

방사성폐기물 핵종분석 결과를 사용한 폐수지의 운반물등급 분류 방법

김태욱, 최기섭, 강기두

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

taewook@khnp.co.kr

방사성폐기물 드럼을 소내 또는 소외로 운반하려면 과기부령 제30호 '방사선안전관리 등의 기술기준에 관한규칙'에 따라 운반물 등급을 결정하고, 운반물 등급별 기술기준에 만족하는 운반용기를 사용하여야 한다. 운반물의 운반등급을 결정하기 위해서는 운반물 내 핵종재고량을 평가가 필요하며 이에선 직접 또는 간접 측정방법을 사용할 수 있다.

감마핵종 재고량 평가를 위한 직접 측정방법에는 감마핵종분석기로 분석하는 방법이 있고, 간접 측정방법에는 감마핵종존재비와 선량대방사능 환산인자를 사용하여 분석하는 방법이 있다. 알파베타핵종 재고량 평가를 위한 직접 측정방법에는 시료를 채취하여 방사화학분석을 수행하는 방법이 있고, 간접 측정방법에는 감마핵종과 알파베타 핵종의 방사능 비율인 척도인자를 사용하는 방법이 있다. 본 연구는 고밀도폴리에틸렌 고전선성용기에 담겨진 폐수지의 핵종재고량을 평가하기 위하여 방사성폐기물 핵종분석 결과와 선량대방사능 방법을 사용한 직간접 혼합방법을 사용하여 수행되었다.

원전에서 발생된 방사성폐기물의 핵종분석결과는 2002년부터 2005년까지 노형 및 6개 폐기물 유형으로 분류하여, 알파, 베타, 감마 총 18개 핵종에 대하여 도출되었다. 전체 핵종의 존재비는 운반물 등급 분류에 사용되었으며, 이중 8개 핵종에 대한 존재비는 선량대방사능 환산방법에 사용되었다.

선량대방사능 환산방법은 드럼의 표면선량을 측정하여 감마핵종 재고량을 평가하는 방법이다. 감마핵종간의 존재비를 알고 있을 때 적용되며, MCNP 코드를 사용하여 폐기물 종류별로 실제 폐기물을 모사하여 핵종별 단위 방사능 당 드럼 표면에서의 선량률을 계산하였다. 핵종별 존재비는 다음과 같다.

핵종	존재비(%)	핵종	존재비(%)
^{60}Co	6.800	^3H	0.015
^{137}Cs	14.666	^{14}C	0.477
^{125}Sb	0.464	^{55}Fe	18.616
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	0.019	^{59}Ni	0.291
^{134}Cs	12.888	^{63}Ni	24.033
^{54}Mn	3.073	^{90}Sr	0.026
^{58}Co	18.536	^{94}Nb	0.00139
^{144}Ce	0.090	^{99}Tc	< 10 ⁻³
		^{129}I	0.00489
		전 알파	< 10 ⁻³

또한, 방사능대선량 환산인자는 다음과 같다.

핵종	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	¹²⁵ Sb	^{110m} Ag	¹³⁴ Cs	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	¹⁴⁴ Ce
환산인자 (mSv/h/TBq)	4.22 × 10 ²	8.62 × 10 ¹	5.83 × 10 ¹	4.31 × 10 ²	2.40 × 10 ²	1.34 × 10 ²	1.51 × 10 ²	6.70 × 10 ⁻¹

위의 감마핵종 존재비와 방사능대선량 환산인자를 사용하여 다음과 같이 단위 방사능당 표면선량률을 환산하였다.

$$D = \sum_{i=1}^8 C_i \times R_i$$

여기서 D는 8개 핵종의 단위 방사능당 표면선량률 환산인자이고 C_i는 핵종 i의 방사능대선량 환산인자이고 R_i는 핵종 i의 존재비이다. 그러면 D의 역수는 8개 핵종의 선량대방사능 환산인자가 된다. 핵종별 선량대방사능 환산인자는 D의 역수에 핵종 i의 존재비 R_i를 곱하여 구한다.

8개 감마핵종의 핵종별 선량대방사능 환산인자가 도출되면 핵종 i의 존재비 R_i를 사용하여 나머지 알파베타 핵종의 존재비를 환산할 수 있으며, 같은 비율을 적용하면 총 18개 핵종의 핵종별 선량대방사능 환산인자가 도출된다. 이를 사용하면 표면선량률을 측정하여 드럼 내의 핵종재고량을 평가할 수 있게 된다.

핵종재고량이 도출되면 혼합 핵종의 A2값을 구하고 이를 총 방사능과 비교하여 운반등급을 결정할 수 있다. 계산결과 A형과 B형 운반물을 나누는 경계값인 A2값은 고밀도폴리에틸렌 고건전성용기 폐수지의 경우 1.19 TBq로 나타났다.

핵종	분율 R _i (%)	A2 _i (TBq)	R _i /A2 _i
⁶⁰ Co	6.800	0.4	0.170
¹³⁷ Cs	14.666	0.6	0.244
¹²⁵ Sb	0.464	1.0	0.005
^{110m} Ag	0.019	0.4	0.000
¹³⁴ Cs	12.888	0.7	0.184
⁵⁴ Mn	3.073	1.0	0.031
⁵⁸ Co	18.536	1.0	0.185
¹⁴⁴ Ce	0.090	0.2	0.005
³ H	0.015	40	0.000
¹⁴ C	0.477	3	0.002
⁵⁵ Fe	18.616	40	0.005
⁵⁹ Ni	0.291	-	-
⁶³ Ni	24.033	30	0.008
⁹⁰ Sr	0.026	0.3	0.001
⁹⁴ Nb	0.00139	0.7	0.000
⁹⁹ Tc	0.00032	0.9	0.000
¹²⁹ I	0.00489	-	-
총 알파	0.00031	0.001	0.003
합계	100.0	$\sum_{i=1}^{18} \frac{R_i}{A2_i}$	0.842
혼합 A2	1.190		