

사용후핵연료 처분시스템 인공방벽 물성 및 지화학적 특성과 근계영역 유동률 변화에 따른 Pu-239의 거동 민감도

이연명*, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*ymlee@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로 처리(pyroprocess) 사용후 핵연료 건식 재처리를 통하여 TRU도 줄이고 고방열 핵종을 분리시켜 고준위 폐기물의 처분량을 줄이며 우라늄자원을 재활용할 수 있는데 이 때 발생하는 폐기물의 형태는 파이로 처분시스템(A-KRS) 내에 처분된다. 이 처분 개념에 따르면 200 m 심도의 터널 처분장에는 사용후 핵연료의 피복관 탈피로 생성되는 금속폐기물을, 그리고 500 m 심도의 터널 처분장에는 LiCl-KCl 공용용융을 산화 침전법으로 수집, 여과하여 모나자이트 (Monazite)로 고화한 세라믹 고준위 폐기물을 각각 분리하여 Fig. 1과 같이 처분하는 방안으로 되어 있다.

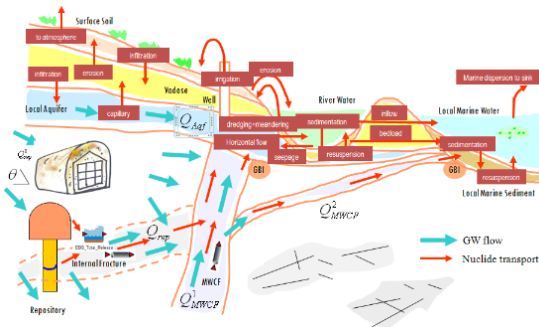


Fig. 1. Conceptual A-KRS/KRS Disposal System.

그러나 현재 유력한 처분 방안으로 고려되고 있는 A-KRS와 함께 파이로처리와 같은 사용후 핵연료의 2차적 처리를 회피하고 직접 영구 처분하는 방안도 수년 전부터 여전히 중요한 대안으로서 고려되어 오고 있다. 한국원자력연구원에서 개발, 제시한 이러한 사용후 핵연료 직접 처분 시스템 (KRS)은 스웨덴의 수직공 처분인 KBS-3V와 유사한 처분 개념으로서, Fig. 1의 A-KRS 처분 시스템 개념에서 금속처분장을 배제시키면 심도나 처분 형태 모두 세라믹 터널 처분장과 유사한 형태를 갖는다[2]. A-KRS와 KRS 두 처분 개념 어느 경우나 핵종의 유출, 이동 및 생태계로의 확산에 따른 피폭에 관련된 정상 및 사고시나리오 평가는 처분 시스템 안전성 및 장기 성능 평가와 함께 처분 시스템 설계 피드백에도 필요하다. 이러한 평가를 위한 코드로서 상용 모사 프로그램인 GoldSim Transport

Module (GTM) [1]을 이용하여 전산 프로그램을 개발 활용하고 있다[3]. 이 연구를 통하여 KRS 시스템의 완충재의 설치 두께, 공극률 등 대표적인 물성과 흡착계수와 같은 지화학적 특성의 확률론적 분포와 주변 근계영역 내 지하수의 유동률의 결정론적 변화에 따른 피폭 선량률의 민감도를 조사하는 연구가 수행되었다. 이 중 Pu-239 핵종의 거동에 대한 민감도에 대한 결과를 제시하고 논의하고자 한다.

2. 계산결과와 논의

Pu-239는 PWR 사용후 핵연료 내 타 핵종에 비하여 비교적 다량 (47 mole/canister)의 재고량을 갖는 주요한 핵종으로서 반감기가 24,065 년으로 어느 정도 긴데다 벤토나이트 완충재에서 큰 흡착능을 갖는 것으로 알려진 편이다. 민감도 검토를 위하여 완충재 내의 최빈값 흡착계수를 $3 \text{ m}^3/\text{kg}$ 으로 가정하고, 확률론적 평가를 위하여 이 들 값의 분포는 최소값 0과 최대값 $30 \text{ m}^3/\text{kg}$ 을 갖는 삼각 분포 {Triangular(0, 3, 30) m^3/kg }를 따르는 것으로 간주하였다. 처분공 캐니스터 주위에 설치되는 완충재의 두께는 0.4 ~ 0.5 m 정도가 그 설계값으로 갖지만, 이 역시 균일 분포로 Uniform(0,1)m를 따르며, 처분장 근처의 지하수 완충재의 공극률도 0에서 1사이의 Uniform(0,1) 분포를 따른다고 가정하였다.

이러한 완충재의 특성과 이들 인자 값의 통계적 변화에 동반하여 처분장 근계영역 내 지하수의 유동률의 변화가 급격히 이루어져 100배로 증가하는 경우에 대해서 조사해보았다. 처분장과 그 주변 근계 영역에서의 지하수 유동률은 처분장의 하부 투영면적 (footprint)를 시간당 수직으로 통과하는 지하수 유동량과, 처분공의 간격과 처분 터널의 간격으로 결정되는 투영면적 내의 한 개의 처분공이 차지하는 면적을 통하여 단위 캐니스터 당 지하수 유동률을 구할 수 있게 된다.

Fig. 2에서 보는 대로 완충재에 관련된 이들 물성 및 지화학적 특성의 변화에 따른 농축 피폭 집단에 대한 Pu-239에 의한 피폭 선량의 변화가 매

우 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또 Fig. 3의 Pu-239의 Kd값의 변화에 따른 민감도를 나타내는 산포도에서도 보이는 대로 Kd가 증가하면서 Pu-239에 의한 농축 피폭 집단의 피폭 선량이 줄어드는 것을 알 수 있었고, 대표값을 갖는 근계 영역 내 지하수 유동률 (reference case)에 대하여 100배로 증가된 경우 2 order 정도로 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타나며 매우 민감하게 반응을 보이는 것도 알 수 있었다.

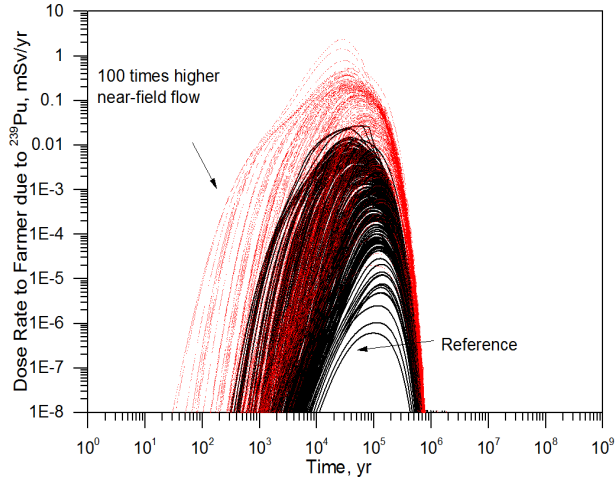


Fig. 2. 200 realizations of dose to farming exposure group for each case of different flow rate.

Fig. 4에는 민감도 분석 대상 인자로서 이들 물성 및 지화학적 특성 값이 갖는 민감도를 정량적으로 비교해 보였는데, 완충재의 두께가 공극률이나 흡착계수에 비하여 보다 더 민감한 것으로 나타나고 있음을 알 수 있었다.

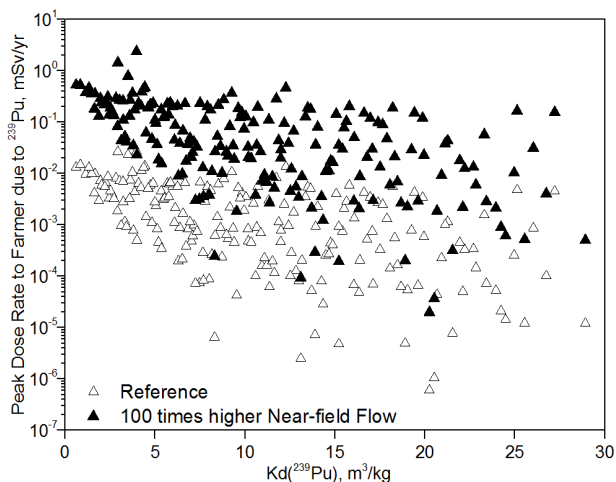


Fig. 3. Scatterplot for sampled Kd's of Pu-239 vs corresponding peak doses to farming exposure group for each case of different flow rate.

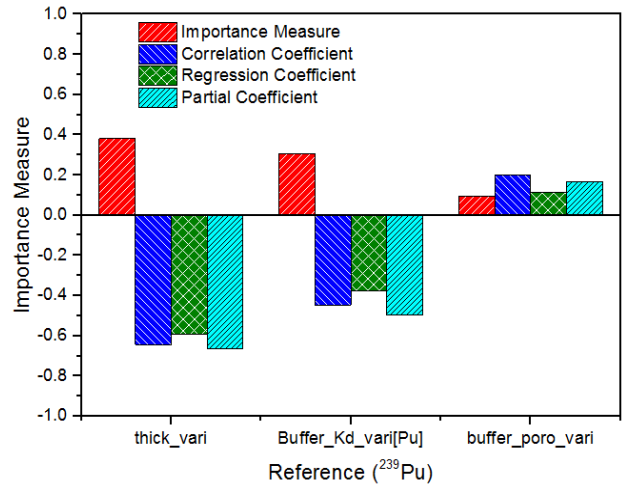


Fig. 4. Some sensitivity indices of selected physical and geochemical properties of the bentonite buffer.

3. 참고문헌

- [1] GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 4, GoldSim Technology Group, 2006.
- [2] Youn-Myoung Lee et al., High-level radioactive waste disposal technology development, Geological Disposal System Development, KAERI/RR-2336/2002, 2002.
- [3] Youn-Myoung Lee and Hwang, Yongsoo, A GoldSim model for the safety assessment of an HLW repository. Progress in Nuclear Energy 51, 746-759, 2009.