

방사성 폐기물 처분용기 기술기준 개발 방향

정찬우 · 안상면 · 서은진 · 최경우 · 이윤근 · 노병환
 한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지
icw@kins.re.kr

방사성폐기물 지하처분에서 용기(Container)는 폐기물의 지하수 접촉과 누출을 늦춤으로써 처분안전성에 기여할 수 있다. 국내 원자력법령에서 처분용기에 관한 요건은 폐기물인도규정과 처분시설 운영기준 등에 주로 포장물의 문맥에서 포괄적으로 제시되어 있다. 이러한 요건을 발전시켜 폐기물 격리를 위한 일차방벽으로서 처분용기의 안전기능을 객관화하고 고건전성용기(HIC)와 같이 내구성이 강화된 용기의 개발과 적용을 장려하여 궁극적으로 처분안전성을 높일 필요가 있다.

고려사항

방사성폐기물 처분안전에 관한 국내기준은 처분시스템 구성요소들(폐기물특성, 공학적 설계특징, 부지환경특성 등)의 바람직한 기본특성을 규정하되 총체적인 안전성은 일반인에 대한 선량/위험도 향의 성능목표치로 제어하는 체계로 되어 있다. 방사성물질이 선원에서 멀어질수록 제어가 어려워지고 평가의 불확실성도 증폭된다는 점을 감안할 때 가능한 범위에서 해당 안전성평가와 연계하여 Near-field에 대한 제어수단을 모색할 필요가 있으며 이 당위성은 폐기물의 위해도가 클수록 강조된다. 이런 맥락에서 처분용기에 대한 기준의 방향을 다음과 같이 잡아볼 수 있다: (1)처분용기에 처분안전요건의 일부를 추가 할당하기보다는 입증된 설계수명을 안전성평가에서 폐기물 격납연한으로 인정한다; (2)용기의 설계수명은 그 건전성이 지속되는 기간으로 하되 건전성은 시스템/환경의 예상최대열화조건에서 용기의 내구성과 물리적인 특징들이 보전되고 내용물의 격납을 유지하는 능력으로 정의한다; (3)USNRC 기준을 수용하여 국내에 도입된 HIC의 존재를 감안하고 향후 동 분야의 기술수출 등도 염두에 두어 기준의 국제화를 지향한다; (4)처분시설 운영기간과 분리하여 폐쇄 후 기간을 처분조건과 연계하여 중점 고려하되 처분용기가 겪는 처분 전 단계의 기간을 반영한다; (5)Waste form과 더불어 용기가 수명기간에 걸쳐 겪을 환경조건들을 반영하고 운반기준, 폐기물인수기준 등 유관기준과 연계하여 일반화와 적용성을 높인다; (6)덧포장과 연합하여 기준을 충족하는 경우 그 설계수명에 대하여 한 조의 처분용기로 인정할 수 있다.

구성방법

처분용기의 설계수명을 설정하고 그 기간 동안 용기의 건전성을 입증할 수 있는 특성요건과 기타 관리상의 기준을 전개한다. 특성요건은 재질과 용기본체에 각각 부과하여 성능의 엄밀성을 기하면서 개발자 입장에서 먼저 재질 성능시험을 통한 타당성 검토로부터 원형용기 제작으로 나아갈 수 있도록 한다. 요건 세부항목은 국제적으로 통용되는 것들[1,2,3]을 망라하되 입증방법은 항목별, 이론적·실험적(실험실/현장)·간접적(Natural analogue 등) 방법 간에 전체적 최적화를 추구할 수 있도록 유연성을 부여한다. 폐기물 격납성능을 물 침투 차단능력의 향으로 별도 관리한다.

적용방안

처분용기에 관한 추가기준은 폐기물인도규정에서 고건전성용기 관련 내용을 보완하고, (필요시) 처분시설 위해방지기준에서 처분용기 설계수명을 인정하는 내용을 반영하면 효력을 나타낼 수 있다. 현재 처분용기의 승인을 위한 법령은 따로 없으나 원자로서설 운영자로서는 해당 용기에 대해 특정기술주제보고서(TR) 승인절차를 따를 수 있으며 향후 TR의 범위를 전체 원자력이용시설로 넓히도록 관계법령을 개정할 필요가 있다. 처분시설운영자 이외의 승인신청자는 처분시설운영자와 사전 협의가 필수적이며 이 과정에서 해당 처분시설 폐기물 인수기준 기타 처분 요구사항들을 적절히 수렴하게 될 것으로 예상된다. 승인 내용은 신규허가 또는 변경허가 경로에서 해당 원자력이용시설의 안전성분석보고서에 반영되어 이행될 수 있다.

< 처분용기 특성요건 구성방안 >

항목	세부항목/적용기준	고려사항
1. 일반요건		
용기 설계수명	- 처분시설 폐쇄까지 건전성 유지 - 처분설계수명(처분전관리, 운영/폐쇄단계 열화 이후의 추가수명)을 별도로 설정	- 포장/저장/처분 검용에 대해서는 지상저장 50년, 처분기간 50년을 기본적으로 감안 - HIC의 경우 300년 이상 * 시스템/환경의 예상최대열화조건에 대해 건전성 유지
적용성	예상되는 내용물, 포장·취급·운반·저장, 처분시설 운영·폐쇄에 대해 적합할 것	예상되는 환경 및 작업조건에서 건전성 유지와 편의성을 함께 고려
2. 재질요건: 다음 내구성 파라미터의 관점에서 예상 내용물, 환경 및 적용에 대해 설계수명을 입증할 것		
기계적 건전성	압축강도	모든 재질에 적용
	인장강도	콘크리트/폴리머에 적용
	Creep	폴리머에 적용
	Permeability (설계수명 동안 물 침투 방지)	콘크리트 등 다공성 재질에 적용 * 다른 특성들의 열화를 함께 고려
화학적 저항성	부식 성분 침출	금속, 콘크리트 등 부식성 재질에 적용 콘크리트(Ca,Si)등 성분 유출이 예상되는 재질에 적용
생물학적 저항성	Biodegradation	- 미생물에 의한 열화의 제한 - 수명 동안 탄소 감소 분율을 10% 이하로 제한
방사선 안정성	방사선취화시험	예상최고준위에 대해 재질특성 변화가 적을 것
자외선 저항성	자외선조사시험	재질 물성치 변화가 적을 것
열적 안정성	- 열 저항성 - Thermal cycle	- 800℃ 화재환경 10분 이상에서 재질 물성 유지 - ASTM B553 적용
3. 용기요건: 예상 내용물, 환경 및 적용에 대해 설계수명 동안 다음 성능이 유지됨을 입증할 것		
매립 내구성	기계적 강도	2.5g/cm ³ 매질 속에 매립을 가정하여 매립 깊이의 수평/수직 하중에 대해 건전성 유지
배기 성능	Vent / Filtration	용기 내 과압 방지 기능 및 방사성입자 유출 제한
격납성능	- 수밀성 (침투율) 침수시험 - 핵종누출률/수작·확산 실험	- 현장저하수 특성 및 예상최대수압 고려 - 방사성핵종 누출 방지 * 다른 재질/용기 특성들의 열화를 함께 고려
4. 관리요건: 다음 항목을 포함하여 처분 전 관리 및 처분시설 운영/폐쇄에 적합할 것		
기계적 저항성	A형운반용기기준 (운반/인양 등)	“운반물”을 “폐기물 포장물”의 관점에서 적용
열 저항성	사고조건 열시험	800℃ 화재환경 30분 이상에서 내용물 격납 유지
적치성(Stackability)	7단 이상 적재	예상최대중량의 동일 포장물 6개 이상 지지
개폐성/보안성	밀봉체계	수시 내용물검사가 가능한 뚜껑 및 밀봉체계
형상/중량/치수/표식	물고임 방지, 처분시설 요건	“처분시설 운영기준” 및 폐기물 인수기준에 부합
기타	처분시설 요건	“처분시설 운영기준” 및 폐기물 인수기준에 부합
5. 품질보증		
품질보증계획	- ISO 9001:2000 (3rd ed.) - 포장및운반고시 (61조)	- Quality management systems - Requirements - 처분용기 관점에서 적용 가능한 부분 * 설계/제조/포장/취급/저장/운반/처분 등 모든 단계 * 용기(+포장물)의 품질에 영향을 미칠 수 있는 모든 활동, 상호작용 및 국면들에 적용
성능시험계획	포장및운반고시 (62조)	처분용기 관점에서 적용

참고문헌

- [1] IAEA TECDOC-1515, Development of Specifications for Radioactive Waste Packages, 2006.
- [2] USNRC Waste Form Technical Position (rev.1), 1991.
- [3] Nirex Report N/104, Generic Waste Package Specification, 2005.

(이 연구는 과학기술부가 시행하는 원자력기술개발사업[방사성폐기물 리스크 최적검증기술개발]으로 수행되었습니다. 현재 기준개발 과정에서 이 분야 관계자들의 의견을 수렴하고 있습니다.)