

중·저준위 방폐장 종합개발을 위한 안전성평가 고려사항

정찬우, 서은진, 박진용, 정해용, 김용재, 이윤근
 한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34
icw@kins.re.kr

1. 기본사항

현재 10만 드럼 용량의 1차시설이 건설 중인 경주방폐장을 계획대로 향후 50여년에 걸쳐 80만 드럼 규모까지 성공적으로 개발하기 위해서는 종합개발 계획과 함께 안전성평가 분야의 철저한 준비가 필요하다[1]. 기본적으로 해당 안전성평가는 다음을 포함한 예상 이슈들에 대응해야 할 것이다.

- 전체개발에 대한 밀그림으로부터 종합평가. 1차 시설의 시스템 및 안전성 구성은 적절한 밀그림에 기초하지 못하여 종합개발을 위한 최적화 기반을 조성하지 못한 채 후속개발의 제약조건이 될 상황이다. 이제 2차시설 개발시점부터라도 주어진 조건을 반영한 전체 바탕에서 시스템 구성과 안전성 구축이 체계적으로 연계되어야 한다.
- 복합처분계-복합특성 고려. 향후 장기간 후속개발에 따라 경주방폐장은 건설·운영·폐쇄·폐쇄후관리 등 다양한 관리형태와 여러 방식의 처분고가 혼재하고 주변 원전과 상호작용까지 포함하는 복잡계로서 이 방면의 유효한 접근방법을 요한다.
- 초기 경험과 건설·운영 중 발전내용 반영. 1차시설 허가에 따른 안전성평가 부분의 후속조치과제는 처분시설에 보편적인 요건으로 이행되어야 한다. 즉, 처분시설 전체단계에 걸쳐 안전성평가의 발전과 안전성 증진을 도모하는 것이 처분시설 안전성 구축의 특질인 바, 이를 통해 초기 안전성평가의 문제점을 해소하고 최신의 현장데이터와 추가해석 등을 적용, 보다 실제적인 평가체계로 발전하여 후속 안전성평가에 활용되어야 한다.
- 실제적이고 Robust한 접근. 종합개발의 안전성평가는 안전도 확보를 위해 불확실성과 결부된 보수성을 앞세우기보다는 충분한 민감도분석과 불확실성 평가에 의한 정당화를 지향할 필요가 있다.

요컨대, 처분시스템 개발을 곧 해당 Safety case 구축과정으로 인식하고[2] 양자를 체계적으로 연계하여 방폐장 종합개발 전과정에 적용하여야 한다.

2. 종합개발에 따른 안전논점

국내 중·저준위폐기물처분시설에 대한 안전기준

은 운영단계에 대해 모든 원자력시설에 공히 적용되는 일반인 선량제약치(기체방출물에 의한 외부피폭 < 0.05 mSv/y, 액체방출물에 의한 유효선량 < 0.03 mSv/y, 부지당 총유효선량 < 0.25 mSv/y 등)와 폐쇄 후 단계에 대한 성능목표(정상 자연현상에 따른 일반인 선량 < 0.1 mSv/y, 비정상 확률현상에 따른 위험도 < 10⁻⁶/y)와 우연한 침입자 보호를 위한 기준(1 mSv/y)으로 구성되어 있다. 이와 관련하여 1절의 이슈들을 방폐장 안전성의 문맥에서 다음과 같이 구체화할 수 있다.

- 전체 방폐장 개발에 합당한 방사선방호체계 적용. 후속개발에 따라 서로 다른 처분고 및 주변 원전 등으로부터 영향의 발현에는 다양한 시차가 예상된다. 이러한 양상은 전체시스템 성분별 또는 시점별로 서로 다른 성분 및 단계로부터 유래한 영향들의 중첩을 나타냄으로써 개별 안전기준의 적용에 혼란을 야기할 수 있다. 안전기준을 해당 역할에 맞게 잘 적용하기 위해서는 기여 시나리오와 결과 영향 등을 피폭의 특성(계획/비상/기준피폭)과 유형(정상/잠재피폭) 등 방사선방호체계의 문맥에서 적절히 분별하여야 한다[3].
- 천층 특성의 고려. 천층 처분고는 지하수 및 폐기물 거동 면에서 동굴 처분고와 다른 양상을 보일 수 있다. 예로서, 처분고의 형태와 배치에서 동굴의 경우에는 용력이 주 고려사항인 반면 천층의 경우에는 지하수 접촉패턴에 민감할 수 있다. 천층용 방벽의 설계는 여러 대안에 걸쳐 폭넓은 성능평가를 통한 최적화를 필요로 한다.
- 동적 안정성 입증. 이질적인 성분들이 물리적·화학적으로 결합된 복잡계에 대해서는 구조적 안정성뿐만 아니라 dynamic stability도 반드시 확인되어야 한다[4]. 예로서, 어떤 처분고 및 폐기물 거동이 다른 처분고 및 폐기물에 의해 영향을 받을 수 있고 비선형 상황에서 어느 시점에서 총영향이 개별 영향의 단순합산치를 초과할 가능성이 있다. 복잡계에 대하여는 성분간 상호작용에 관한 systems analysis를 수행하여 이러한 비선형 가능성이 없음을 입증하여야 한다.

- 인접시설과의 상호작용 고려. 상기 방호체계 적용에 관한 고려와 맞물려, 당해 방폐장의 개발과 운영을 위해 부지당 제한치의 적용방안에 대해 재검토가 필요하다. 예로서, 현 시점에서 폐쇄후 단계 안전성을 지향하는 당해부지가 운영단계 안전성이 강조되는 인접부지와 한데 묶이는 것은 다분히 잠재피폭 성격의 방폐장 특성을 감안할 때 온당하지 않을 수 있다. 이와 관련하여, 당해 복합처분계에서는 처분고로부터 방사성물질의 누출시점을 최대한 늦추는 노력과 함께 누출평가를 정당화하기 위한 정교한 모델링 노력도 중요한 바, 이는 특히 천층처분에 대하여 강조된다.
- 운영단계평가. 여러 유형의 물리적, 단계적 특성들이 공존하는 복합시스템의 성격을 고려하여야 하며 특히 폐쇄처분고와 운영처분고의 공존에 적절한 접근이 요구된다. 전체로 운영시설에 준한 평가가 필요할 것이므로 운영단계 선량제약치의 적용에 유의하여야 하며 대표인 설정을 포함한 생태계평가와 Dosimetry에도 노력이 필요하다.

3. 폐쇄후 안전성평가 부문별 발전방향

경주방폐장 후속개발과 처분안전성 증진에 필요한 폐쇄후안전성평가 실무상 주안점을 제안한다.

- 수리지질평가. 처분시설 주변 수리지질평가는 폐쇄후 안전성평가의 시발점으로, 처분시설 개발 단계별로 평가결과의 유효성이 지속적으로 확인·입증되어야 한다. 특히, 단순히 평가만이 아닌 건설단계에서 확보된 추가자료 및 문헌조사를 통해 지하수위 회복 여부, 해수침투 등 근본적인 가정에 대한 객관성 확보에 더한층 노력이 필요하다. 또한 모델링 규모의 다양화를 통해 처분고 내 지하수 유입 및 유출 해석의 정교화가 요구되며, 지하수유동모델링과 연계한 대표핵종의 다차원 거동 해석은 안전성 실증에 요소가 될 것이다.
- 정상시나리오 평가. 해당 처분의 기본성능을 확인하고 다른 두 평가의 기초로서 이 평가는 안전성평가의 중심을 이룬다. 이를 위해, 1,2 절에서 언급한 제반 고려사항들을 적절히 반영한 종합시스템성능평가(TSPA)가 요구된다.
- 비정상 확률시나리오/위험도 평가. 이것은 정상 자연현상에 대한 평가와 더불어 당해 처분시스템의 성능을 확인하는 것으로, 당해 처분시설에서 폐쇄후 자연적 또는 인위적 요인으로 인하여 발생이 예측되는 대표적 확률현상들에 대해 위험도

성능목표($10^{-6}/y$)가 만족되는지를 입증한다. 확률 현상 위험도평가 수행 시 시나리오에 대한 발생 확률의 추정과 평가에 불확실성이 내포될 수 있는 바, 안전성의 객관화를 위해 평가 전과정에 대한 양식화가 요구된다. 이를 위해 처분시설 내 외부환경의 장기적 변화를 예측함에 있어 미래사건의 발생확률 및 영향의 “정형화”와 안전성평가 모델의 “양식화”의 반복과정을 효과적으로 진행하는 평가체계를 적용하는 것이 바람직하다. 그 수행 범위에는 전체 평가기간 동안 발생할 가능성을 염두에 둔 시나리오의 정당화와 사건 발생 시점별 상세평가가 포함되어야 할 것이다.

- 생태계 및 인간침입 평가. 안전성평가 중 불확실성이 가장 큰 분야로 현 상태를 기초로 미래에 대한 보편타당한 예측평가가 핵심이며 평가 신뢰성 향상을 위한 노력이 필요하다. 복합계에 따른 결정집단/대표인 설정과 피폭모델링에서 발전이 필요한 바, 여기에는 생태계평가의 고도화, 인근 인간활동의 적절한 분석을 통한 평가시나리오의 객관적 타당성 증진, 입력변수 자료의 특성화 및 체계화, 전산코드의 고도화를 통한 평가 다양성 확보, 미래 예측과 관련하여 확률론적 평가방법의 도입을 통한 결정론적 평가 결과의 보완 등이 포함된다. 한편, 현행 인간침입 방호기준(1 mSv/y)에 대한 정확한 취지를 파악하여 억측성 시나리오를 배제하고 보편타당한 시나리오를 바탕으로 평가하는 것이 중요하다.

4. 맺음말

경주방폐장은 장기간 방폐물을 수용하며 원자력산업을 뒷받침해야 할 중요한 국책시설이므로 마스터플랜에 따라 체계적으로 구축되어야 한다. 여기서 검토한 고려사항들이 종합개발과 안전성 증진에 보탬이 되기를 기대한다.

5. 참고문헌

- [1] 한국방사성폐기물학회, 2009년 춘계학술발표회 논문요약집, pp.165-166, 2009.
- [2] IAEA Safety Requirement, Disposal of Radioactive Waste, 2011.
- [3] ICRP Pub.103, 2007 Recommendations, 2007.
- [4] (e.g.) G. Iooss & D. Joseph, Elementary Stability and Bifurcation Theory, Springer.