

위험도 기반 폐쇄후 처분안전성평가 방법론 개발 방향

서은진, 정해용, 정찬우, 이윤근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

ejseo@kins.re.kr

고준위 방사성폐기물 처분 시스템의 개발과 규제는 기술적인 동시에 정책적인 과정으로서 다양한 이해 당사자들의 동의를 거쳐 관련 기준을 설정해야 한다. 특히 일반 국민 등 비전문가 집단의 이해를 구하는 것이 매우 중요할 것이며 이러한 맥락에서 보았을 때 비방사선 시설이나 행위의 안전성과 비교하기 용이한 척도를 성능 목표로 고려하는 것이 보다 타당할 것이며 설정된 성능목표 개념에 부합하는 안전성 평가 방법론을 채택하는 것이 일관성 측면에서 적절할 것이다. 이와 관련 본 논문에서는 해외 선진 처분 국가들의 성능목표 및 안전성 평가 방법 현황 등을 살펴보았으며 이를 통해 국제적 현황의 파악과 향후 우리나라의 고유한 처분 안전성 평가 방법론을 제시하고자 한다.

1. 위험도 성능목표

일반 이해 당사자들의 동의 및 이해 증진과 타 분야 안전성과의 비교라는 측면에서 보았을 때 방사선량에 비해 환경 등 타 분야에서도 적용되고 있는 위험도(Risk)가 처분 성능목표로서 보다 유리할 것이다. 위험도는 방사선 피폭이 발생할 가능성을 고려하고 적절한 선량/위험도 환산인자를 통해 그에 상응하는 수준을 상정할 수 있다. 국내에서 고준위폐기물 처분에 관한 성능 목표는 발생 가능성이 있는 현상들에 대해 통합적으로 예를 들면 연간 10^{-6} 수준의 위험도를 설정할 수 있다. 이 값은 ICRP[1]의 국제적 권고치인 연간 10^{-5} 와 위험도 성능목표를 채택하고 있는 해외 처분 국가들의 기준값을 참고로 보더라도 적절한 수준이라 할 수 있을 것이다. 표 1에 해외 처분 국가들의 성능목표와 안전성평가 방법 현황 등을 나타내었다[2].

2. 위험도 기반 폐쇄후 처분 안전성평가 방법론

먼 미래 인간 및 환경에 미치는 방사선학적 영향을 평가하는 폐쇄후 처분 안전성평가는 각 피폭 시나리오의 발생 가능성을 고려할 필요가 있다. 이와 관련 ICRP[1]에서는 시나리오의 발생 가능성을 고려한 두 가지 접근 방법, 즉 방사선학적 선량과 확률을 통합하여 고려하는 접근법(Aggregated approach)과 방사선적 선량과 그와 관련된 발생 가능성을 분리하여 고려하는 접근법(Disaggregated approach)을 제안하고 있다. 안전성평가에 있어서 각 접근 방법의 선택은 각기 그 장단점을 가지고 있으나 원리상으로는 위험도로 주어진 성능 목표에 대하여 위험도 개념에 근거한 선량과 확률의 통합 접근 방법이 보다 일관성이 있을 것이다. 또한 고준위 방사성폐기물 처분 안전성평가에서는 지속적인 성능이 요구되는 일정 기간(예; 1,000년)을 넘어서는 기간에 대해서는 사실상 정량적인 계산이 불가능하며 먼 미래 불확실한 확률적 상황들을 하나의 정성적인 성능척도로 대변해야 할 것이라는 측면에서도 선량과 확률의 통합 접근 방법이 부합한다고 할 수 있다. 위험도 평가의 기본이 되는 평가 방법이라고 할 수 있는 확률론적 평가는 장기간에 걸친 많은 불확실성을 정량적으로 취급하는 이점을 가지고 있는 반면에 해결해야 할 과제들도 가지고 있다. 그 때문에 일부 국가들은 결정론적 평가를 우선적으로 고려하고 확률론적 평가로 보완하거나 또는 확률론적 평가를 결정론적 평가로 보완하고 있다. 특히 위험도 성능목표를 채택하고 있는 스웨덴의 경우에는 확률론적 평가가 불가피하지만 최근의 지침 [3]에서는 확률론적 평가를 보완하는 시나리오로서 확률과는 관계없이 즉, 위험도 평가와는 별개로 방벽의 성능평가가 포함되어 있기도 하다. 처분에 있어서는 현상의 발생확률을 적정하게 평가하기 위해 필요 충분한 데이터가 정비되어 있지 않을 뿐 아니라 평가의 대상으로 되어야 할 기간이 장기간에 걸쳐 있어 시간에 따라 불확실성이 증대한다는 것과 폐쇄후의 상태에서는 이상 현상이 발생한 이후에도 점검과 회복작업 등이 어렵다는 점 등에서 원자로 시설과 다른 점이 많다. 안전성 평가 시나리오의 분류에 대해서는 이러한 점을 가미하여 보수적인 사고가 필요하게 되는 것이다. 해외 처분 국가들의 안전성 평가 시나리오 분류에 있어서는 분류의 기준과 명칭에 있어서

약간의 차이는 있으나 ALARA에 기초한 최적화와 BAT(Best Available Technique)을 적용하기 위한 현실적 시나리오, 통상의 성능 목표에의 적합성을 판단하기 위한 시나리오 및 우발적인 파괴적 현상에 대한 안전 여유도를 확인하기 위한 시나리오로 크게 분류되고 있는 점은 어느 정도의 공통성을 보이고 있다[2]. 선량과 확률을 통합하는 위험도 평가에서도 위험도 결과값 자체는 별다른 정보를 제공하지 않는 경우도 있을 수 있다. 이에 따라 해당 피폭 시나리오의 발생 확률과 그 평가 결과를 비교해 보며 종합적으로 판단하는 것이 중요할 것이다. 위험도 평가를 피폭자 중심으로 볼 필요가 있으며 또한 결정집단 또는 대표인의 설정과 생태계 모델링 그리고 적절한 천연지표의 적용 등을 부가적으로 고려할 필요가 있다.

표 1. 해외 처분 성능목표 및 안전성평가 방법 현황

	스웨덴		핀란드	
적용기준	SSI FS 1998:1 SSI FS 2000:18	SSI FS 2005:5 SKI FS 2002:1	STUK YVL 8.1 외	STUK YVL 8.4 외
대상 처분장 등	SFR-1 (단수명 LILW)	SFL-2 (HLW) (SR-CAN)	울킬루오트 (LILW) VLJ	울킬루오트 (HLW) (TILA-99)
안전성 평가	확률론적 안전성 평가를 결정론적 평가에 의해 보완		확률론적 사고를 채용한 결정론적 안전성 평가	확률론적 사고를 채용한 결정론적 안전성 평가
성능 목표	(1) 최적화와 BAT의 적용 (SSI FS 1998:1) 집단선량은 폐쇄후의 1000년에 방출된 방사능에 의한 정량적 해석에 기초하여 10,000년간까지 평가를 요구 (2) 연간 위험도 10^{-6} (단, 소수의 그룹으로 구성된 경우에는 10^{-5} (SSI FS 2005:5)) (3) 위험도 평가 (SSI FS 2005:5) - 폐쇄후 1,000년 : 신뢰성 높은 예측이 가능한 기간 - 1,000년 이후 : 보완적 지표 (농도 등)을 사용하여 위험도 평가의 신뢰성 향상 (4) 위험도 해석의 기간 (SSI FS 2005:5) - 단수명 LILW 처분장 : 최대 10만년, 최대의 영향이 생기는 기간까지 - 사용후핵연료 또는 장수명 폐기물 처분장 : 최대 100만년, 처분장의 방호능력의 개량 가능성에 관해서 중요한 정보를 가져오는 기간까지		(1) ALARA 원칙에 의한 최적화 (2) 연간 유효선량 : 기댓값 <math>< 0.1\text{mSv/yr}</math> 우발적 현상에 대한 기준 : <math>< 5\text{mSv/yr}</math>	(1) ALARA 원칙에 의한 최적화, BAT(Best Available Technique) 적용 (2) 연간 유효선량 : <math>< 0.1\text{ mSv/yr}</math> (큰 규모 집단 년 유효선량 : <math>< 0.001\sim 0.01\text{ mSv/yr}</math>)
	미국		프랑스	
적용기준	10CFR63 및 Proposed Rule		RFSIII. 2. f (1991.6.1)	
대상처분장 등	YMP (HLW)		ANDRA, Dossier 2005	
안전성 평가	확률론적 안전성 평가		결정론적 안전성 평가를 확률론적 평가에 의해 보완	
성능 목표	(1) 합리적인 최대 피폭 개인의 연 유효선량 (Proposed Rule) - 처분후 10,000년 : <math>< 0.15\text{ mSv/yr}</math> (산술평균값) - 10,000년 이후 (~백만년) : <math>< 3.5\text{ mSv/yr}</math> (중앙값) (2) 지하수 방호기준 gross- α 등에 대한 농도기준과 함께 $\beta\gamma$ 방사성핵종에 대하여 $40\ \mu\text{Sv/yr}$의 한도가 정해져 있음. 지하수는 수원으로써 넓은 지역에 음용수로써 공급되고 있기 때문에 안전 음용수법의 수질기준에 준하고 있음.		(1) ALARA의 원칙에 의한 최적화 (2) <math>< 0.25\text{ mSv/yr}</math> (3) 우발적 현상에 관한 가상 상황에 대해서는 그 발생확률을 고려한 위험도 개념 ([당해 현상의 발생확률]*[그것에 따른 피폭 효과])의 사용을 검토하는 것이 가능 (4) 단, 우발적인 현상에 있어서 개인 피폭 선량을 정성적 영향을 일으킨다고 생각될 수 있는 Level을 크게 하회하는 수준으로 유지시키지 않으면 안 됨.	

3. 참고문헌

- [1] ICRP Publication 81, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste, ICRP (2000)
- [2] 일본원자력안전위원회 전문부회 매설분과회 검토 자료 (2006. 6), <http://www.nsc.go.jp>
- [3] SSI FS 2005:5, The Swedish Radiation Protection Authority' guidelines on the application of the regulations (SSI FS 1998:1) concerning protection of human health and the environment in connection with the final management of spent nuclear fuel and nuclear waste