

## GoldSim 전산코드를 활용한 핵종누출 모델링

최광순, 박정수, 이병식

한국전력기술(주), 경기도 용인시 기흥구 마북동 360-9번지

[kschoi@kopec.co.kr](mailto:kschoi@kopec.co.kr)

### 1. 서론

GoldSim 전산코드는 미국 DOE, 일본 JNC, 스페인 ENRESA의 기금으로 개발되어 미국 DOE에서 사용후핵연료 처분부지(Yucca Mountain) 인허가에 사용된 이래 방사성폐기물 관리분야에서 광범위하게 사용되고 있는 전산코드이다. GoldSim 전산코드는 객체지향 프로그램으로 방사성폐기물 처분시설의 안전성 평가를 수행하기 위한 Element를 제공하고 있으며, 다양한 핵종 누출 현상을 GUI(Graphic User Interface) 환경을 기반으로 한 Source Term Element의 입력창을 활용하여 손쉽게 모델링이 가능하다. 또한 사용자가 원하는 결과 데이터를 설정하여 실시간으로 확인이 가능하다는 장점이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 GoldSim 전산코드 내의 Source Term Element를 사용하여 처분시설내의 방사성핵종 누출 모델을 구현한 후 추후 국내의 처분시설 안전성 평가에서의 활용 가능성을 파악하였다.

### 2. 본론

방사성폐기물 처분시설에서의 지하수계를 통한 핵종이동 예측을 통해 안전성 평가를 수행할 때 방사성핵종 누출률은 중요한 변수이며, 폐기물 드럼 내 방사성물질이 지하수에 용해되어 누출되는 현상을 모사하기 위해 폐기물 드럼내의 폐기물 유형별 누출 형태에 따라 폐기물 고화체에 대한 폐기물별 핵종 누출모델을 적용한다.

폐기물 고화체 내의 착화합물은 공학적방벽의 흡착능력을 감소시켜 방사성핵종의 유동성을 증가시킬 수 있다. 주요 착화합물로는 셀룰로스 분해화합물 및 EDTA와 같은 제염화합물 등이 있으며 국내 폐기물 고화체의 착화합물은 주로 EDTA이다. 이와 같은 착화합물을 함유하는 폐기물에는 제염화합물을 제거할 때 사용하는 제염지나 셀룰로스 분해화합물 등의 잡고체폐기물이 있다. 이러한 착화합물의 영향을 반영하여 잡고체폐기물 내 방사성핵종은 지하수와 접촉시 전량 순간적으로 누출되지만, 잡고체폐기물과 지하수 사이에 흡착평형(Equilibrium Partitioning)이 존재한다고 가정하는 분배계수 제어 표면유출 모델(Kd-controlled Surface Rinse Model)을 사용한다. 이 모델은 1단계 경주 처분시설에서 사용된 MASCOT 전산코드의 용해도제한 선원항 모델(SLST; Solubility Limited Source Term)과 대응된다. 1단계 경주 처분시설에서는 농축폐액 및 폐필터와 같은 폐기물의 경우에는 보수적으로 SLST 모델을 적용하였으며, 건조된 폐수지에 대해서는 각 핵종의 선속(Flux)은 현재 남아 있는 재고량에 비례한다고 가정한 단순침출 모델(Simple Leaching Model)을 적용하였다. 단순침출 모델에서는 방사성핵종들이 처분 시설 전체에 균일하게 분포되어 있으며 지하수에 용해되어 유출된다고 가정한다. GoldSim 전산코드를 활용한 SLST 모델과 단순침출 모델 구현 절차는 다음과 같다.

#### 가. 핵종 및 핵종 재고량 입력

본 논문에서 구현한 가상 모델에서는 처분 시설내의 핵종 특성을 입력하기 위한 전용 Element인 Species Element를 사용하여 1단계 경주 처분시설과 마찬가지로 14개의 대상핵종을 입력하였으며, 핵종 재고량은 경주 처분시설 중 1번 사일로의 데이터를 사용하였다.

#### 나. 폐기물 드럼 설정

가상 모델에서는 핵종누출모델만을 다루기 때문에 콘크리트 방벽을 비롯한 드럼용기 방벽의 지연 효과는 무시하였으며, 이에 따라 한(1)개의 가상 폐기물 드럼에 14개의 대상핵종이 존재하는 것으로 가정하였다.

#### 다. 핵종 누출 모델 설정

GoldSim 전산코드의 Source Term Element 내의 Source Inventory 입력창에서 핵종 누출 형태를 설정할 수 있다. 드럼 내의 고화체 여부("Bound in Matrix")를 해제할 경우 폐기물 고화체내의 방사성핵종 총 재고량이 지하수와 접촉시 순간적으로 누출되는 SLST 모델에 해당되고, 선택할 경우 방사성핵종은 고화체의 degradation 진행에 따라 점차적으로 누출되는 단순 침출 모델에 해당된다. 또한 단순 침출 모델에서 고화체의 fractional degradation rate를 입력한다면 시간에 따라 일정 분율만큼 누출되는

지수단순침출모델 구현이 가능하고, 수명기간을 입력한다면 수명기간에 걸쳐 핵종이 일정하게 누출되는 선형단순침출모델 구현이 가능하다. 그림 1~3은 3가지 핵종 누출 모델의 Inventory 입력창이다.

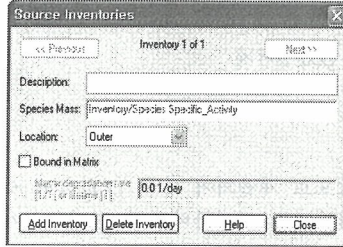


그림 1. SLST모델

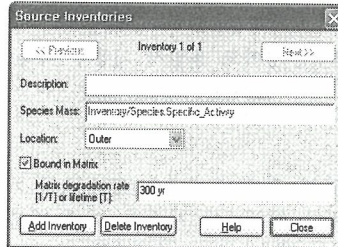


그림 2. 선형단순침출모델

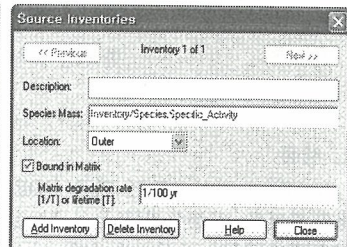


그림 3. 지수단순침출모델

### 라. 결과 분석

가상 모델의 시뮬레이션 기간은 1,000년, 시간간격은 1년으로 설정하였다. 그림 4~6은 시간별 폐기물 드럼 내의 핵종 재고량을 나타낸다. 그림 4. SLST 모델에서는 시뮬레이션 직후 모든 핵종이 바로 누출됨을 알 수 있고, 그림 5. 선형단순침출모델에서는 고화체의 degradation time인 300년에 걸쳐 핵종이 일정한 비율로 누출됨을 알 수 있다. 마지막으로 그림 6. 지수단순침출모델에서는 연간 남아있는 핵종 재고량 중 고화체의 fractional degradation rate인 1/100만큼 누출되며, 이로 인해 폐기물 드럼 내에 존재하는 핵종 재고량은 지수함수의 그래프를 보임을 알 수 있다.

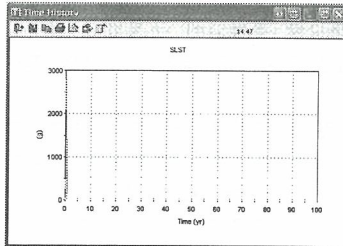


그림 4. SLST모델

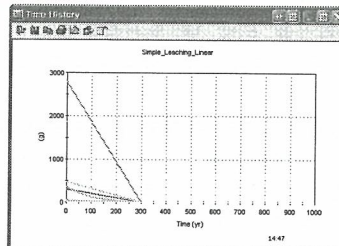


그림 5. 선형단순침출모델

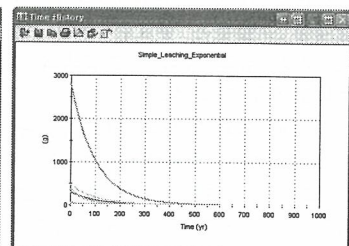


그림 6. 지수단순침출모델

### 3. 결론

GoldSim 전산코드의 Source Term Element를 활용하여 3가지 핵종 누출 모델인 SLST모델, 선형단순침출모델, 지수단순침출 모델을 구현하였다. 이와 같은 핵종 누출 모델은 MASCOT 전산코드도 구현이 가능하다. 그러나 객체 지향적이고 GUI(Graphic User Interface) 환경 기반인 GoldSim 전산코드를 활용할 경우 보다 편리하게 모델 구현이 가능하며 사용자가 확인하고자 하는 결과물을 손쉽게 설정하여 확인이 가능하므로, 향후 국내의 처분시설에 대한 안전성평가에 활용한다면 효과적인 업무 수행이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. GoldSim 홈페이지(<http://www.goldsim.com>)
2. Sinclair, J.E. and Agg, P.J (1994) : MASCOT and MOP Programs for Probabilistic Safety Assessment PART A: Overview, NSSS/R336 AEA-D&R-0476 PART A