

Citric acid-water 혼합시스템에서 Sr^{2+} 의 흡착특성
Sorption Kinetics of Sr^{2+} in Citric Acid-Water systems

김계남·김진완*·한운우*·원휘준·오원진

한국원자력연구소 핵연료주기폐기물처리기술개발팀

*대전대학교 환경공학과

ABSTRACT

Soil decontamination process was conducted to study adsorption and modeling characteristic of Sr^{2+} ion using citric acid and water system with TRIGA soil. When the concentration of citric acid was increased, the BTC of Sr^{2+} ion was to be closed to the BTC of 3H_2O at experiments of soil adsorption. Beside, when the concentration of citric acid was under 0.01M Sr^{2+} ion, BTCs was asymmetry. It was characteristic of nonequilibrium adsorption. R and K_p were decreased to be increased the concentration of citric acid. Asymmetry modeling was nearly the same to be compare with symmetry modeling in decontamination process, when the concentration of citric acid was decreased. Result of experiment was agree with asymmetry and symmetry model, when the concentration of citric acid was increased.

I 서론

원자력발전소, 시험용원자력시설, 원자력연구시설 등의 가동, 해체, 그리고 사고 시, 원자력시설 주변의 토양은 우라늄, 코발트, 스트론튬, 그리고 세슘 등의 방사성 핵종으로 오염될 수 있다. 이 오염물의 이동 및 흡착현상을 예측하기 위해서는 모델링이 필요하며 현재 평형모델과 비평형 모델이 사용되고 있다. 본 연구에서는 Solvent로 Citric acid를 사용하여 Sr^{2+} 이온으로 오염된 토양을 제염 시, 제염특성을 알아보고, 그에 따른 모델의 특성을 연구했다.

II. 실험 장치와 방법

가. 재료와 방법

본 연구에서 오염물로 사용한 Sr^{2+} 이온은 방사성 핵종들 중에 많은 부분을 차지하

므로 이들의 특성과 관계를 파악하기 위해 선택했으며 Citric acid는 제염 후 폐수처리보다 EDTA보다 용이한 걸로 알려져 있기 때문에 이를 용매로 사용하였다. 실험에 사용된 TRIGA 토양은 음지에서 건조한 후 1.18mm 토양체를 통과시켜 사용하였다. 토양의 pH는 토양과 증류수의 비를 1:5로 하여 pH meter로 측정하였고, pH는 7.3이었다. 유기물 함량은 2.42%로 Walkley-Black법으로 측정하였다. TRIGA 토양은 우리나라 원자력시설이 대부분 사질 암반 위에 있기에 이들 특성을 대변하기 위해서 사용하였다.

나. 실험장치와 기술

1. 흡착실험

방사성 핵종의 흡착특성을 Solvent Flushing방법으로 연구하기 위해 다음과 같은 장치를 제작했다. TRIGA 토양을 지름이 6cm, 길이가 12cm인 원통에 건조 압축하였다. 압축된 컬럼의 밀도와 공극율은 각각 1.65g/cm^3 와 0.36이다. 0.01M Sr^{2+} 과 다양한 농도의 Citric acid(0.0, 0.01, 0.1M)를 저장용기에 넣고 압력펌프를 통과시켜 평균 1.0kgf/cm^2 의 압력으로 가압시킨다. 압력계이지는 토양컬럼에 가해지는 오염물의 압력을 측정한다. 가압된 오염물은 토양에 흡착된다. 컬럼 유출수를 집수하여 AAS(Atomic Absorption Spectroscopy)로 분석한다.

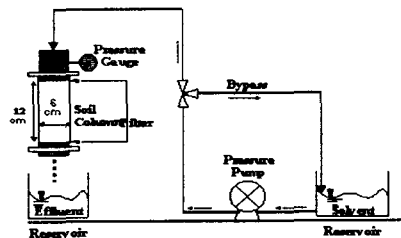


Fig. 1. Apparatus for solvent flushing

2. 제염실험

Fig. 2와 같은 장치에 0.01M의 Sr^{2+} 이온으로 오염된 토양을 압축한 후, 다양한 농도의 Citric acid(0.0, 0.01, 0.1M)를 저장 용기에 넣고 압력펌프를 통과시켜 평균 1.0kgf/cm^2 의 압력으로 가압시킨다. 압력계이지는 토양컬럼에 가해지는 오염물의 압력을 측정한다. 가압된 오염물은 토양에 흡착된다. 컬럼 유출수를 집수하여 AAS(Atomic Absorption Spectroscopy)로 분석한다.

III 결과 및 고찰

가. 흡착 실험

각 농도별 Citric Acid를 Sr^{2+} 이온으로 오염된 토양 컬럼에 통과시키고 Effluent에서 Sr^{2+} 이온농도를 측정하여 Fig 2와 같은 BTCs(Breakthrough Curves)를 나타내었다. Citric Acid의 농도가 증가함에 따라 Sr^{2+} 이온의 BTCs가 비흡착물질로 사용된 3H_2O BTC에 점차 가까워지는 것을 볼 수 있다. Citric acid의 농도에 따른 BTCs는 모두 비대칭형을 이루지만, Tritiated Water의 BTC는 대칭형이다. 비대칭형 모양은 비평형흡착의 특성을 나타내는 것이다.

Retardation factor, R은 다음 식에 의해 구할 수 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

$$R = \int_0^{P_{max}} 1 - C^* dp$$

여기서, P_{max} 는 컬럼을 통과한 총 공극부피이며 C^* 는 초기유입농도와 Effluent 농도의 비이다(C/C_0). P는 공극부피이다. 구해진 R값은 다음 식에 의해서 평형흡착계수를 구할 수 있다($K_p=(R-1)\theta/\rho$). 여기에서, θ 는 공극율이고, ρ 는 토양의 dry bulk density이다. 각 용매 혼합물의 R값과 K_p 값을 Table 1에 나타냈으며, Citric acid의 농도가 커질수록 R과 평형흡착계수가 감소하는 것을 나타낸다.

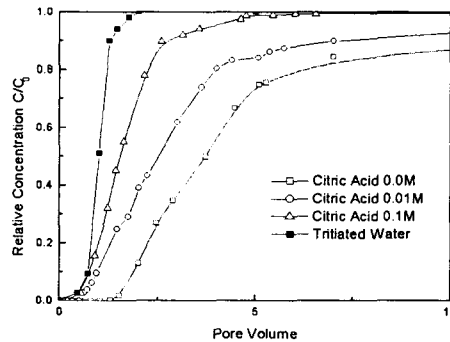


Fig. 4. Breakthrough curves for Sr^{2+} displacement through TRIGA soil column.

Table 1. Effect of Citric Acid on R, K_p in TRIGA soil.

Citric Acid, M	R	K_p
0.0	6.12	1.12
0.01	3.205	0.48
0.1	1.535	0.12

나. 제염 실험

Fig. 2에서 Citric acid의 농도가 감소할수록 비대칭이 증가하며 비평형성이 증가함을 밝혔다. Fig. 3에는 오염된 토양을 주어진 농도의 Citric acid로 제염했을 경우, Sr^{2+} 이온의 BTCs를 나타내었다. Fig. 3의 A는 Citric acid 0.0M로 오염된 토양을 제염했을 경우이며 평형모델보다는 비평형 모델이 실험값에 일치하는 것을 볼 수 있다.

C의 경우, 비평형 모델과 평형 모델 모두 실험값에 상당히 일치하였다. 또한 Citric acid의 농도가 증가할수록 대칭성이 증가하며 평형에 가까워진다는 것을 나타낸다.

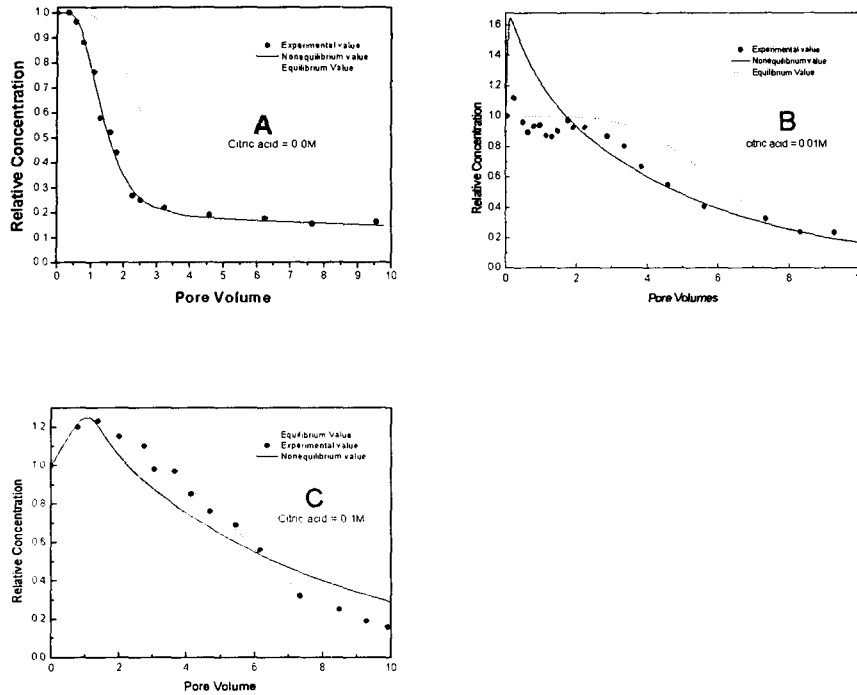


Fig. 3. Sr^{2+} breakthrough curves at varying concentration of Citric acid

III 결론

TRIGA 토양을 채취하여 Column실험을 수행한 결과 Citric acid의 농도가 증가할수록 tracer로 사용된 $^3\text{H}_2\text{O}$ 의 BTC에 가까워졌다. 또한 Citric acid의 농도가 0.01M이하일 경우의 BTCs가 비평형흡착의 특성을 나타내는 비대칭을 나타냈다. R과 K_p 는 Citric acid의 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 나타내었다. 오염된 토양의 제염실험에서는 Citric acid의 농도가 낮을수록 평형 모델보다 비평형 모델이 실험값에 더 가까웠으며, 농도가 높을수록 비평형 모델과 평형모델 모두 실험값에 상당히 일치하였다.

IV 참고문헌

1. Rao, P. S. C. Ph. D. Dissertation, Xerox University Microfilms, Ann Arbor, MI, 1974
2. van Genuchten, M. Th.; Parker, J. C. soil sci. Soc. Am. J. 1984, 48, 703-708