

환경에 노출된 미지의 방사선원 세기결정 및 위치 추적방법 기초연구

정진욱·이병일·김명진·김상용
월성원전·방폐장환경감시기구·네오시스코리아
E-mail: byunglee@wsnesc.or.kr

중심어 : 방사선원 위치추적

서론

일반적으로 방사선은 인간의 오감으로는 확인이 불가능하다. 방사능을 측정하는 방법은 방사선이 물질과의 상호작용으로 나타나는 다양한 물리현상을 이용하는 것이다. 검출기를 사용하여 방사선의 공간 선량률을 측정하더라도 검출기가 위치한 장소에서의 공간 선량률만을 측정할 뿐이다. 즉, 방사선원의 위치와 세기에 대한 정보는 거의 없다. 실제 상황에서 방사능 누출이 발생하는 경우, 주민을 대피시키고 방사선원을 제거하는 것이 가장 중요하다. 이런 방재작업을 효율적으로 진행하기 위해서는 방사선원의 위치와 세기를 확인하는 것이 가장 중요하다. 최근에 이와 같은 목적을 위해 다양한 연구가 진행된 바 있다[1][2][3].

본 논문에서는 환경에 누출된 방사선원의 위치와 세기를 결정하는 방법을 제안하고자 한다.

본론

의도하지 않게 환경에 노출된 방사선원의 위치와 세기를 결정하기 위하여 제안된 본 논문의 방법은 다음과 같다. 임의의 세 개 이상의 위치에서 측정된 공간선량률과 측정위치를 셀으로 저장하고, 이들 중 두 개씩을 선택하여 중복되지 않도록 세 개 이상의 순서쌍을 만든다. 이후 이들 순서쌍들을 이용하여 방사선원이 존재하는 궤적을 순서쌍의 개수만큼 계산하고, 측정된 공간선량률에 포함된 잡음의 영향을 최소화하여 방사

선원의 위치와 세기를 결정하는 것이다.

위치 \vec{r} 에 존재하는 방사선원의 세기 S [#/sec]에 의해 만들어지는 공간선량률을 위치 \vec{r} 에서 측정하는 경우에 측정된 공간선량률 $\psi(\vec{r})$ 은 비례상수 k 를 포함하고 $r = |\vec{r} - \vec{r}'|$ 을 도입하여 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 이때 차폐에 의한 방사능 감쇄는 없다고 가정하였다.

$$\psi(\vec{r}) = k \frac{S}{r^2} \quad (1)$$

측정된 공간선량률 $\psi(\vec{r})$ 는 측정위치 \vec{r}_n 에 따라 $\psi(\vec{r}_n)$ 으로 표현된다. 이때, $n = 1, \dots, N$ 와 같이 다수이다. 식(1)과 같이 측정된 $\psi(\vec{r})$ 중 임의의 두 개의 관계($i \neq j$)는 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$kS = \psi(\vec{r}_i) \times r_i^2 = \psi(\vec{r}_j) \times r_j^2 \quad (2)$$

식(2)를 r_i 와 r_j 의 비율로 표현하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$\frac{r_i}{r_j} = \sqrt{\frac{\psi_j}{\psi_i}} \quad (3)$$

식(3)의 좌변은 선원 S 로부터 측정위치 \vec{r}_i 와 \vec{r}_j 의 비율을 의미한다. 이와 같이 \vec{r} 에 위치한 방사선원 S 가 만드는 공간선량률 $\psi(\vec{r}_i)$ 과 $\psi(\vec{r}_j)$ 측

정하면 r_i 와 r_j 의 비율을 알게 된다. 이런 경우에는 $\psi(\vec{r}_i)$ 과 $\psi(\vec{r}_j)$ 를 측정된 두 위치 \vec{r}_i 와 \vec{r}_j 에서 r_i 와 r_j 의 비율을 만족하는 궤적인 ‘아폴로니우스의 원’을 찾을 수 있다. 이렇게 찾아진 궤적위에 방사선원 S 가 존재하는 \vec{r} 이 반드시 존재하게 된다.

위와 같이 측정된 공간선량률과 측정위치를 2×1 의 셀으로 저장하고, 저장된 세 개 이상의 셀 N 개를 이용하여 중복되지 않도록 복수개의 쌍을 식(4)와 같이 2×2 행렬로 저장한다 이들 행렬의 개수를 식(5)과 같이 p 개를 만들고, 이들 복수개의 쌍 p 개 만큼의 궤적을 계산한 후 이들 궤적들이 교차하는 점들의 중점을 방사선원의 위치 \vec{r} 으로 결정한다.

$$\begin{bmatrix} \psi_i & \psi_j \\ r_i & r_j \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$p = \frac{1}{2} N \times (N - 1) \quad (5)$$

측정된 공간선량률 $\psi(\vec{r}_n)$ 은 여러 가지 이유로 해서 잡음을 포함한다. 이들 잡음은 측정위치 \vec{r} 을 결정하는데 오차를 유발하게 된다. 이때 잡음에 의한 오차를 최소화하기 위하여 식(6)와 같이 측정된 공간선량률의 상대적 세기와 교차점들의 상대적 밀집정도를 이용하여 가중치 W_i 를 적용할 수 있다.

$$\vec{r} = \sum_{n=1}^N W_i \vec{r}_i \quad (6)$$

측정된 공간선량률을 이용하여 방사선원의 위치가 결정되면 식(7)와 같이 방사선원의 세기를 계산할 수 있다. 이때, 방사선원의 세기를 계산하는데 있어 식(7)를 이용하면, 측정된 공간선량률의 개수 만큼의 결과를 얻을 수 있다.

$$S_i = \frac{\psi(\vec{r}_i) \times r_i^2}{k} \quad (7)$$

이렇게 얻은 다수의 S_i 는 \vec{r}_i 의 상대적 크기에 따라 식(8)과 같이 가중치 W_i^S 를 적용할 수 있다.

$$S = \sum_{n=1}^N W_i^S S_i \quad (8)$$

토의 및 결과

본 논문은 방사선원 주변의 임의의 세 개의 다른 위치에서 측정된 방사선 공간 선량률과 공간 선량률을 측정된 공간위치를 이용하여 방사선원의 위치와 세기를 결정하는 장치와 방법을 제안하였다. 이런 방법을 이용하면 현재 방사능 탐지를 위해 사용되는 이동형 감마측정차량에 추가적인 장치 없이 약간의 소프트웨어의 업데이트로도 미지의 방사선원의 위치를 추적할 수 있다. 이는 원자력발전소사고로 인한 방사능 누출, 방사선원의 분실 또는 테러에 의한 핵물질 유출시 측정데이터에 근거하여 방사선원의 위치와 세기를 결정할 수 있어 방사능 방재의 초기 대응을 결정하는데 있어 매우 효과적일 수 있다.

향후계획으로는 충분한 시뮬레이션과 실험을 통해 본 방법의 강건성을 검증하고자 한다.

참고 문헌

1. Jong-In Byun, et al, "A 4-point in 나셔 method to locate a discrete gamma-ray sources in 3-D space", Applied Radiation and Isotopes 68 (2010) 370-377
2. Kenneth D. Jarman, et al, "A comparison of simple algorithms gamma-ray spectrometers in radioactive source search applications", Applied Radiation and Isotopes 66 (2008) 362-371
3. H. K. Aage, et al, "Search for lost or orphan radioactive sources based on NaI gamma spectrometry", Applied Radiation and Isotopes 58 (2003) 103-113