

중·저준위 처분 시스템내 킬레이트 영향에 대한 확률론적 민감도 평가

이연명, 정종태, 박주완*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*한국방사성폐기물관리공단, 경기도 용인시 기흥구 중동 848-2

ymlee@kaeri.re.kr

1. 서론

중·저준위 처분시스템에서의 핵종 유출에 관련된 정상 및 사고시나리오 평가를 위한 도구가 상용 프로그램 개발 프로그램인 GoldSim[1]을 이용하여 개발되었다.[2] 불확실성을 줄이고 신뢰도를 향상시키는 것을 목표로 개발된 이 GoldSim 템플릿 코드는 좌표계상으로는 무차원이지만, 핵종의 이동방향을 따라 평가할 수 있는 다차원적인 것으로, 다양한 시나리오를 가능한 한 실질적이고 보다 덜 보수적으로 평가할 수 있도록 해준다. 방사성폐기물 지하 처분 안전성을 평가하는데 있어 지하수에 의한 핵종의 이동은 가장 중요하게 고려되어야 할 메카니즘이지만, 자연 지하수 내에는 산화물이나 수산화물, 유기산, 광물 입자 등 여러 가지의 콜로이드 입자가 존재할 수 있고 대부분의 이러한 콜로이드는 표면에 전하를 띠고 있어 금속 이온 등을 흡착하여 이동을 가속화시킬 수 있다. 콜로이드 입자의 광물 표면에 흡착된 핵종이 매질내에서 여과를 통한 이동의 억제가 되는 경우 결국 이동이 지연되는 경우도 가능할 수는 있지만 그 반대로, 사이즈나 이온간의 배척 등의 메카니즘에 의해 핵종을 가진 콜로이드, 즉 유사 콜로이드의 입자가 보다 큰 균열이나 유속이 큰 경로를 선택적으로 통과하게 되므로 오히려 그 이동이 촉진될 가능성도 있다는 점이 근래에 중요하게 인식되고 있다. 셀루로스 분해화합물 및 EDTA와 같은 제염화학제가 주요 착화물로서 처분된 폐기물내에 폐기물과 함께 처분되어 공존할 수 있는데, 이들도 콜로이드와 마찬가지로 핵종의 이동에 유사한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이와 관련해서는 이전 연구를 통하여 이러한 착화제로서의 chelating agent (킬레이트)는 콜로이드와 화학적으로나 물리적으로 서로 동일한 것으로 간주되어 모델링되었고 이에 대하여 킬레이트가 핵종유출에 미치는 영향을 정량적으로 평가를 수행하여 그림 1과 같은 결과를 얻었다.[3]

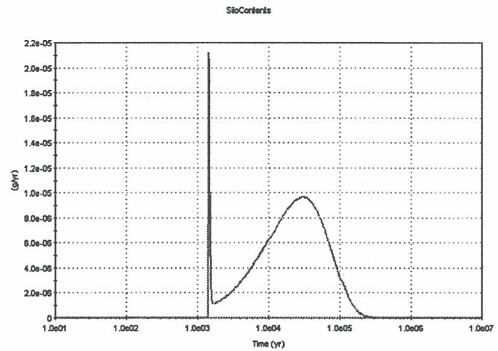


Fig. 1. 처분장으로 부터의 Pu-239의 mass flux(킬레이트 1,000kg이 폐기물내에 존재, 킬레이트에 대한 Pu의 $K_d=1,000m^3/kg$)

이러한 연구를 통해, 콜로이드는 가역적으로 핵종의 흡탈착을 허용하는데 반해 킬레이트는 흡착만을 허용하는 비가역적이라는 성질을 일부 고려하기 위하여 콜로이드와 킬레이트의 반감기를 서로 상이하게 가정하여 모델링하였는데, 이번 연구에서는 이전 연구에 이어 처분시스템에 처분되는 폐기물내에 함유된 킬레이트에 대해 일부 핵종의 흡착계수에 대하여 확률론적으로 그 민감도를 평가해 보았다.

2. 본론 및 토의

그림 2와 3에 HS-31 시나리오에서 Cs-135와 Pu-239에 대한 킬레이트의 확률론적 영향 평가를 위한 GoldSim 모듈을 보였다. 이는 이들 핵종이 킬레이트로의 흡착이 통계적인 분포를 가지고 변하는 경우에 대해, 이러한 K_d 값의 변화에 대해 우물에서의 취수가 이루어지는 대수층 매질내에서 두 핵종의 농도에 대한 변화를 보기 위한 것이다. 두 핵종의 킬레이트로의 흡착에 대한 K_d 값은 삼각분포를 갖는 것으로 가정하여 Cs과 Pu의 K_d 의 대표값이 각각 $1.0 m^3/kg$ 과 $100.0m^3/kg$ 이었을 때 그 통계 분포는 Cs는 K_d 가 각각 $1.0 \cdot Tri(1,10,100) m^3/kg$ 을, 그리고 Pu는 $100.0 \cdot Tri(1,10,100) m^3/kg$ 를 갖는 것으로 가정하여 평가를 수행하였다.

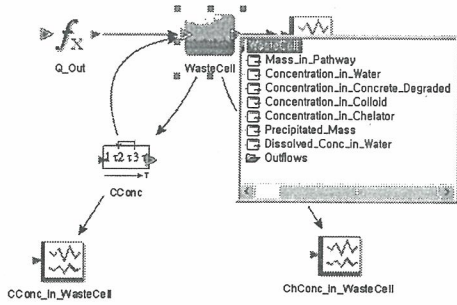


Fig. 2. GoldSim에서의 킬레이트 영향 선원항 모델링

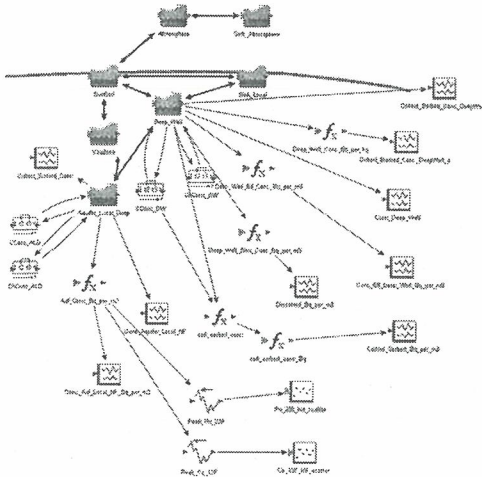


Fig. 3. GoldSim에서의 킬레이트 영향 대수층 및 주변 생태계 모델링

이에 대한 결과를 보기 위해 Latin Hypercube 샘플링 방식을 적용하여 샘플링 갯수를 100개로 하여 확률론적 계산을 수행하여 이에 대한 결과를 그림 4와 그림 5에 Cs-135와 Pu-239에 대하여 킬레이트 부유고체 매질에 대한 이들 Kd값이 통계적으로 변할 때 대수층에서의 농도에 대한 변화로서 보였다. 계산 결과를 보면 킬레이트에 대한 이들 핵종의 Kd가 증가함에 따라 핵종의 농도도 함께 증가하는 것으로 보이긴 하나, 그 민감도가 그리 크지는 않는 것으로 나타나 이러한 킬레이트의 영향은 그리 크지 않는 것으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

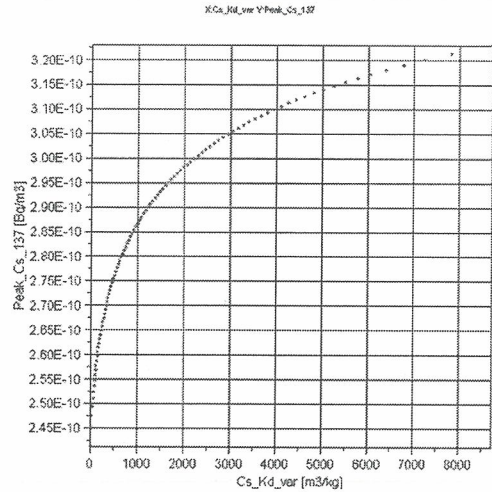


Fig. 4. 킬레이트에 대한 Cs의 Kd값이 변하는 경우 대수층에서의 Cs-137 농도에 대한 변화

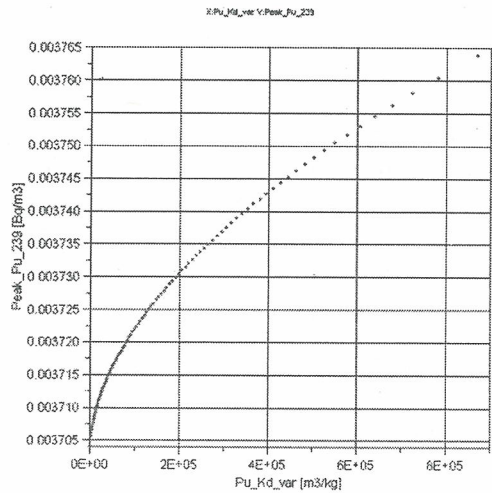


Fig. 5. 킬레이트에 대한 Pu의 Kd값이 변하는 경우 대수층에서의 Pu-239 농도에 대한 변화

3. 참고문헌

- [1] GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 4, GoldSim Technology Group, 2006.
- [2] 이연명 외, 중저준위폐기물 처분 안전성평가를 위한 GoldSim 프로그램 템플릿 개발, 기술보고서 KAERI/TR-4105/2010, 한국원자력연구원, 2010.
- [3] Youn-Myoung Lee et al., A GoldSim Model for Colloid Facilitated Nuclide Transport, Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, Jeju, Korea, October 21-22, 2010.