

## 바이오 필터 시스템에서의 톨루엔의 처리능력 향상을 위한 운전조건 최적화 연구

정동혁, Li Pan, 조홍관, 안진영, 김병우\*  
성균관대학교 화학공학과  
(bwkim@skku.edu\*)

### Determination of maximum Elimination Capacity of gaseous toluene by changing several operation conditions in biofilter system

Dong Hyuk Jung, Pan Li, Hong Kwan Cho, Jin Young An, Byung Woo Kim\*  
Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University  
(bwkim@skku.edu\*)

#### 서론

바이오필터 시스템은 가스 속의 오염물질을 생물학적으로 처리하는 방법 중의 하나로써, 미생물을 토양 이 탄재, 고분자 폼 및 세라믹 다공체 등의 다양한 미생물 고정화용 담체에 부착 및 생육시켜 미생물의 대사활동에 의해 오염물질이 물, 이산화탄소 그리고 무해한 염으로 분해되는 환경 친화적이고 경제적인 처리공법이다[1]. 현재 선진국에서는 바이오필터 시스템이 악취 및 VOC 처리기술 중 BACT(best available control technology)로 인정받고 있으며, 국내에서도 하수처리장, 퇴비화 시설 등을 시작으로 페인트 제조공장, 음식물쓰레기 처리시설, 석유화학제품의 원재료 저장시설 등으로 적용이 확대되어 가고 있다[2]. 본 연구는 이러한 바이오필터 시스템의 적용범위 확장과 처리효율을 증대시키기 위한 광촉매(TiO<sub>2</sub>)/바이오필터 복합공정의 선행연구로 수행되었다. 제거 대상 VOC로는 톨루엔을 선정하였으며, 중요한 설계 및 조작요소들을 제어함으로써 최적의 운전조건을 찾고자 하였다.

#### 실험

바이오 필터 반응탑의 안쪽 지름은 10cm이고 3개의 층으로 구성되었으며, 바이오 필터 시스템의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 담체 충전층의 총 부피는 대략 5.0 L이며, 반응탑의 하부는 탈리 미생물을 포함하는 침출액의 배출이 용이하도록 아치형으로 제작하였다[3]. 각 층에는 기체시료를 채취하기 위한 sampling port와 담체를 채취하기 위한 sampling port를 만들어 수시로 시료의 채취와 담체의 상태를 점검할 수 있도록 하였다. 바이오필터의 상부에는 노즐을 설치하여 배지(nutrient solution)의 공급을 용이하게 하였다. 공기펌프에 의해 주입되는 공기는 MFC (mass flowrate controller)와 유량계를 통해 유량을 제어하였으며, 가습장치(Humidifier)를 통해 미생물의 성장에 적합한 온도와 습도로 조절하였다. VOC 용액을 Syringe pump(single syringe KDS-100)를 통해 미량 (0.1 ml/h의 단위)으로 주입시킨 후, 혼합탑 (mixing tank)에서 가습공기와 균일하게 혼합시킨 후 바이오필터로 공급하였다[4]. 다음 Table 1.에 바이오 필터 시스템의 전체적인 운전조건을 나타내었다.

시료채취는 적산 유량계 (MPΣ300, SIBATA, Japan)를 이용하여 일정 유량을 흡착 kit에 흡착시킨 후 밀폐하여 냉장 보관하였다. 보관된 흡착 필터는 자동 탈착장치를 통해 탈착시켜 GC-MS 장치(6890GC/ 5975N MSD, Agilent Tech.)를 사용해 180-250℃에서 N<sub>2</sub> carrier gas를 이용해 분석하였다.

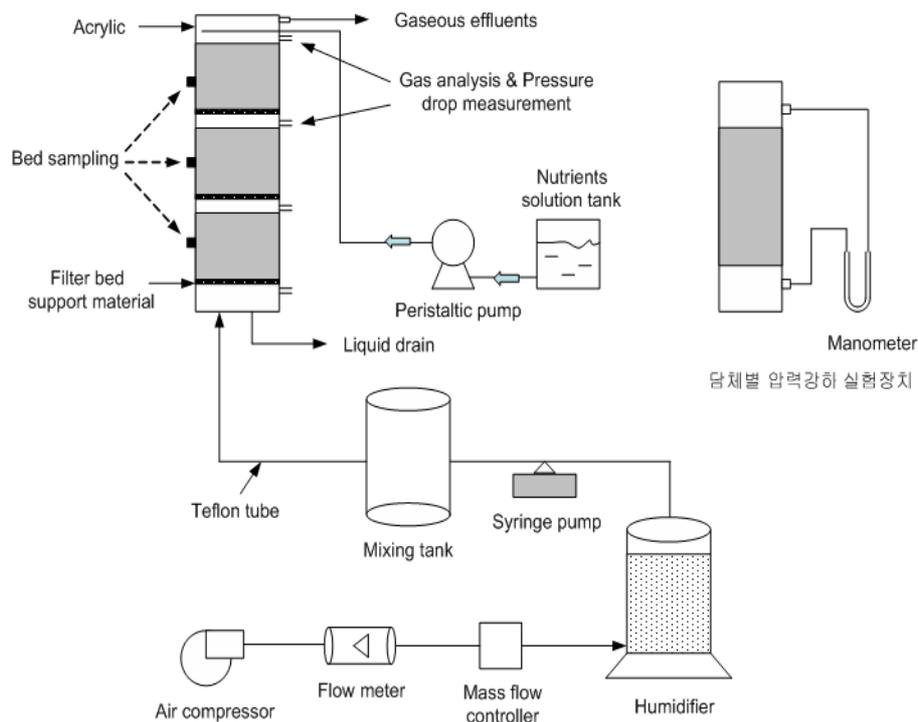


Figure 1. Schematic diagram of a biofilter system.

Table 1. Operation conditions of the biofilters

Biofilter reactor	Internal diameter (cm)	10
	height of each stage (cm)	30
	No. of stages	3
	Volume of the bed (L)	5.0
Environmental condition	Temperature (°C)	20 ~ 27
	Relative humidity (%)	70-95
	pH	6.0-8.0
	pressure drop (cm H <sub>2</sub> O)	< 0.4
Nutrient spraying	Spraying intervals	Once every 2weeks
	Quantity sprayed	1L(약 0.06 g N/d)
operation condition	EBRT <sup>a)</sup> (s)	15 ~ 60
	upflow velocity (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ·s)	1.1 ~ 4.2

a)empty bed retention time

### 결과 및 토론

실험 초기 약 30일간 부착미생물을 톨루엔에 순치(acclimation)시키기 위해 톨루엔을 0 ~ 20 ppmv의 농도로 처리시스템을 안정화시켰다. Fig. 2에 전체 운전기간동안의 톨루엔의 주입농도에 따른 제거율의 변화를 나타내었다. EBRT가 30 s, 톨루엔의 평균 주입농도가 32.3 ppmv (mg/m<sup>3</sup>)으로 하였을 때, 평균 처리 효율은 90.6%, 처리성능 (EC; elimination capacity)은 14.2 g/m<sup>3</sup>·h로 나타났다. 약 41일 후, 동일한 운전조건에서 톨루엔의 주입 농도를 64.6 ppmv로 증가시킨 결과, 평균 처리효율은 63.0%로 저하되었으며, 이때 처리성능은 16.7 g/m<sup>3</sup>·h로 나타났다.

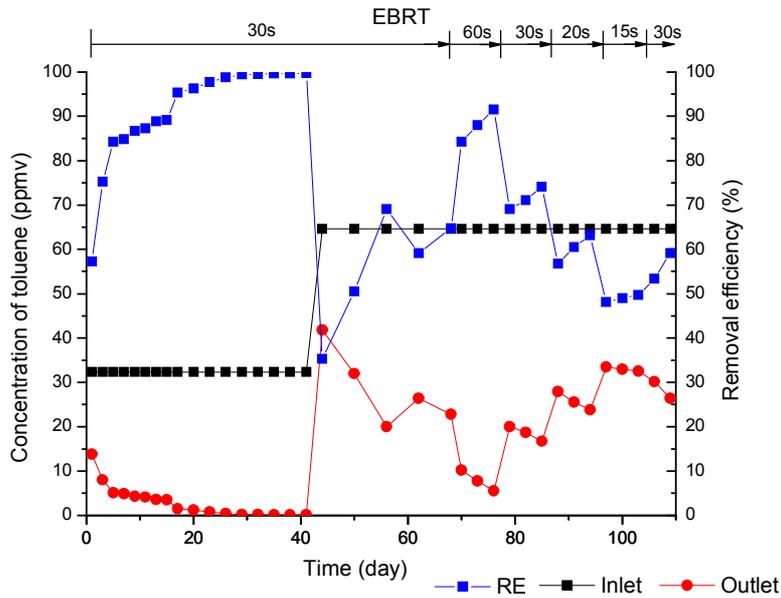


Figure 2. Removal performance of toluene under various operation conditions (EBRT : empty bed retention time, RE : removal efficiency).

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 EBRT에 따른 톨루엔의 처리성능(EC)과 톨루엔의 부하량 (Loading rate)에 따른 처리성능의 변화를 나타낸 것이다. 약 70일 이후, EBRT에 따른 톨루엔의 처리성능의 변화를 살펴보기 위해, EBRT를 15, 20, 30, 60 s로 변화시켜 그에 따른 처리성능을 평가하였다(Fig. 3). 이 실험은 약 30일간 진행하였으며, 이때 톨루엔이 주입되는 농도는 64.6 ppmv (265.7 mg/m<sup>3</sup>)로 유지하였다. EBRT가 60 s 일때 평균 제거율(RE)과 처리성능(EC)은 87.9%와 27.5 g/m<sup>3</sup>·h, 30 s일 때는 71.4%, 22.3 g/m<sup>3</sup>·h, 20 s일 때는 60.1%, 18.8 g/m<sup>3</sup>·h, 15 s일 때는 48.9 %, 15.3 g/m<sup>3</sup>·h로 각각 나타났다. 평균 제거율은 EBRT 60 s의 경우가 가장 높았으며, 처리성능은 EBRT 20 s일 때가 가장 높았으나 처리율은 60.1%로 낮게 나타났다.

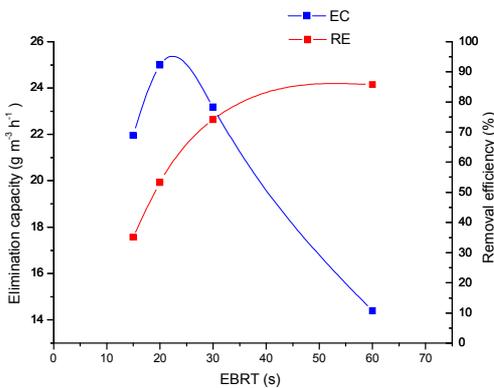


Figure 3. Effect of EBRT(Empty Bed Retention Time) on the EC(Elimination Capacity) and RE(Removal Efficiency) of toluene.

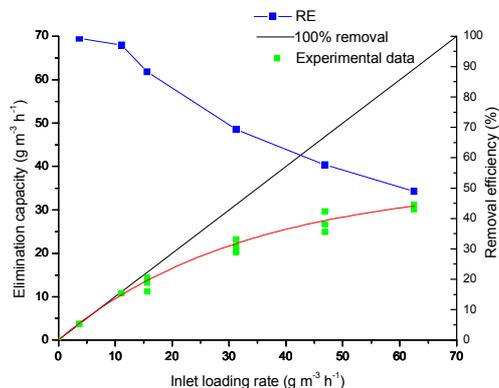


Figure 4. Relationship between loading rate and elimination capacity and removal efficiency of toluene.

3.7~62.5 g/m<sup>3</sup>·h의 부하량으로 운전하였을 때(Fig. 4), 톨루엔의 부하량이 약 46.9 g/m<sup>3</sup>·h 이상의 범위에서는 부하량의 증가에도 분해성능은 증가되지 않았으며(26~30 g/m<sup>3</sup>·h), 처리율은 50~60%으로 저하되었다.

### 결론

실험 결과에서 보듯이 평균 제거율은 EBRT 60 s의 경우가 가장 높았으며, 처리성능은 EBRT 20 s 부근에서 가장 높게 나타났다. 톨루엔은 물에 대한 용해도가 낮은 방향족 화합물이라 생분해도가 다소 낮은 편이나, 제거성능이 50~95 g/m<sup>3</sup>·h로 나타나는 다른 연구 결과들과 비교해 볼 때[5], 본 연구의 결과는 처리성능이 다소 낮은 편이다. 따라서 현재 톨루엔의 제거능력 향상을 위해 톨루엔 분해성능이 우수한 Microorganism이나 Fungal species[6]를 접종시키는 연구를 진행 중에 있다.

### 참고 문헌

1. J.E. Burgess, S.A. Parsons, R.M. Stuetz, Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review, *Biotechnol. Adv.* 19 (2001) 35-63.
2. NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS, Vol. 21, No. 3, (2003)
3. Lu, C and Chang K., Biofiltration of butyl acetate and Xylene mixtures using a trickle-bed air biofilter, *Eng. Life Sci.* 2004, 4, No. 2
4. Xi J.Y. et al., Effects of adding inert spheres into the filter bed on the performance of biofilters for gaseous toluene removal, *Biochemical Engineering Journal*, 2005, 23(2)
5. Liu Y., Quan X., Sun Y., Ghen J., Xue D., Chung J.S. (2002) *Journal of Hazardous Materials B95*, 199-213.
6. A.D. Dorado, et al., Modeling of a bacterial and fungal biofilter applied to toluene abatement: Kinetic parameters estimation and model validation, *Chem. Eng. J.* (2007)