

처분시스템 복합시나리오를 고려한 종합성능평가 모델 개발

김정우*, 고낙열, 조동건, 정종태, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jw_kim@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물 심지층 처분시스템은 폐기물에 존재하는 장반감기 핵종을 고려하여 수십만 년 이상의 기간 동안 안전성이 확보되어야 한다. 이러한 장기간 동안 처분시스템에 영향을 미치는 자연현상이나 인간침입 등을 현재의 인간이 정확히 예측하는 것은 불가능하다. 상대적으로 짧은 기간이지만, 그동안의 인류역사 기록에 대한 통계분석 등을 통해서 미래의 사건발생을 예측하는 정도가 가능할 것이다[1,2]. 최근에, 처분시스템에 발생가능한 여러 가지 시나리오를 복합적으로 고려한 안전성평가 결과(즉, 위험도)의 필요성이 대두되었고[3], 이와 관련하여 효율성이 향상된 새로운 방법론이 제시되었다[4]. 따라서, 본 연구에서는 처분시스템의 복합시나리오를 고려하여 효율성이 향상된 종합성능평가 모델(PAM-AKRSV)을 개발하였다.

2. 본론

2.1 PAM-AKRSV

PAM-AKRSV는 Matlab, GoldSim, Excel 프로그램들을 연계하여 본 연구에서 개발된 방사성폐기물 처분시스템의 복합시나리오를 고려한 종합성능평가 모델이다. 본 모델의 계산 순서도는 그림 1과 같고, 각 단계에 대한 상세설명은 다음과 같다.

2.1.1 입력자료

모델 입력자료는 전반적인 시뮬레이션 조건, 선원항, 지하수와 매질의 물성, 처분시스템 구성요소의 규격, 외부사건 특성, 출력방법 등으로 구분하여 엑셀파일에 정리되었다.

2.1.2 복합시나리오 생성

처분시스템 구성요소의 규격 및 외부사건 특성 등을 고려하여 복합시나리오 발생기준을 먼저 정의하였다. Monte Carlo 추출법을 이용하여 각 외부사건의 발생 시간 및 특성 등을 예측하고, 기 정의한 발생기준을 바탕으로 처분시스템에 미치는 영향

을 시간대별로 정의하여 하나의 복합시나리오를 생성하였다. 여기서, 외부사건을 발생확률에 따라 모두 발생시킨 후 시스템에 영향을 미치는 사건을 선별하여 복합시나리오를 생성하기 때문에, 아래의 성능평가 모델이 코딩된 GoldSim에서 복합시나리오를 생성하는 방식에서는 time step이 기 설정된 것보다 작아져 전체 계산 시간이 급격히 증가하게 되었다. 이를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 Matlab에서 복합시나리오를 생성하고, 그 시나리오를 GoldSim 기반의 성능평가 모델에서 입력자료로써 활용하도록 함으로써, 계산 효율을 향상시켰다.

2.1.3 A-KRS 성능평가 모델

A-KRS는 파이로프로세싱을 통해 발생한 고준위 폐기물의 심지층처분을 위해 한국원자력연구원에서 제안하는 기준 처분시스템이다[5]. 본 연구에서는, A-KRS에 대한 성능평가 모델을 GoldSim을 이용하여 코딩하였다(Fig. 2). 본 모델은 크게 입·출력, 처분시스템, 생태계, 복합시나리오 모듈로 구성된다. 여기서, 처분시스템은 지하 200 m에 위치하는 금속폐기물 처분장과 지하 500 m에 위치하는 세라믹 폐기물 처분장을 포함한다. 본 모델의 기본적인 개념은 용기의 수명이 끝나 폐기물로부터 일정 속도로 유출되는 핵종이 완충재에서는 확산, 뒷채움재에서는 이류와 확산, 그리고 EDZ와 주변 암반균열에서는 이류에 의해서 이동하며 MWCF를 통해 대수층을 포함한 생태계까지 도달한다는 것이다. 이 때, 모든 구역에서 핵종의 용해도와 흡착이 고려되었고, 암반균열과 MWCF에서는 주변 암반으로의 확산이 함께 고려되었다. 최종적으로 모델에서 도출된 결과는 생태계 모듈을 거쳐서 계산된 유효선량이 된다.

2.1.4 후처리 공정

각 복합시나리오에 대하여 GoldSim 기반의 성능평가 모델로부터 계산된 결과는 매 시나리오 평가 후 실행되는 Matlab 기반의 후처리 공정에서 유효선량 분포의 통계분석 및 위험도 계산에 활용되고, 위험도의 변화 추이를 분석함으로써 결과 수렴 시 종료하게 된다.

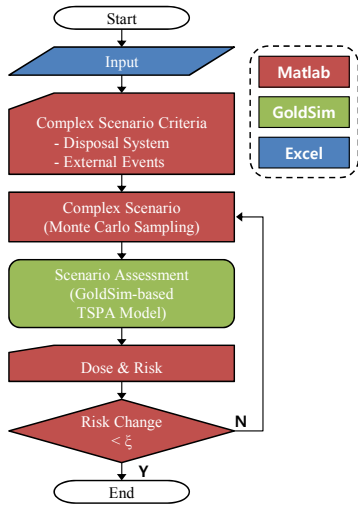


Fig. 1. PAM-AKRSV flowchart.

Performance Assessment Model
for the Vertical Type of Advanced Korean Reference Disposal System
PAM-AKRSV Ver 2.3 (July 2015)

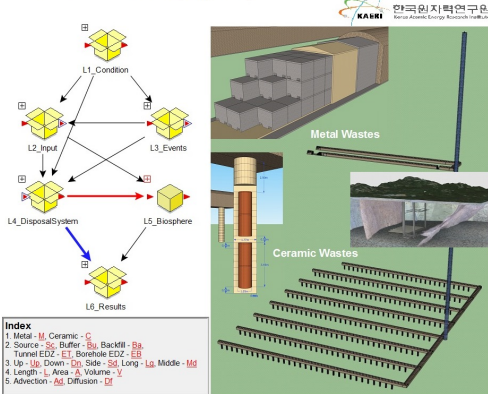


Fig. 2. GoldSim-based performance assessment model for A-KRS.

2.2 계산 예

개발된 모델의 실행을 위해서 A-KRS의 기본조건과 [1]과 [2]에서 평가한 우물침입 및 지진 발생 특성에 근거하여 복합시나리오를 발생시키고 이에 대한 성능평가를 수행하였다. 그 결과 그림 3과 같이 유효선량의 분포를 나타내었고, 0.05 /Sv의 위험도 변환계수를 이용해 위험도가 계산되었다. 그리고, Fig. 4와 같이 계산된 위험도는 계산 빈도가 증가함에 따라 수렴하고 있음을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 방사성폐기물 처분시스템의 복합시나리오를 고려하여 종합성능평가 모델이 개발되었고, 개발된 모델에서 계산 효율이 향상되었음을 확인하였다. 앞으로 사용자 편의성을 향상시키기 위한 추가적인 개선이 이루어질 것이다.

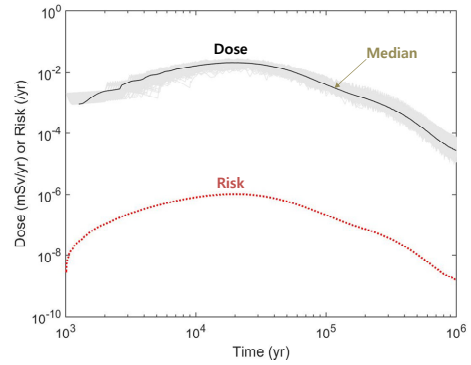


Fig. 3. Results of PAM-AKRSV.

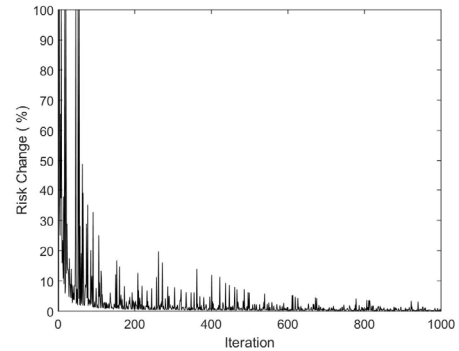


Fig. 4. Distribution of risk change.

4. 참고문헌

- [1] 김정우, 조동건, 고낙열, 정종태, "심지층 처분시스템의 안전성평가를 위한 국내 우물침입 발생 특성 평가", 방사성폐기물학회지, 13(1), 1-10 (2015).
- [2] 김정우, 조동건, 고낙열, 정종태, "심지층 처분시스템의 안전성평가를 위한 국내 지진 발생 특성 평가", 방사성폐기물학회지, 13(2), 87-98 (2015).
- [3] E.J. Seo, C.W. Jeong and S. Sato, "An integrated approach to risk-based post-closure safety evaluation of complex radiation exposure situations in radioactive waste disposal", Journal of Radiation Protection, 35(1), 6-11 (2010).
- [4] J.-W. Kim, D.-K. Cho and J. Jeong, "A methodology for a risk-based approach to complex scenarios in a long-term safety assessment of a radioactive waste repository", Nuclear Engineering and Design, 268, 58-63 (2014).
- [5] J.-W. Choi, D.-S. Bae, S.-H. Ji, G.-Y. Kim, K.-S. Kim et al., "Geological Disposal of Pyroprocessed Waste from PWR Spent Nuclear Fuel in Korea", KAERI/TR-4525, (2011).