

## 표면오염감시기의 최고측정능력(BMC) 추정 산출

채하석 · 손훈 · 서상훈  
일진방사선엔지니어링(주)

E-mail: hschaiu@iljinrad.co.kr

중심어 (keyword) : 교정인자, 측정 불확도, 선원균질도, 표면오염감시기, 면적선원

### 서론

방사성동위원소는 대학, 연구기관, 병원 및 일반 산업 현장에서 연구, 진단 및 치료, 산업 분야에 폭넓게 이용되고 있다. 이에 따라 방사성 동위원소의 취급 시에 발생하는 방사선 사고도 함께 증가해 오고 있다. 그 중 알파 방출핵종과 베타 방출핵종은 병원이거나 대학 연구실에 주로 사용되는 방사성 동위원소로 주변 환경의 오염의 위험성이 큰 방사성 핵종이다.

표면오염감시기는 알파 혹은 베타 방출 방사성 물질의 오염 및 누설 등을 측정분석하기 위한 검출기로 사용하는 대표적인 방사선 측정기이다. 이 기기는 오염 예상 지역에서 직접 측정하거나 시료를 채취하여 간접적으로 측정한다.

표면오염감시기의 교정은 기준 면적선원을 이용하여 결정된 입자의 표면방출율과 표면감시기에 의해 측정된 계수율과의 관계를 구하여 교정인자를 결정하고, 측정 불확도 요인으로 기준선원의 표면방출률, 표면오염감시기 검출부의 유효면적, 기준면적선원의 면적 및 기준 면적선원의 균질도 등을 포함시킨다.

본 연구에서는 일진방사선엔지니어링(주)이 한국인정기구(KOLAS)의 인정을 받아 교정하고 있는 교정 항목 중에서 표면오염감시기의 최고측정능력(best measurement capability)을 추정 산출하기 위하여 측정 불확도 항목을 측정하여 분석하였다.

### 측정 방법 및 측정기

교정용 면적선원의 입자 표면 방출율은 교정일 현재로 붕괴 보정된 값과 표면오염감시기 유효 검출부의 면적비율로 결정된 값을 사용한다. 교정인자의 계산은 표면오염감시기의 검출부 유효면적으로 보상된 기준면적선원의 입자방출율( $s^{-1}$ )을 감시기의 계수율( $s^{-1}$ )로 나누어 계산한다.

표면오염감시기 교정에 적용되는 교정인자  $N_r$  는 다음 식에 따라 계산하였다.

$$N_r = \frac{S_A \cdot K}{M} = \frac{K_E \cdot A_D \cdot k_t \cdot k_d \cdot k_H}{M \cdot A_S}$$

여기서  $K_E$  : 선원의 표면방출율

$A_D$  : 검출기 유효면적

$A_S$  : 교정용 기준선원 면적

$M$  : 측정기의 지시값 (측정값 - 백그라운드)

$k_H$  : 기준 면적선원의 균질도 보정인자

$k_d$  : 선원지지대의 기하학적 보정 인자

$$S_A = K_E \times \frac{A_D}{A_S}, \quad K = k_t \cdot k_d \cdot k_H$$

표면오염감시기의 교정 측정불확도는 불확도의 전파법칙에 따라 합성 표준 불확도는 다음과 같이 주어지며 모든 불확도 요인의 단위가 서로 다르고 곱하기와 나누기로 구성되어 있으므로 각 요인을 상대 표준 불확도로 전환하여 평가하는 경우 각 요인의 감도계수는 상대 표준 불확도에 포함된다.

$$U_c(N_\gamma) = u(f)^2 + u(E_f)^2 + u(k_E)^2 + u(k_d)^2 + u(k_t)^2 + u(M)^2$$

- 여기서  $u(f)$  : 측정기 분해능의 상대표준불확도  
 $u(E_f)$  : 정확도에 대한 상대표준불확도  
 $u(k_E)$  : 표면방출율의 상대표준불확도  
 $u(k_d)$  : 선원지지대 기하학적보정의 상대표준불확도  
 $u(M)$  : 피고정 측정기 측정값의 상대표준불확도  
 $u(k_t)$  : 선원 반감기의 상대표준불확도

측정 불확도 추정하기 위하여 사용한 교정용 선원으로는 표면방출율  $1.969 \times 10^3$  cps/2π(2003.09.01 기준)이고 크기가 10 cm × 10 cm 인 CI-36(반감기 :  $3 \times 10^5$  년) 베타 방출 선원을 이용하였고, 측정거리는 10 mm로 하였다. 표면오염감시기용 기준 측정기로는 알파/베타 오염측정(gas flow detector)과 베타/감마 오염측정(xenon driven detector)이 가능한 MicroCont II (Rados)를 사용하여 표와 같은 불확도 항목에 따라 측정을 수행하여 BMC를 추정하였다.

불확도 요약표

|   | 량<br>$X_i$ | 추정<br>$x_i$            | 상대표준불확도<br>$u(x_i)$ , % | 확률분포 | 감도계수<br>$C_i$ | 기여량<br>$u(y_i)$ % | 자유도<br>$\nu_i$ |
|---|------------|------------------------|-------------------------|------|---------------|-------------------|----------------|
| A | $f$        | 0.10 cps               | 0.01                    | 사각형  | 1.0           | 0.01              | ∞              |
| B | $E_f$      | 1.00                   | 2.89                    | 사각형  | 1.0           | 2.89              | ∞              |
| C | $k_E$      | 1 970 s <sup>-1</sup>  | 1.00                    | 정규   | 1.0           | 1.00              | ∞              |
| D | $k_d$      | 2.00 mm                | 0.91                    | 삼각형  | 1.0           | 0.91              | ∞              |
| E | $M$        | 638.9 cps              | 0.13                    | t    | 1.0           | 0.13              | ∞              |
| F | $k_t$      | $3.0 \times 10^5$ year | 0.00                    | 정규   | 1.0           | 0.00              | ∞              |
|   | $N_\gamma$ |                        | -                       | -    | -             | 3.19              | ∞              |

## 결론

MicroCont II 를 사용하여 기준선량을 측정하여 표면오염감시기의 BMC를 추정 산출하였다. 그 결과를 이용하여 상대확장 불확도를 계산한 결과는

$$U = k \times u(N_\gamma) = 2 \times 3.19\% \leq 6.4\%$$

이며, 이때의 자유도는 아래의 식에 의해

$$\nu_{eff} = u_c^4(y) / \left[ \sum \frac{u^4(y_i)}{\nu_i} \right] = 3.19^4 / \left( \frac{0.13^4}{9} \right)$$

계산하면 3276657 로 나타났다. 그리고 이때의 포함 인자는 신뢰도 약 95 % 로 하였을 때 2.0 으로 하였다.

## 참고 문헌

1. 김봉환, 알파 및 베타 표면오염 감시기의 표준교정 절차, KASTO 04-26-4020-328(한국계량추정협회), 2004
2. 측정불확도 표현지침, KRISS-99-070-SP (한국표준과학연구원), 1999