

Biobarrier를 이용한 PCE의 환원적 탈염소화시 진지공여체의 영향

Effect of electron donor for reductive dechlorination of PCE using biobarrier

황보현욱, 신원식*, 김영훈**, 송동익,

경북대학교 화학공학과 · 금오공과대학교 환경공학과* · 부산가톨릭대학교 산업환경시스템학부**
(E-mail: wshin@kumoh.ac.kr)

Abstract

The applicability of in situ microbial filter or biobarrier technology for the remediation of soil and groundwater contaminated with chlorinated solvents was investigated. The efficiency and rates of reductive dechlorination of chlorinated solvents are known to be highly dependent on hydrogen concentration. In this study, the effect of electron donors on the reductive dechlorination of PCE was investigated using vermicompost (worm casting) and peat as permeable reactive barrier medium. The effect of organic acids (lactate, butyrate and benzoate), yeast extract and vitamin B₁₂ on the reductive dechlorination was investigated. Compared to the control (no electron donor added), addition of electron donors stimulated the dechlorinated rate. Among the electron donor treatments, lactate/benzoate amendment exhibited the highest dechlorination rate. Since vermicompost and peat are inexpensive and biodegradable and have high sorption capacity, they could be successfully used as biobarrier media, especially when electron donors (for example, lactate/benzoate) are added.

Key words : biobarrier, biodegradation, PCE, electron donor, vermicompost, pahoek peat.

1. 서 론

산업화와 더불어 유기용매의 사용이 증대되어 왔으며 그에 따른 토양 및 지하수의 오염은 매우 심각한 실정이다. 특히 염소가 붙어 있는 유기용매들(PCE, TCE, DCP, HCB, PCB 등)은 대부분이 발암성 이므로 그 피해가 심각하다. 이들 염소성 유기용매에 의해 오염된 토양 및 지하수의 복원을 위한 원위 치 미생물 필터의 적용은 최근 들어 연구되고 있는 분야이다. 저렴한 복원 공법 중의 하나는 오염된 수층(aquifer)에 침투성의 미생물 필터 또는 반응벽체(reactive barrier)을 설치하는 것이다. 기본적인 개념은 오염된 지하수가 이 침투성의 미생물 필터를 통과함에 따라 오염물질을 분해하는 것이다. 이러한 미생물 필터에 의한 생물학적인 복원의 기본적인 설계는 흡착의 증가와 생분해 속도의 증가에 의존한다. 이러한 보다 적극적인 개념의 복원 기술은 기존의 펌핑(pumping) 또는 air sparging과 같은 공법에

비해 유지비용이 적으며, 원위치 처리가 가능하고, 설치비용이 저렴한 점등의 많은 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 투과성 반응 벽체로 적합한 매체를 개발하고, Biobarrier를 이용한 혐기성 조건 하에서의 PCE의 분해에 있어서 전자공여체의 영향을 알아봄으로써 효율적인 환원적 탈염소화에 필요한 최적조건을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

환원적 탈염소화의 효율 및 속도는 전자공여체로 작용하는 수소농도에 의존하는 것으로 알려져 있다. 수소 농도를 증가시키기 위한 lactate, butyrate, benzoate 등의 유기산의 첨가와 yeast extract, vitamin B₁₂를 촉매로 사용한 탈염소화의 활성화에 관한 실험을 행하였다. 이 실험에서는 흙착제로 분변토 (vermicompost)와 pahokee peat을 사용하여 염소계 유기용매인 PCE의 혐기성 조건하에서의 환원성 탈염소에 의한 생분해 과정을 살펴보았다. 본 실험에 앞서 흙착제를 넣지 않은 culture실험을 우선 행하였다 (Table 1 참조).

혐기성조건의 유지를 위해 glove bag내에서 모든 실험을 행하였고, Hungate 방법을 이용하여 microcosm 실험을 행하였다. 본 실험에서는 160mL의 crimp-top serum bottle을 사용하며 유리용기에의 흙착을 최소화하기 위해 teflon-faced septa를 사용하였다. 혐기성 미생물의 식종은 하수종말처리장에서 채취한 혐기성 소화 슬러지를 사용하였다.

Culture 실험에서는 전자공여체(electron donor), yeast extract, vitamin B₁₂의 영향을 알아보기 위해 다음과 같이 행하였다.

Table 1. Experiment protocol for anaerobic reductive dechlorination of PCE.

Treatment	Electron donor	Yeast extract	Vitamin B12
A	None (abiotic, killed control)	-	-
B	None (biotic control)	-	-
C	None	20 mg/L	0.05 mg/L
D	Lactate (3mM)	-	-
E	Lactate (3mM)	20 mg/L	-
F	Lactate (3mM)	-	0.05 mg/L
G	Lactate (3mM)	20 mg/L	0.05 mg/L
H	Butyrate (3mM)	20 mg/L	0.05 mg/L
I	Lactate / Benzoate (1.5mM each)	20 mg/L	0.05 mg/L

Glove bag에 모든 시료와 장치를 넣은 후 무산소 N₂ gas로 여러번 purging한 다음 혐기성 조건의 유지를 확인하기 위하여 resazurin 0.5mg/L를 첨가하였다. Treatment A의 killed control 실험은 HgCl₂ 250mg/l, NaN₃ 500mg/L를 첨가하여 행하였다. Serum bottle에 각각의 treatment에 따른 모든 시료들과 medium을 Hungate 방법을 사용하여 넣은 후에 cap으로 밀봉하였다. PCE 초기농도는 10ppm으로 하였으며, 20ml의 혐기성 소화 sludge를 첨가하였으며 total liquid volume을 120ml로 하여 실험하였다.

배지는 NH₄Cl(400mg/L), KCl(400mg/L), MgCl₂ · 6H₂O(400mg/L), (NH₄)₂HPO₄(80mg/L), CaCl₂ · 2H₂O(25mg/L), (NaPO₃)₁₃(10mg/L), KI(2.5mg/L), CoCl₂ · 6H₂O(0.5mg/L), MnCl₂ · 4H₂O(0.5mg/L), NH₄VO₃(0.5mg/L), ZnCl₂(0.5mg/L), Na₂MoO₄ · 2H₂O(0.5mg/L), H₃BO₃(0.5mg/L), NiCl₂ · 6H₂O(0.5 mg/L), Yeast extract(200mg/L), Na₂S · 9H₂O(300mg/L), FeCl₂ · 4H₂O(40mg/L)를 증류수에 녹여 제조한

후 121°C에서 15분간 살균하여 사용하였다. PCE와 TCE 분석을 위한 sample은 GC 분석용 2ml vial에 hexan 0.3ml과 시료 0.5ml을 섞은 다음, hexan상을 채취하여 GC(ECD)로 분석하였으며, cis-DCE는 hexan 대신 펜탄으로 추출하여 GC(FID)로 분석하였다.

흡착제를 첨가한 실험은 culture 실험에서의 결과를 토대로 하여 electron donor의 영향만을 알아보았다. yeast extract(20mg/L), vitamin B12(0.05mg/L)를 모든 시료에 넣었고 흡착제로는 토탄과 분변토를 각각 1.5g 첨가하였으며, 이외에는 culture 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

3. 결과 및 토론

Fig. 1에 각 treatment에 따른 전자공여체, yeast extract, vitamin B12의 영향을 나타내었다. 그림에서 (a)는 PCE의 분해정도를 (b)는 TCE의 생성과 분해를 각각 나타내는 것으로 가장 빠른 분해속도를 보인 것은 전자공여체로 lactate/benzoate를 첨가하였을 경우였다. 그림에서 전자공여체를 넣지 않은 B와 C에서의 PCE의 분해가 현저히 떨어지는 것으로 부터 전자공여체의 유무에 따른 분해속도의 차이를 확연하게 알 수 있었으며, 전자공여체의 종류에 따른 분해속도의 차이를 알 수 있었다. 그러나 yeast extract, vitamin B₁₂ 첨가의 경우 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

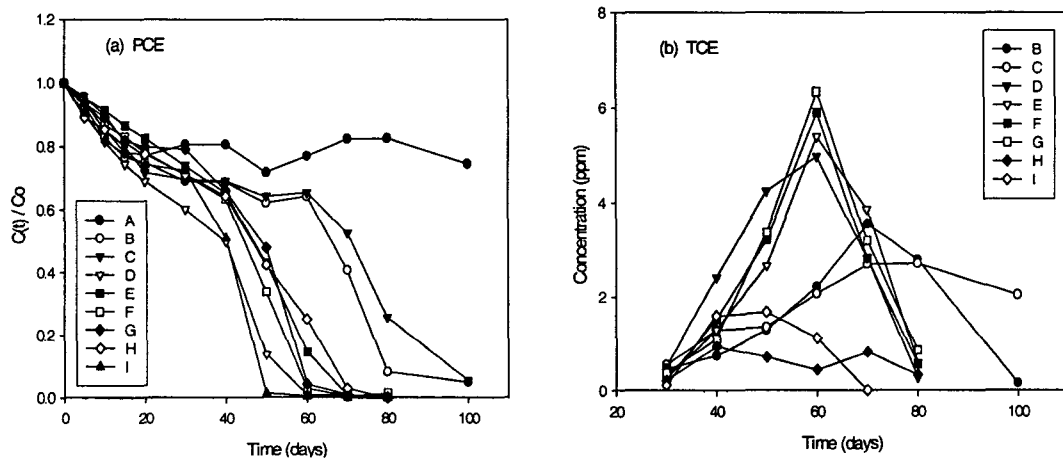


Fig. 1. Reductive dechlorination of (a) PCE and (b) TCE in batch culture

Fig. 2는 흡착제로 분변토(vermicompost)를 첨가하고 전자공여체의 영향만을 알아본 결과로 PCE, TCE, cis-DCE의 분해정도를 나타낸 것이다. 그림에서 lactate/benzoate와 butyrate 첨가시 가장 먼저 분해가 일어나고, 그 다음으로 lactate와 benzoate의 첨가의 순으로 나타났다. 여기서 control은 흡착제의 영향을 알아본 것이며, DCE의 경우 1,1-DCE, trans-DCE도 분석해 보았지만 cis-DCE만이 검출되었다.

두 실험을 비교해 보았을 때 흡착제를 첨가하는 경우가 PCE 분해 속도가 빠른 것으로 나타났으며, 전자공여체의 영향도 확실히 볼 수 있었다. 이로써 가격이 저렴하고 흡착능이 뛰어나며 생분해가 가능한 분변토(vermicompost)를 흡착질로 사용하여 lactate/benzoate와 같은 전자공여체를 첨가해 준다면 biobarrier로서의 적용 가능성이 큰 것으로 사료된다.

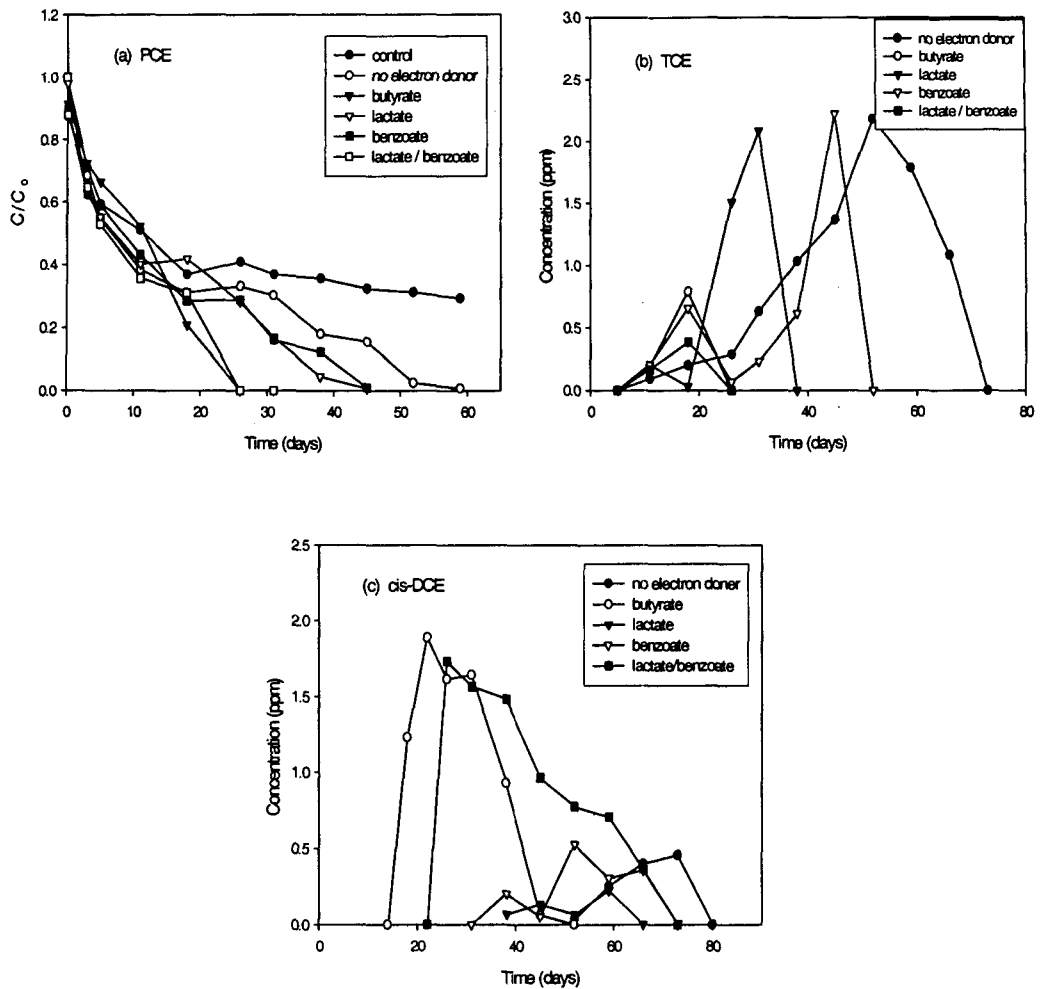


Fig. 2. Reductive dechlorination of (a) PCE, (b) TCE and (c) cis-DCE using vermicompost as biobarrier medium

4. 참고문헌

1. C. M. Kao and S. E. Lei, *Water Res.*, 34(3), 835-845 (2000).
2. C. S. Carr and J. B. Hughes, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 1817-1824 (1998)
3. D. E. Fennell and J. M. Gossett, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 918-926 (1997)
4. Y. Yang and P. L. Maccaty, *Environ. Sci. Technol.* 32, 3591-3597 (1998)
5. D. R. Burris et al. *Environ. Sci. Technol.* 30, 3047-3052 (1996)
6. A. Schollhorn et al. *Water Res.* 31(6), 1275-1282 (1997)