

대기방사능 연속감시기의 방사능농도 계산

박 창 수 · 최 희 열 · 이 동 명
한국원자력안전기술원
E-mail : cspark@kins.re.kr

중심어 (keyword) : 대기방사능, 대기부유진, 전알파/베타방사능, CAMSNet

서 론 (Introduction)

공기 중 부유진의 전알파/전베타 방사능을 연속으로 감시하기 위해 대기방사능 자동감시망(CAMSNet)이 전국도에 걸쳐 구축 중이다. 감시망에 사용되는 대기방사능 연속감시기(CAMS, Continuous Airborne-dust radioactivity Monitoring System)는 필터에 흡착된 대기부유진의 전알파/전베타 방사능을 측정하고, 인공 핵종에 대한 방사능농도를 계산할 수 있다. 두 개의 섬광형 검출기를 이용하여, 공기의 흡입과 병행되는 1차 측정과 24시간 후에 재측정하는 2차 측정을 수행한다. 2차 측정에서는 자연 핵종들이 거의 붕괴한 상태로 인공베타핵종의 농도만을 선별한다.

한정된 검출기 간 거리(30 cm)를 장시간 이동하고, 필터의 사용 효율을 높이기 위해, 흡입 직경 50 mm에 대해서 회당 5 mm 씩만 이동하여 흡입/측정을 수행한다. 이에 따라, 그림 1과 같이 측정 면적이 겹쳐지게 되므로 공기 중 방사능농도를 구하기 위해서는 전 단계에서의 측정값을 보정해야 한다. 이를 위해서 감시기에서는 복잡한 알고리즘에 따른 농도 계산식을 사용하고 있다.

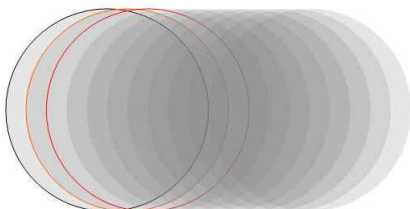


그림 1. 필터방사능의 측정 중첩 면적

Cycle Value

감시기에서 측정한 필터방사능을 흡입량으로 나누어 공기 중 방사능농도로 환산하기 위해 두 가지 개념의 농도가 사용된다. 겹쳐지는 총 10 단계의 흡입면에 대해서, 흡입량은 모두 일정하다고 가정할 수 있으며($\sim 8 \text{ m}^3/\text{h}$, 30분), 현 단계에서 측정된 필터방사능은 아래와 같이 여러 단계의 농도가 포함된다.

$$A(1) = \Phi T \sum_{n=1}^{10} \left\{ F(n) \cdot C(n) \right\} \quad (1)$$

n : 단계 번호, $n = 1$: 현재 측정 단계

C : 방사능 농도, ΦT : 공기 흡입량

$F(n)$: 단계별 중첩·붕괴 보정항

Mean value 농도는 위 식에서 모든 단계의 농도가 모두 동일하다고 가정하여 평균으로 계산한다.

$$C_{mean} = A / \left\{ \Phi T \sum_{n=1}^{10} F(n) \right\} \quad (2)$$

Cycle value 농도는 현재 단계에서 흡입되는 분량만을 고려한 값으로, 베타방사능의 경우 측정 중 붕괴를 고려하지 않고 아래와 같이 구한다.

$$C_{\beta, cyc} = \frac{A_{\beta} - A_{\beta, pre} \cdot F(2)}{F(1) \cdot \Phi T} \quad (3)$$

식 (3)에서는 전 단계의 흡입위치에 부유진이 고르게 퍼져 있는 상태를 가정하여, 현 단계의 필터방사능과 중첩 면적을 보정한 직전 단계의 필터방사능만으로 계산한다. 그러나, 실제 필터의 상황은 그림 1과 같이 단계에 따라 중첩량이 많아진다. 식 (1)에서 직전 단계의 필터방사능을 유도하여 식 (3)과 비교하면,

$$A(2) = \Phi T \sum_{n=2}^{11} \left\{ F(n-1) \cdot C(n) \right\} \quad (4)$$

$$\frac{A(1) - F(2)A(2)}{F(1) \cdot \Phi T} \neq C(1) \quad (5)$$

즉, 식 (5)와 같은 결론이 나오므로 식 (3)에 의한 계산은 정확하기 않으며, 현재 단계의 방사능농도를 정확하게 구하기 위해서는 다음과 같이 이전 단계의 모든 cycle value를 고려해야 한다.

$$C(1) = \frac{A(1) - \Phi T \sum_{n=2}^{10} [F(n)C(n)]}{F(1) \cdot \Phi T} \quad (6)$$

이를 적용하기 위해서는 감시기 프로그램 알고리즘 상에 9 개의 변수를 추가해야 한다. 또한, 초기 가동 후 10 단계까지는 이전 단계의 값이 존재하지 않으므로, 앞서의 mean value를 대신 사용해야 한다.

Beta/Alpha Preset Parameter

감시기에서 인공핵종에 대한 방사능농도는 대기 중의 자연 알파핵종과 자연 베타핵종의 비율이 거의 일정하다는 원리[1]에 기초하여 계산한다.

$$A_{\beta,art} = A_{\beta,gross} - A_{\alpha,nat} \times F_{\beta/\alpha} (\approx 0.8) \quad (7)$$

하지만 기존의 연구에 의하면 공기 중 베타/알파 농도비는 대략 0.5~0.6으로 알고리즘 상의 필터방사능 상대비보다 낮다. 필터방사능의 상대비가 높게 나타나는 것은, 필터에 여러 단계의 방사능이 중첩되어 측정되는 과정에서 베타 핵종의 붕괴에 비해 알파 핵종

(주로 라돈 자핵종)의 붕괴가 빠르고, 알파방사능에 기여하는 핵종의 연쇄 붕괴 반응으로 그림 2와 같이 전체 알파방사능은 감소했다가 다시 증가하기도 한다. ($^{218}\text{Po} + ^{214}\text{Bi}$). 따라서 아래 식 (9)의 붕괴 보정항이 1보다 크게 되어, 필터방사능의 상대비는 공기 중 농도 상대비보다 약간 높게 0.7~0.9로 나타난다. 이는 계절이나 장소에 따라 달라지기 때문에, 주기적으로 장시간 측정(96 회)을 통해 기준값을 조정해야 한다.

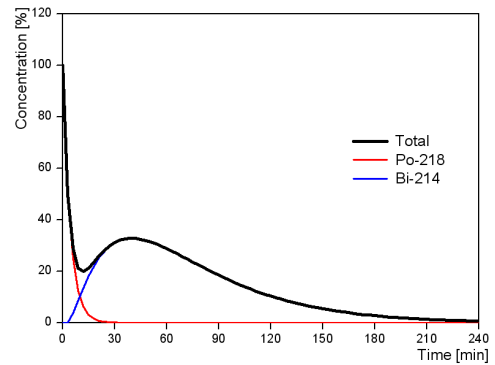


그림 2. 라돈 자핵종의 알파방사능 변화

$$C_{\alpha} = \frac{A_{\alpha}}{F_{\alpha} \cdot F_d \cdot \Phi T}, \quad C_{\beta} = \frac{A_{\beta}}{F_{\beta} \cdot \Phi T} \quad (8)$$

$$\therefore A_{\alpha}/A_{\beta} = C_{\alpha}/C_{\beta} \times F_d \quad (F_d > 1) \quad (9)$$

F_{α}, F_d : 측정 중첩 면적, 붕괴 보정항

결론 (Conclusion)

한국원자력안전기술원에서는 대기 중 부유진에 대한 방사능 감시를 위해 대기방사능 자동감시망을 확충하고 있다. 도입된 연속감시기의 방사능농도의 계산 알고리즘에 대해 검토한 결과, 필터의 중첩 측정 보정에 대한 추가적인 수정이 필요하다.

참고 문헌 (REFERENCES)

1. R.C.G.M. Smesters, "An automatic Gross alpha/beta activity monitor applied to time-resolved quantitative measurements of ^{222}Rn progeny in air", Health Phys., 68(4), pp. 546-552 (1995)