

고준위폐기물 처분시설 방사선위해방지기준 수립을 위한 고려사항

정관우, 서은진, 박진용, 정해용
 한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지
 icw@kins.re.kr

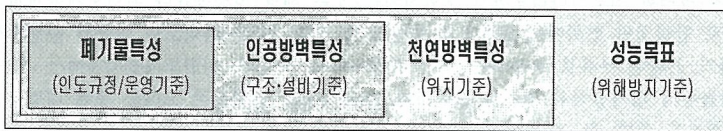
처분은 지속가능한 원자력이용의 전제로서 원자력산업의 초기부터 해당요소들이 적절히 반영되어야 하나 고준위폐기물(HLW)처분에 관한 국내 규제기반은 미비하여 해당 R&D는 물론 미래원자력시스템개발, 사용후핵연료관리 등 국책사업의 시행착오가 우려된다. 이에, 이 분야의 기초요소인 위해방지기준(성능목표)을 중심으로 시스템특성기준과 더불어 HLW처분에 관한 기준체계를 구성하기 위해 필요한 사항들을 검토한다.

고준위폐기물처분 기준체계

중·저준위폐기물(LLW) 처분의 경우와 유사하게, HLW처분에 대한 기술기준도 시스템특성기준과 전체성능기준으로 나누어 구성할 수 있다. 즉, 바람직한 특성기준을 처분시스템 구성요소들(폐기물, 방벽 등)에 부과하고 방사선안전기준은 전체시스템에 대해 성능목표의 향으로 통합 설정하는 것이다. 다만, HLW처분에서는 위해도의 크기와 시공간적 광범위를 감안하여 폐기물, 처분용기, 처분장소 등에 관한 기준을 다중방호의 관점에서 좀더 구체화할 필요가 있다. 예를 들어, 현재 진행중인 R&D를 향후 처분사업으로 잘 연계하도록 처분용기를 비롯한 공학적 방법의 성능을 폐기물 누출률 또는 격납수명의 향으로 설정할 수 있다. 이러한 구체화의 정도는 성능목표와 해당 부합성평가의 방향 및 상세도와 연동하며 부지환경에 고유한 사항은 처분장 개발 진도에 따라 높이면 될 것이다.

바람직한 시스템특성기준

안전기준/설계기준



고준위폐기물 처분시설 성능목표와 안전성평가방법

처분시설 성능목표는 전체 처분시스템의 성능으로 요구되는 수준 즉 안전성평가를 통해 해당 처분시설(설계)의 방사선안전성을 비교·판단하는 데 적용할 수 있는 기준이다. 그 정의대로 성능목표는 잘 어울리는 부합성평가방법과 한 세트를 이루어야 한다. 처분에 따른 위해의 방지라는 공통목표를 생각할 때, LLW처분시설에 관한 현행 방사선위해방지기준이 HLW처분시설에 대한 기준을 구성하기 위한 검토의 출발점이 될 수 있다.

검토항목	LLW처분시설 (고시)	HLW처분시설 (제안)	비고
●평가기간	▶ 천(1,000)년	▶ 만(10,000)년	▪ 영항의 시간적 범위
●평가대상	▶ 결정집단 (대표인)	▶ 대표인	▪ ICRP 신권고 반영
●안전지표 (yardstick)	▶ 기본: dose (constraint) ▶ 보조: risk (constraint)	▶ 기본: risk (constraint) ▶ 보조: dose (constraint)	▪ 0.1 mSv/y 수준의 방호 ▪ 위해의 시·공간적 범위
●성능항목 (성능목표치)	▶ 정상현상 < 0.1 mSv/y ▶ 확률현상 < 10 ⁻⁶ /y risk	▶ 모든 현상 < 10 ⁻⁶ /y risk	▪ 미래 현상/피폭 분별성 (선량/확률 분리접근성)
●추가고려사항	▶ 침입자보호 < 1 mSv/y	▶ 단일현상 < 10 mSv/y	▪ 단일피폭/급성효과 제한

(기본고려사항) 처분시설의 성능목표를 정하는 것은 거기 처분되는 폐기물로부터 미래에 나타날 수 있는 방사선영향이 “안전한” 수준으로 한정될 것임을 보증하도록 현시점에서 시설 설계에 적용할 통합적 수치기준을 정하는 문제이다. 처분시설에 따른 방사선영향을 일반인에 대한 선량한도의 작은 분율(예; 0.1 mSv/y)로 제한해야 함은 자명하지만 단순히 이러한 제약치 하나로는 처분시설의 안전성을 의미 있게 보증하지 못한다. 하나의 planned exposure situation으로 도입되는 처분시설은 실질적인 성능이 요구되는 먼 미래까지 장기간에 걸쳐 다분히 잠재피폭 성격의 다양한 피폭상황들을 증첩하여 나타낼 수 있다. 특히 HLW처분시설의 성능목표와 그에 따른 안전성평가는 보다 먼 미래로 심원하게 수반되는 불확실성을 감안하여 접근될 필요가 있다. 즉, 의미 있는 성능목표를 설정하기 위해서는 안전성을 보증하여야 할 평가대상과 평가기간, 평가지표, 시나리오 등등 해당 안전성평가를 이루는 기초성분들의 세트를 이러한 HLW처분의 안전특성으로부터 적절히 구성하고 이로부터 이들을 연합할 수 있는 척도와 그 수준을 도출하여야 한다. 이들은 기본적으로 전술한 시스템구성요소들의 특성기준 및 그 수준과 연동되며 이런 방식으로

성능목표는 해당 부합성평가방법은 물론 시스템특성기준과 더불어 전체처분시스템을 대표하는 안전기준이 된다.

(평가기간, 평가대상, 안전지표, 성능항목) 지하 확산 속도가 느린 장수명 핵종들이 다수 포함되는 HLW처분의 장기 영향을 고려할 때 안전기준과의 부합성 입증을 위한 평가기간을 처분시스템에 의해 제공되는 방사선안전의 수준에 관해 의미 있는 정성지표를 얻을 수 있는 최대기간(1만년 정도)까지 확장할 필요가 있다.

폐기물 처분의 근본원리는 미래에 개인과 집단이 최소한 오늘날 요구되는 것과 같은 수준으로 방호되어야 한다는 것으로, 이는 처분시설에 대한 성능목표와 안전성평가의 바탕이 되어야 한다. 안전성평가에 사용된 종말점 또는 안전지표별로 연관지은 방사선 피폭체를 구별하여 서술하여야 한다. ICRP 101의 권고로부터 이러한 평가대상으로 주요 피폭상황별 잠재피폭집단의 대표인을 고려하되, 성능목표가 선량의 향으로 주어지는 경우에는 최대선량을 받을 수 있는 개인으로, 위험도 성능목표의 경우에는 최대위험에 노출될 수 있는 개인으로 정의함이 바람직하다.

폐기물의 누출과 이동 및 영향에 관여하는 다양한 현상들은 처분시스템의 진화 및 불확실성과 결부되어 기술적 평가와 부합성 입증의 문맥에서 미래로 갈수록 점점 더 분별 평가하기 어렵다. 그러므로 HLW처분에 대한 상기의 배경을 보다 함축하여 처분시설로부터 나타날 수 있는 다양한 피폭현상들의 잠재적 위험을 효과적으로 통합하기 위해, 전체 평가기간에 걸쳐 궁극적인 전체시스템 안전지표로 선량보다는 위험도를 채용하는 것이 합리적이다. 이때 HLW처분시설에 대한 위험도는 원자력이용시설에 보편적 성능목표인 0.1 mSv/y 수준의 방호를 제공하도록 제한되어야 한다. 여기서 HLW 영향의 보다 넓은 시,공간적 범위(예; 미래세대는 여러 HLW처분시설 또는 유사위해 시설로부터 동시에 영향을 받을 수 있다)와 미래의 불확실성과 관련한 HLW 위험의 보다 넓은 분포를 감안할 때 0.1 mSv/y 등가치($\sim 5 \times 10^{-6}/y$)의 분율인 $10^{-6}/y$ 를 HLW처분시설에 대한 위험도계약치로 고려할 수 있다. 이는 전체 시스템 성능목표로서 해당시설이 폐쇄 후 일반인에 대한 위험도가 $10^{-6}/y$ 이내가 되도록 설계되어야 함을 의미한다.

인간침입은 폐기물 격리와 방호 최적화를 위해 설치되는 시스템을 우회하는 사건으로서, 단일의 위험도계약치로 부과되는 성능목표에 명백한 침입시나리오까지 포함시키는 것은 해당 성능목표나 위험도제한체계의 유효성을 훼손할 수 있다. 그러므로 합리적인 범위에서 위험도로 통합할 수 있는 침입시나리오는 피폭의 관점에서 자연현상 시나리오와 분리 취급하기 곤란한 부류로 한정하는 것이 바람직하다. 아울러, 위험도제한체계에서 피폭발생확률과 결과 선량을 통합하는 확률론적 평가방식의 채용과 관련하여, 보조적으로 결정론적 고려를 통해 개별 피폭시나리오의 결말(선량)을 제한할 필요도 있다. 즉, 명백한 인간침입을 포함하여 개별 확률현상에 따른 결말의 수준을 개인준위(예; 10 mSv/yr) 이내로 제한하는 기준을 부가하는 것이다. 유사한 맥락에서, 미래의 불확실성과 평가결과의 분포를 감안하여 1만년 이후 대표인에 대한 평가결과를 급성선량(100 mSv/y) 이내로 한정하는 것도 고려할 필요가 있다.

평가항목	~1천년 (LILW처분시설)	~1만년 (HLW처분시설)	1만년~
●성능목표	<ul style="list-style-type: none"> Σ정상현상 < 0.1 mSv/y Σ확률현상 < $10^{-6}/y$ risk 	<ul style="list-style-type: none"> Σ 모든 현상 < $10^{-6}/y$ risk 	<ul style="list-style-type: none"> 보조안전지표 활용
●보조안전목표	<ul style="list-style-type: none"> 침입시나리오 < 1 mSv/y 	<ul style="list-style-type: none"> 단일현상 < 10 mSv/y 	<ul style="list-style-type: none"> 급성영향 가능성 제한 - 대표인 < 100 mSv/y
●평가고려사항	<ul style="list-style-type: none"> 시나리오 분별, 정량평가 	<ul style="list-style-type: none"> 통합적 안전지표 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 불확실성고려, 보수적 접근

(안전성평가방법) 선량/확률 통합접근법에서 전체피폭상황의 통합해석을 위해서는, 위험도계약치의 부합성이라는 측면에서, 피폭인 관점에서 접근할 필요가 있다. 방사선위험도는 선량을 받을 확률과 그 선량에 따른 해로운 영향의 곱으로 정의된다. 주어진 피폭사례로 인한 개인의 총위험도(R)는 잠재피폭상황들의 중첩으로부터 가능한 선량(D)의 확률(P)분포에 걸친 기댓값 형식으로 다음 표현의 첫 부분과 같이 나타나고, 총위험도에 기여하는 주요 피폭 상황에 대해 뒷부분과 같이 어렵할 수 있다.

$$R = \gamma \int_D P(D) D dD \approx \gamma \sum_j P(D_j) D_j \quad (< \text{risk constraint})$$

여기서 γ 는 위험도계수로서 선량 당 위해 발생확률(0.05/Sv), $F(D_j)$ 는 피폭시나리오 j 를 통해 선량 D_j 를 받을 연간확률, Σ 는 해당 위험도가 중요한 시나리오들에 대해 합산됨을 나타낸다. 단순화와 보수성의 관점에서 시나리오의 발생확률을 해당 결과선량의 발생확률로 적용하는 방안을 고려할 수 있다.

피폭현상의 분별과 정량평가가 가능한 경우에 단순히 위험도로 통합하는 것은 안전성분의 측정과 최적화에 별다른 입력을 제공하지 못하며 어느 경우이든 시나리오의 발생확률과 그 결과(선량, 위험도)를 건주어 종합 판단하는 것이 중요하다. 즉, 위험도를 구성하는 성분들을 가능한 한 분별할 필요가 있으며, 이런 목적으로 대표적 현상별, 구간별로 평가의 종말점 또는 지표(선량, 농도, 플럭스 등) 및 그 수준을 안전성평가의 내부에 추가로 설정하여 운용할 필요가 있다. 이것은 다시 시스템특성기준과 밀접하게 연관된다.