

현장 용질이동 실험에서 회수유량에 따른 비반응성 추적자와 콜로이드의 이동 특성

이태엽, 이재광, 백민훈, 정종태

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

tvlee@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물처분장에서 유출된 핵종은 지하수를 따라 이동하며 여러 가지 작용에 의해 지연되거나 가속화된다. 특히 벤트나이트 콜로이드와 핵종이 결합하여 이동함에 따라 핵종 이동이 가속화된다고 보고되었다[1,2]. 이런 지하수와 콜로이드의 이동을 규명함으로써 유출 형태와 유출 시간 등을 평가하는데 자료로 활용할 수 있을 것이다. 국제적인 연구추세에 맞추어 한국원자력연구원에서는 처분 환경과 유사한 조건에 대한 종합적인 처분 안전성 실증 자료를 확보하기 위하여 2006년 한국원자력연구원 부지 내에 소규모의 지하처분연구시설(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)을 건설하여 현재 활발한 현장실험들을 수행 중이다.

본 연구에서는 KURT에 존재하는 단열을 대상으로 회수유량에 변화에 따른 비반응성 추적자 및 콜로이드의 이동에 대한 이동 특성 자료를 구축하고자 현장 콜로이드 이동 실험을 수행하였다.

2. 실험방법 및 재료

현장 콜로이드 이동실험은 KURT 시추공 중 단열의 연결성이 확인되어진 YH 3-1과 YH 3-2 시추공의 단열에서 수행하였다. 지하수위 구배에 따라 YH 3-2를 주입공으로 하고 YH 3-1를 회수공으로 설정하였다. 현장 실험의 추적자는 비반응성 용질과 두 종류의 형광 라텍스 콜로이드를 혼합 추적자로 조제하여 사용하였다. 비반응성 용질로는 fluorescein sodium 또는 rhodamine을, 그리고 라텍스 콜로이드를 사용하였다. 라텍스 콜로이드는 형광 콜로이드인 Blue CML (Blue, $\Phi=1\mu\text{m}$)와 Nile Red (Red, $\Phi=0.34\mu\text{m}$) 라텍스 콜로이드를 사용하였다. 자세한 실험조건을 Table 1에 요약하여 나타내었다. 회수한 지하수 중 혼합 추적자의 fluorescein sodium과 rhodamine 농도 분석은 UV-Vis 분광광도계를, 라텍스 콜로이드 분석은 형광광도계를 각각 사용하였다.

Table 1. Experimental Conditions for In-situ Tracer Test.

Run	Tracer	Q_{in} (mL/min)	Q_{out} (mL/min)	Conc. (ppm)
1st	Fluorescein sodium	20	400	2,000
2nd	Fluorescein sodium Latex colloid	20	400	1,000 500
3rd	Rhodamine Latex colloid	20	200	1,000 500

3. 실험 결과 및 토의

비반응성 용질만 추적자로 한 1차 주입 시험을 통하여 얻어진 초기 유출시간, 최대 유출 농도, 그리고, 누적 회수율 등에 대한 자료를 통하여 해당 실험구간의 단열에 대한 기본 특성을 확인하였다 (Table. 2).

비반응성 용질과 라텍스 콜로이드를 혼합하여 추적자로 사용한 2차 주입에서는 초기농도에 대한 유출농도비인 C/C_0 가 같은 시간에 최대를 보이고 있다. 그러나, 비반응성 용질은 약 24시간동안 추적자가 회수되었지만, 라텍스 콜로이드 경우 최대 8시간 이전에 회수가 완료되었다. 라텍스 콜로이드 Red와 Blue의 경우도 콜로이드 크기가 큰 Blue는 약 8시간까지 유출되었지만 크기가 작은 Red는 약 4.5시간에 유출을 완료하였다. 회수율도 Red가 Blue보다 더 높게 나타난다(Table 2, Fig. 1).

회수유량을 200 mL/min으로 감소시킨 3차 주입에서는 비반응성 용질과 라텍스 콜로이드 모두 2차 주입 때 보다 추적자가 유출되는 시간이 상대적으로 길게 나타났다. 회수유량을 감소시킨 3차 주입시험에서 비반응성 용질의 회수시간은 약 4배 증가한 반면, 라텍스의 회수시간은 1.5배 정도 증가하였다. 최대 C/C_0 역시 라텍스 콜로이드가 비반응성 용질보다 빠르게 나타났다. 이는 콜로이드의 이동이 가속화 되어 지하수를 모사한 비반응성 용질보다 빠르게 유출되는 것으로 생각할 수 있다. 3차 주입시험에서 Blue 콜로이드의 회수율이 1.7%로 아주 낮게 나타났는데, 이는 Blue 콜로이드가

평균 입경이 1 μm 로 상대적으로 입자가 크기때문에 균열암반을 통해 이동할 때 여과(filtration)의 영향을 받은 것으로 추측된다(Table. 2, Fig. 2).

Table. 2. Results of Tracer Test for 1st, 2nd and 3rd Run.

Run	Tracer	Maximum C/C ₀	Maximum C/C ₀ time	Detection time	Recovery (%)
1st	Fluorescein sodium	1.05×10^{-2}	1.5	32.98	92
	Fluorescein sodium	1.35×10^{-2}	1.25	23.8	55
2nd	Latex colloid Red	1.64×10^{-2}	1.25	4.55	53
	Latex colloid Blue	1.03×10^{-2}	1.25	7.91	36
3rd	Rhodamine	3.2×10^{-4}	4.4	88.56	36
	Latex colloid Blue	1.4×10^{-4}	2.5	11.56	1.7

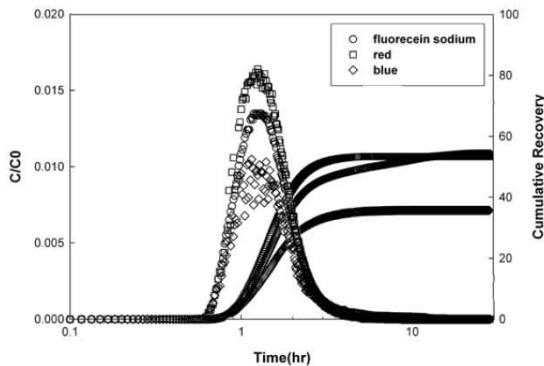


Fig. 1. Breakthrough and recovery curves of fluorescein sodium and latex colloids in 2nd run.

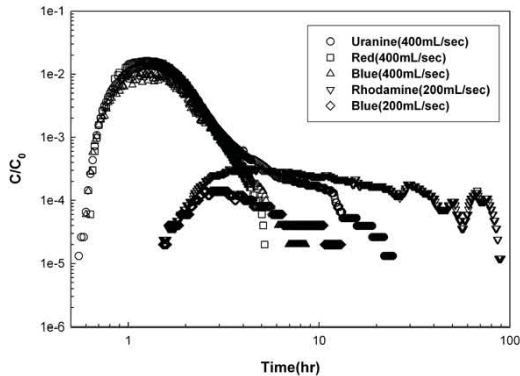


Fig. 2. Breakthrough curves of fluorescein sodium, rhodamine and latex colloids in 2nd and 3rd run.

4. 결론

한국원자력연구원 지하연구시설에서 비반응성 용질과 라텍스 콜로이드를 혼합 추적자로 사용하여 현장 용질 및 콜로이드 이동실험을 수행하였다. 라텍스 콜로이드는 짧은 시간에 집중적으로 이동하는 반면 비반응성 용질은 오랜 시간동안

유출되었다. 회수유량을 400ml/min으로 실험을 수행하였을 때는 비반응성 용질과 라텍스 콜로이드의 최고 농도가 유출되는 시간은 같았지만, 회수유량을 200ml/min으로 감소시켰을 때는 라텍스 콜로이드가 비반응성 용질보다 더 빨리 이동하는 경향을 보여주었다. 이는 심부 처분환경에서 형성되는 콜로이드가 유출된 핵종과 결합하여 유사 콜로이드가 형성이 되면 핵종의 이동이 가속화되는 것을 시사한다.

본 연구를 통하여 처분환경과 유사한 조건에서 콜로이드의 이동 특성을 확인하였으며, 향후 보다 다양한 시험 조건, 즉, 주입 및 회수 유량, 콜로이드 입자 크기 등의 변화에 대한 시험 수행이 요구된다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

6. 참고문헌

- [1] A. Möri, W. R. Alexander, H. Geckeis, W. Hauser, T. Schäfer, J. Eikenberg, Th. Fierz, C. Degueldre, T. Missana., The colloid and radionuclide retardation experiment at the Grimsel Test Site: influence of bentonite colloids on radionuclide migration in a fractured rock, Colloids and Surfaces A, 33~47 (2003).
- [2] G. Kosakowski, Anomalous transport of colloids and solutes in a shear zone, J. Cont. Hydrol. 72, 23-46 (2004).