

# 베타 선원에 따른 베타서베이미터(표면오염감시기)의 교정인자 비교

이영주 · 성기방  
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원  
E-mail: ramsess55@khnp.co.kr

중심어 (keyword) : 표면오염감시기, 교정인자(기기효율), 불확도, 베타면적선원, 표면방출률

## 서 론

원자력 발전소 현장에서 일차적으로 신속하게 표면오염관리를 하고자 할 경우 주로 베타서베이미터를 사용하게 되는데, 이 때 사용하는 서베이미터는 사용 목적에 맞게 교정하여 사용해야 한다. 교정을 위해서는 국가측정표준과 소급성이 유지되는 밀봉베타면적선원을 이용하는데, 주로 사용되는 베타선원의 경우 C-14, Cl-36, Cs-137, Tc-99, Sr/Y-90 등이 있다. 베타선원은 핵종별로 붕괴형식(순수베타붕괴 혹은 광자수반) 및 에너지가 각각 다르기 때문에 동일 검출기에 대해서 베타입자의 검출효율 확인이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 동일 장비에서 여러 베타선원을 이용하여 베타에너지에 따른 교정인자를 비교하였고 그 측정불확도를 평가 하였다.

## 필요 장비 및 교정절차

베타서베이미터를 교정하기 위해서는 기준 면적선원, 교정장치(선원지지대), 선형성 확인선원 등이 필요하다. 본 논문에서는 국가측정표준과 소급성이 유지되는 베타면적선원 5종 (C-14, Cl-36, Cs-137, Tc-99, Sr/Y-90)을 이용하였다.

교정결과의 재현성을 유지하기 위해 교정장치를 제작하였다. 교정장치는 측정위치 재현용 선원고정 구조물로서 유효 검출부 외의 영역에서 알파 또는 베타입자를 완전히 차단시키기 위해 납으로 차폐하여 제작하였다. 피교정 측정기의 선형성을 확인하기 위해 서로 다른 크기의 표면방출률을 갖는 베타 핵종 3개를 사용하여 선형성을 확인하였고, 그 결과를 불확도 요

소로 반영하였다. 선형성 확인 선원은 점선원 형태인 Cl-36을 사용하였으며 그 표면방출률이 대략 1, 5, 10 배로 유지되는 것을 사용하였다. 본 논문에서는 검출기 형태가 NE102 Plastic scintillator인 직사각형 타입 Thermo-eberlin사의 ASP-2/HP380B 장비를 사용하였다. 교정인자는 기기효율의 역수로 식(1)를 이용하여 구하였다.

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

- $S_E$  : 기준 면적선원의 표면방출률
- $A_D$  : 검출기 유효면적
- $A_S$  : 기준 면적선원의 면적
- $M$  : 기기 지시값
- $k_t$  : 기준 면적선원의 방사능붕괴 보정인자
- $k_l$  : 기기의 선형성 보정인자
- $k_r$  : 기기와 선원과의 거리보정인자

식 (1)에서  $k_t$ ,  $k_r$  는 불확도 평가 요소로만 적용하여 1을 적용하였으며, 불확도 평가요소로서  $k_l$  (기기의 선형성 보정인자)는 실제 선형성 확인선원을 이용하여 통계적인 기법으로 산출하였으며  $k_r$  (기기와 선원과의 거리보정인자교정인자)의 경우 KASTO 절차서에 주어진 참고값을 인용하였다. 기준 면적선원 균질도 불확도는 선원면적과 검출기 면적이 동일하므로 무시하였다.

## 교정 결과 및 측정불확도 평가

동일 장비에 대해서 베타면적선원(5종)에 따른 교정인자(기기효율)를 그림 1에 나타내었다.

5가지 베타선원 중에서 Cl-36, Sr/Y-90, Cs-137의 기기효율이 대략 20%로 거의 유사하게 나타났으며 Tc-99의 기기효율은 대략 15%로 나타났다.



그림 1 선원별 에너지와 기기효율

그런데 C-14의 경우는 기기효율이 다른 선원에 비해 현저하게 낮게 측정되었다. 사용한 장비의 검출감도의 영향 유무를 확인하기 위해 동일모델의 검출기 3개를 이용하여 동일 방법으로 기기효율을 측정한 결과 그림 1에서와 마찬가지로 10%미만의 효율을 나타내었다. 다른 선원에 비해 C-14에서 기기효율이 현저히 낮게 측정된 이유는 방출되는 베타입자가 다른 선원에 비해 10배 이상 낮은 에너지를 가지기 때문이라고 추론할 수 있다.

검출기의 선형성을 확인하기 위해서 각기 다른 표면방출률을 가진 점선원형태의 Cl-36을 이용하여 측정하여 결과를 그림 2에 나타내었다.

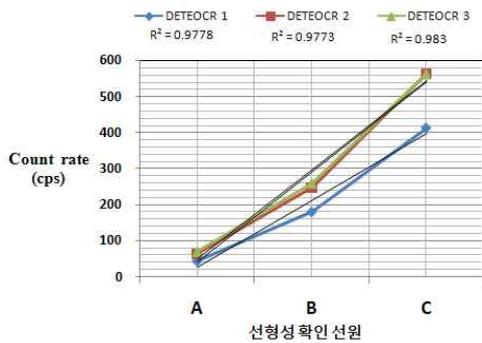


그림 2 검출기 선형성 측정결과

선형성 확인은 총 3개의 선원을 이용하여 각 선원별로 10회씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 사용된 검출기 3개 모두  $R^2$ 값이 0.97이상으로 높은 선형성을 나타내었고 그 결과는 통계적인 방법(A-type 불확도)을 이용하여 기기선형성보정인자 불확도( $k_f$ )로 평가하였다.

식(1)에서 산정한 각각의 불확도 성분을 평가하여 표 1에 나타내었다.

표 1 측정불확도 총괄표

양( $X_i$ )	Cs-137	Sr/Y-90	Cl-36	C-14	Tc-99	확률분포
$S_E$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	정규
$A_D$	1.321	1.321	1.321	1.321	1.321	사각형
$A_S$	0.577	0.577	0.577	0.577	0.577	사각형
$M$	0.745	0.571	0.883	3.599	0.743	t
$k_f$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	정규
$k_g$	1.458	1.458	1.458	1.458	1.458	t
$k_r$	0.046	0.043	0.046	0.043	0.046	사각형
확장불확도 (%)	4.8	4.7	4.9	8.5	4.8	정규

불확도 전파법칙에 의해서 구한 각 선원별 확장불확도는 신뢰수준 약 95 % ( $k = 2$ )에서 대부분 5% 미만의 분포를 보였다. 단 C-14의 경우 불확도를 합성하기 위해서는 상대표준불확도로 전환을 하게 되는데 선원계수율이 상대적으로 적게 측정되었기 때문에 불확도가 높게 평가되었다.

## 결론

밀봉베타선원에 따라 교정인자가 최대 50% 까지 차이가 나타났다. 그러므로 조사하고자하는 지역의 주요 오염 핵종을 미리 파악하고, 그에 맞게 교정용 선원을 선택해야 한다. 그렇지 않으면 표면오염도 평가 시 최종 표면오염도가 최대 50%까지 차이가 날 수 있기 때문이다. 따라서 IEC 60325에서는 기기효율과 관련하여 제작자는 적어도 3가지 에너지 범위(0.2 MeV 미만, 0.2 MeV~0.5 MeV, 0.5 MeV 이상)에서 교정효율을 측정하도록 권고하고 있다. 끝으로 교정인자의 확장불확도는 모두 10% 미만으로 평가되었다.

## 참고 문헌 (REFERENCES)

1. 알파 및 베타 표면오염감시기 표준교정절차(KASTO 4-26- 3050-044)
2. INTERNATIONAL STANDARD(IEC 60325, 2002~2006 Edition)