

## Gasohol로 오염된 지하수의 혐기적 처리

김동욱, 김연재, Pedro Alvarez\*

인제대학교 화학공학과, Department of Civil and Environ. Eng., Univ. of Iowa\*

전화 (055) 320-3396, FAX (055) 327-4955

### Abstract

BTEX biodegradation in groundwater including ethanol by soil microorganisms was much slower than that without ethanol. This was caused by that the ethanol was preferentially utilized by microorganisms and oxygen and mineral in soil were depleted. When Fe(III), nitrate, sulfate were added in groundwater, the degradation of BTEX was increased and the sulfate showed best efficiency.

### 서론

Gasohol은 10%정도의 에탄올을 함유한 휘발유를 의미하며, 연소시 대기오염을 줄이고, 석유의 의존도를 낮출 수 있어 미국, 브라질 등에서 광범위하게 사용되고 있다 (1). 그러나 gasohol이 사고로 토양에 스며들면 고농도로 함유된 에탄올로 인하여 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (BTEX) 의 생분해를 늦추고 있다는 보고가 있었다 (2). 따라서 본 연구에서는 에탄올과 BTEX가 함유된 carbonate-buffered synthetic groundwater를 오염된 토양이 함유된 column에 주입하여, BTEX의 분해에 대한 에탄올의 효과를 검증하였으며, 또한 Fe(III), nitrate, sulfate의 전자수용체를 첨가하여 (3) BTEX의 혐기적 분해 증진효과를 측정하고자 하였다.

### 재료 및 방법

장기간 BTEX로 오염된 Travis site (CA, USA)에서 토양을 채취하여, Fig. 1과 같은 4곳의 column에 채우며, column의 외부는 빛을 차단하기 위해 aluminum 포일로 감싼다. BTEX 용액은 stock solution에서 gas tight syringe로 소량 취한 후, 플라스크에서 1L의 carbonate-buffered synthetic groundwater (Table 1)와 혼합되어 24시간 교반된다. 위 용액은 100 mL gas tight syringe에 주입되며 일정농도의 ethanol 이 추가되어, syringe pump에 장착된다. 또한 2L의 bottle에 있는 carbonate-buffered synthetic groundwater는 peristaltic pump에 의해 column 쪽으로 운반되어 3 way valve에서 BTEX용액과 합류 혼합되어 column의 하부로 유입된다. 본 실험장치에서 BTEX의 주입농도는 0.2-5 ppm이며, 전자수용체의 농도는 10 m eq M이다. Column 유입, 유출부의 용액중 BTEX 농도는 gas

chromatograph로 측정되며, Fe(III), nitrate, sulfate의 농도는 ion chromatograph로 측정된다. 본 연구의 실험진행과정은 2 단계로 이루어 졌으며, 1 단계는 natural attenuation 조건에서 BTEX의 분해에 대한 에탄올의 효과를 측정하며, 2 단계는 Fe(III), nitrate, sulfate의 추가에 의한 bioremediation하에서 BTEX의 분해도를 측정한다 (Table 2).

## 결과 및 고찰

Natural attenuation 상태에서 에탄올, BTEX의 분해가 Fig. 2에 나타나 있다. 에탄올이 존재하지 않을 경우 (column 1) BTEX는 비교적 높은 분해도를 보여주었다. 그러나 용액중 에탄올이 존재하면 (column 2, 3) 토양미생물에 의해 에탄올이 우선 분해되며, 전자수용체와 미량원소의 고갈로 인하여 BTEX의 분해는 아주 느려진다. Column 4는 control로 biocide의 첨가에 의해 미생물의 활동이 정지된 상황에서 용액내 BTEX의 농도변화를 보여주며, BTEX는 거의 일정한 농도를 유지하였다. Column 내부와 유입, 유출구에서의 redox potential 측정결과, column 2, 3은 혐기성 상태를 유지하였으며, column 1, 4는 호기성 상태를 유지하였다.

Fe(III), nitrate, sulfate를 groundwater에 추가하여 bioremediation 상태의 BTEX 분해도가 Fig. 3에 나타나 있다. Bioremediation하에서는 natural attenuation 상태에서보다 BTEX의 분해가 크게 증가하였으며, 전자수용체로는 sulfate의 효과가 가장 높았다. 위의 연구결과는 BTEX로 오염된 국내 지하수의 처리에도 크게 활용될 것으로 기대된다.

## 요약

BTEX가 함유된 groundwater에 에탄올이 첨가된 경우 토양 미생물에 의한 BTEX의 분해는 에탄올이 존재하지 않는 경우에 비해 크게 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 토양내 미생물이 에탄올을 우선 이용하며, 따라서 토양내 산소와 mineral의 결핍을 야기하여 BTEX의 분해가 느려짐에 기인한다. 전자수용체로 Fe(III), nitrate, sulfate를 groundwater에 첨가한 경우, BTEX의 분해도는 크게 증가하였으며, sulfate의 효과가 가장 높았다.

## 참고문헌

1. Renewable Fuels Association. (2001). Ethanol and the economy. Internet. [www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org).
2. Corseuil H.X., C.S. Hunt, R. dos Santos Ferreira, and P.J.J. Alvarez (1998). The influence of the gasoline oxygenate ethanol on aerobic and anaerobic BTX biodegradation. *Wat. Res.*; 32: 2065-2072.
3. Cunningham, J.A., H. Rahme, G.D. Hopkins, C. Lebron, and M. Reinhard (2001). Enhanced in situ bioremediation of BTEX-contaminated groundwater by combined injection of nitrate

and sulfate. *Environ. Sci. Technol.*; 35: 1663-1670.

Table 1. Composition of carbonate-buffered synthetic groundwater.

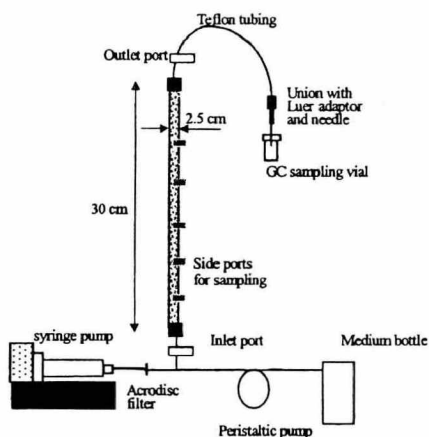


Fig. 1. Experimental apparatus.

compound	mg/L
$K_2SO_4$	40.1
$NaNO_3$	25.5
$CaCl_2$	111
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	12.2
$K_2HPO_4$	0.1
$NaHCO_3$	201.6
$H_3BO_3$	0.000371
$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0.00174
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.0015
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.00173
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	0.00169
$(NH_4)_6 \cdot Mo_7O_{24}$	0.00106

Table 2. Experimental condition.

1 stage (natural attenuation)	col 1: BTEX
	col 2: BTEX + ethanol
	col 3: BTEX + ethanol
	col 4: BTEX + ethanol + biocide
2 stage (bioremediation)	col 1: BTEX + ethanol + Fe(III)
	col 2: BTEX + ethanol + $NO_3$
	col 3: BTEX + ethanol + $SO_4$
	col 4: BTEX + ethanol + $NO_3$ + biocide

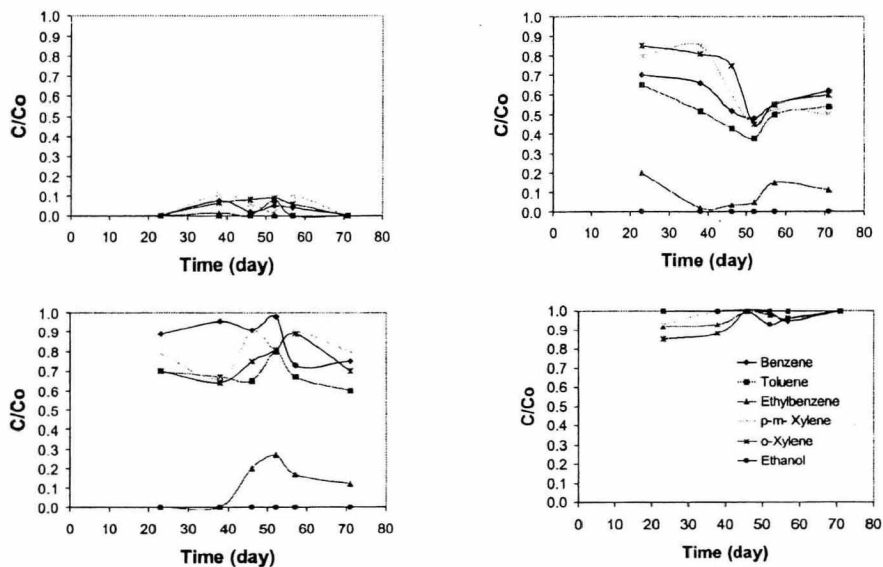


Fig. 2. Natural attenuation of BTEX and ethanol.

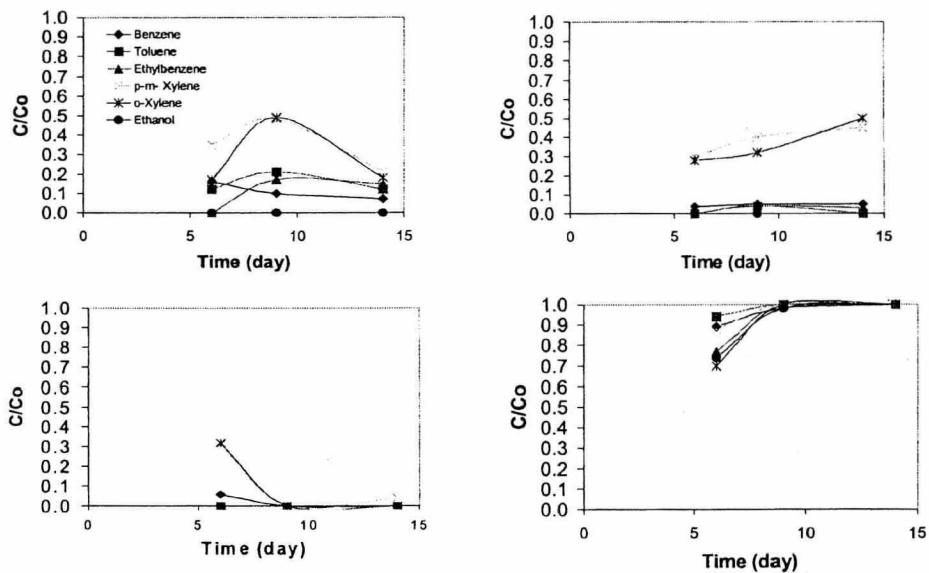


Fig. 3. Bioremediation of BTEX and ethanol.