

## Biofilter를 이용한 폐가스중의 styrene 제거

강염석\*, 황재웅\*\*, 장석진\*, 박성훈\*\*\*

부산대학교 화학공학과\*, 부산대학교 환경기술·산업개발연구센터\*\*

전화(051)510-3049, 팩스(051)512-8563

**Abstract**

Lab-scale biofilter was evaluated for the removal of styrene from a waste gas stream. Compost and polyurethane form were used as packing material (50 : 50) and activated sludge from a wastewater treatment plant was inoculated initially. Nitrogen limitation was observed during the biofilter operation and nitrogen source should be properly supplemented. When ammonium sulfate is used as N-source, 200mg carbon was removed for each mg of nitrogen. The effects of the volumetric styrene loading on the styrene elimination capacity (EC) and the removal efficiency (RE) was also tested. The results showed  $EC_{max}$  was  $4.8\text{kg C/m}^3 \cdot \text{day}$  and above RE 95% was achieved at EBRT 1min.

**서론**

VOC등의 폐가스는 정유, 제지, 고무, 폐수처리장등 생활주변에 산재되어 있는 각종 사업장에서 대량으로 방출되고 있으며 그것의 심각한 악취등은 제2의 환경문제가 되고 있다. 폐가스의 규제는 미국의 경우 1990년에 대기정화법(Clean Air Act)이 개정되면서 급격히 강화되기 시작하였고 국내의 경우도 1995년 대기 환경 보존법에 “휘발성 유기화합물의 규제”가 신설 됨으로써 단계적으로 시행되게 되었다. 현재 악취 및 VOC등 폐가스류의 처리방법으로 소각, 흡착, 흡수 및 응축 등의 물리, 화학적 방법이 주류를 이루고 있다. 하지만 이러한 물리, 화학적 방법의 경우 2차 환경오염물질이 유발되기 쉽고 설치 및 운전비가 많이 소요된다는 단점이 있다. 이에 반해 생물학적 방법인 biofilter system은 유지, 관리가 용이하며 초기 설치비와 운전비 또한 종전의 물리, 화학적 방법에 비해 60~70% 정도 저렴하다. 또한 2차 오염물질을 유발하지 않는 환경친화적인 방법이라고 할 수 있어 최근에 많은 연구가 수행되어 오고 있다.<sup>1)</sup> 본 연구에서는 VOC중의 styrene를 대상으로 실험실 규모의 biofilter를 제작하였고 농도 및 체류시간등에 따른 styrene의 분해능을 조사하여 biofilter의 최적운전조건을 도출하고자 하였다.

**재료 및 방법**

Packing material로서 compost와 polyurethane form을 50 : 50으로 사용하였고, 폐수처리장에서 얻은 활성슬러지(VSS≒2000mg/ℓ)를 48시간 순치시켜 반응기에 접종하였다.

아크릴로 된 반응기는 높이 1.3m, 내경 0.09m, 충전층 높이 0.75m(0.25×3)로 3단으로 제작하였다. 또한 0.3m 간격으로 4개의 sampling port를 장착하였고 온도는 water jacket을 이용하여 30℃로 유지하였다.

Styrene 농도는 syringe pump를 이용하여 조절하였다. Styrene 분석을 위해 HP5890 GC를 사용하였고 column과 detector로는 각각 HP-5 capillary column과 FID를 사용하였다. 이때 온도조건은 oven 200℃, inject 220℃, detector 300℃이었다.

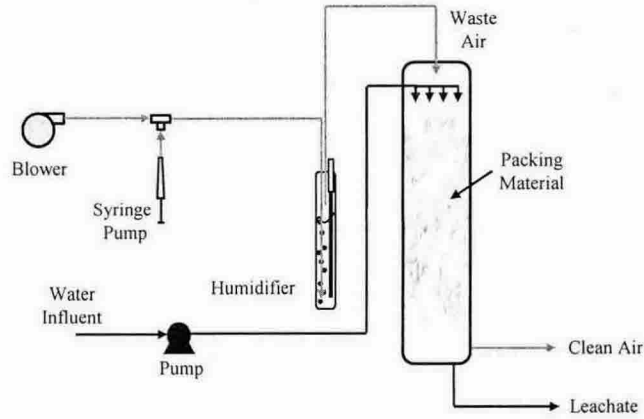


Fig. 1. Schematic diagram of biofilter for treatment of VOC

### 결과 및 고찰

Fig. 2는 운전 시작후 초기 30일 동안의 운전결과를 보여준다. EBRT(empty bed residence time)는 1.5min으로 고정하고 styrene농도는 초기 20ppmv에서 160ppmv로 단계적으로 변화시켰다. 운전시작후 분해율이 급격히 상승하여 24시간 이내에 94.5%에 도달하였다.

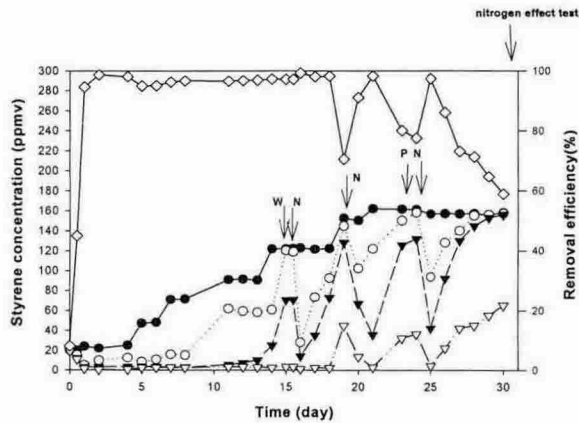


Fig. 2. Time course profile of biofilter operation: (●) inlet (○) port #1; (▼) port #2; (▽) port #3; (◇) removal efficiency (%).

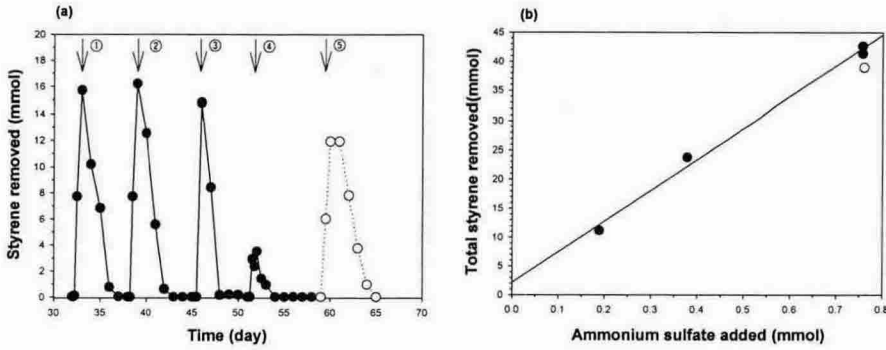


Fig. 3. Effect of nitrogen addition on carbon removal at inlet styrene concentration of 160ppmv (●) and 80ppmv (○). (a) Carbon removal during repeated ammonium sulfate addition: 100mg at ①, ② and ⑤; 50mg at ③; and, 25mg at ④. (b) Carbon removal vs. ammonium sulfate addition.

운전 15일째부터 반응기 상단에서 질소원 고갈 현상이 발생하였고, 그결과 분해능이 급격히 감소 하였다. 하지만 일정 양의 ammonium sulfate를 공급해 주었을 경우 반응기의 효율은 다시 회복되었다. styrene 분해에 필요한 nitrogen양을 정량적으로 알아보기 위하여 ammonium sulfate를 첨가해서 styrene의 분해율을 조사하였다.(Fig. 2) 첨가된 양에 따라 제거된 styrene을 분석한 결과는 200mg carbon removed/mg nitrogen added 이었다. 질소원 고갈 현상은 반응기내의 compost에서 질소원이 release되는 속도가 미생물이 성장하는데 필요한 질소원의 양보다 상대적으로 적기 때문에 발생하는 것으로 장기운전시 고려되어야 할 key nutrient임을 확인 할 수 있었다.<sup>2,3)</sup>

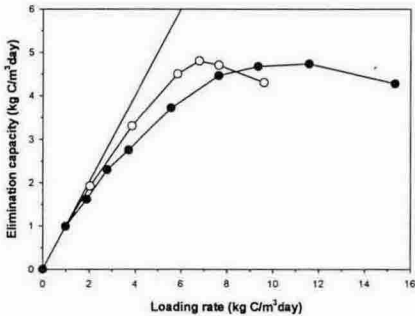


Fig. 4. Elimination capacity (kg C/m<sup>3</sup>·day) at different EBRT: (○) EBRT 1min; (●) EBRT 30sec.

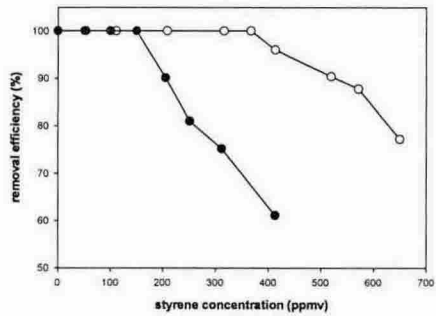


Fig. 5. Removal efficiency (%) at different styrene concentration(ppmv): (○) EBRT 1min; (●) EBRT 30sec.

Fig. 4는 volumetric loading rate에 따른 styrene elimination capacity(EC)의 변화를 보여주고 있다. EBRT 1min에서 maximum elimiantion capacity (EC<sub>max</sub>)는 4.8kg C /m<sup>3</sup> · day이었고 critical elimination capacity (EC<sub>cr</sub>)는 1.248kg C /m<sup>3</sup> · day이었다. 본 반응기의 EC<sub>max</sub>는

보고된 값에 비해 매우 높은 값이라고 할 수 있다.<sup>1,4,5,6)</sup> Fig. 6은 styrene 농도에 따른 removal efficiency RE(%)를 보여주고 있다. EBRT 1min일 경우 400ppmv까지는 제거율 95% 이상의 분해능을 나타내었고, 그 이상의 농도에서 운전될 경우 styrene의 농도에 의해 inhibition을 받아 분해능이 서서히 감소하였다. 따라서 400ppmv이상의 고농에서 운전시 오히려 EBRT를 낮추어 운전함으로써 반응기에서 생기는 저해현상을 피하고 반응기의 분해능을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 요약

Styrene을 제거하기 위한 biofilter가 연구되었다. 운전 초기에 활성슬러지를 접종함으로써 start-up 기간을 24시간으로 줄일 수 있었다. 운전중 질소원 고갈 현상이 발생하였고 첨가된 ammonium sulfate양에 따라 제거된 styrene의 양을 정량적으로 구하여 이것을 biofilter의 장기운전에 이용할 수 있었다. Styrene의 maximum elimination capacity( $EC_{max}$ )와 critical elimination capacity( $EC_{cr}$ )는 각각  $4.8\text{kg C /m}^3 \cdot \text{day}$ ,  $1.248\text{kg C /m}^3 \cdot \text{day}$ 이었으며 styrene 농도 400ppmv까지를 분해하는데 EBRT 1min으로 제거율 95% 이상을 달성할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Joseph, S. Deviny, Marc, A. Deshusses, "Biofiltration For Air Pollution Control".
2. Matthew, J. Gribbins, Raymond, C.Loehr, "J. Air & Waste Manage. Assos."(1998), vol. 48, 216-226.
3. Eberhard Morgenroth, Kate, M. Scow, "J. Air & Waste Manage. Assos."(1996), vol. 46, 300-308.
4. George, A. Sorial, Francis, L. Smith, Makram, T. Suidan, "Wat. Res."(1998), vol. 32(5), 1593-1603.
5. M. Arnold, A. Reittu, "Appl Microbiol Biotechnol"(1997), vol. 48, 738-744.
6. Peter, A. Gostomski, James, B. Sisson, "J. Air & Waste Manage. Assos."(1997), vol. 47, 936-944.