

지하처분 시스템의 장기적 변화 모델 고찰

이민수, 최희주, 이종열, 정종태, 김성기, 조동건, 최종원
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
minm@khnp.co.kr

1. 서론

사용후 핵연료 혹은 고준위 폐기물에 대한 한국형 지하처분 시스템은 현재 개념 설계가 어느 정도 정리된 상태이다. 방사성 폐기물은 구상주철용기에 저장한 후, 구리로 된 Canister에 밀봉된다. 그리고 구리 Canister는 약 500 m 지하에 위치한 포화 결정질 암반에 위치한 처분공에 넣은 후, 완충재 및 채움재로 밀폐된다. 이상과 같이 언급된 지하처분 시스템은 핀란드나 스웨덴 등에서도 채택하고 있으며, 현재의 지하처분 개념은 향후에 있어서도 기본적인 틀은 크게 변하지 않을 것으로 보고 있다. 따라서 다음 단계로 고려되어야 할 사항은 일단 처분이 완료된 후, 수세기 혹은 그 이상의 세월이 흐르는 동안 지하처분 시스템에서 Canister, 완충재, 채움재 및 암반 등이 어떻게 변해가고 안정화 상태가 어떻게 될 것인지에 대한 다방면의 고찰이 된다. 종합적으로 처분장의 열적 변화, 성분 변화, 압력 변화를 장기적으로 추정할 수 있어야 하며, 이를 통해 처분장의 포괄적 안정성 평가를 할 수가 있게 된다(그림 1). 여기서 핵종의 유출에 따른 처분장의 안정성 평가는 별도의 연구 주제로 남기며, 본론에서는 처분장의 장기적 변화를 이해하는 데 필요한 여러 가지 모델들을 살펴보았다.

2. 본론

처분장의 장기적 변화는 여러 가지 물리적-화학적 과정들이 복잡하게 얽힌 문제로 볼 수 있다. 따라서 서로 다른 과정들에 대한 개개의 수학적 모델링을 도출하고 최종적으로 융합하여 하나로 연계된 포괄적인 모델을 창출하는 것이 최종 목표라고 할 수 있다. 기본적인 변화 모델로서는 Source-term Model, Thermal model, Rheology Model, Corrosion model, Chemistry Model 및 Canister interior model 등이 된다.

Source-term Model : 초기 사용후 핵연료의 조성이 확립되어 있다면, 붕괴 방정식과 Bateman's equation 을 통해 시간적 변화를 계산하는 것이 용이하다. 이를 통해 시간에 따른 발열량을 산출할 수 있어야 한다.

Thermal Model : 처분장의 사용후 핵연료에서 나오는 열로 인해 시간에 따라 처분장 온도가 증가하는 것을 계산할 수 있어야 하며, Canister 주변의 온도 분포도 알 수 있어야 한다.

Rheology Model : 처분 초기에는 완충재는 수력학적 평형상태에 있지 못하다. 암반은 포화 상태이지만, 완충재는 주위 여건에 따라 다르겠지만, 포화하는데 수십년의 시간이 소요될 것으로 예상된다. 포화된 이후에는 완충재에서는 팽윤압이 발생될 것이고, 이로 인해 뒤채움재를 압박하는 현상도 나타날 것이다. 수학적 모델링을 통해 이러한 과정동안 완충재의 밀도 및 압력분포를 알 수 있어야 한다.

Chemistry Model : 완충재 내의 공극수와 지하수는 구성 성분에 있어서 차이가 있으며, 점진적 확산에 의해 최종적으로 지하수로 대체될 것으로 보고 있다. 이러한 확산 거동은 온도 의존성이 높으며 평형에 이르는 시간 또한 상당히 길 것으로 예측된다. 화학적 모델링을 통해 평형에 이르는 동안의 완충재 및 공극수의 성분변화를 파악할 수 있어야 한다. 특히 공극수의 pH 및 이온조성은 완충재의 안정성과 관련이 깊다.

Corrosion Model : 구리는 지하 500 m의 결정질 암반에서 상당히 안정한 금속으로 인정되고 있

다. 처분 초기에는 완충재 내의 불순물에 의한 부식이 있을 수 있다. 지하수에는 매우 낮은 농도의 산화제가 있으므로, 이들이 완충재 내로 확산하는 과정이 전체적인 부식을 좌우할 것으로 예상된다. 부식 모델을 통해 구리 안전한 Canister의 두께를 결정할 수 있어야 한다.

Canister interior model : 이 모델은 Canister 표면의 예상치 못한 결함으로 인해 그 내부로 물이 스며드는 것을 이해하기 위한 것이다. Canister 내부와 주위와의 압력 차, 그리고 이로 인한 물의 흡입량, 철의 혐기성 부식과 수소 발생과 이에 따르는 내압의 형성과정 등이 포함된다. 이 모델을 통해 내부 주철용기의 두께 및 물의 흡입량 등이 산출되어야 한다.

Integration : 실제 앞서 열거된 별개의 모델들은 상호 의존성을 갖고 있다. 하나의 모델에서 도출된 결과는 다른 모델에 입력 변수로 사용될 수도 있기 때문이다. 그러나 각 모델들 간의 상호 의존성은 경우에 따라서 달리 나타난다. 완충재의 화학적 모델은 그 평형에 이르는 기간이 수천년에서 수백만년에 이르게 되므로 열적 모델은 그다지 중요한 변수가 아닐 수도 있다. 모델링의 최종 목적이 처분장의 안정성 평가에 있는 만큼, 모델링을 통해 정확한 수치를 얻는 것 보다는 우리가 처분장이 우리가 원하는 성능을 보일 수 있는지 모델링을 통해 확인하는 것이 더 중요하다.

3. 결론

처분 시스템을 모델링 하는 첫째 목적은 여러 가지 하부 모델링을 통해 하나의 정형화된 표준 처분 시스템 모델을 개발하는 것이다. 이를 통해 처분장의 장기 안정성을 평가하는데 유용하게 활용될 수 있다. 처분장에 존재하는 여러 가지 유동적인 변수들이 장기 안정성에 미치는 영향을 우리는 개발된 모델을 통해 빠르게 제공할 수도 있다. 그리고 종합적인 모델링을 통해 여러 변수들에 있어서 처분장의 장기 안정성에 미치는 민감도를 파악할 수 있으며, 체계적인 접근도 가능하게 한다.

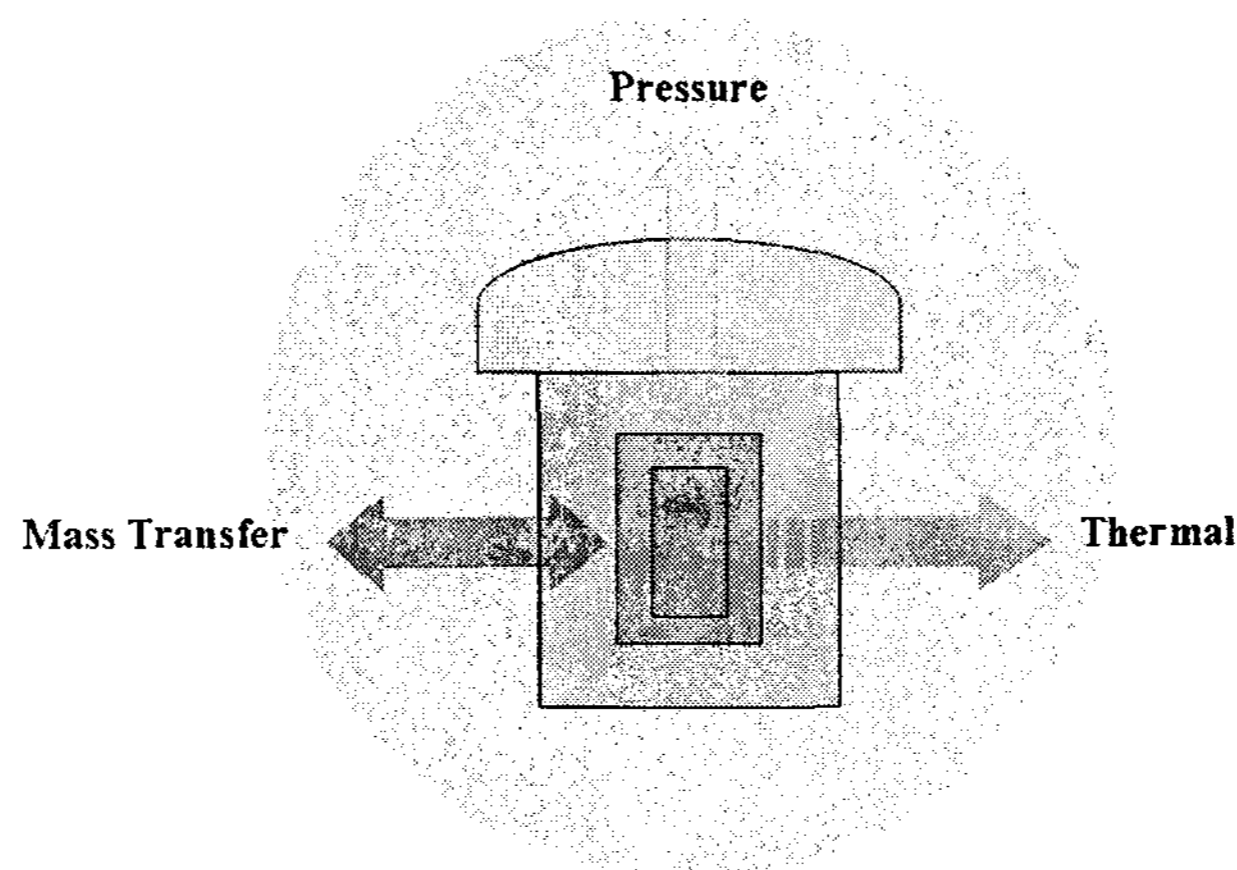


그림 1. 지하 처분시스템에서의 Canister 주변의 장기적 환경 변화