

감마선분광분석을 위한 시료의 질량감쇠계수 결정

이정빈¹, 변종인^{2*}, 윤주용²

¹과학기술연합대학원대학교, 대전광역시 유성구 가정로 217

²한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 62

*k975bjj@kins.re.kr

1. 서론

감마선분광분석은 시료의 전처리 과정이 비교적 용이하여 감마선방출 시료의 방사능을 산출하기 위해 널리 사용되어 왔다. 그러나 자체감쇠효과(Self-attenuation effect)로 인해 검출기의 효율교정에 사용되는 감마선원과 분석대상 시료의 화학적 구성 및 밀도가 다를 경우 방사능분석결과가 과소 또는 과대평가될 수 있다. 이 효과는 감마선원의 기하구조, 밀도 및 질량감쇠계수(Mass attenuation coefficient, μ_m)에 의해 영향을 받을 수 있으며 수학적 모델링, 몬테카를로 시뮬레이션 또는 실험적으로 보정될 수 있다. 이때, 선원에 대한 μ_m 은 일반적으로 구성원소비에 대한 정보를 이용하거나 콜리메이터를 이용하여 실험적으로 결정 할 수 있으나 미지선원일 경우 원소분석 또는 방사선안전 시설과 비교적 높은 방사능의 선원이 요구될 수 있으므로 일반적인 실험실 조건에서는 적용이 어려울 수 있다. 그러므로 보다 정확한 감마선분광분석을 위해서는 μ_m 을 실용적으로 구할 수 있는 방법을 갖추거나 다양한 시료에 대한 에너지별 μ_m 자료 구축이 필요할 수 있다.

본 연구에서는 다양한 환경시료의 에너지에 따른 μ_m 자료를 생산 및 상호비교하고 일반환경 방사능분석 실험실에서 활용할 수 있는 CT(Calibration transmission) 방법[1]에 대하여 방사성오염 시료의 μ_m 결정에 대한 적용성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 재료 및 방법

다양한 시료에 대한 μ_m 자료를 구축하기 위해 CT 방법을 적용하였으며, 이를 위해 측정시스템 교정용 기준시료로서 H₂O, MnO₂, NaCl, Na₂CO₃, 및 (NH₄)₂SO₄를 사용하였다. 또한, μ_m 자료 구축은

주요 환경방사능 평가 대상인 채소류, 곡류, 토양, 어류, 우유, 패류, 해저퇴적물 및 해조류에 대하여 수행되었으며, 방사성폐기물 시료에 대한 CT 방법의 적용성 평가를 위해 방사성 오염된 산업폐기물 시료를 이용하였다. 대상시료는 200 μ m로 분쇄하였으며, 감마선측정을 위해 직경 60 mm의 원통형 아크릴 용기에 20 mm 두께로 충전하였다. 다양한 에너지에 대한 질량감쇠계수를 산출하기 위해 37 kBq의 ²¹⁰Pb, ²⁴¹Am, ¹⁵²Eu, ¹³³Ba, ²²Na, ¹³⁷Cs 및 ⁶⁰Co 점선원(Point-like disk source)을 이용하였다. 감마선측정을 위해 상대효율 30%의 HPGe(High Purity Germanium) 검출기를 이용하였으며, 축차 우연동시합산효과(True coincidence summing effect)를 무시하기 위해 검출기로부터 200 mm 거리에 선원을 위치시켰다. 이 때, 교정용 기준시료 및 분석대상 시료는 검출기와 감마선원 사이에 두었다. 각 시료에 대한 감마선 투과비를 산출하기 위해 빈 용기 및 분석대상 시료에 대하여 각 핵종의 관심에너지에 대한 계수표준불확도가 1% 미만 이 되도록 측정 후 감마선에너지스펙트럼을 분석하였다. 이때, 감마선 투과비(I_m/I_0)는 시료가 있을 경우(I_m)와 없는 경우(I_0)의 감마선 계수율 비로 결정하였으며, 교정용 기준시료의 구성원소비를 바탕으로 XCOM[2]을 이용하여 각각의 μ_m 을 산출하였다. 분석대상 시료의 μ_m 은 감마선 I_m/I_0 을 이용한 반실험식에 의해 결정되었으며, 도출된 식은 K₂CrO₄와 SiO₂의 μ_m 산출에 적용하여 XCOM에 의한 결과와 비교를 통해 검증하였다.

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 CT 방법을 위한 측정시스템 교정

Fig. 1은 측정시스템 교정용 기준시료(H₂O, MnO₂, NaCl, Na₂CO₃, (NH₄)₂SO₄)에 대해서 XCOM을 이용하여 얻은 μ_m 과 실험을 통해 얻은 I_m/I_0 을 보여준다.

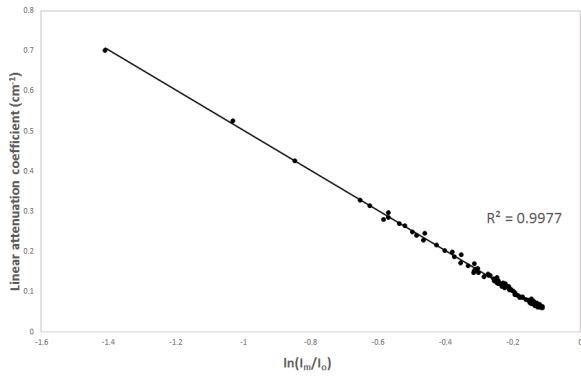


Fig. 1. The linear attenuation coefficients versus the ratio $\ln(I_m/I_0)$.

구성원소비에 대한 정보가 있는 검증용 시료 K_2CrO_4 와 SiO_2 에 대해서 XCOM과 CT방법에 의해 결정된 선감쇠계수(Linear attenuation coefficient, μ_l)를 Table 1에 각각 나타내었다. CT 방법으로 산출된 선감쇠계수는 XCOM으로 산출된 값과 비교한 결과 약 4% 이내에서 일치함을 보였다.

Table 1. Comparison result of μ_l by this study and Xcom Calculation for K_2CrO_4 and SiO_2 the test samples

Energy (keV)	K_2CrO_4			SiO_2		
	This study (cm^{-1})	XCOM calculation (cm^{-1})	Difference (%)	This study (cm^{-1})	XCOM calculation (cm^{-1})	Difference (%)
46.5	1.7767	1.7664	0.6	0.4710	0.4624	1.9
59.54	0.9780	0.9740	0.4	0.3275	0.3332	-1.7
121.8	0.3305	0.3295	0.3	0.2171	0.2143	1.3
244.7	0.2143	0.2193	-2.3	0.1668	0.1681	-0.8
276.4	0.2010	0.2082	-3.5	0.1591	0.1609	-1.1
302.9	0.1924	0.2005	-4.0	0.1537	0.1556	-1.2
344.3	0.1823	0.1900	-4.1	0.1467	0.1483	-1.1
356	0.1800	0.1874	-4.0	0.1450	0.1464	-1.0
411.1	0.1712	0.1766	-3.0	0.1378	0.1384	-0.4
444	0.1669	0.1710	-2.4	0.1340	0.1342	-0.1
661.66	0.1427	0.1438	-0.7	0.1140	0.1132	0.7
778.9	0.1312	0.1334	-1.7	0.1052	0.1052	0.0
964.1	0.1187	0.1206	-1.6	0.0941	0.0951	-1.0
1112.1	0.1133	0.1124	0.9	0.0876	0.0886	-1.1
1173	0.1115	0.1094	1.9	0.0855	0.0863	-1.0
1274.5	0.1076	0.1049	2.6	0.0823	0.0827	-0.6
1332.5	0.1043	0.1026	1.6	0.0806	0.0809	-0.3
1408	0.0977	0.0998	-2.1	0.0785	0.0786	-0.1

2.2.2 환경 및 산업폐기물 시료에 대한 μ_m

CT 방법으로 도출된 피팅식을 이용하여 산출된 환경시료의 μ_m 은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 에너지가 증가함에 따라 지수함수의 형태로 감소하고 동일한 에너지에서는 밀도가 증가함에 따라 질량감쇠계수도 같이 증가함을 보인다. 또한, 시료의 종류가 다르더라도 약 200 keV 이상의 감마선에너지 영역에서는 저에너지에 비해 큰 차이가 없지만

저에너지 영역에서는 시료의 종류 및 에너지에 따라 상대적으로 큰 차이를 보임을 확인할 수 있다.

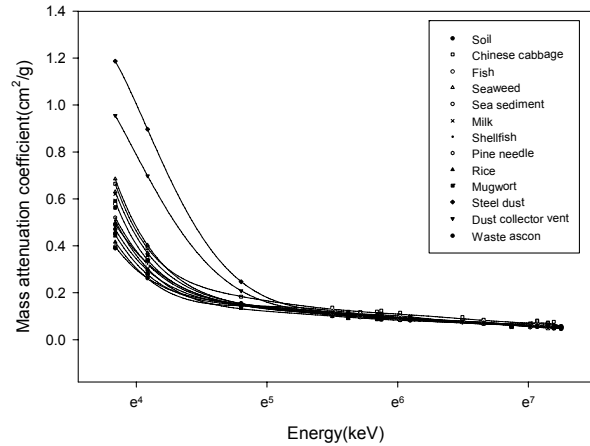


Fig. 2. The mass attenuation coefficient versus the energy for Environmental samples.

3. 결론

본 연구에서는 감마핵종분석 대상 환경 및 방사성오염 시료에 대하여 CT 방법을 이용하여 질량감쇠계수를 산출하고 시료 및 에너지에 따른 차이를 비교·분석하였다. 고에너지 영역에서는 시료의 종류보다는 밀도차이에 영향을 받으며, 저에너지 영역에서는 같은 종류의 시료에서 구성원소비의 차이에 따라 자체감쇠율이 크게 다를 수 있음을 실험적으로 확인할 수 있었다. 본 연구의 미지시료에 대한 선감쇠계수 결정 방법 및 다양한 환경시료에 대하여 산출된 에너지별 질량감쇠계수 정보는 향후 방사성폐기물 처분과정에서 발생할 수 있는 미지시료의 방사능 농도를 보다 신속하고 정확하게 산출하기 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

- [1] Jong-In Byun, Ju-Yong Yun. "A calibration transmission method to determine the gamma-ray linear attenuation coefficient without a collimator", Applied Radiation and Isotopes, Volume 102, August 2015, Pages 70-73 (2015).
- [2] M.J. Berger, J.H. Hubbell, S.M. Seltzer, J. Chang, J.S. Coursey, R. Sukumar, D.S. Zucker, and K. Olsen "XCOM: Photon Cross Section Database 8" <<http://physics.nist.gov/xcom>>, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. (2010).