

악취가스 제거를 위한 섬유상 담체를 적용한 바이오필터 운전조건에 관한 연구

¹정 귀 태 · ^{1,6}이 광 연 · ¹변 기 영 · ¹이 경 민 · ^{1,2}선우 창 신 · ²이 우 태 · ²박 찬 영
²김 도 형 · ⁷차 진 명 · ⁷장 영 선 · † ^{1,2,3,4,5}박 돈 희
전남대학교 ¹생명과학기술학부, ²응용화학공학부, ³생물공학연구소, ⁴촉매연구소, ⁵생물산업기술연구소
⁶동아인제대학 안광학과, ⁷비앤이테크(주)
(접수 : 2005. 2. 22., 게재승인 : 2005. 10. 1.)

Study of Operation Condition of Biofilter using Fibril-form Matrix for Odor Gas Removal

Gwi-Taek Jeong¹, Gwang-Yeon Lee^{1,6}, Ki-Young Byun¹, Kyoung-Min Lee¹, Chang-Shin Sunwoo^{1,2}, Woo-Tae Lee²,
Chan-Young Park², Do-Heyoung Kim², Jin-Myoung Cha⁷, Young-Seon Jang⁷, and Don-Hee Park^{1,2,3,4,5,†}
¹School of Biological Sciences and Technology, ²Faculty of Applied Chemical Engineering,
³Biotechnology Research Institute, ⁴Research Institute for Catalysis, ⁵Institute of Bioindustrial Technology,
Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea
⁶Department of Ophthalmic Optics, Dong-A College, Jeonnam 526-872, Korea
⁷B & E Tech Co., Ltd., Jeonnam 519-831, Korea
(Received : 2005. 2. 22., Accepted : 2005. 10. 1.)

This research was performed for developing of biological treatment process of odor gas such as MEK, H₂S, and toluene, which was generated from the food waste recycling process. To establish the operational conditions of odor gas removal by small-scale biofiltration equipment, it was continuously operated by using toluene as a treating odor object. When the odor treating microorganisms were adhered to fibril form biofilter, high removal efficiency over 93% was obtained by biofilm formation. At 400 ppm of inlet odor gas concentration and 10 sec of retention time, the removal efficiency was 76% and 93% in 1st stage reactor and 2nd stage reactor, respectively. However, the removal efficiency remained over 97% at the operational conditions above 15 sec of retention time.

Key Words : Biological treatment, odor, biofiltration, fibril form matrix

서 론

생물학적 악취제거 공정은 시설비와 운전비용이 저렴할 뿐만 아니라, 낮은 에너지 소비량과 2차 공해처리를 해야 하는 잔류물이 없는 이유로 그 응용을 넓혀 나가려는 지속적인 연구가 진행되고 있다(1, 2).

바이오 필터는 기본적으로 다공성 물질에 자연 발생된 미생물막을 이용한다. 그러나 최근에는 미생물의 적응기간

을 단축시키고 처리성능 향상을 위한 노력으로 우수한 분해성능을 보이는 미생물을 직접 접종하기도 한다(3). 특히 담체를 무기성 물질로 사용하는 경우에는 선택적인 균주 접종이 절대적인 요소이다. 현재 국내외에 주로 사용되고 있는 바이오필터용 미생물 담체는 담체 자체의 흡착 특성과 악취제거 능력이 우수한 미생물 균주가 담체에 고정화 되었을 경우 미생물의 고정화 특성에 따라 제거능력이 결정되어 진다. 바이오필터에 적용한 유기성 담체로 나무껍질이나 토탄, 톱밥 및 토양 등이 사용되어 왔지만, 장시간 운전시 압력손실의 증대와 담체의 손실로 인한 제거효율 등이 감소하여 담체 보충의 필요성이 제기되었다. 따라서 여러 가지 종류의 담체에 미생물 고정화를 위해 많은 연구들이 수행되었다(4, 5). 세라믹이나 화산석 계열의 무기 담체들도 바이오필터 담체의 대안으로 제기되어 왔는데, 이는 무기성 담체들의 공극율이나 비표면적, 흡착율 등에서 유기

The first two authors contributed equally to this work.

† Corresponding Author : School of Biological Sciences and Technology, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Tel : +82-62-530-1841, Fax : +82-62-530-1849

E-mail : dhpark@chonnam.ac.kr

성 담체에 비해 우수한 성능을 보여 새로운 바이오필터의 담체로 각광을 받고 있다. 따라서 국내 환경에서도 우수한 무기성 담체는 유기성 담체에 비해 부지 소요면적이 작아 경제적 측면에서도 바이오필터의 경쟁성을 높일 수 있는 매우 중요한 부분이므로 이 부분에 관한 연구가 필요하리라 생각된다(1, 6, 7). 또한, 바이오필터에 사용되는 담체의 경우 균주 흡착 요소가 적은 것은 저농도로 적용이 제한된다(8). 이러한 단점을 극복할 수 있는 방법으로 기존에 하수 폐수처리장에서 미생물 고정화 재료로 사용되던 섬유상 담체는 미생물을 부착, 고정화하고 동시에 바이오필터에서 발생하는 압력강하나 역세척 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 섬유상 바이오필터 담체는 많은 연구를 거쳐 고농도 처리와 급격한 유입농도의 변화가 있을 경우에도 적합한 것으로 알려져 있다(9).

본 연구에서는 바이오필터 담체 가운데 여러 장점을 가지고 있는 섬유상 담체를 사용하여 악취를 제거할 수 있는 4종류의 균주를 이용하여 악취가스의 유입농도 및 유입유량의 변화에 따른 제거효율의 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험균주 및 배지

본 실험에 사용한 균주는 광주시 소재 전자공장의 하천 및 주변토양 및 울산, 온산 등의 공업단지 오염 토양으로부터 분리한 균주 3종 (*Pseudomonas* sp. TKC, *Pseudomonas* sp. AKC, 그리고 *Geotrichum* sp. MKC)과 *Thiobacillus* sp. IW를 혼합 배양하여 악취제거에 바이오필터 식중에 사용하였다. 균주의 배양에 사용한 배지는 NH₄Cl 1.0 g/l, K₂HPO₄ 4.35 g/l, NaH₂PO₄ 3.9 g/l, MgSO₄ · 7H₂O 7.2 g/l, CaCl₂ 0.45 g/l, FeSO₄ 0.45 g/l, MnCl₂ 0.45 g/l, CuCl₂ 0.45 g/l, NaMoO₄ 0.45 g/l의 조성의 배지로 pH를 7.0으로 조정 한 뒤, 121℃, 1.5 atm에서 20분간 멸균하여 사용하였다. 또한, 바이오필터에 공급한 영양배지로는 Minimal Salt Medium (MSM : KH₂PO₄ 1.50 g/l, Na₂HPO₄ 6.00 g/l, (NH₄)₂SO₄ 3.00 g/l, MgSO₄ 0.05 g/l, CaCl₂ 0.01 g/l; pH 7.0) 을 사용하였다. 실험에 사용한 모든 시약은 시약급을 사용하였다.

악취제거 실험장치 및 운전조건

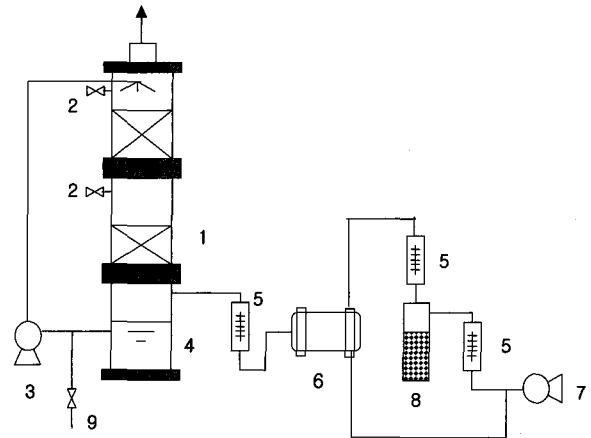
Fig. 1에 본 연구에 사용된 악취처리 시스템의 개략도를 나타내었다. 직경 19 cm, 높이 1 stage 21 cm, 2 stage 27 cm 인 바이오필터는 각 단마다 가스시료 채취구를 제작 장착 하였고, 하단에는 드레인 밸브, 상층부는 스프레이로 수분과 영양분을 공급하는 상층류식 섬유상 바이오필터 반응기이다. PP 계열의 섬유상 담체를 각각 10 cm로 절단하여 반응기의 1과 2단에 각각 15 cm씩 충전하였다. 미생물 접종을 위해 악취 제거용 혼합 균주를 발효조에서 배양한 후 4 l의 균주를 접종하여 6시간에서 12시간 간격으로 순환시키면서 균주 적응을 한 후, 영양배지로 MSM을 5배 희석한 용액을 공급하여 순환시키면서 악취 제거반응을 하였다. EBCT는 60~5 sec로 변화하면서 반응 초기에는 저농도에서 적응하

였고, 25~35℃에서 실험을 하였다(Table 1).

Table 1. Experimental condition of odor removal

Operating parameter	Operating conditions	
	1 stage	2 stage
Bed volume (L)	2.27	2.27
SV (h ⁻¹)*	120~450	
EBCT (sec)*	60~5	
Inlet flow rate (L/min)	9.1~34.05	
Temperature (°C)	25~35	
Total initial concentration (ppm)	50	
Total maximum concentration (ppm)	800	

*SV (space velocity), EBCT (empty bed contact time, empty bed residence time, empty bed retention time)



1. Biofilter reactor 2. Check valve 3. Water pump 4. Nutrient tank 5. Flowmeter 6. Mixing chamber 7. Air compressor 8. Target gas generator 9. Drain valve

Figure 1. Scheme of two stage fiber matrix biofilter for odor removal.

분석 방법

악취가스 주입량과 공기의 유량은 mass flow controller (MFC, Bwyer)와 flowmeter로 측정하였으며, 악취 혼합물의 개별 배출량은 gas chromatograph (GC-14A, Shimadzu)를 이용하였고, 혼합물질의 양은 Total VOC (Multi gas monitor PGM-50 : RAE SYSTEM, USA) 측정기를 사용하였다.

결과 및 고찰

섬유상 바이오필터 담체 특성 및 효율

현재 국내외에 주로 사용되고 있는 바이오필터용 미생물 담체는 담체 자체의 흡착 특성과 악취제거 능력이 우수한 미생물 균주가 담체에 고정화되었을 경우 미생물의 고정화 특성에 따라 제거능력이 결정되어 진다. 따라서 담체에 고정화된 미생물에 의한 악취의 제거효율 등을 조사하기 위해서는 악취제거 반응기에 사용될 바이오필터 미생물과 담체 선정이 무엇보다 중요한 문제로 제기된다. 본 연구에서는 합성물질 담체 중 본 연구에서는 바이오필터용 담체로 섬유상 담체를 선정하여 연구를 수행하였다.

본 연구에 악취 제거를 위한 바이오필터의 효과적인 운

전을 위해 사용한 섬유상 담체의 구조와 특성을 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다. 섬유상 담체의 가상부피는 섬유형태로 적층시 형태의 변화가 있어 가상의 부피를 구한 결과, 섬유상 담체의 부피는 122.5 cm³이고, 충전율은 15.3%이다. 가상의 부피는 섬유상 담체 자신의 부피와 물을 포함한 부피로 정하였고, 수분이 포화된 경우에 충전율이 48.6%이었다.

Table 2. Characteristics of fiber matrix

Characteristics Types	Weight (g/m)	H ₂ O (g/m)	Assumed volume (Fibriform volume/mL /H ₂ O weight/m)	Packing ratio (v/v)
Dried	20.89	-	16.33	15.3
Saturated	56.37	35.48	51.81	48.6
Dried for 2 min after saturation	38.39	17.91	34.24	32.1

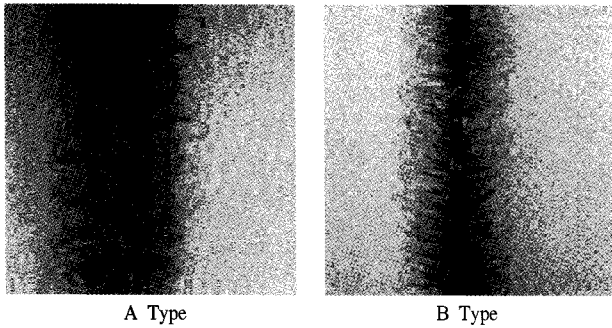


Figure 2. Photos of fiber matrix.

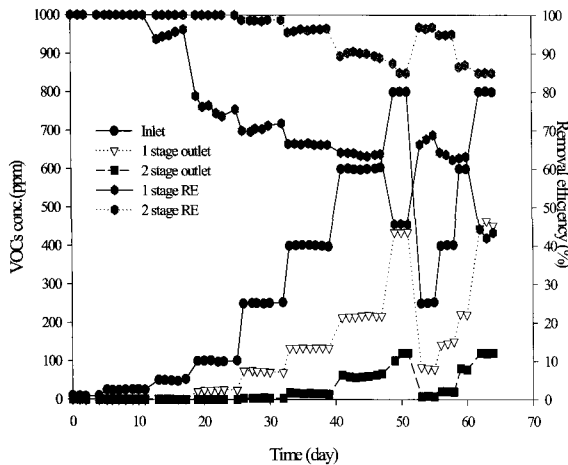


Figure 3. Odor removal pattern at constant air flow rate and varying inlet concentrations.

섬유상 바이오필터 담체의 벤젠, 톨루엔 및 자이렌 제거 특성을 알아보기 위하여 약취 유입 농도 및 유량을 변화시켜 제거 특성을 조사하였다. 섬유상 담체를 충전한 후 상부에서 물을 분무하여 섬유상 담체를 세척한 후 미생물을 식중하였다. 식중에 사용되어진 미생물은 벤젠, 톨루엔 및 자이렌의 혼합용액을 하루에 10 ml씩 공급하여 1주일

간 순용시킨 미생물을 사용하였다. 이때 공급되어진 미생물의 농도는 MLSS로 150 mg/l이었으며, 각 반응기당 2 l씩 주입하고 바이오필터에 미생물이 충분히 부착될 때까지 대상 오염 물질의 농도를 10 ppm 미만에서 체류시간을 60 sec로 고정하여 운전하였다. 각 물질은 기화기에 공급되는 공기의 유량을 유량계로 조절하여 반응기에 유입되는 벤젠, 톨루엔 및 자이렌의 농도를 단계적으로 상승시켜가면서 800 ppm까지 변화시켜 운전하였다.

BTX 혼합 가스를 total VOCs 측정 방법으로 2단 섬유상 바이오필터 반응기를 이용하여 시간에 따른 유입 및 유출 농도의 변화를 Fig. 3에 나타내었고, 유입 농도가 10 ppm에서 체류시간 60 sec 조건에서 운전한 경우 3일 후에는 유출 농도가 배출되지 않았다. 반응 3일 후부터 유입농도를 7일 간격으로 25, 50, 100, 250, 400, 600, 800 ppm으로 증가시키면서 연속적으로 연구를 진행하였다.

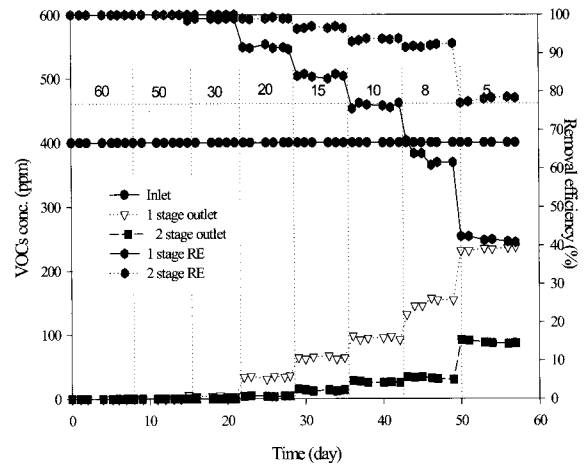


Figure 4. Odor removal pattern at constant inlet concentration and varying flow-rate (EBCT).

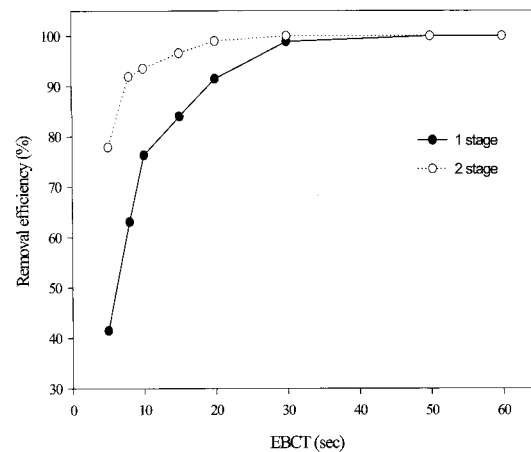


Figure 5. Removal efficiency of odor as a function of EBCT.

유입 농도 400 ppm 미만에서 체류시간 10 sec일 때 1단 반응기에서 76% 정도 제거율을 보이다가 2단 반응기에서 약 93% 정도 제거율을 나타내었다. 유입 400 ppm 이상에서는 1단 반응기에서 약 63% 이하로 제거율을 보이다가 2단 반응기에서 미처리된 가스가 처리되면서 90% 정도 제거율

을 보였다. 농도가 600 ppm 이상에서는 2단 반응기에서도 제거율이 90% 미만으로 유지되므로 BTX가 혼합된 악취 배출 장소에 바이오필터를 설치 시에는 반드시 악취가스에 대한 실험실과 미생물에 피해를 주는 인자를 확인한 후 현장 실험을 수행하는 것이 연구의 성과를 극대화하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

또한 일정 유량에서 체류시간을 60~5 sec로 변화시켜 BTX 제거에 대한 영향은 Fig. 4, 체류시간에 대한 2단 반응에서의 제거율은 Fig. 5에 나타내었다. 악취가스 농도 400 ppm에서 체류시간 변화에 따른 처리 결과 체류시간 15 sec까지는 97%까지의 제거효율을 보였으며, 체류시간 10 sec 경우에는 94% 제거되었으며, 체류시간 8~5 sec 경우에는 91~78% 사이로 제거되었다. 즉 체류시간이 15 sec 이상인 경우에는 제거효율이 97% 이상 유지되었으나, 체류시간이 5 sec로 낮아지면 제거효율이 78% 미만으로 감소하는 것은 유입 부하가 2배 이상으로 증가하기 때문으로 사료된다. 이러한 결과는 어떤 한계 처리부하 이내에서는 유입농도가 낮은 경우 체류시간을 줄일 수 있음을 보여주며, 체류시간을 줄일 수 있다는 것은 장치 소형화의 문제를 해결할 수 있는 바람직한 결과로 생각되어진다.

요 약

섬유상 담체를 이용한 2단 소형 바이오필터를 이용한 악취가스 처리공정의 운전조건을 확립하기 위하여 BTX를 처리대상 물질로 바이오필터를 연속적으로 운전하여 섬유상 바이오필터 담체에 악취가스 처리용 미생물을 부착시킨 결과 우수한 부착된 생물막을 형성하여 높은 처리효율 93%를 얻을 수 있었다. 또한, 악취 유입 농도 400 ppm 미만에서 체류시간 10 sec일 때 1단 반응기에서 76% 정도 제거율을 보이다가 2단 반응기에서 약 93%의 제거율을 나타내었다. 그러나 체류시간이 15 sec 이상인 경우에는 제거효율이 97% 이상 유지되었다.

감 사

본 연구는 산업자원부의 지역 석·박사 연구인력 양성 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. Mark, A. Deshusses (1997), Transient behavior of biofilters : start-up, carbon balances, and interactions between pollutants, *J. Environ. Engin.* **123**(6), 563-568.
2. Swanson, W. J. and R. C. Loehr (1997), Biofiltration : Fundamentals, design and operations principles, and applications, *J. Environ. Engin.* **123**(6), 538-546.
3. Cai, Z., D. Kim and G. A. Sorial (2004), Evaluation of trickle-bed air biofilter performance for MEK removal, *J. Hazardous Materials* **114**(1-3), 153-158.
4. Kennes, C. and F. Thalasso (1998), Waste gas biotreatment technology, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* **72**, 303-319.
5. Leson, G. and B. J. Smith (1997), Petroleum environmental research forum field study on the biofilters for control of volatile hydrocarbons, *J. Environ. Engin.* **123**(6), 556-562.
6. Edwards, F. G. and N. Nirmalakjandan (1996), Biological treatment of air-steams contaminated with VOCs : an overview, *Water Science and Technology* **34**(3-4), 565-571.
7. Ramírez-López, E., J. Corona-Hernández, L. Dendooven, P. Rangel and F. Thalasso (2003), Characterization of five agricultural by-products as potential biofilter carriers, *Bioresource Technology* **88**(3), 259-263.
8. Cohen, Y. (2001), Biofiltration - the treatment of fluids by micro-organisms immobilized into the filter bedding material: a review, *Bioresource Technology* **77**(3), 257-274.
9. Park, N. B., H. M. Lee, and B. S. Yang (2000), The optimum mixture ratio of food waste and sewage sludge mixture treatment using anaerobic batch reactor, *J. Korea Society of Waste Management* **17**(1), 1-8.