

## 국내 원전 특성에 따른 드림핵종 재고량 평가

안홍주, 송병철, 이창헌, 표형열, 한선호, 지광용  
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지  
[ahjoo@kaeri.re.kr](mailto:ahjoo@kaeri.re.kr)

국내 원전은 1971년 8월 미국 Westing House사에 의한 고리 1호기 착공을 시작으로 현재까지 총 20기의 원전을 보유하고 있으며, 신고리 1호기 등을 포함한 6기의 원전이 건설 중에 있다. 국내 원전은 1980년대 말까지는 주로 외국의 기술에 의존하여 설계 시공되었지만, 1990년대 중반이후부터는 국내 원전기술이전 및 기술개발로 한국형원전을 설계 시공함에 따라 현재는 국내의 다양한 기술로 시공된 원자력 발전소가 운전 중에 있다. 이들 원전으로부터 발생하는 중저준위 방사성폐기물은 현재 원전 임시저장소에 약 67,000여 드림이 보관되고 있고 2008년 울진원전을 시작으로 포화상태에 이를 것으로 예상되고 있다. 이에따라 2005년 6월 중저준위 방사성폐기물 인수기준이 마련되면서 방사성폐기물 내 규제대상 핵종 재고량을 평가하기 위한 척도인자가 도출되고 있다. 일반적으로 척도인자 도출을 위해서는 원자력 발전소별(호기별) 또는 폐기물스트림별로 방사화학적 분석된 개별핵종결과와 통계적기법을 이용하여 개별핵종별 척도인자가 산출하고 있다. 원자력선진국에서는 이미 1980년대초부터 드림핵종 예측방식인 척도인자를 도출하고 있지만, 척도인자 도출기준은 국가별로 다양하게 적용하고 있다. 예를 들면, 1987년에 발간된 미국 EPRI NP-5077 보고서에서는 원자로 형태 구분과 폐기물스트림별로 단순 분류하여 척도인자 도출한 바가 있으며, 일본의 ISO 규격에서 부식생성물에 대해서는 원자력발전소 특성구분과 폐기물스트림 구분없이 척도인자 도출한 사례가 보고되고 있다. 따라서 원자력발전소에서 발생하는 중저준위 방사성폐기물로부터 방사화생성 핵종 또는 부식생성 핵종을 방사화학적으로 분리하였고, 유사특성을 갖는 원자력 발전소별로 지표핵종과의 상관성과 척도인자 도출 가능성을 평가하였다.

### - 시료전처리 및 방사화학적 핵종분리

핵종 상관성을 평가하기 위하여 국내 경수로형 원전으로부터 잡고체, 폐필터, 농축폐액, 고방사능 폐수지, 저방사능폐수지 및 슬러지 방사성폐기물에서 각각 대표적 방법에 의해 현장시료를 채취하였으며, 방사화학실험실에서 시료를 일정량 취한 후 극초단파 산분해법 및 침출법을 적용하여 시료 용액화를 유도하였고 방사화학적 기술을 적용하여 방사화생성 또는 부식생성 핵종을 분리하였다. 휘발성이 강한 C-14 핵종의 경우는 산화법을 적용하여 직접 분리하였다. 분리된 핵종은 GPC(Gas Proportional Counter), LSC (Liquid Scintillation Counter, Packard)을 이용하여 방사능을 계측하였다.

### - 원자력발전소 분류

원자력 발전소 설계사, 시공사, 및 상업운전시기 등의 이력을 바탕으로 유사특성을 갖는 원자력 발전소별로 동일그룹으로 설정하였고, 방사화 또는 부식생성물에 대해서는 폐기물스트림별로 구별하지 않고 척도인자 도출 가능성을 평가하였다.

### - 핵종 상관성

척도인자 도출에서 가장 중요한 과정은 지표핵종과 대상핵종과의 상관성이다. ISO에서는 국제표준 방법으로 TC 85/SC 5 /WG5 (ISO/DIS 21238)를 통하여 신뢰성 확보에 대한 기준을 마련하였다. 개별핵종별 척도인자를 도출하기 위해서 산술평균, 선형회귀, 기하평균과 로그스케일의 선형회귀방법 등의 4가지 통계적 방법이 일반적으로 적용되고 있지만, 예측핵종 방사능의 보수성과 과소평가에 대한 제한성이 강조되면서 방사성폐기물 처분 선진국에서는 기하평균과 로그스케일의 선형회귀 방법을 주로 선호하고 있다. 로그스케일의 선형회귀 방법에서 개별핵종별 척도인자는 지표핵종과의 상관계수(r)와 시료 수(n)에 의해 산출되는 t-분포를 통하여 다음과 같은 식으로 신뢰도를 표현할 수 있다.

$$t = \frac{|r| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (1)$$

식 (1)에서는 특정 신뢰구간에서 상관계수(r)와 시료수(n)은 서로 반비례하는 것으로 알 수 있지만, 상관계수(r)에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 지표핵종과의 상관성에 따라 필요한 유효데이터수는 달라질 수 있다. 방사화학적으로 분석된 개별핵종분석결과를 바탕으로 원자력발전소 특성별 분류에 따라 대부분의 원전그룹에서는 지표핵종인 Co-60 핵종과의 상관계수는 주로 0.8 ~ 0.95의 범위였으며, 일부 발전소그룹 및 핵종에 대해서는 척도인자 신뢰도 확보에 다소 미흡한 데이터 수를 보이기도 하였지만, 대부분의 발전소그룹에서는 척도인자 도출에 적합한 데이터수를 가진 것으로 확인되었다.

Table 1. Characteristics of Domestic NPPs

NPP (or Unit)	Output (10 <sup>3</sup> KW)		Commercial Operation (Year)	Architect Engineer	Reactor System Supplier
	Net	Gross			
A	55.6	58.7	1978	WH/GILBERT	WH
B	60.5	65.0	1983	WH/GILBERT	WH
C	89.5	95.0	1985-1986	BECHTEL	WH
D	92.0	95.0	1988-1989	FRAMATOME	FRAMATOME
E	95.0	100.0	1998-1999	KOPEC/S&L	HANJUNG/ABB-CE
F	95.0	100.0	2004-2005	KOPEC	DOOSAN
G	90.0	95.0	1986-1987	BECHTEL	WH
H	95.0	100.0	1995	KOPEC/S&L	HANJUNG/ABB-CE
I	95.0	100.0	2002	KOPEC/S&L	DOOSAN/WH

Table 2. Correlation Properties of C-14 and Ni-59 with Co-60 in Radwastes of each NPP

NPPs	C-14/Co-60		Ni-59/Co-60	
	Correlation Coefficient, r	No. of Data	Correlation Coefficient, r	No. of Data
A	0.764	114	0.921	24
B				
C	0.901	102	0.823	33
G				
D	0.882	52	0.916	13
E				
H	0.913	108	0.882	33
F				
I	0.936	67	0.904	20

- 결론 및 향후계획

원자력발전소에서 발생하는 중저준위 방사성폐기물로부터 방사화생성 또는 부식생성 핵종을 화학분리방법으로 분리하고 방사능을 측정하였다. 척도인자 도출 가능성을 평가하기 위하여 유사특성을 갖는 원자력 발전소별로 개별분석핵종의 상관성을 평가한 결과 상관계수는 주로 0.8 ~ 0.95의 범위였으며, 이때 대부분의 발전소그룹에서는 척도인자 도출에 적합한 데이터수를 확보하였지만, 일부 발전소그룹 및 핵종에 대해서는 척도인자 신뢰도 확보에 다소 미흡한 데이터 수를 확보한 것으로 확인되었다. 향후 방사성폐기물 처분안전성 확보를 위하여 추가 데이터 수 보완으로 신뢰도를 갖는 개별핵종별 척도인자가 도출될 것으로 예상되었다.