

Biofilter를 이용한 diesel VOCs의 생물학적 제거

이은영 · 최우진 · 최진규, 김무훈*
수원대학교 환경공학과, *삼성엔지니어링 기술연구소
e-mail : ley@mail.suwon.ac.kr

Abstract

The petrochemical products can cause soil and groundwater contamination during their transportation and the use of the products, and while being contained in underground storage tanks(USTs) throughout the leakage. To treat the contaminated soil, the bioventing method is suitable for the remediation of semi-volatile compounds, such as diesel and kerosene. Biofiltration is one of possible method to treat the off-gas produced in the process of the bioventing.

This study is related to the usage, effectiveness of treatment, and feasibility of two types of biofilter system made of ceramic-compost and polymer respectively to treat diesel VOCs at constant retention time of 20 sec. Compost biofilter showed the average removal efficiency of 73 % when the inlet concentration increased to 20 ppmv. Increased the inlet concentration decreased the microbial activities as well as the removal efficiency. On the contrary, the removal efficiency of the polyurethane biofilter was maintained at 88 % at the inlet concentration of 13 ppmv during ten days and was obtained to 80 % at the inlet concentration of 30 ppmv in spite of the drop of the efficiency in the sudden increase of the inlet concentration. At the beginning of the experiment it showed low removal efficiency at low inlet concentration due to the low microbial activity, however, as experiments proceed the removal efficiency could be obtained more than 80 % at high inlet concentration.

Key word : biofilter, diesel, VOCs, soil contamination, remediation

1. 서론

석유화학제품은 광범위한 산업적 용도를 가지고 있으므로, 지하 유류 저장조(USTs)나 운송 및 사용과정에서 누출되어 많은 토양 오염 및 지하수 오염을 유발한다. 오염 토양을 처리하는 기술은 크게 물리화학적 방법과 열적처리 방법 그리고 생물학적 방법으로 나눌 수 있다. 생물학적 방법중 bioventing 법은 휘발성이 비교적 낮은 물질인 디젤, 난방유, 등유의 처리에 효과적인 것으로 알려져 있다. 처리시 발생하는 배가스에는 상당량의 휘발성 유기화합물을 포함하는 오염물질이 함유되어 있으므로, 이를 적정 처리한 후 대기 중으로 방출하여야 한다. 배가스 처리방법으로 가장 주목받는 biofiltration은 오염물질이 탄소원 혹은 에너지원으로 이용하는 미생물에 의해 생물량과 물과 CO₂로 분해되는 환경친화적인 방법이다. Biofiltration은 주로 황화수소나 암모니아와 같은 악취물질을 처리하는데 이용되어왔으나, 최근 들어 매립지 가스나 오염토양 복원시 발생하는 휘발성 배

가스의 처리에도 적용하고 있다.

본 연구에서는 디젤로 오염된 토양을 복원하는 과정에서 발생하는 배가스처리에 biofilter를 적용하여 처리 효율 및 적용가능성을 검토 하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 ceramic-compost와 polymer type 담체를 각각 사용하였다. 원통형 유리칼럼 (30 cm(H)×10cm(D))에 유류 오염 토양현탁액을 집중한 compost 및 polymer 담체를 각각 690g, 210g 씩 넣어 15cm 높이까지 충전하였다 (충진부피: 1.177 ℓ). 사용된 무기염배지의 조성(g/ℓ)은 KH_2PO_4 1.5g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 9g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 3g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01g, MgSO_4 0.15g 이다. Diesel VOCs는 1 ℓ bottle에 500mℓ의 diesel을 채우고 compressor와 연결하여 공기와 희석하면서 일정량의 VOCs가 발생되도록 하였다. 이때 휘발성을 높이기 위하여 heating band를 감아주어 온도를 50℃로 유지시켜주었다. Biofilter의 VOCs 제거효율을 알아보기 위하여 다음과 같이 실험을 수행하였다. Biofilter로 유입되는 VOCs의 체류시간을 20초로 유지하고 발생장치에서 생성된 VOCs의 양을 단계적으로 증가시켰다. Biofilter의 유입부와 유출부에서 가스 시료를 gas tight syringe를 사용하여 각각 채취 한 후 FID와 HP-1 column (Methyl Siloxane, 60m×0.32mm×1.0μm) 이 장착된 GC(Agilent 6890, HP, USA)로 분석하였다. 주입부와 검출부의 온도는 각각 300℃, 250℃이고 Oven의 온도는 100℃(1min)에서 1분간 정체한 후 분당 3℃로 승온하여 280℃까지 올린 후 약 5분간 체류하였다. 담체의 건조를 방지하기 위하여 멸균된 무기염 배지 50ml를 매일 biofilter의 상단에 공급하여 주었다. Diesel VOCs 농도는 발생된 VOCs 중 benzene과 toluene을 정량화한 후 response factor를 이용하여 총 VOCs의 농도로 환산하였다.

실험을 진행하면서 시간이 지남에 따라 Diesel의 성상이 변화하므로 45일 이후에 Diesel을 완전히 교체하여 실험을 진행하였다. Diesel을 교체한 후 유입되는 VOCs의 농도가 200ppm 이상으로 높았지만, 제거효율은 80%로 좋은 분해능을 보였다. 담체에 고정화된 미생물상은 탈수처리 한 후 주사전자현미경(JSM5600, JEOL, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 compost 및 polymer 담체에 고정화된 미생물의 주사전자현미경 사진이다. 주로 길이 1~1.5μm의 단간형의 세균으로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 담체는 10,000, 15,000, 및 20,000 배율로 각각 관찰하였고 둥글둥글한 형태의 미생물이 담체에 고정화되었음을 보여주고 있다.

Fig. 2는 20일간 운전한 compost 및 polymer biofilter의 diesel VOCs 제거효율을 나타내었다. Compost 담체의 경우 VOCs의 유입농도가 10 ppmv 이하일 때 평균 67%의 제거효율을 보였으나, 약 12일 운전 후 입구 농도가 12 ppmv가 되었을 때 담체의 제거 효율이 88% 까지 향상되었다. 입구 농도가 20 ppmv까지는 73%의 제거효율을 보였으나, 그 후 입구 농도를 증가시킴에 따라 미생물의 활성이 급격히 저하되어 제거효율이 저하됨을 관찰 할 수 있었다. 반면, polymer 담체의 경우 10 ppmv 이하의 입구농도에선 평균 80%의 제거효율

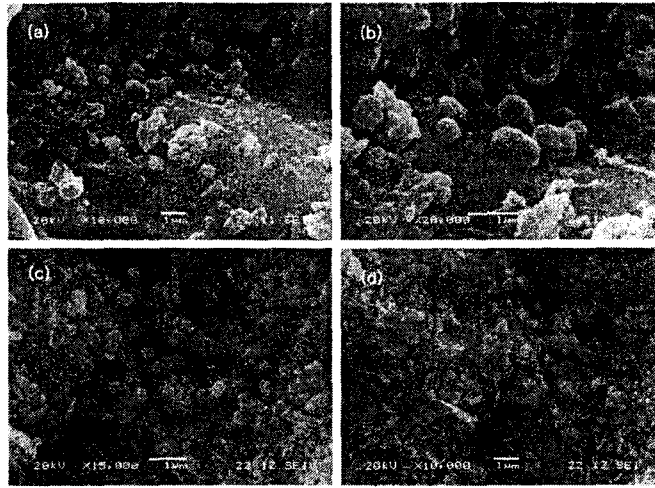


Fig. 1. Scanning electron micrograph of compost biofilter(a, c) and polymer biofilter(b, d)

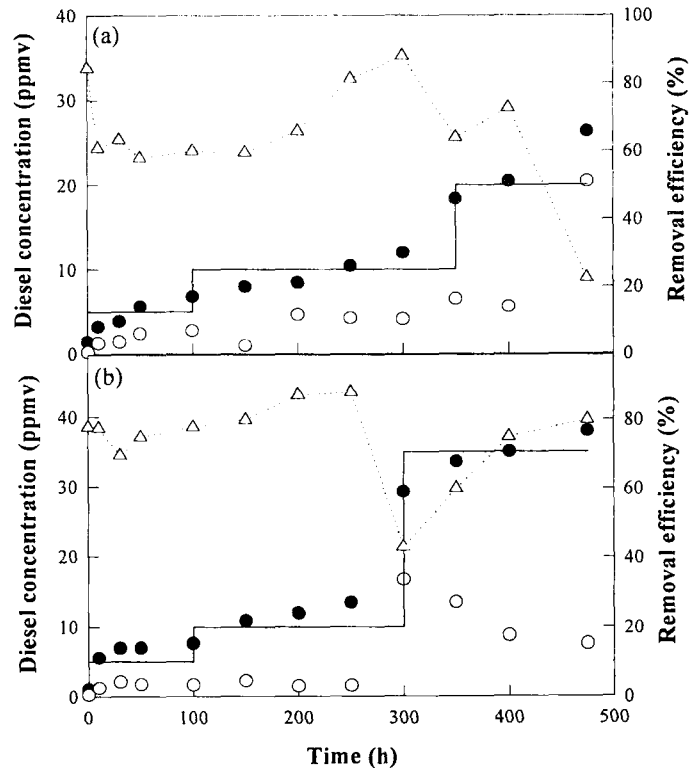


Fig. 2. The removal efficiency of diesel VOCs by the biofilter
 (a) Compost biofilter (b) Polymer biofilter
 ● Input concentration, ○ Output concentration
 △ Removal efficiency, — Average inlet concentration

을 보였다. 약 10일 운전 후 입구 농도 13 ppmv에서 제거 효율이 최대로 88%가 되어, 입구 농도를 30 ppmv로 증가시켰을 경우에도 초기에 제거 효율이 43%로 급격히 하락하였으나, 이후 꾸준히 회복되어 약 80%의 높은 제거효율을 보였다. 따라서, polymer 담체가 입구 농도 30 ppmv 이상의 고농도에서도 VOCs에 대한 높은 제거효율을 보이는 우수한 담체로 사료된다.

실험을 진행하면서 시간이 지남에 따라 Diesel 성상이 변화하므로 45일 이후에 Diesel을 완전히 교체하여 실험을 진행하였다. Diesel을 교체한 후 유입되는 VOSs의 농도가 200 ppmv 이상으로 높았지만, 제거효율은 80%로 좋은 분해능을 보였다.

4. 참고문헌

1. Joseph S. Devinny, Marc A. Deshusses, and Todd S. Webster, "Biofiltration for Air Pollution Control", CRC Press LLC, 1999.
2. Wright, W.F., Schroeder, E.D., Chang, D.P.Y., and Romstad, K., "Performance of a pilot-scale compost biofilter treating gasoline vapor", *J. Env. Eng.*, pp547-555. 1997.
3. Leson, G., and Smith, B.J., "Petroleum environmental research forum filed study on biofilters for control of volatile hydrocarbons", *Env. Eng.* 123(6), pp556-562, 1997.
4. Jo Dewulf, Herman Van Langenhove, "Anthropogenic volatile organic compound in ambient air and natural waters: a review on recent development of analytical methodology, performance and interpretation of field measurements", *Journal of Chromatography A*, 843 (1999) 163~177)
5. Edward J. Calabrese, Paul T. Kostecki, "Hydrocarbon contaminated soils(volume I)", LEWIS PUBLISHERS, p273~290, 1991.
6. 이은영, 조정숙, 류희욱, 배무 "황 산화세균이 고정화된 biofilter를 이용한 황화수소와 암모니아 혼합악취의 제거" 대한환경공학회 추계학술연구발표, p539-540, 1998.