

## 경주 중·저준위 방사성 폐기물 처분장 부지 내에서의 지하수 유동 및 방사성 핵종 이동 삼차원 수치 모델링

오찬성, 김준모, 유준상\*

서울대학교, 서울특별시 관악구 관악로 599

\*한국수력원자력(주), 서울특별시 강남구 영동대로 411

[oray78@empal.com](mailto:oray78@empal.com)

### 1. 서론

국내에는 현재 울진, 월성, 영광 및 고리 등 총 4개의 원자력 발전소 부지가 있으며, 26개의 원자로 중 현재 20개는 운영 중이고 6개는 건설 중에 있다. 이러한 국내 원자력 발전소의 중·저준위 방사성 폐기물 저장 현황 및 저장 능력은 거의 포화 상태에 도달하였으며, 이에 대한 대책으로 한국수력원자력에서는 2005년부터 2007년까지의 부지 조사 및 안전성 분석을 통하여 월성 원자력 발전소 인근 경주 해안 지역에 중·저준위 방사성 폐기물 처분장을 현재 건설 중에 있다. 본 연구의 목적은 범용 다차원 다성분 수리동역학적 분산 수치 모델인 COFAT3D[1]를 이용한 일련의 수리동역학적 분산 수치 모델링을 통하여 중·저준위 방사성 폐기물 처분장의 건설 및 운영으로 인한 지하수 유동과 염분 및 방사성 핵종 이동을 효과적으로 모사하고 정량적으로 평가하는 것이다. 특히 방사성 핵종 거동 현상을 모사하기 위하여 중·저준위 방사성 핵종 중 대표적인  $Sr^{90}$ 이 방사성 폐기물 처분장 사일로로부터 누출되는 시나리오를 가정하여 장기간의 거동 특성을 수치 모델링하였다.

### 2. 수치 모델링 개요

연구 지역은 경상북도 경주시 양북면 봉길리에 위치하며, 연구 지역의 지질은 하부로부터 백악기 퇴적암과 이를 관입한 제 3기 화강암류 및 화산암류로 이루어져 있으며, 이들 피복하는 제 4기 충적층과 해안 단구층이 계곡과 해안 지역에 국지적으로 분포하고 있다. 이들 백악기 및 제 3기 지층들은 다수의 절리를 포함하고 있으며, 동서, 서북서 및 동남동 방향의 다섯 개의 대규모 수직 단열대(fracture zone)에 의해서 절단되어 있다. 한편 건설이 진행 중인 중·저준위 방사성 폐기물 처분장은 여섯 개의 사일로(silo)와 각각 한 개의 건설 동굴(construction tunnel) 및 운영 동굴(operation tunnel)로 구성되어 있다. 연구 지역의 지질을 대표하고 중·저준위 방사성 폐기물 처분 시설인 사일리와 건설 동굴 및 운영 동굴을 포함하는 삼차원 지층 모델(geologic formation model)을 수립하고 이를 126,540개의 절점과 117,648개의 육면체 요소로 이산화하여 유한 요소망을 생성하였다. 중·저준위 방사성 폐기물 처분장 부지에서의 정상 상태 및 비정상 상태 지하수 유동과 염분 및 방사성 핵종 이동 예측·해석의 정확성과 신뢰성을 높이기 위해서 각 지층의 절리군 간극을 변화시키면서 일련의 trial-and-error 방식의 수치 모델링 보정을 수행하였다.

### 3. 수치 모델링 결과

보정된 정상 상태 수치 모델링 결과를 초기 조건으로 하여 수행한 비정상 상태 수치 모델링 결과, 제안된 처분장이 건설되는 동안의 수리 수두는 사일로, 건설 동굴 및 운영 동굴 주변을 중심으로 크게 감소하는 양상을 보여주며(Fig. 1a), 이로 인해 상기한 구조물로의 염분 침투 현상이 발생하는 양상을 보여주며(Fig. 1b), 특히 투수성 단열대를 따라서 빠르게 침투한다. 이는 지하수 유동 및 염분 이동이 지층 및 단열대의 영향을 받아 그 공간적인 양상이 크게 변하며, 이방성 지층들의 수리지질학적 특성 또한 다공질 암석 기질보다는 절리군들에 의해 더 좌우됨을 시사한다. 한편 제안된 처분장의 운영에 의한 장기간의 비정상 상태 수치 모델링 결과, 지하수에 용해된  $Sr^{90}$ 은 흡착과 붕괴로 인해 처분장 부지 내에서 점차 감소하지만(Fig. 2a), 지하수에 용해된  $Zr^{90}$ 은 사일로 주변에서부터 증가하여 삼차원 기둥(plume) 형태로 지하수 유동을 따라서 해안선 부근의 육상 지표면을 향해 이동하는 양상을 보여준다(Fig. 2b). 마찬가지로 지층에 흡착된  $Sr^{90}$  및  $Zr^{90}$ 은 지하수에 용해된  $Sr^{90}$  및  $Zr^{90}$ 과 선형 등은 흡착을 이루기 때문에 이들과 유사한 양상을 보여준다. 즉 자연 방벽으로서의 처분시설 주변 지층들은 제안된 처분장으로부터 누출된 방사성 핵종의 흡착과 붕괴로 인한 지연 기작을 극대화할 뿐 아니라 그 분산을 최소화하는 데 매우 중요한 역할을 함을 보여준다.

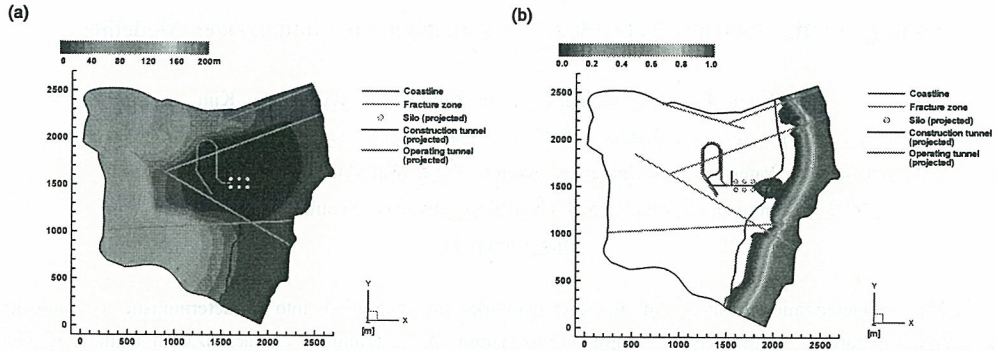


Fig. 1. Two-dimensional horizontal spatial distributions of (a) hydraulic head and (b) seawater-normalized salt concentration at the bottom of the silos ( $z = -130$  m) at the end of construction stage ( $t = 2$  years) of the repository facilities.

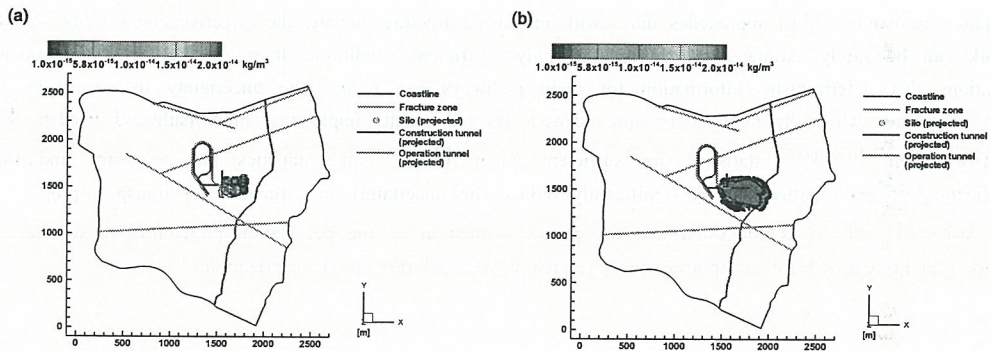


Fig. 2. Two-dimensional horizontal spatial distributions of (a) dissolved  $Sr^{90}$  concentration at the end of operation stage ( $t = 60$  years) and (b) dissolved  $Zr^{90}$  concentration at the start of concrete lining deterioration ( $t = 960$  years) of the repository facilities.

#### 4. 결 론

연구 결과는 수리동역학적 분산 수치 모델링이 실제 중·저준위 방사성 폐기물 처분장의 건설과 운영에 의해 발생하는 일련의 지하수 유동 및 용질(염분+방사성 핵종) 이동을 정량적으로 예측·해석하고 아울러 방사성 핵종의 누출로 야기되는 지하수 시스템 환경 오염 및 생태계로의 유입 가능성과 경로 또는 영향을 합리적으로 진단·평가하는데 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

#### 사 사

본 연구는 한국수력원자력(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Kim, J. M., and Yeh, G. T., COFAT3D: A Finite Element Model for Fully Coupled Groundwater Flow and Solute Transport in Three-Dimensional Saturated-Unsaturated Porous and Fractured Media, Version 1.0, Technical Report, No. GGEL-2004-12, 354 p., Geological and Groundwater Engineering Laboratory, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea, (2004).