

## 공학적 방벽에서의 학제적 연구에 관한 고찰 Some Notes on the Interdisciplinary Study in EBS

최희주, 황용수, 최종원, 한필수

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

고준위폐기물 처분시스템은 공학적방벽(EBS)과 자연방벽으로 구성된다. 공학적방벽은 사용후 핵연료, 캐니스터 또는 오버팩으로 불리는 처분용기, 완충재, 뒷채움재, 밀봉재 등으로 구성되며, 지하 암반 및 생태계와 같은 자연방벽으로 둘러 싸여 고준위폐기물 내에 포함되어 있는 방사성핵종들을 인간 생활환경으로부터 격리하고 있다. 고준위폐기물 처분시설은 일반적으로 지하 수백미터의 깊이에 건설되며, 따라서 이 시설만의 고유 특성을 갖는다. 처분시설 설계시 반드시 고려하여야 할 고유 특성들은 지하수에 의한 수직 기압의 수압, 산화-환원 특성, 지열 등이다. 처분시설 설계 및 안전성 평가에는 이런 특성을 충분히 이해되고 고려되어야 한다.

한국원자력연구소에서는 고준위폐기물 처분관련 연구를 수년간 수행해 오고 있다. 그동안의 연구는 주로 각 방벽에서의 물질전달, 지하수 흐름, 부식 현상 등과 같은 단일 현상에 대해 이해와 해석 능력의 보유에 주안을 두었다. 수년간의 연구 수행 결과 각 분야에서의 노하우는 많이 축적되었다. 그러나 향후 연구를 위해서는 새로운 현상의 발견, In-situ 실험, 대형 장치 개발 혹은 좀 더 복합적인 현상 등에 대해 관심을 갖기 시작할 시점이 되었다. 이런 관점에서 비교적 적은 비용으로 수행할 수 있는 학제적 접근법(interdisciplinary approach)은 보다 도전할 만한 주제가 될 것으로 판단되어 공학적방벽에서의 몇 가지 예를 도출하였다. 본 논문에서는 인공방벽에서 예상되는 다양한 복합 현상들을 개괄적으로 살펴봄에 향후 공학적방벽 연구에서 좀 더 심층 분석이 필요한 항목들을 도출하였으며, 이 항목들은 추가의 분석을 통하여 FEP 작성, 수학적 모델링, 실험실 및 현장 실험 등의 계획 수립의 기회가 될 것이다.

일반적으로 자연방벽의 경우 부지 선정과 그에 따른 부지환경평가가 중요하나 공학적방벽은 다양한 엔지니어링 작업을 요구한다. 공학적방벽은 방벽 자체를 개발하는 것 외에도 전체 처분시스템의 설계 및 성능평가, 인간과의 피폭 평가를 위한 안전성 평가 등과 같은 복합적 평가를 통하여 개발되고 있다. 고준위폐기물 처분시설 설계의 핵심은 그 안에 포함된 방사성 핵종들과 이들의 방사성 붕괴에서 발생하는 열을 적절히 관리하는 것이다.

연구처분 관점에서 파악하여야 할 사용후핵연료의 주요 특성은 핵종 재고량, 열원, 침출물 등이다. 핵종 재고량과 열원은 ORIGEN 코드로 계산되며, 이 계산 결과는 별도의 실증 없이 사용 가능하다. 침출물의 경우 실험을 통해 측정되고 있으나, 처분환경에서 사용후핵연료는 100℃ 이상에 노출될 것으로 예상된다. 따라서 처분용기 결함에 의해 용기 수명이전에 지하수 유입에 의한 핵종 누출 평가에는 다음 사항이 고려되어야 한다. 사용후핵연료가 충분히 냉각되기 전에 캐니스터 내부로 유입된 지하수는 대부분 수증기 상으로 존재할 것으로 예상되므로 수증기 상에 의한 침출 효과 평가 혹은 초기 침출물 평가를 위한 지하수와의 접촉 면적이 평가를 위한 모델 개발이 매우 중요하다. 적절한 처분용기 부식 모델의 선정과 캐니스터 내부로 유입되는 지하수량을 예측하는 모델에 대한 개발이 필요하며, 침출물 측정을 위한 실험도 이런 조건을 고려하여 설계하여야 한다.

현재의 PWR 사용후핵연료 처분용기의 기본적인 개념은 스웨덴에서 제시하였다. 이 개념의 주요 설계요건은 십만년의 용기수명과 용기표면 최고온도 100℃이다. 처분용기는 사용후핵연료를 담고 있는 실질적 첫 번째 공학적방벽이며, 가장 다양한 엔지니어링이 요구되고 있다. 처분용기의 부식은 지하수를 통한 산화제의 유입에 의하여 이루어진다. 부식평가를 위한 기존의 모델은 외부시스템으로부터 완충재 공극을 채운 지하수를 통해 산화제가 유입되며, 유입된 산화제의 물

수에 비례하여 부식이 일어난다고 가정하고 있다. 구리 외부용기에 대한 부식평가 모델의 경우 기존 모델이 합리적이거나 일본처럼 주철을 이용한 내부구조물로만 용기를 만들 경우 산화제가 방사선에 의한 지하수의 방사분해에 의해 발생하는 산화제에 의한 부식도 가능하다. 따라서 방사분해에 의해 발생하는 산화제 선원항을 고려한 부식모델을 개발하여야 한다.

구조해석의 주요한 2가지 인자는 지하수압과 팽윤압이다. 팽윤압은 지하수 포화도에 따른 변수이며, 외국의 경우 팽윤압 예측을 위한 모델도 개발 중임. 지하수재포화-팽윤압 변화-구조해석을 연계한 해석 모델 개발이 필요하다. 또한 온도상승에 의한 TM 해석은 현재 수행되고 있는 평가 방법이다. 열 해석은 구조해석과 아주 밀접한 관계에 있으며, 처분용기 표면온도는 대부분의 국가에서 고려하고 있는 설계기준이다. 따라서 보다 정확한 예측을 위한 복합평가가 필요하며, 완충재에서의 포화도 변화에 따른 열전달 해석 등은 일본의 경우 해석을 수행한 분야이다.

현 완충재 개념은 스웨덴에서 제시하였다. 스웨덴의 경우 지열구배가 우리 지질조건과 너무 상이하여, 이 개념을 그대로 받아들일 경우 처분용기표면 온도 제한 때문에 용기 설계에 어려움이 많다(그림 참조). 따라서 이것을 해결할 수 있는 개념 도출이 필요하다. 완충재의 핵종이동 억제 기능의 중요성이 의문시 되며, 완충재의 기능 중 지하수 유입억제, 기계적 충격에 대한 완충 작용, 흡착능 등에 대한 정량적 비교가 필요하다. 이를 위해서는 열전달뿐만 아니라 지하수 유입(재포화 시간 계산), 핵종 누출 억제 기능 해석 등 다각적 측면에서 비교되어야 한다. 앞서 언급한 바와 같이 지하수 유입에 따른 팽윤압 변화 모델과 팽윤압 증가에 따른 수리전도도 변화 예측 모델 및 실험이 수행되어야 한다.

국내 처분관련 연구의 기술적 성숙을 위해 현재의 연구 상황이 갖는 한계 상황의 극복을 위한 한 가지 대안으로서 학제적 연구를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 연구 항목은 학제적 연구가 필요한 예에 불과하며, 학제적 연구 항목 도출을 위한 보다 다각적이고 전문적 노력을 통하여 이에 대한 개발이 필요할 것으로 판단된다.

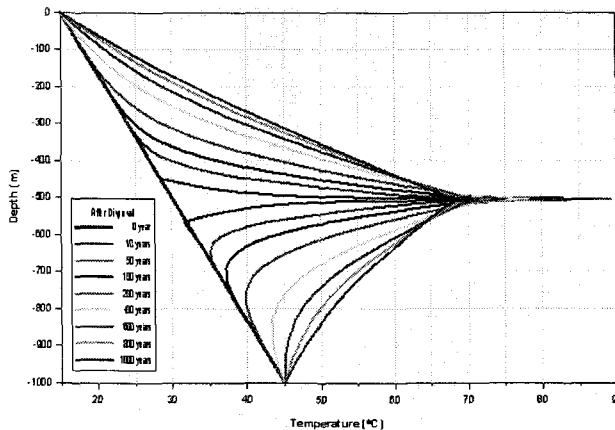


그림. 고준위폐기물 처분시설의 온도 변화 예측.