

## 중저준위 방사성 고화체에 대한 침출시험 결과의 표현

김기홍, 유영걸, 박경길, 지영용  
한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150

[nkhkim@kaeri.re.kr](mailto:nkhkim@kaeri.re.kr)

중저준위 방사성고화체로부터 선원향을 구하기 위한 침출시험법은 크게 사용 목적, 침출수 교체 및 교반 유무 그리고 침출수에 대한 고화체의 노출방법에 따라 분류될 수 있다. 그리고 침출시험 결과의 표현방법은 침출분율(cumulative fraction leached), 침출율(leach rate), 침출지수(leachability index) 및 유효확산계수(apparent diffusion coefficient) 등으로 표현할 수가 있다. 현재 IAEA의 권고 침출시험법에서는 침출액 교체마다 침출액내로 누출된 핵종의 방사능을 측정한 후 이를 도식화하고, 도식화된 직선으로부터 기울기를 계산하여 유효확산계수를 구하도록 하고 있으며, 프랑스의 RFS III.2.e에서는 침출율을 사용하고 있으며(대부분의 유럽 국가들도 해당됨), 미국의 NRC/BTP에서는 침출액 교체시점에서 구한 유효확산계수를 이용하여 침출지수를 사용토록 권고하고 있다. 반면에 국내에서는 폐기물인도규정이 있지만 침출시험을 위한 시험법의 선정 및 그의 결과 표현 방법에 대하여서는 언급이 없는 실정이다. 이와 같이 각국마다 침출결과의 표현방법을 달리하고 있는데 이는 크게 plane source 및 spherical source 모델의 사용, 확산 침출과정의 해석에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 이들 국가의 침출시험은 물질전달식에 기초하고 있지만 시험방법에서는 총 침출 소요기간, 침출수 교체시기 및 그의 interval, 유효확산계수를 구하기 위한 시간 선정 등에 커다란 차이가 있다.

IAEA 시험법은 시편 상부의 한 단면만을 노출시키고 나머지 면은 시편 제조용기나 침출수의 침입을 차단할 수 있는 물질로 둘러싸게 하여 침출시험동안 고화체의 건전성을 유지할 수 있기 때문에 시멘트 고화체와 같은 rigid한 시편보다는 아스팔트나 파라핀 고화체와 같은 flexible한 고화체 시편에 매우 적합할 것으로 보이며, ANS 16.1에서는 IAEA 시험기간보다 훨씬 단축된 90일의 시험기간을 요구하고 있는데 이 기간동안 침출시험의 진행에 따라 침출기구에 어떠한 변화가 있는지 알아보기 위한 것이다. 고화체로부터 관찰된 초기 침출율은 대부분 확산에 의해 설명되고 있으며 침식, 용해 또는 부식과 같은 다른 기구는 오랜 침출 시간 후에 구별할 수가 있기 때문이다. 그리고 시멘트 고화체에 대하여 5 및 90일 시험을 비교한 결과 대부분의 시편에 대하여 5일과 90일의 침출지수의 차는 비교적 작으므로, 시멘트 고화체에 대해 5일간 침수시험이면 충분하다고 한다.

이들 두 시험법은 서로 다른 모델과 침출방법에 커다란 차이를 보이고 있어 서로 비교할 수 없기 때문에 각 시험법에서의 침출분율, 침출율, 침출지수 및 유효확산계수 등을 비교하여 보았다.

일반적으로 침출 시험결과는 초기 방사능에서 얼마나 핵종이 빠져나왔나를 나타내는데 누적 침출량을 초기 방사능량으로 나누어 표시하는 누적 침출분율로 표현하게 된다. 그리고 일반적인 사항으로 얼마나 빠져나올까 하는 것은 유효 확산계수 또는 침출율로 표현하기도 한다.

초기방사능량이  $A_0$ 인 고화체(부피:  $V$ , 노출 표면적:  $S$ )로부터 어느 임의 시간  $t_n$ 에서  $a_n$ 의 방사능(물질의 양이 될 수도 있음)이 빠져나왔다면, 침출율  $R_n(\text{cm/day})$ 은 아래 식이 된다.

$$R_n = \frac{a_n / A_o}{(S / V) t_n}$$

침출율  $R_n$ 을 그래프로 나타내려면,  $R_n$ 을  $t = t_n - (t_n - t_{n-1}) / 2$ 에 대하여 fitting하면 된다.

각 침출수 교체시기마다 빠져나온 방사능을 누적하면 누적 침출분율(FAL),  $FAL = \frac{\sum a_n}{A_o}$  또는  $FAL = \frac{\sum a_n}{A_o} / \frac{S}{V}$  이 되는데 이를  $\sum t_n$ 에 대하여 그래프를 그리면 그때의 기울기가 유효 확산계수( $D_e$ ,  $cm^2/d$ )가 된다.

$$D_e = \pi \left[ \frac{a_n / A_o}{(\Delta t)_n} \right]^2 \left\{ \frac{V}{S} \right\}^2 T, \quad T = \left[ \frac{1}{2} (t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2}) \right]^2$$

그리고 구하여진 유효확산계수로 부터 아래 식을 이용하면 침출지수가 얻어진다.

$$Li = \frac{1}{10} \sum_1^{10} [\log(\beta/Di)]_n$$

항목	표현	단위	관계식
침출율	$R_n$	cm/day	$R_n = \frac{a_n / A_o}{(S / V) t_n}$
누적 침출분율	FAL	무차원	$FAL = \frac{\sum a_n}{A_o}$ 또는 $FAL = \frac{\sum a_n}{A_o} / \frac{S}{V}$
유효확산계수	$D_e$	$cm^2/d$	$D_e = \pi \left[ \frac{a_n / A_o}{(\Delta t)_n} \right]^2 \left\{ \frac{V}{S} \right\}^2 T$ $T = \left[ \frac{1}{2} (t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2}) \right]^2$
침출지수	Li	무차원	$Li = \frac{1}{10} \sum_1^{10} [\log(\beta/Di)]_n$

즉 이들 관계는 전혀 다른 별개의 관계식이 아니고 초기방사능, 누출된 방사능, 침출수 교체시간 및 교체전후의 기간을 알면 되는 것이므로, 원전의 고화체 제조조건으로 고화체를 제조하여 IAEA 및 ANS 시험법에 따라 수행하여 얻은 결과를 상기 표를 이용하여 비교하여 보았다.

이 결과는 Table과 Fig에 나타냈다.