

토양의 방사능 깊이분포 측정 시 Compton Suppression System 적용

유지현^{1*}, 서범경¹, 문제권¹, 박상태²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²공주대학교, 충청남도 공주시 공주대학로 56

*yjh1015@kaeri.re.kr

1. 서론

수명이 종료된 원자력시설 부지를 최종 개방하기 위해서는 제염 및 복원 과정을 거쳐 부지의 잔류오염도가 부지개방기준 이하임을 입증해야 하기 때문에 부지의 잔류방사능 측정 결과에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 측정 기술의 개발이 요구되고 있다.

체르노빌과 후쿠시마 원전 사고 이후 방출된 ¹³⁷Cs은 광역 부지의 토양 표면에 침적된 다음 시간이 지남에 따라 토양 내에 확산되어 지수함수(Exponential) 또는 Lorentz함수의 깊이 분포 형태를 보이며[1], ¹³⁷Cs에 대한 토양 오염은 대부분 표면에 분포하는 것으로 평가되고 있다. 후쿠시마의 경우 사고가 발생한 2011년을 기점으로 2년경과 후 전체 방사능의 50-86%가 상부 표면 2 cm에 침적되어 있고, 국내 토양의 경우 지역별로 차이가 있으나 대부분 표면 10 cm이하에 90%가 존재한다[2-3]. 일반적으로는 오염의 깊이 분포를 평가하기 위해서는 코어시추를 통해 시료의 깊이 별 방사능 농도를 정확하게 분석할 수 있지만 그 과정에서 시간 소요 및 비용 등의 단점이 있다. 반면 현장 측정방법은 광역 오염 토양을 신속히 측정할 수는 있으나 토양에 대한 방사능 분포가 균질하다고 가정하기 때문에 오염 깊이 분포의 평가가 어렵고, 자연 방사성핵종 및 우주선, 산란 감마선 등에 의한 백그라운드 증가로 측정의 불확도가 높아지게 되어 측정 결과에 대한 신뢰성이 저하된다.

그러므로 본 연구에서는 Monte Carlo 방법을 이용하여 현장 측정 시 깊이 오염분포의 정확한 평가와 측정의 신뢰성 확보를 위해 백그라운드를 저감시키는 컴프턴 억제형 검출 시스템을 적용시키고 이를 평가하였다.

2. 본론

2.1 Compton Suppression System

컴프턴 억제형 검출기는 Fig. 1과 같이 주 검출기(HPGe) 주위에 보조 검출기(NaI)를 배치하고, 주

검출기에서의 산란된 감마선을 보조 검출기에서 다시 검출한 후 역동시계수(anti-coincidence)를 이용하여 동시에 생성된 신호를 주 검출기 신호에 기록되지 않는 방법으로 백그라운드를 효과적으로 제거할 수 있다[4-5]. 신호처리 장치는 Digital signal analyzer(LYNX)를 사용하여 복잡한 신호처리 장치를 소형화하여 간편하고 편리성 있게 구성하였다.

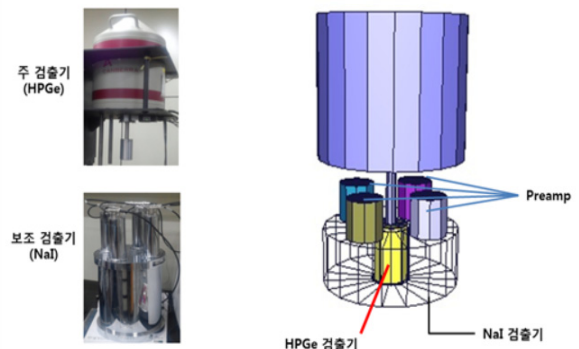


Fig. 1. Compton suppression system.

2.2 토양의 깊이 오염 분포 MCNP 전산모사

토양에 대한 깊이 오염 분포를 정확하게 측정하기 위해 다양한 오염 분포를 모사할 수 있도록 Monte Carlo 방법을 이용하여 모사하였다. 검출기와 토양의 높이를 1 m로 고정하고, 밀도 1 g/cm³, 50 cm×50 cm, 높이 10 cm의 면적 선원에 대해 β(ρ/α, Relaxation mass per unit area)를 0.5 g/cm², 1 g/cm², 4 g/cm², 7 g/cm²로 변화시켜 가며 스펙트럼을 모사하였다.

2.3 토양의 깊이 오염 분포 평가

토양의 깊이 오염 분포 평가는 측정된 스펙트럼의 full energy peak(657.3~666.1 keV) 부분과 compton scattering(620.3~650.0 keV), 백그라운드(670.2-700.2 keV)의 신호 특성을 분석한 peak to valley방법을 적용하였다. 부지의 깊이 오염분포에 따른 현장 측정 스펙트럼의 특성을 Q로 정의하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{A}{B_T} \quad (157)$$

여기서 A는 full energy peak의 면적이고, B_T는 컴프턴 영역에서 백그라운드를 제거한 면적의 영역이다[6].

시간 경과에 따라 토양 오염이 확산되면 깊이에 따른 방사능 분포가 증가하게 되며, 토양과의 상호작용으로 스펙트럼 상에서 컴프턴 연속부(Compton continuum)가 증가하게 된다. 그러므로 Monte Carlo 모사를 이용하여 컴프턴 억제형 시스템을 적용시켜 평가해 보았다.

Table 1. MCNP simulated results for the depth

	$\beta(\text{g}/\text{cm}^2)$	valley	peak	Q
without Compton suppression system	0.5	4.61×10^{-5}	3.45×10^{-3}	74.9
	1	5.02×10^{-5}	3.38×10^{-3}	67.3
	4	5.83×10^{-5}	2.86×10^{-3}	49.1
	7	6.11×10^{-5}	2.74×10^{-3}	44.8
with Compton suppression system	0.5	4.49×10^{-5}	3.45×10^{-3}	76.9
	1	4.93×10^{-5}	3.38×10^{-3}	68.5
	4	5.76×10^{-5}	2.86×10^{-3}	49.7
	7	6.04×10^{-5}	2.74×10^{-3}	45.3

Table 1은 MCNP 전산모사를 통해 Compton suppression system을 사용해서 계산한 스펙트럼과 사용하지 않고 측정된 스펙트럼을 이용하여 깊이분포(β)와 스펙트럼(Q)에 대한 결과를 나타낸 것이다.

3. 결론

본 연구에서 부지의 오염 분포 특성과 정확한 잔류방사능 측정을 위해 Compton suppression system을 적용 가능성에 대해 평가한 결과 먼저 두 경우 모두 오염의 깊이 분포가 증가함에 따라 현장 측정 스펙트럼의 특성인 Q 값이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 Compton suppression system을 적용한 경우 스펙트럼(Q) 값이 HPGe로만 측정된 스펙트럼에 비해 높은 것을 확인할 수 있어 깊이 분포 및 잔류오염에 대한 측정의 불확도를 줄일 수 있을 것을 확인할 수 있었다.

향후 MCNP로 모델링 된 토양 오염과 동일한 실험실 규모 깊이장치를 통한 현장 측정 결과와 비교하여 Compton suppression system의 적용성 결과를 비교 평가할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] U. Hillmann, W. Schimmack W, P. Jacob, and K. Bunzl, "In Situ γ Spectrometry Several Years after Deposition of Radiocesium I. Approximation of depth distributions by the Lorentz function," Radiation Environmental Biophysics vol. 35, pp.297-303 (1996).
- [2] N. Matsuda, S. Mikami, S. Shimoura, J. Takahashi, M. Nakano, K. Shimada, K. Uno, S. Hagiwara, and K. Satio, "Depth profiles of radioactive cesium in soil using s scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Japan. Journal of Environmental Radioactivity, vol. 139, pp.427-434 (2014).
- [3] M.H. Lee, C.W. Lee, and B.H. Boo, "Distribution and characteristics of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{137}Cs in the soil of Korea, Journal of Environmental Radioactivity, vol. 47, pp.1-16(1997).
- [4] M. Tsutsumi, T. Oishi, N. Kinouchi, R. Sakamoto and M. Yoshida, "Design of an Anti-Compton Spectrometer for Low-level Radioactive Wastes using Monte Carlo Techniques", J. Nucl. Sci. & Tech. 39(9), pp. 957-963 (2002).
- [5] 유지현 외, "해체부지 방사능 측정을 위한 백그라운드 저감형 플라스틱 검출기 제작", 한국방사성폐기물학회 2013 추계학술발표회 논문요약집, pp. 327-328 (2013).
- [6] 홍상범, "해체 부지복원 최적화 방안 연구" 경희대학교 박사학위 논문, (2016).