

# 파이로처리 방사성폐기물 처분 시스템 원계 영역 핵종 이동 모델링 방안

이연명, 정종태

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

ymlee@kaeri.re.kr

## 1. 서론

파이로 처리(pyroprocess)에 의한 사용후 핵연료의 건식재처리를 통하여 우라늄자원을 재활용하며 TRU도 줄이고 고방열 핵종을 분리시켜 고준위 폐기물의 처분량을 줄일 수 있는 파이로 처분시스템이 개념적으로 설계되고 있다. 이 결과로 처분되는 주요한 폐기물의 형태로는, 사용후 핵연료의 피복관 탈피로 생성되는 금속폐기물과, LiCl-KCl 공용용융을 산화침전법으로 수집여과하여 모나자이트(Monazite)로 고화한 세라믹폐기물이 있다. 금속폐기물은 소량이긴 해도 우라늄과 TRU, 그리고 핵분열생성물이 포함되며 비록 열 발생률은 낮아도 TRU같은 장반감기 핵종이 포함된다. 모나자이트 고화체 내의 주 핵종은 희토류지만 기타 장반감기 핵종도 포함되어 있다. 파이로 처분시스템은 이러한 복합폐기물 처분에 적합하도록, 200m 심도에는 금속폐기물을, 그리고 500m 심도에는 세라믹 고준위 폐기물을 처분하는 방안으로 A-KRS이라고 부르고 있다.

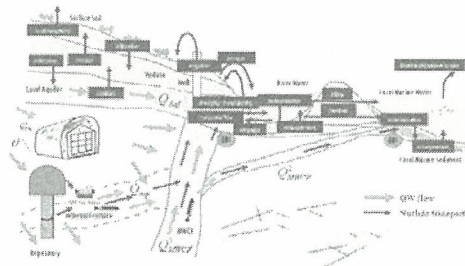


Fig. 1. 처분 시스템 개념.

그림 1에 우리나라의 환경에 비추어 가능한 파이로 폐기물 처분 시스템 개념을 도시하였다. 처분 시스템에서의 장기적인 핵종 유출에 관련된 정상 및 사고시나리오에 대한 평가는 처분 시스템에 대한 안전성 및 성능 평가 측면에서는 물론 설계에 대한 피드백을 위해서도 매우 중요하다. 이러한 평가를 위한 도구로서 상용 모사 프로그램인 GoldSim[1]을 이용하여 다양한 형태의 모듈을 개발하고 이를 모아 템플릿(template) 형태의 전산 프로그램으로 통합하여 활용하고 있다.[2-3] 처분 시스템 내 장기적

인 환경 변화에 따라 정상적으로 고려할 수 있는 핵종 유출 시나리오와 달리 사고나 사건 등에 의한 시나리오를 처분시스템에 관여된 다양한 FEP을 인지하여 시나리오를 도출하고 신뢰도 높은 모델을 구축하는 것은 처분시스템의 안전성과 장기적 성능 평가에 중요하다. 이 연구를 통하여 처분시스템 원계 영역 내 핵종 이동을 보다 정확히 평가할 수 있도록 하는 한 모델링 방안이 검토되었다.

## 2. 모델링

안전성 평가를 위하여 여러 수학적 모델을 구현하고 코드심을 이용하여 이를 처분 시스템 내 물리적인 여러 요소와 함께 핵종 유출에 관여하는 다양한 시나리오에 대하여 모듈 형태로 개발하고 있다. 코드심 모델은 처분 시스템의 종합적 안전성을 평가할 수 있는 형태의 프로그램으로 통합 완성된다. 다른 개발 도구와 달리 다양한 시나리오를 동시 다발적으로 구현할 수 있는 것이 코드심의 장점이지만, 모암에서의 핵종 이동이나 지진과 같은 사건에 따른 영향과 같이 결과가 정확히 시스템의 변화에 반영되도록 모델링하는 것이 중요하다. 이 연구를 통하여 기존의 처분 시스템 원계 영역에 대한 한 모델링 방안을 제시하여 보았다. 이제까지는 처분 시스템 원계 영역의 경우 그림 1에서 보이는, 모암 내 균열(internal fracture) 지역과 단층지대 등 지하수의 유동이 보다 더 발달한 지역으로 볼 수 있는 MWCF를 단순히 단일 균열이나, 이러한 균열의 다발로 간주하여 모델링을 수행하여 왔었다. 이러한 모델링의 배경에는, 최소한 처분장 모암 내 균열을 무시한 채 다공성 매질로 상용하게 보지는 않더라도 균열 암반 매질로는 간주하되, 복잡한 균열을 지하수 수리 측면에서 가장 단순하게 단일한 무한 평판 균열로 보는 것이었다. 그러나 이러한 모델링 접근의 경우, 모든 균열을 하나로 간주하여 일정한 지하수 유동률을 적용하여야 하고, 핵종이 균열 암반을 이동하며 겪게 되는 암반 조직 내 핵종의 확산과 균열 평면 등으로의 흡탈착에 의한 지연, 나아가 지진 시나리오 등에 의한 지하 매질 시스템의 영향 등을 정확히 반영하지는 못하거나 보수적으로 고려하는 단점이 있게 된다. 이 연구에서는 그림 2에 도

시한 것처럼 단일 무한 평판 균열 대신 다수, 즉 4개의 균열이 동시에 200m 처분장의 근계 영역과 연결된다고 가정하여 이러한 모델링에 대한 결과를 검토하여 보았다.

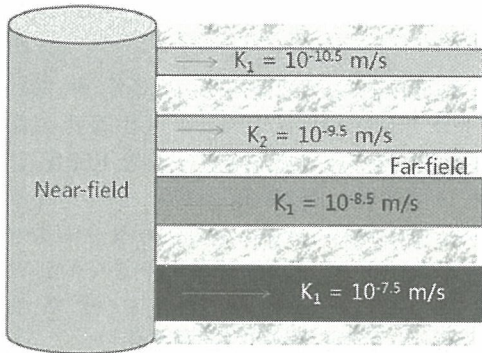


Fig. 2. 서로 다른 수리전도도를 가지며 근계 영역과 연결되는 4개의 균열에 대한 개념.

이를 위해 4개의 균열 각각에서의 수리전도도는, 200m 심도에서는 로그-정규분포를 가정하여 이들 수리전도도에 로그를 취하였을 때 그림 3과 같은 분포 ( $m=-8, s=0.48$ )를 갖는 pdf로 나타난다고 보고, x축을 4개의 균열 간격으로 나누어 분포곡선 하부의 면적을 구하여 각 균열이 가질 수 있는 수리전도도의 확률값으로 취하였다. 즉, 200m 깊이에서는 수리전도도를  $K_2=10^{-8.5}$ 와  $K_3=10^{-7.5}$ 를 갖는 두 균열은 각각 48.12%를,  $K_1=10^{-9.5}$ 와  $K_4=10^{-6.5}$ 를 갖는 두 균열은 각각 1.8%를 차지하는 것으로 하였다. 단일 균열의 경우에는 단일 평균값으로 수리전도도를  $10^{-8}$ m/s의 값을 갖는 것으로 가정하였다.

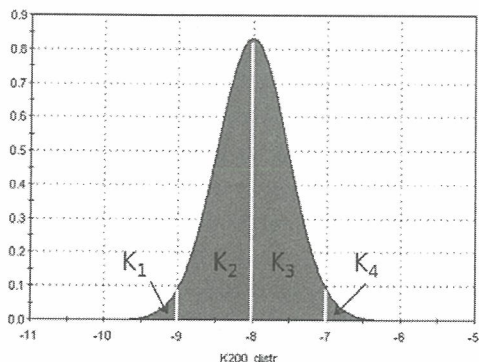


Fig. 3. 금속 폐기물 처분장 근처에서의 정규분포를 가정한 경우의 수리전도도의 로그값 분포.

### 3. 결론

동일한 시스템이지만 원계 영역에서의 서로 상이한 모델링 방법에 따라 서로 다른 결과를 그림 4와

5로 얻어내었다. 예상했던 대로 다수의 균열을 갖는 형태로 모델링하는 경우, 단일 균열로 모델링하는 경우보다 모든 핵종에 대하여 과과곡선의 변화가 생기는 것을 알 수 있다. 이는 암반 조직 내로의 확산과 균열 벽면에서의 흡탈착의 효과가 4개의 모든 균열에서 동시에 발생하는 데다 균열 내 지하수 유속도 달라지기 때문이다. 이러한 모델링 방법은 모암 내 균열 암반에서의 신뢰도 있는 모델링은 물론 지진 등 사고나 사건 시나리오를 보다 현실적으로 고려할 수 있도록 해 줄 것으로 기대된다.

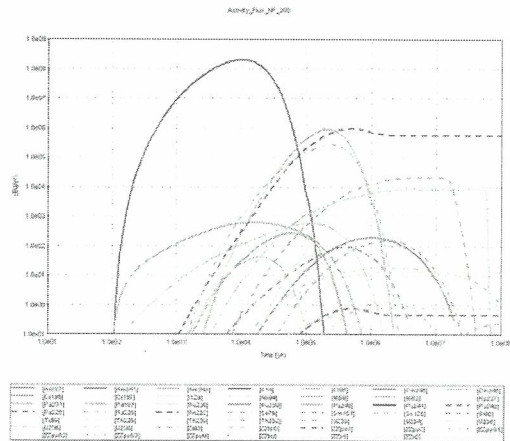


Fig. 4. 단일 균열을 갖는 모암에서의 핵종의 플럭스.

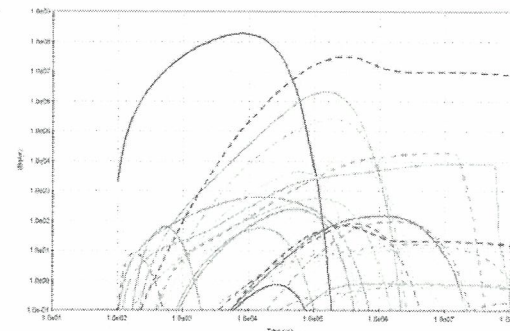


Fig. 5. 4개의 균열을 갖는 모암에서의 핵종의 플럭스.

### 4. 참고문헌

- [1] GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 4, GoldSim Technology Group, 2006.
- [2] Youn-Myoung Lee et al., "A GoldSim model for the safety assessment of an HLW repository," Progress in Nuclear Energy, 51, 746-759, (2009).
- [3] Youn-Myoung Lee et al., "Evaluation of Nuclide Release Scenarios for a Hypothetical LILW Repository," Progress in Nuclear Energy, 53, 760-774, (2011).