구하였다. 여기서 검출기 유효면적 보정인자( $A_D/A_S$ )는 기준 면적선원의 면적( $19.23\text{cm}^2$ )보다 검출기의 유효표면적( $100\text{cm}^2$ )이 훨씬 크기 때문에 1을 적용하였다.

$$N_r = \frac{S_E \cdot A_D \cdot k_i \cdot k_h \cdot k_l \cdot k_r}{M \cdot A_S} \quad (1)$$

$S_E$  : 기준 면적선원의 표면방출률

$A_D$  : 검출기 유효면적

$A_S$  : 기준 면적선원의 면적

$M$  : 기기 지시값

$k_i$  : 기준 면적선원의 방사능붕괴 보정인자

$k_h$  : 기준 면적선원의 균질도 보정인자

$k_l$  : 기기의 선형성 보정인자

$k_r$  : 기기와 선원과의 거리보정인자

기기보정인자( $N_I$ )는 표면오염감시기를 사용하여 표면오염도를 결정하고자 할 때 측정값에 곱해주는 인자로 식(2)을 이용하여 구하였다. 기기보정인자( $N_I$ )의 단위는 단위면적당 방사능( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )으로 실제 발전소 현장에서는 매우 다양한 소스가 있기 때문에 단지 참고사항으로만 사용할 수 있다.

$$N_I = \frac{N_r}{A_D \cdot \epsilon_s} \quad (2)$$

$N_r$  : 교정인자

$A_D$  : 검출기 유효면적

$\epsilon_s$  : 기준 면적선원의 효율

그 결과 교정인자( $N_r$ )는 2.56, 기기 보정인자( $N_I$ )는  $0.04 \text{ Bq} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}$ 로 나타났다. 그 밖에 표면오염감시기의 선형성 확인을 위해 동일 핵종의 표면방출률이 대략 1, 5, 10배인 것을 사용하여 동일한 방법으로 계수율을 측정하였다. 선원의 기준 표면방출률과 측정된 계수율과의 선형성을 확인한 결과 선형성( $R^2=0.996$ )이 매우 양호하였으며, 각 선원의 기기효율을 계산하여 선형성보정인

자에 대한 불확도를 추정하였다.

### 3. 측정불확도 평가

불확도 평가를 위한 측정의 수학적 모델은 식(1)과 같고, 불확도 요소를 총 8가지로 구분하여 각각의 산출근거를 바탕으로 불확도를 평가하여 아래의 불확도 총괄표에 나타내었다.

량( $X_i$ )	추정값 $x_i$	상대표준불확도(%) $u(x_i)$	확률분포	감도계수 $c_i$	기여량(%) $u_i(y)$	자유도 $\nu_i$	불확도 계산근거
$S_E$	$591 s^{-1}$	1	정규	1	1	$\infty$	기준선원 성적서의 확장 불확도
$A_D$	$100 cm^2$	0.84	직사각형	1	0.84	$\infty$	검출기 유효길이
$A_S$	$19.63 cm^2$	1.15	직사각형	1	1.15	$\infty$	기준선원 유효직경
$M$	$231.24 s^{-1}$	0.69	t	1	0.69	9	기저방사선 및 전계수율
$k_t$	1	0	정규	1	0	$\infty$	기준선원의 반감기(무시)
$k_h$	1	5.77	직사각형	1	5.77	$\infty$	최대균질도 한도
$k_l$	1	1.18	정규	1	1.18	2	세 가지 선원의 기기효율
$k_r$	1	0.29	직사각형	0.25	0.073	$\infty$	거리변화에 따른 반응도 변화율 추정값과 교정 경험

표 측정불확도 총괄표

불확도 전파 법칙에 따라 합성표준불확도는 식(3)을 따르며, 그 계산 결과는 6.18 %가 된다.

$$u_c(N_r) = \sqrt{u^2(S_E) + u^2(A_D) + u^2(A_S) + u^2(M) + u^2(k_t) + u^2(k_h) + u^2(k_l) + u^2(k_r)} \quad (3)$$

유효자유도는 식(4)에 의해 구한결과 1,478이 된다.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{[c_i \cdot u(x_i)]^4}{\nu_i}} \quad (4)$$

- $n$  : 표준불확도 인자의 개수
- $u_i$  :  $i$  인자의 표준불확도
- $\nu_i$  :  $i$  인자의 자유도

확장 불확도는 유효자유도(1,478)가 충분히 크기 때문에 신뢰수준 약 95 %에서 포함인자  $k=2$ 를 적용하면 식(5)에 의해서 12 %가 된다.

$$U(N_r) = k \times u_c(N_r) = 2 \times 6.18 \% = 12 \% \text{ (신뢰수준 약 95 \%, } k = 2) \quad (5)$$

### 4. 결론

이상으로 직사각형 타입의 표면오염감시기의 교정방법과 그 측정불확도를 평가하였다. 그리고 표면오염감시기의 선형성을 확인 결과  $R^2$ 값이 0.996으로 거의 1에 가까운 직선성을 보였으며, 측정불확도에 가장 큰 기여를 하고 있는 성분은 기준 면적선원의 균질도 보정인자( $k_h$ )로 본 교정에서는 기준 면적선원의 비균질도가 알려져 있지 않은 선원으로 교정을 실시하였다. 따라서 비균질도에 대하여 교정을 실시하면 확장불확도를 최대 7 %이하로 낮출 수 있다. 또한 불확도를 더욱 낮추기 위해서는 비균질도가 낮은 기준면적선원을 사용해서 교정을 해야 한다.

### 참고문헌

- (1) 알파 및 베타 표면오염감시기의 표준교정절차(KASTO 04-26-4020-328, 2004. 02. 25)
- (2) 직사각형 타입의 표면오염감시기 교정 및 불확도 평가방법(이병두, 대한방사선방어학회 춘계학술 발표회 논문요약집, 2008)