

온도와 초기 BTEX 농도변화에 따른 BTEX 분해특성

장순웅, 라현주, 이시진

경기대학교 건설공학부 환경공학 전공

ABSTRACT

A microbial consortium derived from a gasoline-contaminated sites was enriched on toluene in 100-mL serum bottle and was found to degrade benzene(B), toluene(T), ethylbenzene(EB), and xylenes(X). Studies conducted to determine the temperature effects and BTEX concentration on BTEX degradation. The results indicated that lowering temperature significantly decreased BTEX degradation rates and varying the BTEX concentration also changed substrate degradation patterns.

key word : BTEX, substrate degradation, inhibition

1. 서론

산업의 고도화와 함께 유기성 유해폐기물의 발생 및 유기성 용매의 사용량이 늘어남에 따라 이의 부적절한 관리 또는 누출 등에 의해 토양 및 지하수오염이 중요한 환경문제로 제기되고 있다. Petroleum의 80%이상을 차지하고 있는 BTEX(benzene, toluene, ethylbenzene, *o*-, *m*-, *p*-xylene)화합물은 가솔린과 항공기 연료, 그리고 용매제로 폭넓게 이용되고 있어 사용량이 증가되고 있으며, 국내에서도 최근에 유류저장소, 석유관로, 사고로 인한 누출, 불법 폐기물처리, 침출수 누출등으로 인한 토양이나 지하수 오염물질로써 관심이 모아지고 있다. 이러한 물질들은 발암 혹은 잠재적 발암물질로 분류되고 있으며 미국 환경청(EPA)에서는 우선적으로 처리되어야 할 주요 오염물질(priority pollutant)로 분류하고 있고 물질 특성상 휘발성이 크긴 하지만 다른 탄화수소에 비해 용해도가 높기 때문에 자연계로 유출되었을 때에는 쉽게 토양과 수계를 오염시킬 수 있다.

유류 오염지역을 정화하는 방안으로는 물리·화학적 처리공정, 생물학적 공정 등이 있다. 국내에서도 토양환경보전법 및 지하수법이 제정되면서 우선적으로 유류 오염지역 복원에 대한 연구가 시작되고 있고, 특히 물리·화학적 처리공정 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 오염지역의 생물학적 복원(Bioremediation)은 다소 시간은 걸리지만, 고가의 비용이 들지 않고 오염물질을 완전히 분해하여 무해한 물질로 분해시키므로 선진국에서도 최근에는 실험실 연구와 더불어 현장 적용 연구가 한창 진행중에 있다.

BTEX화합물은 오염지역의 특성에 따라 분해특성, 분해경로 및 분해정도 등이 달라질 수 있으나 일반적으로 생물학적 분해도가 높다.

본 논문에서는 국내 유류오염 토양으로부터 BTEX중 toluene을 탄소원 및 에너지원으로 이용하는 유류분해균을 분리하여 온도 및 BTEX 농도변화에 따른 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene Isomers) 분해특성을 조사하였다.

2. 실험방법

유류로 오염된 지역에서 토양을 채취하여 toluene을 유일 탄소원과 에너지원으로 이용하는 혼합미생물을 분리하였다. 미생물 배양에 사용된 배지 및 유류분해균의 분리과정은 La¹⁾에 자세히 설명되어 있다.

BTEX 분해 실험에서 이용되는 토양은 경기대학교 내에 지표면으로부터 15 cm깊이에 있는 토양을 채취하여 2일간 충분히 건조시켜 채(1.7 mm)로 걸러 이용하였다. 실험에 이용된 모든 초자류는 121°C, 15분동안 살균하였고 실험시 BTEX의 광분해를 방지하기 위해 amber serum bottle을 이용하였다.

BTEX 분해실험은 100 mL amber serum bottle(WHEATON)에 토양 9.2 g(bulk volume 10 mL), 배양액 40 mL 그리고 나머지 50 mL는 공기로 채워준 후 teflon-silicon septa(\varnothing 20mm, WHEATON)와 aluminum crimp cap으로 닫았다. 그리고 필요한 양의 BTEX를 저장용액으로부터 주사기를 이용해 amber serum bottle에 주입하였다. 그리고 1일동안 배양된 미생물 1 mL를 접종하고 25°C에서 150 rpm의 속도로 진탕기에서 배양을 함으로써 실험을 시작하였다. BTEX의 미생물에 의한 정확한 분해를 측정하기 위해 위의 실험 조건과 동일한 bottle에 미생물의 활동을 저해하는 염화수은(HgCl₂) 500 mg/L을 넣고 비교실험을 진행하였다.

BTEX는 불꽃이온화검출기(FID)와 HP-5 capillary 칼럼이 장착된 기체크로마토그래피(Hewlett Packard 5890II)를 이용하여 분석하였다. 500 μ l gas-tight syringe(Hamilton)을 이용하여 serum bottle의 headspace에서 200~500 μ l의 시료를 채취한 즉시 기체크로마토그래피에 주입하였다. 오븐, 주입기, 그리고 검출기의 온도는 각각 80°C, 200°C, 200°C 등으로 운전되었다.

3. 결과 및 고찰

초기 BTE(benzene, toluene, ethylbenzene)농도 변화에 따른 BTEX 분해특성을 조사하기 위해 회분식실험으로 6가지 이중혼합의 실험(B·T, B·EB, T·B, T·EB, EB·B, E·BT)을 진행하였다. 각각의 BTE농도는 50 mg/L로 고정하고 분해 영향을 알고자 하는 물질의 농도를 0~75mg/L로 변화를 주어 관찰하였다.

Fig. 1(a)는 benzene의 초기 농도 50 mg/L, toluene의 농도를 0, 25, 50, 75mg/L로 가해 주었을 때의 분해특성을 보여주고 있다. Toluene의 농도가 증가함에 따라 benzene의 분해가 다소 지연됨을 볼 수 있는데 이는 toluene이 benzene 분해에 방해영향을 주고 있음을 알 수 있다. 이와 유사하게 Fig. 1(b)에서는 benzene의 농도가 증가함에 따라 toluene이 분해를 지연시키는 결과를 볼 수 있다. Ethylbenzene의 경우에는 benzene과 toluene의 분해를 상당히 방해하는 결과가 관찰되었는데 BTEX호합물의 동시 분해시에는 ethylbenzene의 농도가 전체적인 BTEX 분해속도에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 특히 ethylbenzene은 benzene과 toluene의 방해물질로서 competitive inhibition과 noncompetitive inhibition의 두가지 경향을 보여줌이 관찰되었다.

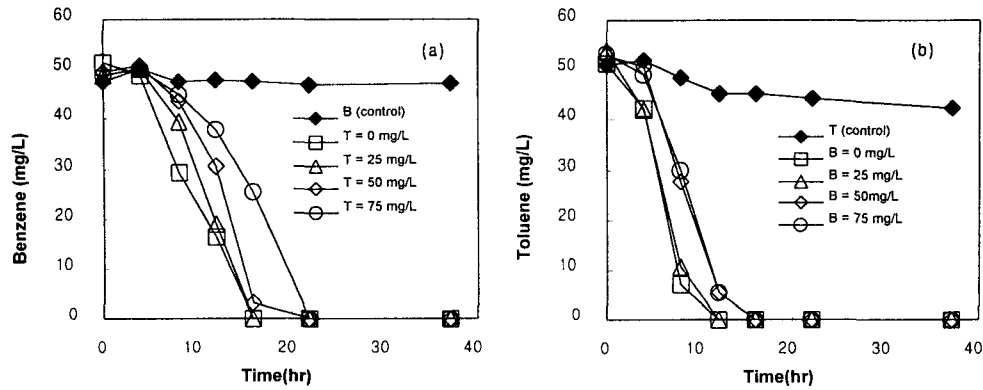


Fig. 1. Benzene and toluene degradation and alone (initial concentration = 50 mg/L) and in the presence of toluene and benzene respectively at a range of concentrations by toluene-enriched consortium.

실제 토양 및 지하수의 낮은 온도를 고려해 본 실험에선 15°C까지 낮은 온도에서도 btex 분해 특성을 조사하였다. 단일기질일 때 toluene은 25°C일 때 12.81 mg/L · day로 가장 빠른 분해를 나타냈으나 혼합기질에서의 분해율은 0.54 mg/L · day로 큰 차이를 보였다. Benzene은 25°C일 때 단일기질에서는 ethylbenzene과 *p*-xylene보다 빠른 분해를 나타냈으나 혼합기질에는 다른물질보다 느린 분해율을 보여주었다. 이는 온도에 대한 영향보다는 물질간의 방해작용으로 볼 수 있다. 그러나 본 실험의 최저 온도인 15°C일 때 BTEX가 혼합기질로 존재할때는 분해시간이 약 30여일이 소모되어 온도에 생물학적 분해속도가 느려질 것이라는 결과를 예측케 한다.

Table 1(a). Degradation rate of single BTEX compounds by 15°C, 20°C and 25°C

Single BTEX	Degradation Rate	Degradation Rate	Degradation Rate
	15°C (mg/L · day)	20°C (mg/L · day)	25°C (mg/L · day)
Benzene	0.66	2.97	7.78
Toluene	2.94	3.78	12.80
Ethylbenzene	0.20	0.37	2.20
<i>p</i> -Xylene	0.23	0.24	0.43

Table 1(b). Degradation rate of mixed BTEX compounds by 15°C, 20°C and 25°C

Mixed BTEX	Degradation Rate	Degradation Rate	Degradation Rate
	15°C (mg/L · day)	20°C (mg/L · day)	25°C (mg/L · day)
Benzene	0.13	0.19	0.27
Toluene	0.12	0.13	0.55
Ethylbenzene	0.10	0.10	0.52
<i>p</i> -Xylene	0.10	0.15	0.29

참고문헌

1. La, H.J., S.W. Chang, and S.J. Lee, 1999. Biodegradation of BTEX by toluene-enriched soil microorganisms. Korean Society of Environmental Engineers J. (submitted)
2. Chang, S.W., 1999. Groundwater contamination focused on VOCs in chung-nam area. Korean Society of Groundwater Environment J. (In Press)
3. Chang, M.K., C.V. Tomas, and S.C. Craig, 1993. Kinetics of competitive inhibition and cometabolism in the biodegradation of benzene, toluene, and *p*-xylene by two *Pseudomonas* isolates. Biotechnol. and Bioeng. 41 : 1057-1065(1993).