

## PA8                   화산석/폴리우레탄 복합 담체를 충전한 바이오필터 에서 Ethyl Acetate의 제거특성

임진관<sup>1</sup>, 김종균<sup>1</sup>, 이택관<sup>2</sup>, 감상규<sup>3</sup>, 이민규

부경대학교 화학공학부, <sup>1</sup>부경대학교 식품생명과학부, <sup>2</sup>홍산환  
경건설(주), <sup>3</sup>제주대학교 토목환경공학전공

### 1. 서   론

일반적으로 화학·산업 공정에서 많이 발생되고 있는 휘발성 유기 화합물(VOCs)은 환경오염뿐만 아니라 심지어 우리 인간에게 건강상으로 많은 위협을 끼치는 유해한 물질이다. 또한 예전에는 각종 산업현장에서 발생하던 오염물이 현재는 자동차 배기 가스, 음식점 등과 같은 일상생활 주변에서도 많이 발생하고 있는 실정에 처해 있다. 따라서 이런 VOCs를 처리하기 위한 공정이 많이 요구되고 있다.

이와 같은 VOCs를 제거하는 기술로는 촉매 산화법, 흡착 탈취법, 연소법 등과 같은 물리적·화학적 처리방법과 생물학적 처리방법 등이 있다. 물리적·화학적 방법들은 유지비가 높고, 2차 오염을 유발하는 문제점을 안고 있다. 이에 비해 생물학적 처리 방법은 저비용으로 운전관리가 간단하고, 낮은 에너지 소비량과 2차 오염물질이 없는 장점을 가지고 있어 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.

Biofilter의 담체로는 높은 수분 유지성과 강도, 그리고 넓은 비표면적과 높은 공극률을 가진 물질이 적합하며, 일반적으로 peat, soil, compost, woodchip, 및 bark 등이 주로 사용되고 있다. 그러나 이들 담체는 장기간의 운전시에 충전제 자체의 분해로 인하여 압밀 현상, channeling, 혐기성 지역 발생, 압력 손실 증가를 일으켜 제거 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 유지비와 운전비가 증가하는 단점들을 갖고 있다. 최근 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방안으로 제주도 화산석에 주목을 하게 되었다. 제주도 화산석은 제주도에 널리 산재해 있고 가격이 저렴하여 경제적인 면에서 비용절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 화산석은 특성상 미생물의 부착성장을 보장하고 또한 공극율이 높고, 비교적 강도가 크므로 장기간 연속 운전에서 변형 및 압밀에 의한 압력강하와 단회로 현상 등의 문제점을 유발하지 않는 장점(Cho 등, 2000)을 가지고 있기는 하지만 비중이 높아 실제 공정에 적용시에 설치에 따른 문제점이 야기된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 밀도가 낮을 뿐만 아니라 우수한 물리적 특성(Moe and Irvine, 2000)을 가진 polyurethane을 화산석과 접목하여 화산석/polyurethane 복합담체를 제조하여 biofilter에 적용하였다.

본 연구에서는 제조된 화산석/polyurethane 복합담체를 충전한 biofilter에서 ethyl acetate의 유입농도의 변화 및 가스체류시간(EBCT)에 따른 제거효율을 살펴보고 최대 제거 용량을 산출하였으며, 또한 운전 중 pH의 변화 및 압력손실을 측정하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용한 미생물은 부산 S 하수처리장에서 반송 슬러지를 채취하여 알코올류와 BTX류에 순응시킨 후 biofilter에 접종하였다. Biofilter 실험장치는 biofilter column, 실린지 펌프, 혼합기 및 nutrient 공급부로 이루어져 있으며, biofilter column은 내경 4 cm, 높이 60 cm의 아크릴 관으로 제작하였다. Column의 상부, 중단부, 하부에 3개의 sample port를 설치하였다. 충전 담체는 화산석/polyurethane 복합담체를 제조하고 체분리하여 입경 4~6 mm의 것을 사용하여 biofilter의 충전층의 높이가 45 cm로 되게 충전하였다. Ethyl acetate gas의 제조는 액상의 ethyl acetate 용액을 실린지 펌프 (Fabrique'auxetats-unis, 230)을 이용하여 일정유량으로 공급하고, 이는 air pump를 통해 유입되는 air에 의해 기화시켰다. 기화된 가스는 mixing chamber를 통과시킴으로써 완전 혼합한 다음 biofilter column의 상부에서 하부로 주입되는 하향류 방식으로 운전하였다. 미생물의 성장을 위한 nutrient는 Table 1과 같이 제조하였으며, 제조된 nutrient용액은 cartridge pump (Masterflex)에 의해 biofilter column의 상부에서 공급하였다. Biofilter가 설치되어 있는 실험실의 온도는  $30 \pm 2$  °C로 유지하였다.

Ethyl acetate의 유입농도 및 유출농도는 sample port로부터 gas tight syringe (Hamilton, 1750)를 이용하여 채취 한 후 FID (Flame Ionization Detector)가 장착된 gas chromatograph (DS 6200)를 이용하여 분석하였으며, 압력 손실은 manometer(DWER, U.S.A)에 의해 측정하였다. 드레인수의 pH 분석은 pH meter(ORION, 420A)를 이용하여 주기적으로 측정하였다.

Table 1. Component and concentration of a nutrient solution

Component	Concentration
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2g/L
NH <sub>4</sub> Cl	0.5g/L
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.5g/L
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.05g/L
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.03g/L
KNO <sub>3</sub>	2g/L

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 가스채류시간을 30 sec로 일정하게 하고서 ethyl acetate의 유입농도를 100~500 ppmv로 단계적으로 증가시키면서 유입농도에 따른 유출농도의 변화를 나타낸 것이고, Fig. 2는 ethyl acetate의 유입농도에 따른 제거효율을 나타낸 것이다. 결과에서 보여지듯이 ethyl acetate의 유입농도가 300 ppmv 이하에서는 100% 완전히 제거가 되었으며, 유입 농도를 300 ppmv이상으로 증가시킴에 따라 유출 농도가 증가하면서 제거효율이 점차 감소하는 것을 알 수 있었다.

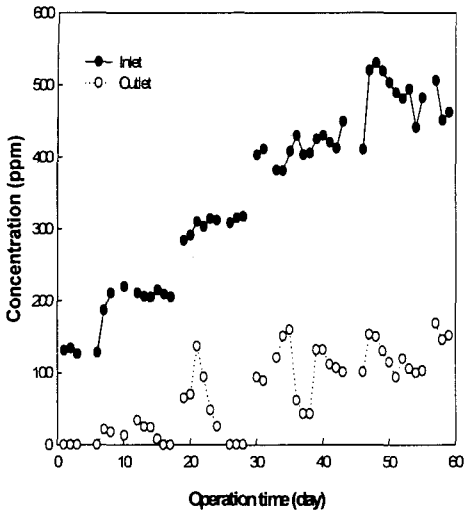


Fig. 1. Experimental results of continuous tests of ethyl acetate removal from air stream (EBCT = 30 sec).

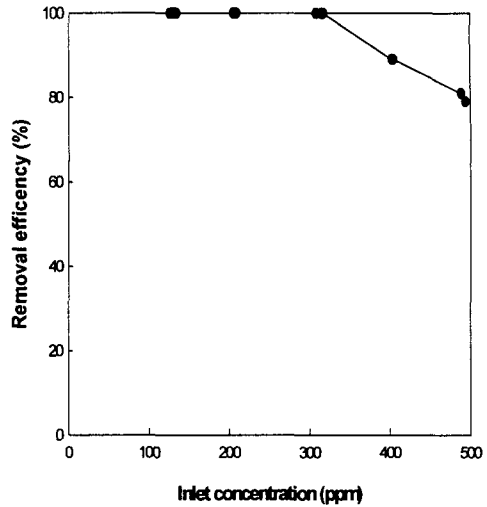


Fig. 2. Influence of the inlet concentration of ethyl acetate on the removal efficiency of the biofilter at EBCT of 30 sec.

Fig. 3은 ethyl acetate 가스가 biofilter내로 유입되는 부하량에 따른 biofilter내에서 제거되는 제거 용량을 살펴본 것이다. 그림에서 보듯이 화산석/polyurethane 복합담체가 충전된 biofilter에서는 유입 부하량이 160 g/m<sup>3</sup>hr일 때까지는 유입되는 부하량이 전부 제거됨으로써, 유입부하와 제거용량간에는 선형관계를 보였으며, 유입 부하량이 160 g/m<sup>3</sup>hr 이상일 경우에는 유입부하와 제거용량간에는 선형관계를 벗어나며, 이 때 최대 제거 용량은 210 g/m<sup>3</sup>hr으로 산정되었다.

또한, biofilter를 60일간 연속적으로 운전하면서 운전기간 동안의 pH와 압력손실 변화를 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Muller(1998)에 의하면 biofilter를 운전시 biofilter내의 담체에 부착된 미생물의 적절한 성장을 위하여 biofilter의 운전은 pH 6~8로 유지하는 것을 제안하고 있다. 따라서, biofilter를 장시간 운전시에는 일반적으로 VOC물질이 미생물에 의해 분해 산화됨에 따라 acetic acid와 같은 산성물질의 생성으로 인하여 pH는 감소하게 되는 경우에는 pH 조절을 위하여 buffer 물질을 넣어주는 경우가 많다. 본 연구에서는 운전 초기에는 pH가 7이었으나 30일 후 pH가 6이하로 감소하였으나, 제거효율에는 영향을 주지 않았다. 그리고 연속 운전에 따른 압력손실을 조사한 결과, 압력손실은 실험 초기에는 거의 보이지 않다가 30일 후에는 120 mmH<sub>2</sub>O로 증가하였다.

#### 4. 요약

화산석/Polyurethane 복합담체를 충전한 biofilter에서 ethyl acetate의 제거특성에 관한 연구결과는 다음과 같다.

공탐접촉시간(EBCT)을 30 sec로 운전시에는 ethyl acetate의 유입농도가 300 ppmv 이하에서는 100%의 제거효율을 나타내었다. 유입부하량에 따른 제거용량을 살펴보면 유입부하량이 160 g/m<sup>3</sup>/hr 이하일때는 유입부하량과 제거용량과는 직선적인 관계를 보였으며 본 연구에서 ethyl acetate의 최대제거용량은 210 g/m<sup>3</sup>/hr으로 산정되었다.

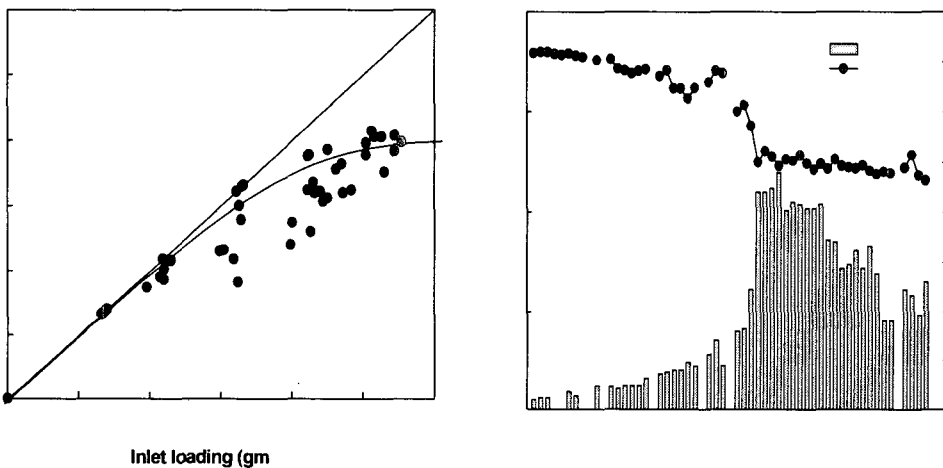


Fig. 3. Elimination capacity of the biofilter as a function of the inlet load of ethyl acetate gas.

Fig. 4. Head loss and pH change of the biofilter as a function of operating time.

#### 참고 문헌

- Cho, K. S., H. W. Ryu and N. Y. Lee, 2000, Biological deodorization of hydrogen sulfide using porous lava as a carrier of Thiobacillus thiooxidans, *J. of Biosci. and Bioeng.*, 90(1), 25-31.
- Moe, W. M. and R. L. Irvine, 2000, Polyurethane foam medium for biofiltration., I Characterization, *J. of Environ. Eng.*, 126(9), 815-825.
- Mueller, J. C., 1988, Biofiltration of gases - a mature technology for control of a wide range of air pollutants, *British Columbia Res. Corp.*, Vancouver, B. C., Canada, 1-22.