

최초 척도인자를 사용한 과거발생 농축폐액 폐기물의 척도인자 검증

김태욱, 강기두

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

taewook@khnp.co.kr

2005년 중·저준위 방사성폐기물 인도규정이 개정되면서 핵종재고량 규명대상 핵종 및 분석 기술기준이 확정되었다. 감마선 방출핵종의 경우에는 방사선 계측 등에 의한 직접 측정방법의 경우, 해당 계측시스템은 처분 농도제한치의 1% 수준을 평가할 수 있는 능력을 보유하고, 알파 및 베타입자 방출핵종에 대해서는 척도인자 등 간접 평가방법의 경우, 예측의 정확도를 제시하여야 하고, 핵종 농도가 과소평가 되지 않도록 척도인자의 값을 보수적으로 설정하라고 제시하고 있다. 척도인자의 확인주기는 2년에 1회 이상이어야 하며, 폐기물 조성에 변화를 줄 수 있는 요인이 발생한 경우에는 그때마다 실시하여야 한다.

이에 발맞추어 한수원에서도 2002년부터 방사성폐기물 드럼 핵종분석장치 및 운영기술 확보 사업을 통해 핵종재고량 평가대상 핵종을 선정하고 2004년부터 척도인자 DB를 생산하여 왔으며 2005년에는 최초의 척도인자를 도출하기에 이르렀다. 또한, 2007년부터는 척도인자의 주기적 검증 용역을 통해 척도인자 DB를 추가 생산하여 보다 신뢰성 있는 척도인자를 생산할 계획이다. 이와 더불어 과거에 발생된 드럼의 대표 드럼을 선정하여 파괴 분석하고 척도인자를 구하고 이를 최초 척도인자와 비교 검증하여 과거 발생드럼에 대한 현 척도인자의 적용가능성을 검증할 계획이다.

최초 척도인자 DB는 폐기물종류별로 방사화학적 방법 및 방사선계측을 통하여 얻었으며 이들 DB를 이용하여 경향성을 파악하고 통계적인 방법과 이론적인 방법을 이용하여 우리 원전에 적합한 척도인자를 도출하였다. 척도인자 DB 생산을 위한 폐기물 구분은 발전소군을 13개(고리1호기, 고리2호기, 고리2발전소, 영광1발전소, 영광2발전소, 영광3발전소, 울진1발전소, 울진2발전소, 울진3발전소, 월성1발전소, 월성2발전소, 월성3발전소, 월성4발전소), 폐기물 종류를 6개(잡고체, 고선량 폐수지, 저선량 폐수지, 폐필터, 농축폐액, 슬러지)로 구별하여 분석하였으며, 각 폐기물 시료의 척도인자 데이터를 분류 또는 종합하여 감마선 방출 key 핵종과 측정년이 핵종과의 방사능 상관관계를 분석한 결과 척도인자 DB의 시료수와 상관관계를 고려한 결과 전체 척도인자를 6개의 폐기물 종류별로 분류하여 척도인자를 도출하였다.

검증방법은 두 단계로 시행할 계획이다. 하나는 추가 생산된 척도인자 DB를 사용하여 2차 척도인자를 도출하고 이를 최초 척도인자와 비교하는 것이다. 이는 최초 척도인자 및 2차 척도인자 모두 많은 양의 DB가 확보되므로 척도인자의 주기적 검증에 매우 유익한 정보를 제공할 수 있리라 판단된다. 또 다른 하나는 최초 척도인자 도출(2004년) 이전에 발생된 이미 고화 또는 압축 처리된 드럼을 파괴하여 방사능분석을 통해 척도인자를 계산하고 이를 2차 척도인자 또는 통합 척도인자와 비교하는 방법이다.

이러한 비교 검증 방법의 유효성을 확인하기 위하여 과거 농축폐액 폐기물을 대상으로 척도인자를 도출하여 이를 최초 척도인자와 비교검증을 수행하였다. 검증 대상 폐기물은 다음 표와 같이 1988년도부터 2003년도까지 발생된 PWR 농축폐액 폐기물 8 드럼이며, 드럼에 구멍을 뚫어 상 중 하 세 부분의 시료를 채취하여 방사능을 분석하였다.

본부	발생년도	분석 드럼 수
고리	1993~1997	3
울진	1988~2003	3
영광	1993~1999	2

각 드럼별 방사능은 상 중 하 세 부분의 방사능을 산술평균하였다. 분석된 핵종은 척도인자 계산을 위한 ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{129}I , 전 알파 등 총 10 개 핵종 및 key 핵종인 ^{60}Co 및 ^{137}Cs 등이었는데 전 알파 핵종의 경우에는 거의 대부분의 드럼에서 방사능이 검출되지 않아서 비교 검증대상에서 제외하였으며, ^{90}Sr 및 ^{129}I 도 검출되지 않은 드럼이 많았으나 비교 경향을 파악하기 위해서 검증대상에는 포함시켰다. 측정된 핵종별 방사능은 발생시점으로 역 붕괴 보정하여 발생당시의 방사능을 산출하였으며 이를 대상으로 핵종별 방사능비를 구해 발생당시의 척도인자를 도출했다.

핵종별 드럼별 도출된 각 척도인자는 최초 척도인자와 비교하여 비율을 산출하였고 이를 통계 처리하여 표준편차를 구하였다. 비교 검증은 평균값이 벗어나는 정도와 다음 수식으로 표현되는 E_n 값을 비교하였다.

$$E_n = \frac{\max(x/X, X/x)}{\sqrt{u_{\text{과거드럼}}^2 + u_{\text{최초척도인자}}^2}}$$

여기서 x 는 과거드럼의 척도인자 평균값이며 X 는 최초 척도인자 값이다. $u_{\text{과거드럼}}$ 은 과거드럼의 로그 표준편차(LMD)이며 $u_{\text{최초척도인자}}$ 는 최초척도인자의 로그 표준편차이다. ^3H , ^{14}C , ^{55}Fe , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc 핵종의 경우에는 과거드럼의 평균값이 최초 척도인자 값과 매우 유사하여 평균값의 분포를 비교하였다.

핵종	^3H	^{14}C	^{55}Fe	^{59}Ni	^{63}Ni	^{90}Sr	^{94}Nb	^{99}Tc
x/X	0.23	0.42	2.48	0.46	1.09	7.33	1.64	8.06

^{129}I 의 경우에는 검출되지 않은 드럼이 많아 E_n 값으로 비교를 하였다.

핵종	^{129}I
E_n	0.71

비교검증 결과 과거 발생 농축폐액 드럼 모두 최초의 척도인자 유효성 범위 내에 드는 것으로 판단되었다.

향후 2차 척도인자가 도출되면 이를 최초 척도인자와 비교 검증하여 척도인자의 적용 타당성을 입증한 후 동시에 과거 드럼을 종류별로 10드럼씩 파괴 분석하여 도출된 척도인자를 2차 척도인자 또는 통합척도인자와 비교검증할 계획이다.