

## Mn-Montmorillonite를 이용한 지하수 내 방사성 핵종의 제거: 칼럼 실험

이남경, 박연진, 권미경\*, 신원식, 최상준

경북대학교, 대구광역시 북구 산격동 1370번지

\*한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150-1번지

[lnkyung@knu.ac.kr](mailto:lnkyung@knu.ac.kr)

### 1. 서론

자연적으로 발생되어진 방사성 핵종에 의한 지하수의 오염 사례가 국내외에서 보고되고 있으며, 가까운 장래에 있을 원자력 발전시설의 해체를 통한 지하수의 방사성 오염 및 방사성 폐기물의 저장 용량 포화 상태로 인해 발생할 수 있는 방사성 폐기물로 인한 지하수오염 방지기술 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지하수 오염원으로서의 방사성 핵종(Co, Sr, Cs)을 처리할 수 있는 최적의 투수성 반응벽체(PRB, permeable reactive barrier) 충전 물질을 선정하고, 개발된 충전 물질을 이용하여 현장 모사 실험인 칼럼 실험을 통하여 방사성 핵종으로 오염된 지하수의 처리 기술을 개발하는 것을 목표로 하였다.

### 2. 실험방법 및 결과

본 연구에서는 칼럼을 이용하여 연속식 조건에서의 Mn-PILC(Mn-Montmorillonite Pillared Clay)을 모래와 1:3의 비율로 혼합하여 칼럼에 채운 후 실험을 진행하였다. 망간 산화물을 이용한 Montmorillonite의 개질에는  $MnCl_2$ 와 NaOH가 사용되었다[1,2]. 칼럼에 주입된 방사성 핵종 용액은 자연 상태와 유사한 모의 지하수와 pH 6으로 고정하기 위해 0.05M MES buffer(2-[morpholino]ethanesulfonic acid)를 혼합하여 주입하였다. 단일성분 방사성 핵종 흡착 칼럼실험에서 각 방사성 핵종용액의 농도는 Co 0.5mM, Sr 0.5mM, Cs 0.5mM로, 다성분 방사성 핵종 칼럼실험에서 코발트, 스트론튬, 세슘이 동시에 함유된 용액의 농도는 각 1mM로 제조하였다. 제조된 유입수는 일정한 유량(0.1mL/min)으로 정량펌프를 이용하여 상향(upflow)으로 칼럼에 주입하였고, 배출되는 유출수는 0.2 $\mu$ m membrane filter(Watman, Cellulose Nitrate Membrane Filter,  $\phi$ =0.25mm)를 이용하여 여과한 후 ICP-OES(PerkinElmer Co. Optima 2100DV, USA)를 이용하여 방사성 핵종의 농도를 분석하였다. 각 방사성 핵종의 파과곡선(breakthrough curve) 실험결과와 칼럼 내 방사성 핵종의 전달현상을 설명하기 위해 CXTFIT 모델을 적용하였다. CXTFIT 모델 내 포함된 이동계수, 확산계수 등의 매개변수들을 추정하기 위해 단일 방사성 핵종의 흡착과 다성분 방사성 핵종의 흡착 실험의 데이터를 이용하였다. CXTFIT 모델의 이론 계산치는 비선형 최적화 방법으로 single-region과 two-region 모델로 curve fitting한 결과를 함께 나타내었다[3].

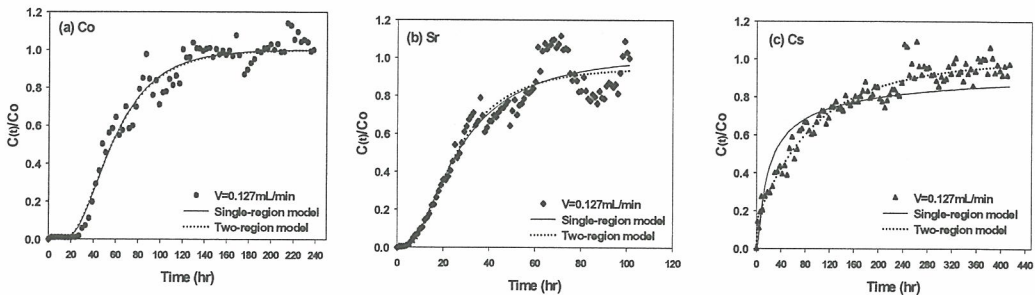


Fig. 1. Breakthrough curves and CXTFIT modeling of single-solute adsorption on Mn-PILC column (a) cobalt, (b) strontium and (c) cesium

단일성분 방사성 핵종에 대한 Mn-PILC 충전 칼럼실험(Fig. 1)에서 코발트, 스트론튬과 세슘의 파과시간( $C_t/C_0=0.05$ )은 각 30시간, 7시간, 1시간으로 나타났다. 각 핵종의 50%의 제거에는 66시간, 28시간, 54시간이 소요되었다. 코발트는 소모점( $C_t/C_0=1$ )이 5.3일, 스트론튬은 2.5일, 세슘은 10일에 이른 이후 초기농도와 유사하게 계속 유출되었다. 코발트, 스트론튬, 세슘 모두 실험결과와 single-region, two-region

모델로 curve fitting한 결과가 서로 잘 일치 하였다( $R^2 > 0.82$ ).

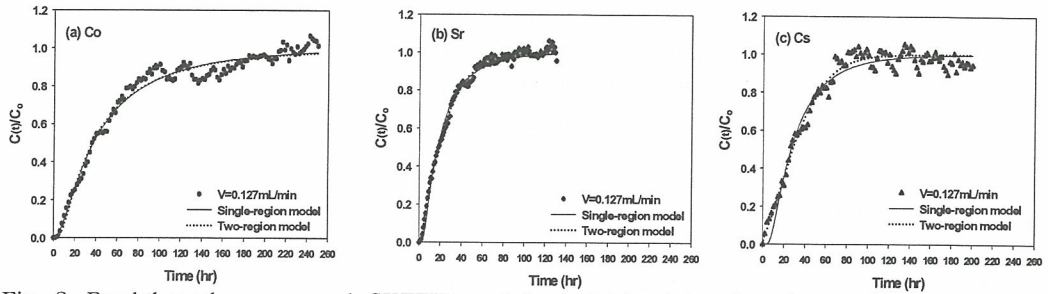


Fig. 2. Breakthrough curves and CXTFIT modeling of tri-solute adsorption on Mn-PILC column (a) cobalt, (b) strontium and (c) cesium

다성분 방사성 핵종에 대한 Mn-PILC 충전 칼럼실험에서 코발트와 스트론튬의 경우 과과시간은 각 7시간, 3시간, 2시간으로 나타났으며 각 36시간, 19시간, 26시간까지 50%의 제거율을 유지하였다. 코발트는 소모점이 9.1일, 스트론튬은 3.7일, 세슘은 3.25일에 이른 이후 초기농도와 유사하게 계속 유출되었다. 코발트, 스트론튬, 세슘 모두 실험결과와 single-region, two-region 모델로 curve fitting한 결과가 서로 잘 일치 하였다( $R^2 > 0.96$ ).

### 3. 결론

단일성분 방사성 핵종 제거 칼럼 실험에서는 스트론튬, 코발트, 세슘 순으로 포화되었다. 다성분 방사성 핵종 제거 칼럼 실험에서는 스트론튬, 세슘, 코발트 순으로 포화되었다. 단일성분 방사성 핵종 제거 실험에서는 용액의 농도를 0.5mM로 제조하여 수행 한 것에 비해 다성분 방사성 핵종 용액은 1mM의 농도로 제조하여 더 빠른 시간에 과과점에 도달 했다. 따라서 본 연구를 통해 방사성 핵종으로 오염된 지하수 처리에 Mn-PILC를 적용 하는 것이 적합하다고 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] Khraisheh, M. A. M., Al-degs, Y. S., Mcminn, W. A. M., Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite, Chem. Eng. J., 99(2), 177-184, 2004.
- [2] Al-degs, Y., Khraisheh, M. A. M. and Tutunji, M. F., Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite, Wat. Res., 35(15), 3724-3728, 2001.
- [3] N. Toride, F. J. Leij, and M. Th. van Genuchten, The CXTFIT Code(version 2.1) for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments, Research Report No. 137, 1995

### 사사

본 연구는 한국연구재단(교육과학기술부)의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다 (과제번호: M20709005401-07B0900-40110).