

컴프턴 산란을 이용한 방사성 세슘 선원의 깊이분석

최용석*, 홍상범, 서범경, 남종수, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*yschoi@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 오염부지 복원에서 오염부지에 대한 오염 핵종, 오염범위 그리고 오염깊이에 대한 정확한 분석이 요구된다. 그래서 방사성 오염부지의 오염범위를 짧은 시간에 측정하여 방사성 오염핵종을 분석할 수 있는 in-situ 감마선분석방법을 사용하고 있다. 그러나 방사성 오염 깊이는 토양표면에 침적된 방사성 물질이 시간이 경과함에 따라 토양 내부로 확산되어 오염 깊이분포가 변형되기 때문에 in-situ 감마선분석방법을 개선한 다양한 방사성 오염 깊이분포 분석방법[1,2]이 제안되었다. 이에 본 연구에서는 방사성 오염 부지의 방사성 오염 깊이분석을 위해 Compton 산란을 이용한 새로운 방사성 오염 깊이분포 분석을 시도하였다. 본 발표에서는 Compton 산란을 이용한 방사성 오염 깊이분포 분석 대한 기초 연구로서 방사성 세슘 선원의 깊이에 따른 NaI 검출기의 감마스펙트럼의 검출특성과 방사성 세슘 선원의 깊이에 대한 전산모사(MCNP)를 이용해 방사성 선원의 깊이와 세기 분석방법에 대한 연구를 결과를 나타내었다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

2.1.1 감마선의 감쇠

감마선이 물질을 통과할 때 물질과 반응하여 흡수되거나 산란되는 감쇠(attenuation) 현상이 일어난다. 동일한 에너지를 가진 경우, 물질을 투과하는 감마선은 이동 거리가 증가함에 따라서 지수적으로 감소한다. 물질 투과 거리(x)에 따른 감마선의 세기 변화는 다음 식의 형태로 표현할 수 있다 :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (1)$$

선형 감쇠 계수 (μ)는 물질의 단위 두께 당 감마선이 물질의 입방 센티미터의 부피내의 원자와의 상호작용으로 흡수되는 확률 의미한다. Fig. 1은 물질의 두께에 대한 방사선 세기의 관계를 그래프로

표시한 것이다. 왼쪽은 두께에 따른 투과선의 세기이며, 오른쪽은 두께 대비 투과선의 강도의 자연 대수의 관계로 기울기가 선형감쇠계수를 의미한다.

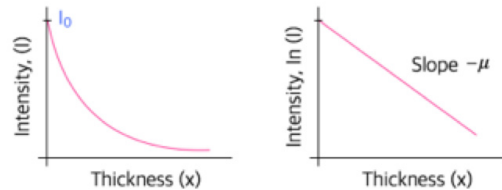


Fig. 1. Relationship of radiation intensity and the thickness of absorber.

2.1.2 선원 위치 및 세기의 계산식

입의 두께를 투과한 감마선 측정 후 선원의 위치 및 세기를 결정하기 위해서 전산 모사를 이용한 컴프턴 영역 및 세슘피크 대한 선형감쇠계수와 계측한 감마스펙트럼의 컴프턴 영역과 세슘피크의 면적을 결정하면 선원의 위치 및 세기를 계산할 수 있다.

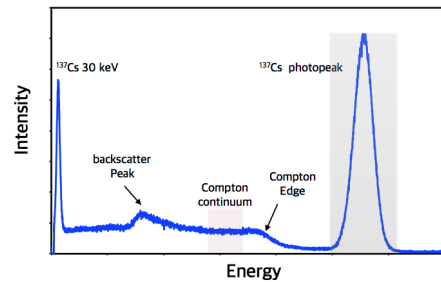


Fig. 2. Pulse height spectrum on a NaI(Tl) scintillator for gamma rays emitted by Cs-137.

컴프턴 영역의 선형감쇠계수(μ_C)와 세슘피크의 선형감쇠계수(μ_R)는 감마선의 투과두께와 검출기의 계수 합을 관계를 전산 모사를 통해 얻은 감마스펙트럼의 컴프턴 영역과 세슘피크의 영역으로 나누어 도식하고 추세선을 이용해 선형감쇠계수 값을 얻는다. 또한 검출기의 고유의 컴프턴 영역의 면적(I_{CO})과 세슘피크의 면적(I_{RO})의 비율은 표준 점선원의 측정을 통해 얻은 감마스펙트럼으로 부터 구한다. 이를 위해서 실험 및 전산모사의 결과의 모든 감마스펙트럼에서 세슘피크의 영역은 580 keV에서

720 keV까지, 컴프턴 영역은 350 keV에서 400 keV까지로 범위를 설정하고 각각의 면적을 해당 영역의 계수의 합으로 정하였다. 세슘피크와 컴프턴 영역에 대한 투과 두께와 면적의 관계를 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\ln(I_{Cx}/I_{C_0})/\mu_C = \ln(I_{Rx}/I_{R_0})/\mu_R \quad (2)$$

또한 동일한 검출기에 대해서 선원의 세기에 관계 없이 일정한 거리에서 NaI(Tl) 검출기는 컴프턴 영역의 면적과 세슘피크의 면적의 비가 거의 일정한 상수값 (Q_0)을 가짐으로 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$(I_{R_0}/I_{C_0}) = Q_0 \quad (3)$$

2.2 감마검출기의 고유의 Q_0 값의 결정

감마선 계측을 위해서 선원은 1.17 μ Ci 와 5 μ Ci의 Cs-137 표준 점선원을 사용하였다. 그리고 감마선 검출기는 3인치 NaI(Tl) 검출기를 사용하였다. 검출된 신호처리는 프리앰프와 앰프 그리고 다중채널분석기를 사용하여 분석하였다. Table 1은 선원의 세기와 선원과 검출기와의 거리에 따른 컴프턴 영역과 세슘피크의 면적 비를 나타낸 것이다. 선원의 세기를 다르게 하여 측정한 검출기의 면적비는 거의 일정한 값을 보이고 있다. 또한 1.17 μ Ci 선원과 검출기의 거리를 다르게 하여 측정한 결과 역시 거리에 상관없이 거의 유사한 면적비를 보였다. 이 결과를 통해서 실험에 사용한 3인치 NaI(Tl) 섬광검출기를 이용하여 감마선만을 측정한 경우, 선원의 세기 및 선원의 거리의 영향을 거의 받지 않고 컴프턴 영역과 세슘피크의 면적 비는 거의 일정한 값을 나타내는 것을 확인하였다.

Table 1. The photopeak to Compton ratio of NaI detector

		Ratio(Q_0)
Activity (μ Ci)	1.17	10.45
	5	10.61
거리 (cm)	0	10.77
	17	10.76

2.3 전산모사를 통한 선형감쇠계수 결정

Monte Carlo N-Particle Transport Code (MCNP)를 이용하여 3인치 NaI(Tl)검출기 전산모사 결과, 3인치 NaI(Tl) 검출기 표면에서 1.17 μ Ci 점선원에 대한 검출기의 계수 확률은 약 50%를 나타

내었다. 투과두께에 따른 컴프턴 영역과 세슘피크의 면적에 대해 추세선의 기울기로 얻어진 선형감쇠계수는 컴프턴영역은 0.0337과 세슘피크는 0.0532 이었다.

2.4 선원의 위치 및 세기의 측정 비교 결과

두께 3.25 mm이고 지름 5 cm의 원형 유리판(밀도 2.3 g/cm³)을 이용하여 두께 변화에 따른 감마선을 측정하였다. 3인치 NaI(Tl) 섬광검출기 위에 10단으로 적층한 후, 각각의 적층판 사이에 Cs-137 표준 점선원을 위치하고 100 초 동안 방사선을 측정하였다. Table 2는 전산모사를 이용해 얻은 컴프턴영역과 세슘피크에 대한 각각의 선형감쇠계수와 NaI(Tl) 검출기 고유의 컴프턴영역과 세슘피크의 면적비를 이용하여 선원의 위치와 세기를 계산한 결과이다.

Table 2. Comparison of position of radioactive Cs

선원위치 (mm)	
측정값	계산값
3.25	3.76
13.00	17.15
22.75	26.32
32.50	32.31

3. 결론

Cs-137 점선원을 사용하여 Compton 산란을 이용한 방사성 오염 깊이분포 분석 대한 기초 연구결과, 방사성 세슘 선원의 깊이에 따른 NaI 검출기의 감마스펙트럼으로 부터 방사성 선원의 깊이와 세기를 예측 분석 가능함을 확인하였다.

4. 참고문헌

- [1] P. Zombori, A. Andrasi, I. Nemeth, "A new method for the detection of radionuclide distribution in the soil by in-situ gamma-ray spectrometry", (Report KFKI-1992-20/K) Institute for Atomic Energy Research, Budapest.
- [2] M. Korun, R. Martinc'ic, B. "In-situ measurements of the radioactive fallout deposit", Pucelj, Nucl. Instr. and Meth. A 300, 611-615 (1991).