

방사성 폐기물 내 ^{94}Nb 방사능 측정 방법에 대한 고찰

송병철, 김영복, 이창현, 이명호, 한선호, 송규석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
nbcsong@kaeri.re.kr

1. 서론

중·저준위 방사성 폐기물이 영구처분장으로 이송될 때 방사성폐기물의 안전한 보관을 위해서 방사성폐기물 인도 규정에는 폐기물 내에 함유된 ^{94}Nb 를 포함한 11개 방사성핵종의 방사능 농도를 명시하도록 되어있다. ^{94}Nb 는 원자로 내에서 중성자에 의하여 $^{93}\text{Nb}(n, r)^{94}\text{Nb}$ 핵반응으로 생성되고 스틸이나 인코넬 등 방사화된 금속에 존재하며, 반감기가 2.0×10^4 년으로 매우 길어 폐기물 처분 시 중요하게 취급되는 핵종이다. ^{94}Nb 는 베타붕괴 하면서 베타선 및 감마선을 방출하므로 ^{94}Nb 의 방사능을 측정하기 위하여 가스비례검출기 및 감마선 분광 분석기를 사용하여 측정할 수 있다. 본 연구에서는 방사성폐기물 내 ^{94}Nb 방사능 농도를 규명하기 위하여 가스비례검출기 및 감마선 분광 분석기에 의한 측정 방법을 검토하였으며, 특히 감마선 분광분석법에서 고에너지 감마선 방출 핵종으로 인하여 바탕 값 증가에 따른 최소검출하한이 높아지게 되므로, 용해용액을 개별분리 없이 직접 감마선 분광분석을 측정된 결과와 동일한 시료를 나이오븀 만 개별 분리하여 측정된 결과를 비교 검토하였다.

2. 본론

2.1 실험 방법

나이오븀 산화물을 하나로를 이용하여 중성자 조사한 후 나이오븀을 개별 분리한 후 진한 염산 및 불산을 사용하여 용해하였다. 용해한 용액을 감마선 분광분석을 수행한 결과 ^{182}Ta 가 불순물로 존재하였으며, ^{182}Ta 를 음이온교환 수지를 이용하여 제거하고 ^{94}Nb 실험실 표준물로 사용하였다.

실험실 표준물을 이용하여 기체비례계수기의 염의 무게에 따른 계측효율을 구하여

$$\text{Log}(E_{\text{eff}}) = -0.00827 \times w + 1.50974 \quad \text{-----} (1)$$

와 같은 계측효율 보정식을 얻었으며, 실제 시료에 대한 염의 무게에 따른 계측효율을 보정 하였다. 방사성폐기물 내 ^{94}Nb 의 방사능을 측정하기 위하여 알카리 매질에서 생성된 나이오븀 침전을 순수하게 분리하고 기체비례계수기로 방사능을 측정 하였다.

감마선분광분석기(HPGe GMX 60-83-XLB-S)의 동작전압을 -4000 V로 올리고 실험실 표준물이 들어있는 측정용기를 검출기 상단에 올려놓고 10000 초 동안 계측하였으며, 실험실 표준물로부터 방출되는 871.1 keV 피크의 계수를 로부터 감마선분광분석기의 계측효율을 구하였으며, 이때 계측효율은 871.1 keV에서 4.14×10^{-2} 이었다.

방사성 폐기물 시료를 회화, 침출 및 산분해법을 이용하여 용해한 후 용해용액을 개별 분리 없이 직접 감마선분광분석을 수행 하였다. 또한 동일한 시료를 나이오븀을 개별 분리하여 감마선분광분석을 통하여 ^{94}Nb 방사능 농도를 정량하였다.

2.2 결과

Nb_2O_5 3.6 g에서 생성된 ^{94}Nb 방사능을 핵반응에 의한 생성 식 으로부터 계산한 결과 1.798×10^5 Bq이었으며, 실제 조사된 Nb 용해용액 으로부터 구한 방사능은 1.776×10^5 Bq로 계산 값 과 비교하여 98.8 %의 회수율을 보였다.

기체비례계수기에 의한 ^{94}Nb 의 방사능 측정 방법은 나이오븀을 개별 분리한다 할지라도 ^{95}Nb 에서 방출되는 베타선이 방해요인으로 작용할 가능성이 크고, 또한 미 분리된 ^{125}Sb 등에 의한 미량의 방사성 오염이 양의 오차를 가져올 것으로 사료된다.

감마선분광분석법을 이용하여 용해용액을 분리 없이 직접 측정할 경우 ^{60}Co 등의 고에너지 방출핵종 의한 백그라운드 증가로 인한 최소 검출하한

치가 높아지므로 낮은 농도의 ^{94}Nb 는 검출한계 이하가 되었다. 용해용액을 음이온 교환수지를 이용하여 분리한 후 Nb_2O_5 침전을 얻어 ^{94}Nb 의 방사능을 측정된 결과를 실험실 표준물과 비교하였을 때 7% 이내에서 잘 일치 하였다.

High-Resolution Gamma-Ray Spectroscopy of Soil Samples".

- [4] ASTM D: 3648-03, "Standard Practices for the Measurement of Radioactivity".

Table 1. Minimum detectable activity according to radioactive level of ^{60}Co

Co-60 (Bq/g)	Background (cps)	MDA (Bq/g)
1.28×10^2	0.985	0.002
1.15×10^2	1.491	0.002
5.12×10^3	1.568	0.049
7.99×10^4	5.965	0.081
1.46×10^5	15.069	0.183

3. 결론

방사성 폐기물 내 함유되어 있는 ^{94}Nb 의 방사능을 측정하기 위하여 ^{94}Nb 의 실험실 표준물을 제조하여 사용하였으며, 실험실표준물의 방사능 값은 이론적인 값과 감마선 분광분석에 의한 실험값이 잘 일치 하였다. 실험실 표준물을 사용하여 가스비례검출기 및 감마선 분광분석기의 계측 효율이 보정되었으며, 실제 방사성 폐기물 시료에 적용되었다. 시료를 용해한 후 직접 감마선 분광분석을 수행한 결과 고에너지의 ^{60}Co 등에 의한 바탕 값 증가로 ^{94}Nb 의 최소검출하한이 높게 설정되었다. 또한 가스비례검출기에 의한 측정 방법은 ^{95}Nb 에서 방출되는 베타선이 양의 오차를 유발하며, 미 분리된 미량의 ^{125}Sb 가 방해 요인으로 작용하였다. 방사성 폐기물 내 존재하는 ^{94}Nb 의 방사능 농도를 측정하기 위하여 나이오븀을 순수 분리한 후 감마선 분광분석법을 이용하여 방사능을 측정하는 것이 방해 요인을 제거하면서 검출하한치도 낮출 수 있을 것으로 사료된다.

4. 참고 문헌

- [1] ASTM D: 3648-03, "Standard Practices for the Measurement of Radioactivity".
 [2] ASTM D: 1943-96, "Standard Test Method for Alpha Particles Radioactivity of Water".
 [3] ASTM C: 1402-98, "Standard Guide for