

## 방사성폐기물 드럼내 핵종재고량 분석을 위한 각국의 척도인자 적용현황 및 국내 규제방안

전제근, 송민철, 정재학, 최경우, 김홍태  
한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지  
k393cjk@kins.re.kr

### 1. 서론

국내 원전에서 발생하는 방사성폐기물의 처분과 관련하여 폐기물 드럼내 주요 규제대상 핵종의 농도를 평가하기 위하여 간접적 핵종농도 평가방식인 척도인자가 도입되고 있다. 척도인자는 파괴적인 방법인 방사화학적 방법을 이용하여 폐기물드럼내  $^{60}\text{Co}$  또는  $^{137}\text{Cs}$ 와 같은 지표핵종을 이용하여 직접측정이 어려운 규제대상핵종과의 농도비를 간접적으로 산출하는 방식이다.

처분시설을 운영하고 있거나, 운영예정인 여러 국가에서는 직접 시료측정 또는 이론적 평가를 통한 평가 등 다양한 방법을 이용하여 척도인자를 도출하고 있으며, 이를 이용하여 폐기물드럼내 핵종재고량을 평가하고 있다.

본 고찰에서는 각국의 척도인자 도출현황 및 도출방법을 살펴보았으며, 국내 규제방향을 살펴보았다.

### 2. 국외 척도인자 적용현황

#### 가. 주요핵종 및 DTM 핵종간 관계핵종

척도인자를 도출하여 방사성폐기물의 재고량평가에 적용하고 있는 주요 국가들의 척도인자 도출시  $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ 의 주요 핵종과 폐기물드럼내 대한 비파괴방법으로 계측이 어려운(DTM) 알파 및 베타핵종간의 상관관계는 표1, 표2, 표3과 같다.

표1. 프랑스

	균질고화폐 (active IX resins)		비균질고화체 (filter cartridges)		Type of Nuclide	D T M nuclide	K e y nuclide
	DTM nuclide	키핵종	DTM nuclide	키핵종			
CP 핵종	$^{10}\text{Be}, ^{14}\text{C}, ^{36}\text{Cl}, ^{41}\text{Ca}, ^{55}\text{Fe}, ^{59}\text{Ni}, ^{63}\text{Ni}, ^{93}\text{Mo}, ^{93}\text{Zr}, ^{94}\text{Nb}, ^{108m}\text{Ag}$	$^{60}\text{Co}$	$^{10}\text{Be}, ^{14}\text{C}, ^{36}\text{Cl}, ^{41}\text{Ca}, ^{55}\text{Fe}, ^{59}\text{Ni}, ^{63}\text{Ni}, ^{93}\text{Mo}, ^{93}\text{Zr}, ^{94}\text{Nb}, ^{108m}\text{Ag}$	$^{60}\text{Co}$	Activated coolant products	$^3\text{H}, ^{14}\text{C}$	$^{60}\text{Co}$
FP 핵종	$^{79}\text{Se}, ^{90}\text{Sr}, ^{90}\text{Tc}, ^{107}\text{Pd}, ^{121m}\text{Sn}, ^{126}\text{Sn}, ^{129}\text{I}, ^{135}\text{Cs}, ^{151}\text{Sm}, ^{241}\text{Pu} (\beta)$	$^{137}\text{Cs}$	$^{79}\text{Se}, ^{99}\text{Tc}, ^{107}\text{Pd}, ^{121m}\text{Sn}, ^{126}\text{Sn}, ^{129}\text{I}, ^{135}\text{Cs}, ^{151}\text{Sm}, ^{241}\text{Pu} (\beta)$	$^{137}\text{Cs}$	C P radionuclide	$^{59}\text{Ni}, ^{63}\text{Ni}, ^{94}\text{Nb}$	$^{60}\text{Co}$
			$^{90}\text{Sr}$	$^{60}\text{Co}$	F P radionuclide	$^{90}\text{Sr}, ^{129}\text{I}$	$^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}$
Alpha 핵종	Total alpha emitting nuclides and $^{238-239-240-241}\text{Pu}, ^{241}\text{Am}, ^{243-244}\text{Cm}$	$^{60}\text{Co}$	Total alpha emitting nuclides and $^{238-239-240-241}\text{Pu}, ^{241}\text{Am}, ^{243-244}\text{Cm}$	$^{60}\text{Co}$	Alpha emitting radionuclide	총알파	$^{60}\text{Co}, ^{137}\text{Cs}$

표2. 스페인

표3. 일본

Type of Nuclide	Homogenous solidified waste (concentrates and low activity spent resin)		DAW (include filter cartridge)	
	Evaluated DTM nuclide	Key nuclide	Evaluated DTM nuclide	Key nuclide
CP nuclides	$^{14}\text{C}(\text{PWR}), ^{63}\text{N}, ^{94}\text{Nb}$	$^{60}\text{Co}$	$^{14}\text{C}, ^{63}\text{N}, ^{94}\text{Nb}, ^{99}\text{Tc}$	$^{60}\text{Co}$
FP nuclides	$^{90}\text{Sr}, ^{129}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}, ^{129}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$
Alpha emitting nuclides	Total alpha emitting radionuclides	$^{137}\text{Cs}$	Total alpha emitting radionuclides	$^{137}\text{Cs}$

#### 나. 시료채취계획 및 시료수

척도인자를 도출을 위한 주요 국가들의 방사성폐기물 시료채취계획 및 채취수가 표4, 표5,

표6에 주어져 있다.

표4. 프랑스

	균질고화폐 (active IX resins)	비균질고화폐 (filter cartridges)
시료채취 계획	- 레진은 폐액처리기간중 채취 - 탱크 재순환후 각 계통별 로채취(CVCS, LWT, SFPC...)	- 각 계통별 로채취(CVCS, LWT, SFPC...) - 카트리지는 CEA로 보내 상, 중, 하 위치에 서 채취
시료채취수	몇그람 단위로 수십개 채취	몇그람 단위로 수십개 채취

표5. 일본

	균질고화폐 (concentrates and low activity spent resin)	DAW
시료채취 계획	- 각 원진, 고화계통별 채취 - 각 원진 운전이력 고려하여 채취	- 원진별 채취 - 오염원 오염유형 별로 채취
시료채취수	수백개	수백개

표6. 스페인

<sup>14</sup> C, <sup>3</sup> H	-원진 유형별 (PWR, BWR).
<sup>60</sup> Ni, <sup>63</sup> Ni, <sup>94</sup> Nb	-원진 유형별 (BWR, PWR) -구성재질 개선시
FP & Alpha 핵종	-핵연료 손상이력 -폐기물 유형별 -키 핵종

라. IAEA

IAEA에서는 척도인자에 도출에 대한 다음과 같은 기술문서(TECDOC)를 개발중에 있으며, 당 문서는 2007년말경 또는 2008년 초에 발간될 예정이다.

- International Experience in the Determination and Use of Scaling Factors in Waste Characterization

3. 국내 척도인자 규제방향

가. 관련규제요건

척도인자 관련 규제요건은 과학기술부 고시 제2005-8호(중저준위방사성폐기물 인도규정)에 제시되어 있다.

- 처분농도제한치

핵종	처분 농도제한치 (Bq/g)
H-3	1.11E+6
C-14	2.22E+5
Co-60	3.70E+7
Ni-59	7.40E+4
Ni-63	1.11E+7
Sr-90	7.40E+4
Nb-94	1.11E+2
Tc-99	1.11E+3
I-129	3.70E+1
Cs-137	1.11E+6
전알파	3.70E+3

- 핵종규명

- 폐기물에 포함되어 있는 전체 방사성핵종의 95% 이상을 규명(H-3, C-14, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137, Ce-144, 전알파 고려)
- 방사선 계측 등에 의한 직접 측정방법의 경우 : 처분 농도제한치의 1% 수준을 평가할 수 있는 능력을 보유
- 척도인자 등 간접 평가방법의 경우

\* 예측의 정확도 제시

- \* 핵종 농도가 과소평가 되지 않도록 척도인자의 값을 보수적으로 설정
- \* 척도인자의 확인주기 : 2년에 1회 이상 또는 폐기물 조성에 변화를 줄 수 있는 요인이 발생한 경우

#### 나. 관련규제현황

2006년 원전본부별로 폐기물저장고내 폐기물드럼내 핵종분석을 위한 장치를 설치하기 위한 심사가 수행되었으며, 심사과정을 통하여 척도인자의 적절성도 같이 심사되었다. 척도인자와 관련하여 사업자는 원전유형별로(PWR, PHWR) 척도인자를 도출하였으나, 일부 국가의 사례에서와 같이 데이터의 축적에 따라 각 원전 설계별 또는 폐기물유형별 핵종간 의존도가 적어질 때 까지 최소한 원전설계별로 척도인자가 도출될 필요성이 요구되었다. 따라서 심사결과로서 척도인자의 적절성을 확인하기 위해서, 폐기물드럼을 처분장으로 이송하기 이전까지 추가 시료채취·분석을 통한 척도인자 개선안에 대한 추가 심사가 수행될 예정이다.

#### 다. 규제방향

척도인자의 목적은 방사성핵종의 처분재고량의 부합여부 확인에 있다. 따라서 각국의 척도인자의 도출 및 관리는 자국이 운영하고 있거나, 운영예정인 시설의 설계 및 현황에 따라 달라질 수 있다. 처분장의 기후조건, 처분장의 지층상 위치(대수층 상부 또는 하부), 주변 주민이 거주지와 거리 등과 같은 조건들이 척도인자 도출시 고려되어야 한다.

나.항에 기술한 바와 같이 과학기술부 고시 제2005-8호에 따르면 척도인자는 보수적으로 평가되어야 한다. 그러나 척도인자가 지나치게 보수적일 경우 처분장에 처분될 수 있는 폐기물량에 제한이 가해질 수 밖에 없어, 경제성에 큰 제약을 가져올 수 있다. 반면 척도인자가 비보수적으로 평가될 경우 처분시설의 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 척도인자는 보수성을 유지하면서도, 지나치게 보수적인지 않도록 최적화가 요구된다.

이러한 측면에서, 척도인자는 처분장이 가질 수 있는 불확실성을 해소하면서, 경제성을 상실하지 않도록 다음과 같은 측면이 고려되어야 한다.

- 폐기물특성별 주요핵종과 DTM 핵종간 의존도
- 원전 설계에 따른 1차측 구조물 물질특성의 반영

따라서 이러한 사항을 고려하여 향후 척도인자는 폐기물 유형별로 그리고 원전별 또는 최소한 원전설계 유형별로 도출되어야 할 것이다.

#### 라. 기타 고려사항

최근 들어 스웨덴, 영국 등의 국가들을 중심으로 중성자에 조사된 콘크리트 폐기물에 대한 새로운 방사성핵종의 분석이 실시되고 있다. 콘크리트의 성분으로 존재하는 Ca이 조사되어 생성되는  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{45}\text{Ca}$  핵종은 각각 X 선과 베타선 방출체(반감기 각 103,000년, 164일)이며, 원자로를 약 20년정도 가동시 생체 차폐체내에 각각 약 35Bq/g 및 12,000Bq/g 정도로 존재하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 TRIGA 연구로해체시 발생된 콘크리트 폐기물에 대해서는 향후 Ca 핵종에 대한 분석과 척도인자 도출이 실시되어야 할 것이다.

#### 4. 결론

방사성폐기물 처분장을 운영하고 있으며, 방사성폐기물의 인도시 핵종재고량평가를 위하여 척도인자를 도출하여 현장에 적용하고 있는 주요 국가들의 현황을 살펴보았다. 또한 척도인자와 관련한 국내 규제사례 및 규제방향에 대해서도 검토하였다.

척도인자는 방사성폐기물이 처분되는 처분장의 처분환경과 밀접한 관계가 있으며, 당 처분환경에 따라 척도인자의 보수성에 대한 심도가 결정될 수 있을 것이다.