

폐 폴리우레탄과 분변토 미생물담체가 충전된 Biofilter에서의 NH₃ 가스의 제거

임정수, 이은영*

수원대학교 환경공학과
440-600 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산 2-2
(2007년 3월 30일 접수; 2007년 6월 4일 채택)

Removal of NH₃ Gas by a Biofilter Packed with Bio-Carrier Composed of Waste Polyurethane and Wormcast

Joung Soo Lim and Eun Young Lee*

Department of Environmental Engineering, The University of Suwon,
San 2-2, Wau-ri, Bongdam-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 445-743, Korea
(Received for review March 30, 2007; Revision accepted June 4, 2007)

요 약

Polyurethane, PVA(polyvinyl alcohol)와 지렁이 분변토를 혼합하여 제작한 bio-carrier를 충전한 바이오 필터(biofilter)를 이용하여 NH₃ 악취를 제거하였다. SV(Space velocity)가 50 h⁻¹인 조건에서 NH₃ 농도를 4 ~ 454 ppmv로 증가시켰을 때 출구로부터 NH₃가 검출되지 않았다. 또한 NH₃ 가스의 조건을 50~400 h⁻¹로 설정하여 각각의 조건에서 NH₃농도를 점진적으로 증가시켜 NH₃ 가스의 제거효율을 알아보았다. 악취가 공급되는 조건 중 SV 50 h⁻¹에서 NH₃의 최대 유입부하량은 11.38 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹로 100%의 제거효율을 나타냈으며, SV 100 h⁻¹에서는 34.42 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹에서 100%의 제거효율을 나타냈다. SV 300 h⁻¹에서 NH₃ 최대 부하량은 71.28 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹이었으며, 제거효율은 99.85%로 나타났다.

주제어 : 바이오필터, 암모니아, 미생물담체

Abstract—When ammonia (NH₃) gas was supplied to a biofilter packed with bio-carrier made of waste polyurethane and worm cast. No odor gases were detected at the outlet of the biofilter when NH₃ gas was supplied to the biofilter at the space velocity(SV) of 50 h⁻¹ until the inlet NH₃ concentration increased to 4 ~ 454 ppmv. The gradual inlet NH₃ concentration was set and the removal efficiency of NH₃ gas was measured at each condition, while the SV of NH₃ increased step by step from 100 to 400 h⁻¹. The maximum possible inlet NH₃ loading was 11.38 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹ and 34.42 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹ while maintaining the removal efficiency of 100% when the SV was 50 h⁻¹ and 100 h⁻¹, respectively. The maximum NH₃ loading was 71.28 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹ with the NH₃ removal efficiency of 99.85% at SV 300 h⁻¹.

Key words : Biofilter, Ammonia, Bio-carrier

1. 서 론

악취는 대기오염문제 중에서도 가장 까다롭고, 해결하기 어려운 특성을 가지고 있으며, 그 종류도 대단히 많을 뿐만 아니라 복합적인 작용과 후각의 개인적인 차이 등으로 인하

여 그 감각량과 피해도를 표기하기가 힘들며, 냄새에 대한 설명이나 표현 방법도 개인에 따라 차이가 있다[1]. 또한 이로 인해 악취 성분은 불쾌감에 대한 일정한 기준이나 측정방법으로는 정량적으로 표시하기 곤란한데, 이는 장소나 기상조건, 시간에 따른 변동을 고려해야 하기 때문이다.

악취 성분의 발생 원인은 크게 자연적 원인과 인위적 원인

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail : ley@suwon.ac.kr

으로 구분되는데, 자연적 원인은 미생물에 의한 단백질 분해나 도시하수의 혐기성 분해 등에 의한 것으로 이에 의한 악취의 양이 인위적 원인에 의한 발생량보다 훨씬 많은 것으로 알려져 있다[2]. 또한 악취 성분 자체가 가지는 특유한 냄새 종류에 따라 분류하면, 그 종류와 양이 더욱 많아지게 된다. 악취로 인한 민원이나 피해는 대부분 제한된 공업 단지에서 문제로 대두되고 있는데 악취를 배출하는 발생 원인은 규모가 아주 작은 공장으로부터 규모가 큰 화학공장에 이르기까지 매우 다양하다. 악취 문제가 환경적 측면에서 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며, 이에 대처할 수 있는 기술적, 경제적 여건이 필요한 상황이다.

특히 NH₃를 함유한 악취 가스는 화학공정에서 뿐만 아니라 질소를 함유한 유기물이 생물학적으로 분해될 때에도 생성된다. 또한 고무제조공장, 식품제조공장, 플라스틱 제조공장, 비료공장 등의 주변이나 농·축산업이 이루어지는 곳, 분뇨처리장, 슬러지 탈수시설, 퇴비화 공장, 쓰레기 매립장 근처에서도 악취가 발생된다[3]. 이들 발생원에서는 평균 약 100 ppmv 정도의 NH₃가 함유되어 있는데[4, 5], 이들 NH₃는 악취를 발생시킬 뿐만 아니라 0.45 ppmv의 저농도에서도 빛에 대한 감수성을 저하시키고, 0.35 ppmv에서도 사람의 두뇌작용에 악영향을 미칠 정도로 유독한 가스로 알려져 있다[6].

최근 들어 많이 이용되는 생물학적 탈취기술[7, 8]은 기존의 물리화학적 탈취기술보다 경제성이 뛰어나므로 활용실적이 증가추세에 있으며[9], 1980년대 후반부터는 악취뿐만 아니라 VOCs와 같은 폐가스의 처리에도 적용되기 시작하고 있다[10]. 1960년대 초기의 Biofilter는 토양을 충전재로 이용하였으나 제거능의 한계, 폐쇄현상 등의 문제점이 발생되었다. 반면 퇴비와 토탄(peat)[11]은 가격이 저렴하고 폐가스 제거효율이 높은 장점이 있어 많이 이용되었으나[9, 12], 미생물에 의한 충전재의 분해작용과 중력에 의한 압밀현상, 과도한 수분공급에 의한 공극 막힘 현상, 짧은 교체주기 등의 단점이 있다. 이와 같은 이유로 인해 최근에는 높은 공극률 유지가 용이하고, 수명이 반영구적이며, 제거효율이 뛰어난 무기성 및 새로운 탈취재료의 개발에 관심이 집중되고 있다[10, 13].

따라서 본 연구에서는 분변토와 폐 폴리우레탄으로 제조된 미생물 담체를 이용하여 대표적인 생활 악취 가스인 NH₃ 단독 악취에 대하여 각 부하 조건에서의 처리효율과 제거용량을 통한 운전특성을 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 바이오필터장치 구성

본 연구에 사용된 실험실 규모의 biofilter는 총 부피 약 1.923 L로 직경 7 cm, 높이 50 cm의 아크릴 재질로 제작되어진 원통형 반응기로 혼합조(mixing chamber) 및 완충탱크(surge tank), 악취 물질 주입을 위한 가스통(gas cylinder)과 공기압축기(air compressor) 등으로 구성되었다[14]. 악취 물질로는 0.5% NH₃ 표준가스(순도 99.999%, Rigas Co., Korea)를 stainless steel로 제작된 혼합조 내에서 공기압축기

에 의해 공급되는 공기를 이용, 희석하여 필요로 하는 농도로 조절하여 사용하였다. 또한 압력의 차이를 최소화하기 위해 stainless steel 탱크(약 75 L)를 설치하여 공기압축기의 작동 유무에 따라 변동되기 쉬운 공기압의 차이를 최소화하였다[14]. 이렇게 혼합된 악취 가스는 담체의 함수율을 유지시키기 위한 증습장치를 거쳐 컬럼에 주입되었고[14], biofilter의 유입, 유출부의 시료채취구로 부터 기밀주사기(gas-tight syringe)로 채취하여 분석하였다.

2.2. 미생물담체 제작 및 충전

Biofilter 충전용 carrier는 polyurethane, PVA(polyvinyl alcohol)와 지렁이 분변토를 주원료로 적절히 혼합한 bio-carrier이다[15]. 본 제작 담체는 기공률 70%, 비표면적 6.2 m²/g이며, 담체의 주성분인 분변토 내의 총 유기물 함량이 35%에 이르러 추가적인 영양물질의 공급 및 미생물 접종이 없이 biofilter의 운전에 즉시 이용되는 장점이 있다[14]. Biofilter에 충전된 담체의 부피는 1.153 L로 높이 50 cm의 컬럼에 30 cm 높이로 충전하여 사용하였다.

2.3. 악취 가스의 분석

악취 가스에 대한 초기 순응기간을 고려하여 공간속도(SV)를 50~400 h⁻¹로 증가시켰으며, 각 SV에서 유입농도 역시 저농도에서 고농도로 증가시키면서 공급하였고, 부하충격에 따른 처리효율 저하를 고려하여 부하율 증가는 점진적으로 실시하였다.

NH₃의 경우 1 L 용량의 샘플 채취용 테들러 백(tedlar bag)을 유입, 유출 sampling port에 연결시켜 암모니아용 검지관(GASTEC ; 3 L, 3 La, 3 M)을 사용하여 일차로 농도를 측정하였으며, 정확한 농도분석을 위하여 흡습병(gas washing bottle)에 0.5% 붕산용액 50ml를 넣고 가스를 포집한 후 흡습액을 인도페놀법(대기공정시험법, 환경부)을 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유입농도에 따른 제거 효율

Figure 1에 NH₃ 단독 가스가 공급될 때 각 가스 및 SV의 변화에 대한 각 조건에서의 입구 및 출구의 농도를 조사하였다. Figure 1에서 보는 바와 같이 SV를 50, 100, 150, 200, 300, 및 400 h⁻¹로 증가시키에 따라 각 조건에서의 biofilter에서의 NH₃ 악취 가스의 제거 양상을 살펴보았다. NH₃ 입구농도를 4-454 ppmv 까지 증가시킬 때 SV 100 h⁻¹ 이하의 조건에서 NH₃ 가스는 검출되지 않았으며, SV 150 h⁻¹ 이상인 조건에서는 입구농도의 증가에 따라 출구로부터 저농도의 NH₃ 가스가 검출되었다. Biofilter 유출수의 pH를 측정할 결과 운전 초기 pH가 6.8 - 7.0이었으나, 시간이 경과됨에 따라 그 값이 약간 저하되어 pH 6.6 - 6.7로 관찰되었다. 이는 담체의 주성분인 분변토 내의 여러 가지 무기물 성분이 buffer 기능을 하여 pH의 급격한 저하를 막아주기 때문인 것으로 사료된다.

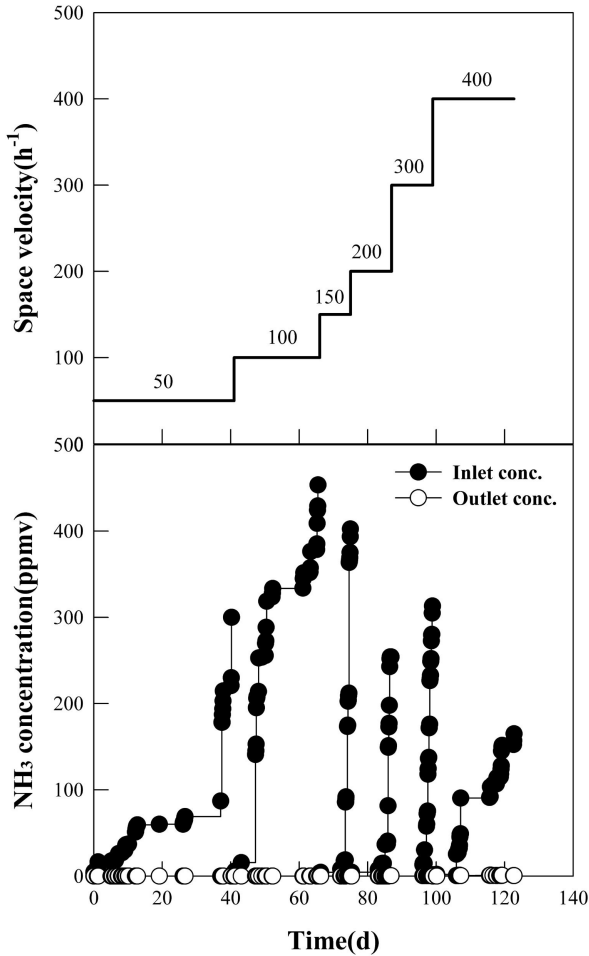


Figure 1. Time vs NH₃ concentrations at different space velocity conditions.

3.2. 유입부하량에 따른 제거효율

NH₃ 부하량의 증가에 따른 미생물담체가 충전된 biofilter의 제거효율을 알아보았다. NH₃의 입구농도는 4-454 ppmv 이고 SV를 50~400 h⁻¹로 증가함에 따라 부하량이 증가함에도 불구하고 안정적인 제거효율을 보였다. 초기 SV 50 h⁻¹에서 유입 부하량은 0.14 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹로 시작되어 40일 후 11.38 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹까지 증가하였으며 100%의 제거효율을 나타내었고, SV 100 h⁻¹에서는 총 25일에 걸쳐 34.42 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹까지 증가함에 따라 100%의 제거효율을 나타내었다. SV 150 h⁻¹에서는 9일에 걸쳐 유입부하량 45.81 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹까지 증가할 경우 99.81%의 제거효율을 나타내었다.

SV를 50~150 h⁻¹로 증가할 경우 유입부하량의 증가함에도 불구하고 안정적으로 제거효율을 보임을 알 수 있었다. SV 300 h⁻¹에서는 71.28 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹까지 유입 부하량이 최대로 증가하였으며, 최대부하량에서 99.85%의 제거효율을 나타내었다. 반면 SV 400 h⁻¹에서는 50.05 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹의 유입 부하량에서 제거효율이 99.71%로 감소함에 따라 제거용량도 감소하였다(Figure 2, 3).

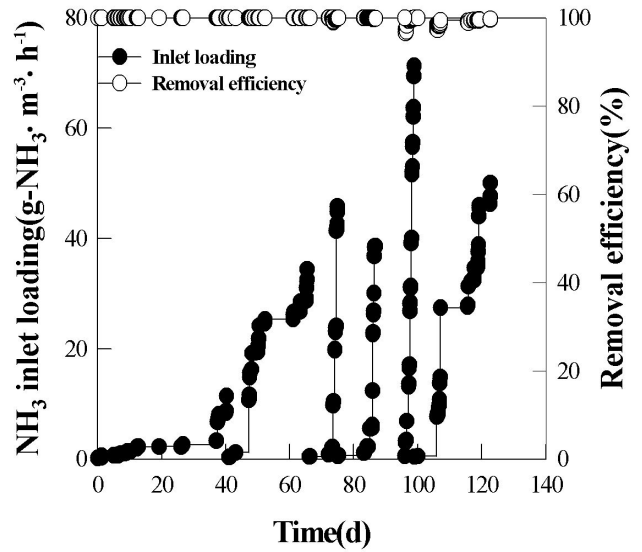


Figure 2. Effect of the inlet loading on the removal efficiency of NH₃.

Biofilter를 이용한 NH₃ 단독가스 처리 시 기존의 연구결과를 비교해보면, Lee 등[16]은 목재류 쓰레기와 풀이나 낙엽이 섞어서 만들어진 부엽토(leaf mold)를 충전물질로 한 연구에서 1.65 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹의 부하량에서 98% 정도 처리 가능한 것으로 보고하였으며, Hartidainen 등[17]은 토탄(peat)을 이용하여 부하량 1.87 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹까지 효과적인 처리가 가능하다고 보고하였으며, Sorial 등[18]은 6 mm의 pellet형의 생물 부착 담체를 이용하여 부하량 8.16 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹에서 99% 이상 처리하였다. 또한, Lim 등[19]은 자체 개발한 페 타이어 담체를 이용하여 연구한 결과 부하량 10.22~20.44 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹에서 약 80% 처리 가능하나 34.58 g-NH₃ · m⁻³ · h⁻¹로 증가할 때에는 약 53% 처리 가능

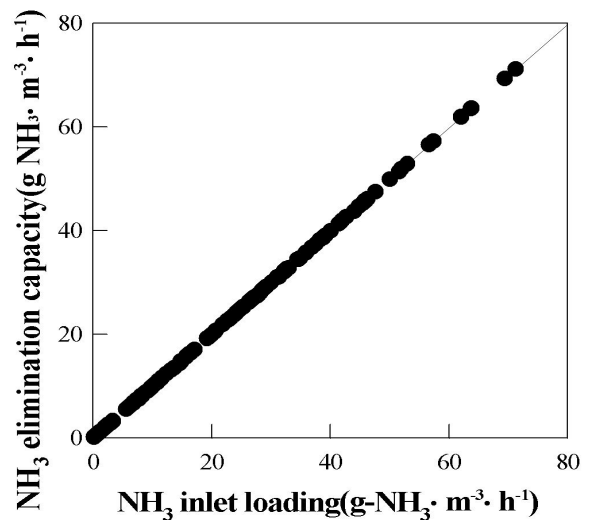


Figure 3. Relationship between NH₃ inlet loading and elimination capacity.

하다고 보고하였다.

따라서 제조된 미생물담체를 이용한 본 실험에서는 NH_3 초기 유입 부하량이 $0.14 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 인 조건에서 100% 처리 가능하였으며, 최대 부하량인 $71.28 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 인 조건에서도 99.85%의 처리효율을 나타내어 매우 우수한 처리효율을 보이는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면 최대로 SV 400 h^{-1} , 454 ppmv, 최대부하량이 $71.28 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 인 조건에서도 99%이상의 제거효율을 보이며 기존의 연구결과에 비교하여 매우 효율적으로 NH_3 단독 가스를 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

NH_3 의 제거 효율에 미치는 SV의 영향을 알아보기 위해, SV에 대한 NH_3 의 제거효율과 공간 속도의 변화에 대한 변수를 고려하여 SV 별로 도시하였다(Figure 4). NH_3 단독 가스가 공급될 때 453.52 ppmv이하, SV 100 h^{-1} 이하의 모든 조건에서 100% 제거효율을 보였다. 이때 SV 150 h^{-1} 의 경우 유입농도가 최대로 402.37 ppmv까지 증가할 경우 오차 범위 ± 0.29 로 평균 99.78%의 처리 효율을 보였고, SV 200 h^{-1} 에서는 최대 유입농도 254.11 ppmv에서 오차 범위는 ± 0.09 로 평균 99.95%의 제거 효율을 나타내었다. 이후 SV가 증가함에 따라 오차 범위는 증가하고 제거효율은 감소하였다. SV 300 h^{-1} 과 SV 400 h^{-1} 에서는 각각 99.17% 및 99.07%의 제거 효율을 보였다. 본 연구에서는 SV 400 h^{-1} 까지의 모든 실험 조건에서 99-100%의 제거효율을 보이므로 공간속도의 증가가 본 실험이 행해진 조건에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 악취 가스가 공급되는 경우 일정한 SV 이상에서는 악취 가스의 제거효율은 입구농도 증가보다는 SV의 증가에 따라 제거효율이 감소되는 것으로 보인다.

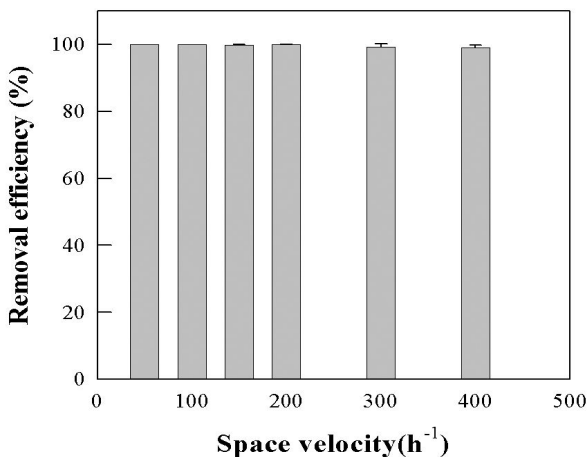


Figure 4. Effect of space velocity on the removal efficiency of NH_3 .

4. 결 론

제작된 미생물담체를 충전한 biofilter를 이용하여 NH_3 단독 가스를 처리하였다. 120여일에 걸쳐 장기간에 행해진 실험

에서 미생물담체를 충전한 biofilter에서 NH_3 단독 가스일 경우 SV $50 \sim 400 \text{ h}^{-1}$ 인 조건에서 유입농도를 단계적으로 높여 악취제거효율을 조사하였다. NH_3 단독 악취가 공급되는 조건에서 SV $50 \sim 100 \text{ h}^{-1}$ 에서 유입부하량이 $11.38 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, $34.42 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 까지 증가해도 100%의 제거효율을 보였다. SV 150 h^{-1} 에서는 유입부하량이 $45.81 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 까지 증가할 경우 99.81%의 제거효율을 나타내었다. SV $300 \sim 400 \text{ h}^{-1}$ 로 증가함에 따라 $71.28 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, $50.05 \text{ g-NH}_3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 의 유입부하량에서 각각 99.85%, 99.71%의 제거효율을 보였다. 본 실험이 행해진 4 ~ 454 ppmv, SV $50 \sim 400 \text{ h}^{-1}$ 인 조건에서는 공간속도의 증가 및 입구농도의 증가가 제거효율에 큰 영향을 미치지 않고 안정적인 악취제거 효율을 보여주었다.

참고문헌

- Kim, K. E. and Lee, H. K., The Elimination and Measurement of an Odor, Academy Publishing Co, New York, 1993, pp. 31-42.
- Lim, T. G., Jeong, J. S., Park, G. H., Oh, G. Y., and Heo, N. C., "The Ode Characteristics of Livestock raising facility," pp. 1239-1248, Annual Meeting of Korean Society Environmental Engineering, Apr. 27, Suwon Worldcup Stadium (2005).
- Ryer-Power, J. E., "Health Effects of Ammonia," *Plant/Oper. Prog.*, **10**, 228-232 (1991).
- Gust, M., Geruchsmachung von Möglich Keiten Ihrer Vermeidung Durch Biologische Abluftreinigungsverfahren, *Wissenschaft und Umwelt*, 2-10 (1984).
- Zeisig, H.D., Holzer, A. and Kreitmeier, J., "Anwendung von Biologischen Filtern zur Reduzierung von Geruchsintensiven Emissionen," Forschungsbericht 80-1040 33 82, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, (1980).
- Summer, W., Geruchsmachung von Luft und Abwasser, R. Oldenbourg Verlag, München und Wien, 1970.
- Pomeroy, R. D., "Biological Treatment of Odorous Air," *J. Water Polut. Control Fed.*, **54**, 154-156 (1982).
- Institute of Agricultural Machinery in Japan, "Studies and Application of Soil Deodorization Method," HAM, Osaka Japan (in Japanese), (1984).
- Hirai, M., Ohtake, M., and Shoda, M., "Removal Kinetics of Hydrogen Sulfide, Methanethiol and Dimethyl Sulfide by Ppeat Biofilter," *J. Ferment. Bioeng.*, **70**, 334-339 (1990).
- Van Lith, C., Lesen, G., and Michelsen, R., "Evaluation Design Operation for Biofilters," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **47**, 37-48 (1997).
- Choi, J. J., Hirai, M., Shoda, M., and Kubota, H., "Removal of Hydrogen Sulfide, Methyl Mecrcaptan, Dimethyl Sulfide by Activated Carbon Fiber," *Environ. Sci.*, **5**, 163-171

- (1992).
12. Togashi, I., Suzuki, M., Hirai, M., Shoda, M., and Kubota, H., "NH₃ by a Peat Biofilter without and with Nitrifier," *J. Ferment. Technol.*, **64**, 425-432 (1986).
 13. Deshusses, M. A., "Biodegradation on Mixtures of Ketone Vapors in Biofilters for the Treatment of Waste Air," PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich (1994).
 14. Lim, J. S., Cho, W. S and Lee, E. Y., "Removal of Mixed Gases of H₂S and NH₃ by the Biofilter Packed with Biomedia," *Clean Technol.*, **12**(3), 165-170 (2006).
 15. Lee, E. Y. and Cho, W. S., "Production of Biomedia for A biofilter Using Earthworm Casting and Recycled Polyurethane Foam Collected from Scrapped Vehicle," *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **4**(1), 1-7 (2005).
 16. Lee, D. H., Lau, A. K., and Pinder, K. L., "Development and Performance of an Alternative Biofilter System," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **51**, 78-85 (2001).
 17. Harticainen, T., Ruuskanen, J., Vanhatalo, M., and Marticainen P.J., "Removal of Ammonia from Air by a Peat Biofilter," *J. Environ. Technol.*, **17**, 45-53 (1996).
 18. Soorial, G. A., Amith, F. L., Suidan, M. T., and Brenner, R. C., "Removal of Ammonia from Contaminated Air by Trickle Bed Air Biofilters," *J. Air Waste Manage.*, **51**, 756-765 (2001).
 19. Lim, K. H. and Wang, Z. P., "Treatment of Waste-Air Containing Hydrogen Sulfide and Ammonia Using a Biofilter," *Appl. Chem.*, **9**(1), 213~216 (2005)
 20. Park, S. J., Seo, J. S., Oh, S. G., Kim, D. D., Lee, J. H., and Kim, C. I., "Removal of Sulfur-H₂S, MT and DMDS-Containing Odors Using Diatomite Ceramic Biofilter," KSWQ Annual Meeting, Korea University, 227-228 (1999).