

## Fe<sup>0</sup>과 계면활성제를 이용한 PCE의 탈염소화 반응에 관한 연구 Dechlorination of PCE Using Zero-Valent Iron and Surfactants

조현희 · 박재우

이화여자대학교 국가지정 지하환경연구실

### ABSTRACT

In-situ treatment technologies have been proposed to transform or remove pollutants from contaminated groundwater. Zero-valent iron(Fe<sup>0</sup>), metallic iron, is being evaluated as a permeable reactive material to retard the transport of wide array of highly mobile contaminants in groundwater. In this research, tetrachloroethylene(PCE) dechlorination by powdered zero-valent iron in buffered aqueous solution was studied with and without the presence of surfactants. The rate of dechlorination of PCE by zero-valent iron with surfactant was much higher than without surfactant. The presence of surfactant increased the apparent rate of dechlorination because the surfactants influenced the dissolution of PCE into the aqueous phase.

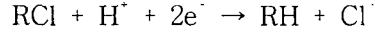
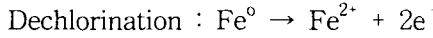
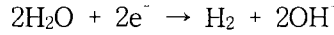
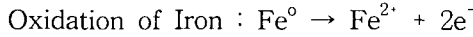
**Key words** : Zero-valent iron, dechlorination, surfactant, dissolution

### I. 서론

주유소나 공장 등에 위치한 유류 및 위험물 저장 탱크 등으로부터 유출되는 유해 물질에 의해 토양과 지하수는 오염된다. 특히, 인간에게 위해성이 큰 것으로 알려져 있는 유기 염소계 화합물(예, PCE와 TCE)이 누출되면 지하수의 광범위한 오염을 야기하게 된다. 지하 환경오염이 이러한 오염물질로 주를 이루고 있을 때 이들을 제거하는 기술로서 Fe<sup>0</sup>를 이용한 반응층 기술이 도입될 수 있으며, PCE의 경우 TCE로 탈염소화되고 최종적으로 vinyl chloride(VC)와 ethylene으로 된다. Fe<sup>0</sup>을 이용한 화학적 처리 기술은 경제성과 적용성에서 특히 주목을 받고 있어 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 이 방법의 잇점으로는 값이 싸고 빨리 이용할수 있으며, 독성이 없

고 특히 유기 염소계 화합물을 빠르게 분해할 수 있다는 것을 들 수 있다.

$Fe^0$ 에 의한 화학적 메카니즘을 물에 의한 철의 산화반응과 탈염소화 반응으로 다음과 같이 나뉘볼 수 있다.



토양과 지하수가 오염된 경우 복원 방법으로서 계면활성제를 이용하는 토양 세척법 (Soil Washing Treatment)과 토양에 계면활성제를 투입하여 고정화 지역을 설정하여 상부로부터 유입되는 유기 오염 물질을 잡아두는 고정화 (immobilization)방법을 들 수 있다. 이 두 가지 기술을 복원 방법으로 이용하는 경우, 계면활성제의 지하수로 유입이 불가피 하게 되고, 지하 환경에 반응층이 있는 경우에 유기오염물질과 함께 유입될 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은  $Fe^0$ 을 이용하여 유기염소계 화합물인 PCE의 탈염소화 반응이 일어날 때 여러 가지 계면활성제를 첨가가 PCE의 탈염소화 반응 속도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 보고자한 것이다.

## II. 실험 방법 및 분석

### 1. 연구재료

본 연구에서는 Junsei사에서 구입한 100 mesh  $Fe^0$ 을 1N HCl로 산세척을 하여 사용하였으며 철의 표면적을 확인하기 위하여 BET 방법(Micrometrics, ASAP 2000)으로 측정해 보았다. 계면활성제는 양이온, 음이온, 그리고 비이온성 세가지를 사용하였는데 양이온성 계면활성제로는 cetylpyridium chloride (CPC)와 음이온성 계면활성제로는 sodium dodecylbenzene sulfonate (SDDBS)로서 모두 Aldrich사에서 구입하였으며, 비이온성 계면활성제로는 에서 구입한 Triton X-100을 사용하였다. 유기 염소계 화합물로는 Fisher사에서 구입한 tetrachloroethylene (PCE, 순도 99%)를 사용하였다. 완충용액으로는 3-(N-morpholino)propanesulfonic acid (MOPS)를 사용하였다.

### 2. $Fe^0$ 과 계면활성제를 이용한 PCE의 탈염소화 실험

40 mL glass vial에 1g의 철을 넣은 후 20 mL의 완충용액을 첨가한다. 완충용액은 초기 pH를 7로 맞추는 20mM의 MOPS를 사용하였다. 각각의 계면활성제를 CMC 이하와 이상의 여러 농도로 채운 후 PCE 2 $\mu$ l를 주입한 후 20 $\pm$ 5 $^\circ$ C에서 250 rpm으로

교반시켰다. 시간별로 채취한 시료는 0.1 $\mu$ m inorganic membrane filter (Whatmann사)로 여과한 후 UV가 장착된 HPLC (515-HPLC pump, Waters사)로 220 nm에서 분석하였다. 사용된 컬럼은  $\mu$ -bondapak C18 reverse phase 컬럼(3.9 $\times$ 300 mm) 이었으며, 이동상은 아세토나이트릴(CH<sub>3</sub>CN) : 물(H<sub>2</sub>O) = 1:1 로 하였으며 유속은 1.8 ml/분으로 15분 동안 흘려주었다. 등은 흡착 실험은 TOC (TOC-500 analyzer)를 이용하여 분석하였다. 모든 실험은 두 번이상 반복하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. Fe<sup>0</sup>에 계면활성제의 흡착 실험

세가지 종류의 계면활성제를 CMC기준으로 이하와 이상의 농도로 하여 0가의 철에 흡착실험을 하였다. 0가의 철이 수용액상태에서는 2가의 철로 산화되므로 양이온성, 음이온성과 비이온성 계면활성제의 종류에 따라 다른 양상을 보였다. Fig. 1은 비이온성 계면활성제인 Triton X-100의 등은 흡착 곡선을 보여주고 있는데, 이것은 등은 흡착식 Langmuir 형태를 보여주고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 Triton X-100의 농도는 150 mg/L 이하로서 이 농도에서는 철에 대한 흡착량이 적음을 알 수 있다.

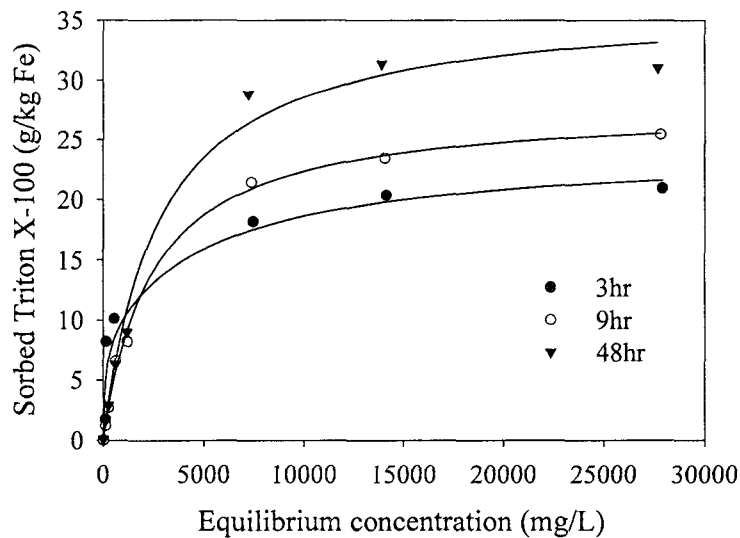


Fig. 1. Sorption isotherm of Triton X-100 on Fe

#### 2. Fe<sup>0</sup>과 계면활성제를 이용한 PCE의 탈염소화 실험

Fig. 2는 control과 Fe<sup>0</sup>만 있을 때, Fe<sup>0</sup>과 계면활성제가 같이 존재할 때에 PCE의

탈염소화를 보여주고 있다.  $Fe^0$ 이 없을 때는 수용액 중 PCE의 농도가 초기 농도와 별 차이가 없었지만  $Fe^0$ 이 존재할 때는 PCE의 농도가 급속히 감소함을 알 수 있다. 또한  $Fe^0$ 만 존재할 때보다  $Fe^0$ 과 Triton X-100이 같이 존재할 때는 탈염소화 속도가 더욱 빨라졌음을 알 수 있다. 이것은 계면활성제인 Triton X-100에 의해 PCE의 dissolution이 빨라지기 때문이고, Triton X-100의 농도가 CMC이상인 150 mg/L에서 PCE가 분해되는 속도가 가장 빠른 것으로 보아 PCE가 물속으로 직접 용해되는 것보다 계면활성제의 micelle로 녹아 들어가는 것이 훨씬 빨라서 PCE 탈염소화 반응에 영향을 미침을 알 수 있었다.

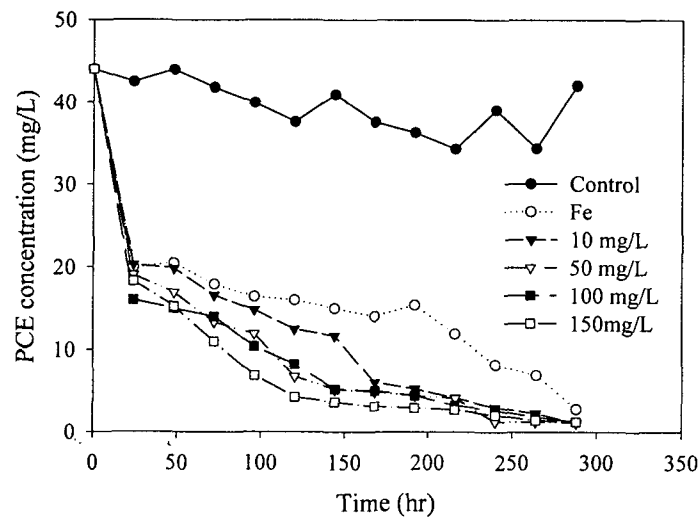


Fig. 2. Dechlorination of PCE using  $Fe^0$  with and without Triton X-100.

#### 참 고 문 헌

1. Matheson, L. J. and Tratnyek, P. G., 1994, "Reductive Dehalogenation of Chlorinated Methanes by Iron Metal", *Environ. Sci. Technol.*, 28(12): 2045~2053.
2. Roberts, A. L., Totten, L. A., Arnold, W. A., Burris, D. R., and Campbell, T. J., 1996, "Reductive Elimination of Chlorinated Ethylenes by Zero-Valent Metals", *Environ. Sci. Technol.*, 30(8): 2654~2659.
3. Orth, W. S. and Gillham, R. W., 1996, "Dechlorination of Trichloroethene in Aqueous Solution Using  $Fe^0$ ", *Environ. Sci. Technol.*, 30(1): 66~71.
4. Sayles, G. D., You, G., Wang, M., and Kupferle, M. J., 1997, "DDT, DDD, and DDE Dechlorination by Zero-Valent Iron", *Environ. Sci. Technol.*, 31(12): 3448~

3454.

5. Dombek, T., Dolan, E., Schultz, J., and Klarup, D., 2001, "Rapid reductive dechlorination of atrazine by zero-valent iron under acidic conditions", *Environmental Pollution*, 111: 21~27.