

HPGe 분광기를 이용한 우라늄 오염 HEPA 필터 폐기물의 방사능 분석 방안

지영용 · 강일식 · 홍대석 · 곽경길 · 류우석
한국원자력연구원 · 대한방사선방어학회
E-mail: yyji@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : HPGe 분광기, HEPA 필터, 여과재, 대표시료, 우라늄, 방사능 분석

서 론

원자력시설의 환기설비에 주로 사용되는 HEPA 필터들은 일반적으로 알루미늄 또는 아연도 강판의 프레임 안에 여과재를 채운 것으로 부피에 비해서 무게는 상대적으로 가볍기 때문에 방사성폐기물의 처리 및 저장 관점에서 볼 때는 여과재를 필터 프레임으로부터 분리하여, 이를 규격화된 철대 드럼에 압축 포장하는 것이 바람직하다. 그리고 분해과정에서 발생된 프레임은 방사성물질에 오염될 확률이 여과재에 비해 크게 낮기 때문에, 처리방식을 달리하여 적절한 제염 과정을 거친 후, 자체처분을 유도하는 것이 방사성폐기물의 양을 줄일 수 있는 효과적인 방법이다.

본 연구에서는 여과재를 방사성폐기물 드럼에 포장하기에 앞서 대표시료를 채취하여 방사능 분석을 수행하였으며, 이를 위해 채취된 여과재 대표시료를 1 L 마리넬리 용기에 포장하였다. 이때 이들 시료의 겉보기 밀도는 분광기 교정용 표준선원의 밀도에 비해 상당히 낮았으며, 이에 대한 보정을 위해 MCNP 코드를 이용하였다. 여과재 대표시료들 중, 우라늄으로 오염된 필터들에 대한 방사능 분석을 HPGe 감마선 분광기를 이용하여 수행하였으며, 이를 위해 우라늄 및 토륨 계열의 붕괴도를 조사하여 우라늄 분석에 필요한 분석 라이브러리를 작성하였다.

HEPA 필터 여과재 대표시료

일반적으로 필터 여과재 내 핵종포집의 농도분포

는 HEPA 필터의 구조적 특성에 기인하여 여과재의 중앙보다는 앞쪽 흡입구와 뒤쪽 배출구 부근에서 높게 나타난다[1, 2]. 따라서 보수적인 평가를 위하여, HEPA 필터 여과재의 대표시료를 흡입구와 배출구에서 각각 채취 하였으며, 이때 하나의 필터 여과재에서 총 무게의 약 1 %를 채취하였다. 이를 1 L 마리넬리 용기에 담았으며, 일반적으로 10 여개의 HEPA 필터 여과재가 하나의 200 L 드럼에 압축 포장되므로, 1 L 용기에 담겨진 시료의 평균적인 무게는 약 150 g 이었다. 이 1 L 용기의 시료를 HEPA 필터 여과재 약 10 여개가 들어간 200 L 드럼의 대표시료로 간주하였다.

밀도보정 및 핵종 라이브러리

감마선 분광기의 교정은 밀도 1 g/cm^3 의 표준선원을 이용하며, 따라서 실제 시료의 분석도 표준선원과 같은 겉보기 밀도를 갖추어야 한다. 만약 밀도가 낮은 시료의 경우에는 과대평가된 분석결과를 만들고, 반대로 밀도가 높은 시료는 과소평가된 분석결과를 얻게 된다. 따라서 측정대상 시료의 밀도 변화에 따른 분광기 효율의 변화를 MCNP 코드를 이용하여 계산하였다. 먼저 HPGe 검출기 상세 도면으로부터 그 기하학적 모양을 코드 입력데이터로 작성하였으며, 1 L 용기 내에 저에너지에서부터 약 2 MeV까지의 표준선원들이 균일하게 분포된 시뮬레이션 모형을 그림 1에 나타내었다.

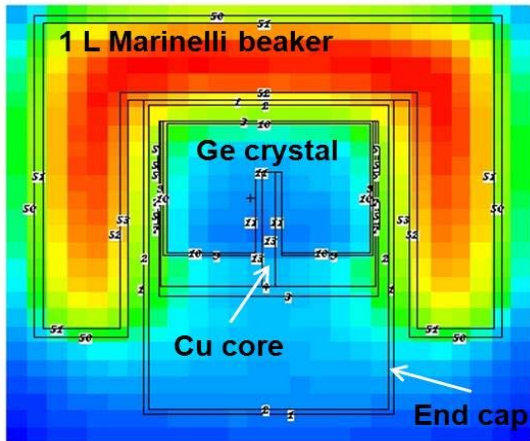


그림 1. MCNP 코드상에서 1 L 마리넬리 용기 내의 표준선원분포 결과

일반적으로 우라늄은 알파-감마핵종이므로 감마선 분광기로 직접 측정이 가능해야 하나, U-238의 경우에는 약 50 keV의 낮은 감마선과 0.064 %의 아주 작은 붕괴율 때문에 일반적인 감마선 분광기로 직접 측정할 수 없다. 그러나 붕괴과정에서 U-238은 그 딸핵종인 Th-234 또는 Pa-234m과 영속평형 관계에 있기 때문에, 이들의 방사능으로부터 U-238의 정량할 수 있다. 표 1에서 보듯이, U-235는 57.2 %의 붕괴율을 가지는 185.715 keV의 감마선이 존재하지만, 이는 U-238의 딸핵종인 Ra-226의 186.2 keV와 겹치는 단점이 있다. 따라서 간섭 피크가 존재하지 않는 143.76 keV를 이용하여 U-235의 방사능을 분석하였다. 또한 Th-234는 여러 개의 감마선 피크를 가지고 있지만 63.29 keV는 주위의 간섭 피크들에 대한 영향과 낮은 분해능에 대한 단점이 있다. 뿐만아니라 Pa-234m은 1001 keV의 단일 피크를 가지며 주위에 간섭피크가 없다는 장점이 있지만 낮은 붕괴율 때문에 MDA 값이 높아지는 단점이 있다.

따라서 본 실험에서는 U-238의 분석을 위해 Th-234의 92.38과 92.80 keV의 감마선 피크들을 이용하였다. 그러나 HPGe 감마선 분광기에서 이 두 피크들을 분리해 내는 것은 사실상 불가능하며 하나의 피크로 검출되기 때문에 핵종 라이브러리를 두 개의 감마선을 합한 붕괴율 5.58 %의 92.59 keV를 가지는 단일 감마선으로 간주하였다. 이에 대한 타당성을

Pa-234m의 분석 결과와 비교함으로써 입증하였다.

표 1. 우라늄 분석을 위한 핵종분석용 라이브러리

Nuclide	Energy (keV)	Intensity (%)
U-235	143.76	Schmorak (1993) 10.96(8)
	163.33	5.08(4)
	185.715	57.2(5)
	202.11	1.08(2)
	205.311	5.01(5)
Th-234	63.30	Adsley (1996) 3.7(2)
	92.38	2.62(18)
	92.80	2.59(18)
	112.81	0.24(3)
Pa-234m	1001	Scott, Marlow (1990) 0.839(5)

결론

본 연구에서는 1 L 마리넬리 용기에 포장된 우라늄 오염 HEPA 필터 여과재 대표시료의 방사능을 분석하였다. 이에 앞서 지나치게 낮은 대표시료의 결보기 밀도에서 기인한 오차를 줄이기 위해 측정대상 시료의 밀도 변화에 따른 분광기 효율의 변화를 MCNP 코드를 이용하여 보정하였다. 그리고 대표시료 내에 존재하는 우라늄의 방사능을 U-235의 방사능과 U-238의 방사능 값의 합으로 결정하였으며, 이때 U-235의 방사능은 143.76 keV의 주 에너지 피크면적으로부터 결정하였고, U-238은 Th-234의 92.59 keV의 주 에너지 피크면적으로부터 결정하였다.

참고 문헌 (REFERENCES)

1. Y.Y. Ji et al, "Radioactive Analysis of a Spent HEPA Filter Using the Distribution Characteristics of the Captured Radionuclide", J. of Nuclear Science and Technology, supplement 5, p. 439-442 (2008)
2. Y.Y. Ji et al, "Current Status of the Spent Filter Waste and Consideration of Its Treatment Method in KAERI", J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 5(3), P. 257-266, (2007)