

고준위 방사성폐기물 처분 성능 평가 FEP & 시나리오 개발 연구

황용수, 정미선

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

yshwang@kaeri.re.kr

한국원자력연구소는 1997년부터 10년간 사용후핵연료를 포함하는 고준위 방사성폐기물 영구처분장 폐쇄 후 장기 방사선적 성능 평가를 수행하고 있다. 고준위 방사성폐기물은 위해도가 높고 대부분의 핵종들의 반감기가 수 만년 이상이므로 현실적으로 안전성을 실험 등을 통해 입증하는 것은 불가능하므로 처분 안전성과 관련된 시나리오를 설정하고 이를 수학적 모델링과 현장 및 실험실 데이터를 이용해 정량적으로 평가한 다음 규제 치와 비교하여 안전성 여부를 평가하게 된다.

이러한 일련의 과정에서 개념 모델, 수학적 모델 그리고 입력 데이터에 많은 불확실성이 내재되어 있으므로 안전성을 엄격히 규명하기 위해서 보수적인 가정들을 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 비록 처분 용기의 건전성이 실제 1,000 년 이상 보장될 수 있더라도 보수적인 평가의 경우 초기부터 용기가 파손되는 경우 이러한 사건이 미치는 방사선적 안전성을 평가하였다.

본 연구에서는 먼저 처분장에서 발생 개연성이 있는 현상, 사건, 공정(FEP)들을 도출하고 이들의 발생 빈도, 영향 등을 고려해 전문가 의견 수렴을 통해 일반적(generic) FEP 보고서를 도출하고자 하였다. 반복적인 보완과 전문가 의견 수렴 과정을 통해 2006년 현재 총 380 개 이상의 FEP들이 선별되었다. 선별된 FEP들은 현재 세계적으로 널리 통용되고 있는 샌디아 분류법에 따라 6가지 category로 구분되고 있다. FEP들을 조합해 고준위 방사성폐기물 처분장으로부터 외부 인간 세계로의 핵종 유출 시나리오들을 개발하기 위한 중간 단계로 유사한 FEP들을 8개의 현실적인 물리적 방벽과 현상 그룹으로 구분하고 세부적으로 이를 8개 그룹간의 상호 반응을 고려 총 64개의 군으로 세분화 하고 이와 같이 세분화된 FEP 그룹을 IFEP(Integrated FEP)이라 설정하였다.

이와 같이 도출된 IFEP으로부터 시나리오를 개발하기 위해 각 IFEP 중 전술한 8가지 그룹 내 FEP들의 특성을 고려해 개별적인 시나리오들을 도출하는데 결정적인 역할을 하는 SDF(Scenario Defining FEP)들을 도출하였다. 예를 들어 처분 용기가 정상적으로 기능을 발휘하여 평균 수명이 1,000 년이라는 FEP은 정상적인 유출 시나리오를 구성하는데 필수적인 SDF의 하나이며 초기부터 0.1%의 용기가 파손되며 나머지 용기는 평균 수명 동안 기능을 발휘한다는 FEP 역시 SDF로 초기용기파손(ICF: Initial Container Failure)라는 대안 시나리오를 구성하는데 중추 역할을 담당한다. 이상에서 살펴 본 바와 같이 IFEP들은 SDF 그룹과 각 SDF들의 상호 반응의 결과인 IF(Influence FEP) 그룹으로 구분된다. 이러한 구분과 RES(Rock Engineering System) 방법론을 결합하면 특정 SDF와 그에 따른 반응 IF의 조합으로 구성된 행렬 집단을 도출할 수 있다.

행렬집단이 도출되면 이제 처분장 폐쇄후 시나리오 침입, 이에 따른 용기 부식, 용질의 유출 등 세부적인 방사성 물질의 유출을 기술하는 부 시나리오(Sub-scenario)들이 도출될 수 있으며 이들을 종합하면 처분장 폐쇄 후 지하수 침투, 침투된 지하수 속에 용존된 불순 물질들과 용기와의 전기화학적, 화학적 반응에 의한 부식, 부식후 사용후핵연료 집합체의 지하수로의 용해, 방사

성 핵종의 공학적 방벽으로의 유출, 천연 방벽 내 다공 및 단열 암반을 통한 이류, 분산, 확산, 흡착 등을 통한 방사성 핵종의 이동 및 최종적으로 생태계로의 유입을 총괄 기술하는 시나리오들이 개발된다.

2006년 현재 우리나라 고준위 방사성폐기물 처분장 성능 평가에서 고려하는 시나리오들은 아래와 같이 크게 6 개의 군으로 구분된다.

(1) 정상 시나리오

(1.1) R1 시나리오: 처분장으로 유입된 침투 지하수는 처분 용기를 부식시켜 설계 수명 이후 처분 용기의 기능이 상실되고 부식 구멍을 통해 침투한 환원 환경의 지하수는 서서히 이산화 우라늄 집합체를 용해시키거나 이미 피복재 층까지 이동해 온 고용해도 핵종들을 용해시켜 처분 용기 외부로 유출시킨다. 이렇게 유출된 방사성 핵종들은 방사성 붕괴열, 심부 지하수 내 산성도, Eh, 용존 물질, 벤토나이트의 물리적 화학적 조성 등에 영향을 받으며 벤토나이트 공학적 방벽을 확산에 의해 통과한 후 벤토나이트 층과 접하는 단열로 유입된다. 단열로 유입된 방사성 핵종들은 이류와 분산을 통해 단열을 통과하면서 주변 다공 암반층으로 확산되며 다공 암반 내에서 흡착 지연 효과를 경험하게 된다. 최종적으로 단열을 통과한 방사성핵종은 지하수 주유동로(MWCF)를 통과한 후 최종적으로 담수 어업, 해수 어업, 농경 활동을 하는 생태계로 유입된다.

(1.2) R2 시나리오: R1 시나리오와 유사하나 단열대로 굴착된 소규모 우물로부터 음용수 목적으로 지하수가 양수되어 사용된다.

(2) 자연 재해 시나리오: 단층 재활성화 및 빙하 시대 도래 시나리오

(3) 공학적 방벽 기능 저하 시나리오: 초기 용기 파손 및 벤토나이트 완충재 기능 상실 시나리오

(4) 주요 입력 인자 불확실성 내재 시나리오: 단열 내 지하수 공극 유동 속도 변화 등 주요 입력 인자 불확실성 고려 시나리오

(5) 상세한 Near field 시나리오: SR97에서 고려한 근계 핵종 이동 경로를 확장해서 고려한 상세 평가 시나리오

(6) 인간 침입 시나리오

한국원자력연구소에서는 이러한 평가 대상 시나리오들을 도출해 연차적으로 우리나라 수리지질 및 생태계 데이터들을 이용해 평가하고 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하고 있는 국가 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 추진되었습니다.