

종속영양세균과 독립영양세균을 고정화한 Polyurethane Biofilter의 돈분뇨 악취제거

이연옥¹ · 조춘구^{1*} · 류희욱^{1,2} · 조경숙³

¹숭실대학교 환경·화학공학과, ¹바이오세인트(주) 환경생명공학연구소,
¹이화여자대학교 국가지정 지하환경연구실

Removal of Malodorous Gases from Swine Manure by a Polyurethane Biofilter Inoculated with Heterotrophic and Autotrophic Bacteria. Lee, Yun Ok¹, Chun Ku Cho^{1*}, Hee Wook Ryu^{1,2}, and Kyung-Suk Cho³. ¹Department of Chemical and Environmental Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea, ²Research Institute of Biological and Environmental Technology, Biosaint Co., Seoul 153-120, Korea, ³National Subsurface Environmental Research Laboratory, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea – Removal of malodorous gases from swine manure by a polyurethane biofilter inoculated with heterotrophic and autotrophic bacteria was investigated. Ammonia, hydrogen sulfide and other gases could be efficiently treated at 3~3.6 second of empty bed retention time by the polyurethane biofilter. In the range of SV 200~1,200h⁻¹, the average removal efficiency of odor was about 89% when the odor unit of inlet gas was below 4100. Odor elimination capacity of the polyurethane biofilter was $1.8 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^7$ OU·m⁻³·h⁻¹ that were 84~90% of the inlet load. The critical loads of NH₃ and H₂S, which mean 97% removal with respect to the inlet loads, were 31 and 27 g·m⁻³·h⁻¹, respectively. The maximum elimination capacities of NH₃ and H₂S were 56 and 157 g·m⁻³·h⁻¹, respectively. Although the removability for NH₃ and H₂S was not influenced by H₂S/NH₃ ratio (ppmv/ppmv), the H₂S removability was inhibited by high H₂S concentration more than 80 ppmv.

Key words: Malodorous gases, Swine manure, Biofilter, Hydrogen sulfide, Ammonia, Odor unit

양축농가에 있어 가장 큰 애로사항 중의 하나는 축사내
외에서 발생하는 악취로 인한 문제이다. 축사에서 발생하는
악취는 인간뿐만 아니라, 가축의 건강에 해를 끼치며 악취
로 인한 민원으로 인해 양축산업이 위축됨에 따라 국내 축
산업 발전의 저해 요인이 되고 있다. 축사내외의 악취 발생
원은 축사바닥, 통로, 사료조, 피트, 분뇨수거 및 처리시설
등인데, 이 중에서 분뇨는 주요 악취 발생원이다. 특히, 돈
분뇨의 경우, 배출규모, 악취의 강도, 취급처리상의 곤란함으
로 인해 가장 문제시되는 악취 발생원이다. 돈분뇨로부터 발
생되는 악취에는 탄소 2개에서 5개 화합물인 휘발성 유기산
, phenol, p-cresol, indole, skatole, ammonia, hydrogen
sulfide, dimethyl disulfide, trimethylamine, styrene, acet-
aldehyde 등이 함유되어 있다[1].

돈분에서 발생하는 악취를 제어하기 위한 방법으로 악취를
대기로 급속 배출시키는 물리적인 방법, 악취원을 흡착/흡수
시키는 방법 및 악취를 무취한 화합물로 분해 제거하는 미생
물을 이용한 생물학적 방법이 이용 될 수 있다. 특히, 생물학
적 방법 중에서 biofiltration은 경제적으로 악취를 처리할 수

있는 효율적인 방법이다. Biofiltration은 악취를 제거하는 활
성을 지닌 미생물을 고정화한 담체에 악취가스를 통과시켜
제거하는 방법으로 주로 유럽과 일본에서 개발된 기술이다.
이 방법은 작은 설비규모로 효율을 극대화시킬 수 있으며,
설치공간이 좁은 곳이나 악취발생원과 생활권이 인접하고 있
는 지역에 가장 적합한 탈취 방식으로 평가받고 있다[2-11].

본 연구에서는 종속영양세균과 독립영양세균의 혼합균을
고정화한 polyurethane을 담체를 사용한 biofilter를 사용하
여 돈분뇨에서 발생하는 악취의 제거특성을 규명하고자 하
였다. 특히, 돈분뇨 악취를 처리하는데 있어 체류시간을 최
대로 단축하고자, 악취제거능에 미치는 돈분뇨 악취의 공간
속도의 영향을 평가하여, 돈분뇨 악취 처리용 biofilter 설계
를 위한 기본 인자를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

돈분뇨 및 접종원

충북지역의 A 돈사 돈분뇨 저장조에서 상등액을 채취하
여 사용하기 전까지 냉장고에서 보관하였다. 또한, 서울 근
교 하수처리장에서 채취한 농축오니에 황산화세균(*Thio-
bacillus thiooxidans* AZ11 KCTC 8929P)을 polyurethane
biofilter의 탈취미생물 접종원으로 사용하였다[2].

*Corresponding author

Tel. 82-2-820-0617, Fax. 82-2-820-5378

E-mail: ckzhoh@saint.soongsil.ac.kr

악취 발생 장치

돈사에서 발생하는 악취를 묘사하기 위하여 돈분뇨 시료로부터 악취 발생 장치를 이용하여 악취를 발생시켰다. 악취 발생 장치는 아크릴 컬럼 (50 mm Φ×300 mm L)으로 제작하였고, 유리구슬 (2 mm Φ)를 높이 90 mm까지 충전시켰다 (Fig. 1). 돈분뇨 시료는 pump를 이용하여 40mL/min의 속도로 악취 발생 장치에 주입하였고, air compressor로부터 압축공기 유량을 유량계를 이용하여 조절하여 악취 발생 장치 하단으로 주입하여 돈분뇨 시료로부터 악취를 휘발시켰다. 발생장치로 주입된 돈분뇨 시료는 발생장치의 높이 100mm에 설치된 overflow port를 통하여 배출시켰다. 발생시킨 돈분뇨 악취의 농도를 저농도부터 고농도까지 다양하게 설정하기 위하여 돈분뇨 시료 원액을 수돗물로 희석하여 10%, 12.5%, 25% 및 50% 돈분뇨 희석액을 발생 장치에 주입하였다.

Biofilter

본 연구에서 사용한 biofilter의 장치도를 Fig. 1에 도시하였다. 농축 오니 2L와 *T. thiooxidans* AZ11 (KCTC 8929P) 배양액 1L를 정육면체로 된 polyurethane 담체(10×10×10 mm, 세일스폰지, Korea)와 혼합하여 미생물을 고정화시킨 후, 이 담체를 biofilter column에 충전하였다. Polyurethane 담체의 겉보기 밀도는 0.015 g/cm³, water holding capacity는 57g-H₂O/g, porosity와 평균 pore size는 각각 98.8%와 0.8 mm, 표면적은 76.81 m²/g이었다. 원통형의 아크릴 컬럼 이용하여 biofilter를 제작하였다 (75 mm Φ×1800 mm L). 원통형의 biofilter의 하부 1단은 drain 저장탱크(75 mm Φ×4500 mm L)를 설치하였다. 상부 2단(75 mm Φ×500 mm L)에 미생물을 고정화한 polyurethane을 각각 높이가 450 mm가 되도록 충전하였다. 악취 발생 장치의 악취 가스를 biofilter의 하단으로 주입하였고, biofilter에 충전된 담체가

건조되는 것을 방지하고, 미생물에 무기염을 공급하기 위하여 무기염이 첨가된 수돗물 4L를 펌프를 이용하여 biofilter 상부에 설치한 스프레이로 1일 3~4회 분사해 주었다(KH₂PO₄, 1.5 g/L; Na₂HPO₄·12H₂O, 9 g/L; (NH₄)₂SO₄, 3 g/L; CaCl₂·2H₂O, 0.01 g/L; MgSO₄, 0.15 g/L). Drain 탱크의 drain 용액은 2일에 한번씩 교환해 주었다. Space velocity(SV, gas flow rate/carrier packing volume) 200~1,200h⁻¹의 조건에서 biofilter의 유입가스와 출구가스의 냄새 감지 한계 희석배수 (odor unit), 황화수소, 및 암모니아 농도를 비교함으로써 polyurethane biofilter에 의한 돈분뇨 악취의 분해특성을 조사하였다.

분석방법

Biofilter 입·출구에서 가스 시료를 시료 채취 용기에 채취하여 무취공기로 희석배수를 단계적으로 증가시키면서 희석하여 냄새를 느낄 수 없을 정도까지 희석하여 냄새 감지 한계 희석배수를 구하였다. 냄새 감지 한계 희석배수는 공정시험방법에 의해 측정하였다. 황화수소 농도는 flamephotometric detector가 장착된 gas chromatography (HP 5890, HP, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석용 컬럼으로 HP-1 (0.32 mm I.D.×30 m L, 0.25 μm)을 사용하였다. 암모니아 농도를 측정하기 위해 0.01N H₂SO₄ 용액을 100 ml 넣은 흡수병에 가스를 10분간 흡수시켰다. 이 흡수액 중의 NH₄⁺ 농도는 IC Pak™ Cation M/D(3.9 mmΦ×150 mm L, Waters, USA) 컬럼을 이용하여 이온 크로마토그래피(Waters 510, Waters, USA)로 분석하였다.

결과 및 고찰

Polyurethane biofilter에 의한 돈분뇨 악취 제거 특성

탈취균주를 접종한 polyurethane biofilter에 10% 돈분뇨 희석액을 악취 발생 장치에 주입하여 발생시킨 악취가스를 공간속도 100h⁻¹로 공급하면서 탈취 미생물을 순차시켰다. 초기 5일 동안의 평균 악취제거효율이 odor unit 기준으로 70%이었으나, 시간이 경과할수록 악취제거효율은 증가하였다.

12.5% 돈분뇨 희석액을 악취 발생 장치에 주입하여 발생시킨 악취물질의 polyurethane biofilter에 의한 제거 특성을 Fig. 2에 도시하였다. 재료 및 방법에서 기술한 바와 같이 악취 발생 장치에 주입하는 돈분뇨 희석액의 주입속도를 모든 SV 조건에서 일정하게 하고 악취 발생 장치에 공급하는 압축공기의 유량으로 SV를 조절하였음에도 불구하고 Fig. 2b에 도시한 바와 같이 SV가 증가할수록(200h⁻¹에서 1,200h⁻¹) 유입가스의 odor unit도 증가하였다(1,700에서 3,600). 그러나, Fig. 2c와 d에서 볼 수 있듯이 암모니아와 황화수소의 농도는 SV를 증가시켜도 일정하거나 크게 증가하지 않았다. 따라서, 높은 SV 조건에서 유입가스의 odor

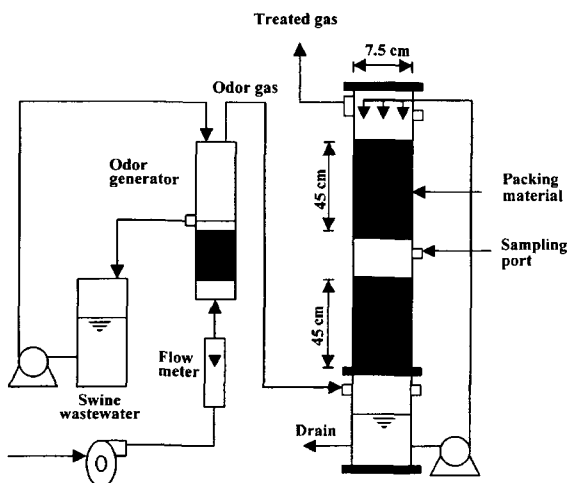


Fig. 1. Schematic diagram of polyurethane biofilter system.

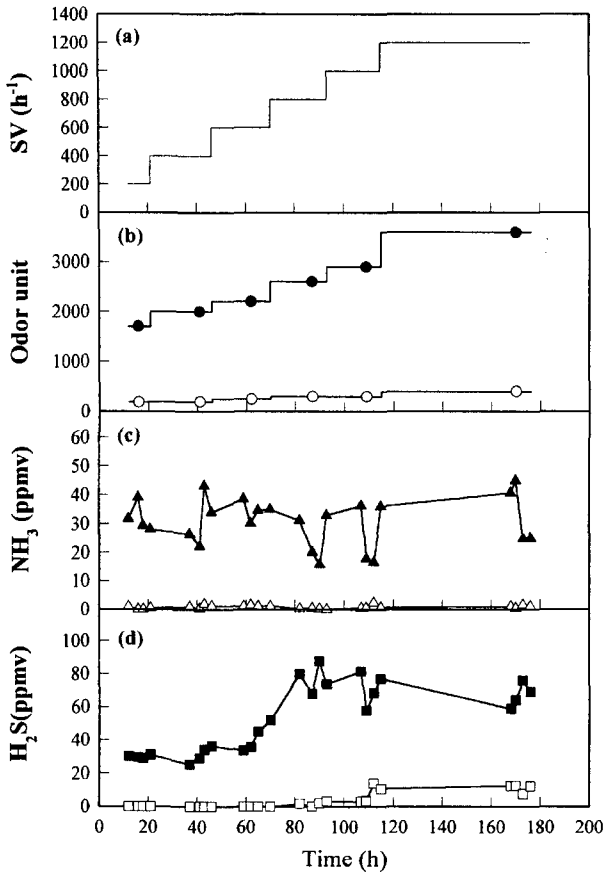


Fig. 2. Time profiles of odor unit, NH₃ and H₂S concentrations in inlet and outlet gases of polyurethane biofilter. Closed symbols, inlet gas; Open symbols, outlet gas.

unit가 높은 이유는 암모니아와 황화수소의 농도가 증가하였기 때문이 아님을 알 수 있다. SV의 증가가 유입가스의 odor unit를 증가시킨 이유는 돈분뇨 희석액에 함유된 비교적 용해도가 큰 악취물질이 공기주입량이 높을수록 고농도로 휘발되었기 때문으로 사료된다.

SV가 증가함에 따라 biofilter 유입가스의 odor unit은 증가했음에도 불구하고, odor unit을 기준으로 평가한 악취 제거 효율은 SV에 상관없이 88~90%으로, 1,200h⁻¹의 높은 SV에서도 높은 제거 효율을 나타내었다. 또한, 돈분뇨로부터 발생하는 대표적인 악취물질인 암모니아의 제거효율도 96~99% 매우 우수하였으며, 출구가스 중의 암모니아 농도도 모든 SV 조건에서 2ppmv 미만으로 대기환경보전법에 의한 악취규제농도를 만족하였다. 그런데, 황화수소의 경우, SV 200h⁻¹에서 600h⁻¹까지는 biofilter 출구가스 중의 황화수소 농도는 0.01ppm 이하로 검출한계 미만으로 제거효율이 거의 100%로 매우 높았으나, SV 800h⁻¹이상의 조건에서는 SV가 증가할수록 황화수소 제거효율이 감소하였다. 즉, SV 800, 1,000 및 1,200h⁻¹ 조건에서의 출구가스 중의 황화수소 평균 농도는 각각 1.80 ppmv(평균제거효율: 98

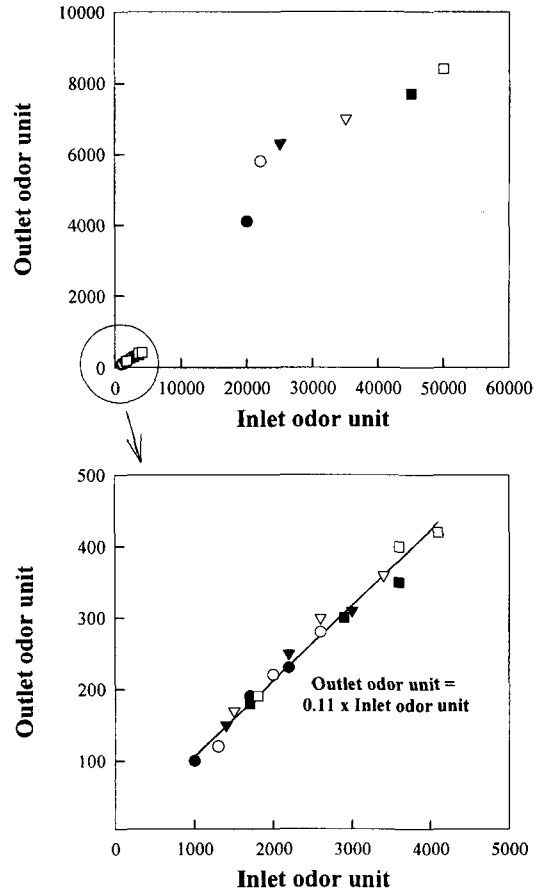


Fig. 3. Relationship between inlet odor unit and outlet odor unit. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

%), 7.77 ppmv(평균제거효율: 89%) 및 11.16 ppmv(평균제거효율: 83%) 이었다.

Odor unit을 기준으로 한 돈분뇨 악취 제거율

돈분뇨로부터 발생되는 악취성분은 매우 다양하므로 본 연구에서는 polyurethane biofilter의 탈취성능을 평가하는데 있어 관능법을 이용한 odor unit을 이용하여 분석하였다. 10%, 12.5%, 25% 및 50% 돈분뇨 희석액로부터 발생시킨 악취가스를 각각 SV 200~1,200h⁻¹로 polyurethane biofilter에 공급하였을 때 biofilter의 입·출구 가스의 odor unit을 측정된 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 25% 이하의 돈분뇨 희석액을 이용하여 발생시킨 악취가스의 최대 odor unit은 4,100이었는데, inlet odor unit이 4,100 이하의 범위에서는 inlet odor unit과 outlet odor unit 간에는 다음과 같은 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

$$\text{Outlet odor unit} = 0.11 \times \text{Inlet odor unit}$$

즉, inlet odor unit가 4,100 이하의 범위에서는 SV 200~1,200h⁻¹의 모든 조건에서 odor unit을 기준으로 한 polyurethane biofilter의 돈분뇨 악취 제거효율은 89%임을

알 수 있다. Biofilter 출구에서의 odor unit은 모두 500 이하로 대기환경보전법의 배출구 허용치인 500을 만족하였다.

한편, 50% 돈분뇨 희석액을 이용하여 악취가스를 발생시킨 경우에는 악취가스의 odor unit이 20,000~50,000으로 매우 높았다. Polyurethane biofilter에 의한 이러한 고농도 악취가스의 제거 효율은 SV에 따라 약간 차이가 있었으나 74~83% 이었다. Biofilter에 충전된 담체의 단위부피(m³)당 유입되는 odor unit으로의 악취 유입부하량은 $2 \times 10^5 \sim 6 \times 10^7$ OU · m⁻³ · h⁻¹ 이며, 악취제거용량은 돈분뇨 희석배수와 SV에 따라 약간 차이가 있었으나 유입부하량의 약 84~90%($1.8 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^7$ OU · m⁻³ · h⁻¹) 이었다(Fig. 4). 이러한 odor unit의 제거율은 황화수소와 암모니아뿐만 아니라 돈분뇨에 함유되어 있는 유기성 악취물질들(휘발성 유기산, phenol, p-cresol, indole, skatole, ammonia, hydrogen sulfide, dimethyl disulfide, trimethylamine, styrene, acet-aldehyde 등)[1]을 biofilter에 의해 잘 제거됨을 의미한다.

암모니아와 황화수소의 제거 특성

Polyurethane biofilter에 의한 돈분뇨로 발생되는 대표적인 악취물질인 암모니아 제거 효율에 미치는 암모니아 유입농도의 영향을 Fig. 5에 도시하였다. 암모니아 유입농도가 증가함에 따라 제거효율이 완만하게 감소하였으나, SV 1,000h⁻¹ 이하이고 암모니아 유입농도가 80 ppmv 이하의 범위내에서는 94% 이상의 비교적 높은 제거효율을 얻을 수 있었다. 반면, SV 1,200h⁻¹ 이상에서는 입구농도가 55 ppmv 이상일 때 제거효율이 90% 이하로 급격히 감소하였다. 암모니아 유입부하량 변화에 따른 biofilter에 의한 암모니아 제거용량의 변화를 Fig. 6에 도시하였다. SV 1200h⁻¹ (체류시간 3초)의 조건에서 polyurethane biofilter에 의한

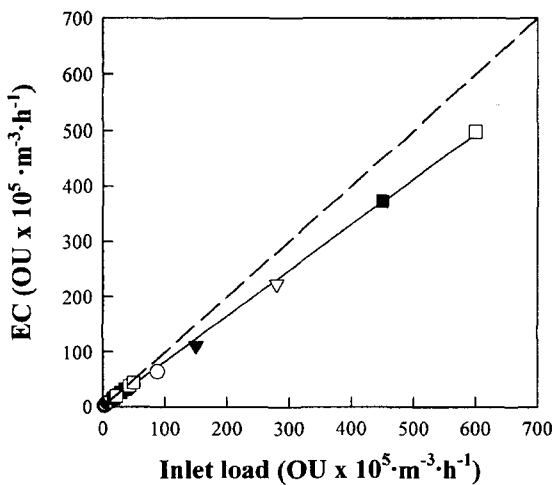


Fig. 4. Relationship between inlet load and elimination capacity of odor unit. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

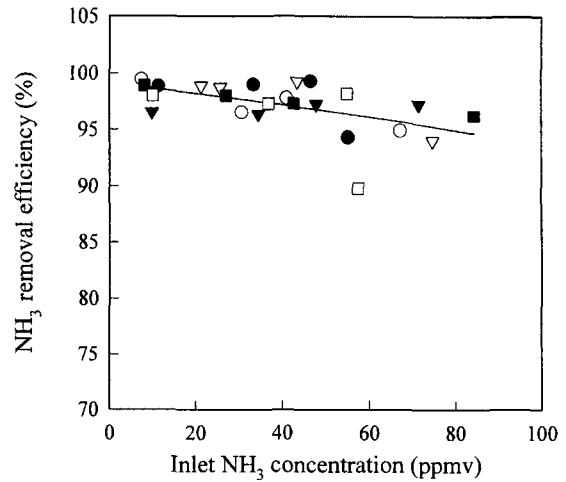


Fig. 5. Effect of NH₃ inlet concentration on NH₃ removal efficiency. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

돈분뇨 악취 중 암모니아를 97% 이상 제거 가능한 임계부하량은 31 g · m⁻³ · h⁻¹이었다. 또한, 암모니아 최대제거용량은 SV 1,200h⁻¹ (체류시간 3초) 조건에서 56 g · m⁻³ · h⁻¹을 얻을 수 있었다. Biofilter를 이용한 암모니아 제거의 대표적인 연구결과들을 살펴보면, Yani 등[12]은 분뇨처리 슬러지를 peat biofilter로 접종하여 암모니아를 처리한 결과 110일 동안 평균 95%의 처리 효율을 보였으며, 최대 제거속도는 11.4g-N · kg-dry peat⁻¹ · d⁻¹이었으며, 암모니아 산화세균 외에 Chung 등[13]은 *Arthrobacter oxydans* CH8을 고정화한 biofilter를 이용하여 암모니아 제거를 연구한 결과 최대 제거속도는 1.22g-N · kg bead⁻¹ · d⁻¹이었다. Kim 등[5]의 경우 night-soil sludge를 접종원으로 하여 4종류의 유·

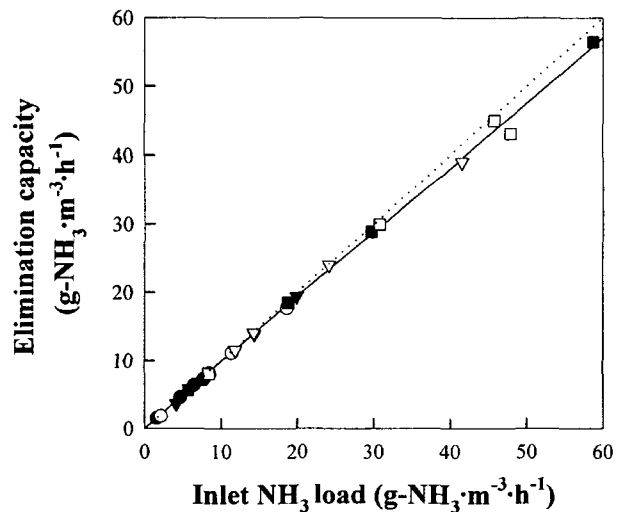


Fig. 6. Relationships between inlet NH₃ load and NH₃ elimination capacity. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

무기 담체(peat, rock wool, fuyolite, ceramics)를 사용한 경우 SV 68~306h⁻¹(체류시간 12~53초)의 범위에서 입체제거용량과 최대제거용량이 각각 28~50과 22~33.8 g · m⁻³ · h⁻¹으로, Peat와 rock wool을 담체로 사용한 경우 본 연구결과와 유사하였다. 이들 문헌치와 비교할 때, 3초의 짧은 체류시간에서도 암모니아 제거할 수 있는 polyurethane biofilter가 우수함을 알 수 있다.

돈분뇨로 발생하는 악취의 주성분 중의 하나인 황화수소의 제거 특성을 파악하기 위해, polyurethane biofilter에 의한 황화수소 제거 효율에 미치는 황화수소 유입농도의 영향을 Fig. 7에 도시하였다. SV 1,000h⁻¹ 이하의 조건에서는 황화수소 유입농도가 80ppmv 이하의 범위내에서는 biofilter의 황화수소 제거효율은 96~99%로 크게 영향을 미치지 않았다. 그러나, 약 120 ppmv의 고농도 황화수소에서 황화수소 제거효율이 급격하게 감소하였다. SV가 1,200 h⁻¹으로 체류시간이 짧은 경우, 황화수소 유입농도가 20에서 70ppmv 으로 증가함에 제거효율은 97%에서 83%로 급격하게 저하되었다. 이러한 결과들은 120 ppmv 이상의 황화수소 농도에서는 황화수소제거능이 저해작용을 받고, SV 1,200h⁻¹ 이상의 짧은 체류시간에서는 물질전달이 황화수소 제거의 율속단계로 작용함을 의미한다.

황화수소 유입부하량 변화에 따른 biofilter에 의한 황화수소 제거용량의 변화를 Fig. 8에 도시하였다. 황화수소 유입부하량이 증가할수록 biofilter에 의한 황화수소 제거용량은 100% 제거 가능선으로부터 벗어나는 정도가 증가하였다. SV 1,200h⁻¹(체류시간 3초)의 조건에서 polyurethane biofilter에 의한 돈분뇨 악취 중 황화수소를 97% 이상 제거 가능한 입체부하량은 27 g · m⁻³ · h⁻¹이었고, 최대제거용량은 157 g · m⁻³ · h⁻¹이었다. 일반적으로, biofilter를 이용한 황화수소 제거 연구는 주로 *Thiobacillus* sp. 를 이용하였

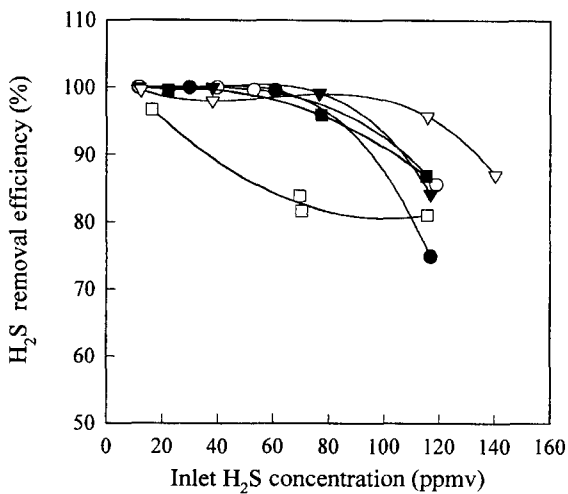


Fig. 7. Effect of H₂S inlet concentration on H₂S removal efficiency. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

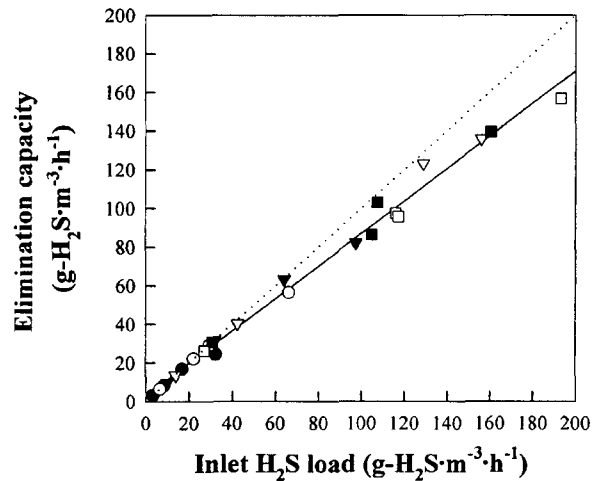


Fig. 8. Relationships between inlet H₂S load and H₂S elimination capacity. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

다. *T. thioparus*를 peat에 고정화한 경우 최대 제거용량 23g · m⁻³ · h⁻¹[4], *T. thiooxidans*를 peat와 porous ceramics 등에 고정화한 biofilter에서는 51~106 g · m⁻³ · h⁻¹이었다[8, 15, 16]. 이들 연구 결과들의 대부분은 체류시간 15~60초에서 조업하였다[2]. 최근, Lee 등[2]의 경우 *T. thiooxidans* AZ11을 이용한 lava biofilter에서 체류시간 9~12 초 동안 약 342 - 428g · m⁻³ · h⁻¹의 우수한 제거효율을 얻었다. 결론적으로, polyurethane biofilter는 암모니아와 황화수소 및 다양한 악취물질들을 체류시간 3~3.6초의 짧은 체류시간에 처리할 수 있음을 확인하였다.

Polyurethane biofilter를 이용하여 황화수소, 암모니아 및 다양한 악취물질들을 동시에 제거함에 있어서 황화수소와 암모니아의 농도비율이 biofilter의 황화수소와 암모니아 제거효율에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서의 암모니아와 황화수소의 농도비는 0.5~3.0(5~80 ppm NH₃, 5~140 ppm H₂S)이다(Fig. 9). Biofilter에 의한 돈분뇨의 혼합악취제거에 있어서 암모니아와 황화수소 제거능은 황화수소와 암모니아의 농도비와 무관하였다. 다만, Fig. 7에서 보는 바와 같이 황화수소의 농도가 80 ppmv 로 높거나, 황화수소와 암모니아의 합산농도가 높을 경우(Fig. 9(b)의 황화수소 제거율 90% 미만의 data) 황화수소의 제거능이 저해받았다. 즉, 독립영양세균과 종속영양세균의 혼합균을 접종원으로 사용한 biofilter를 이용하여 황화수소, 암모니아 및 유기성 악취물질들을 동시에 제거하는 경우 악취물질 제거효율은 황화수소 농도에 의해 영향을 받음을 의미한다. 유사한 연구결과들이 Chung 등에 의해 보고되고 있다[17, 18]. 즉, 종속영양세균을 접종한 biofilter[17]와 *Nitrosomonas europaea* 와 *T. thioparus*를 접종한 Ca-alginate biofilter[18]에서 황화수소와 암모니아를 동시에 제거할 때 악취가스중의 황화수소와 암모니아의 농도비(60-120 ppmv NH₃/60-120

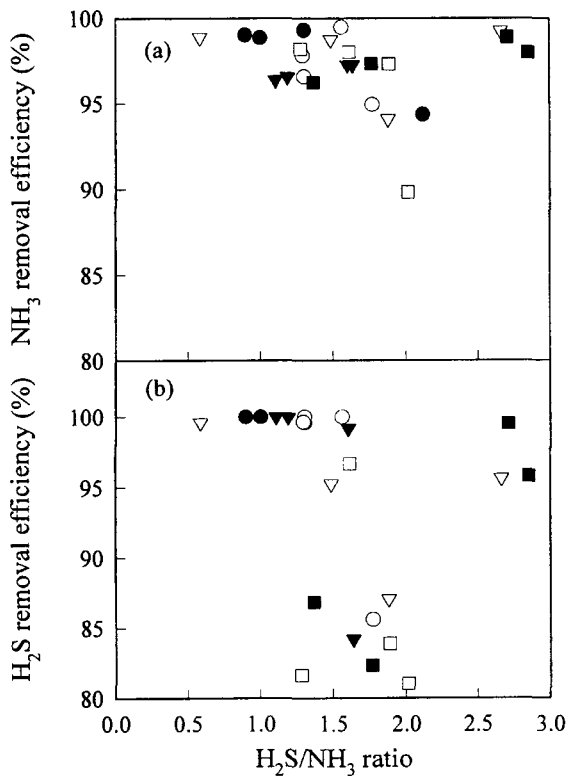


Fig. 9. Relationships between the removal efficiency and ratios of H₂S/NH₃.
 (a) H₂S and (b) NH₃. SV (h⁻¹): ●, 200; ○, 400; ▼, 600; ▽, 800; ■, 1000; □, 1200.

ppmv H₂S가 황화수소와 암모니아의 제거성능에 영향을 주지 않았으나, 황화수소와 암모니아 농도가 높을 경우에는 암모니아 제거능이 저해 받는 것으로 보고되고 있다.

요 약

중속영양세균과 독립영양세균의 혼합균을 접종한 polyurethane biofilter를 사용하여 돈분뇨 악취의 제거특성을 규명하였다. Polyurethane biofilter는 암모니아와 황화수소 및 다양한 악취물질들을 함유한 돈분뇨 악취를 체류시간 3-3.6초의 짧은 체류에서도 효과적으로 처리할 수 있었다. SV 200~1,200h⁻¹의 모든 조건에서 돈분뇨 악취 제거효율은 악취농도 4,000 O.U. 이하일 때 89%를 얻을 수 있었다. Biofilter의 악취제거용량은 돈분뇨 희석배수와 SV에 따라 약간 차이가 있었으나 유입부하량의 약 84~90%인 1.8×10⁵~5.0×10⁷ OU·m³·h⁻¹이었다. 돈분뇨 악취 중 암모니아를 97% 이상 제거 가능한 임계부하량은 31 g·m⁻³·h⁻¹이었고, 최대제거용량은 56 g·m⁻³·h⁻¹이었다. 황화수소의 경우 97% 이상 제거 가능한 임계부하량은 27 g·m⁻³·h⁻¹이었고, 최대제거용량은 157 g·m⁻³·h⁻¹이었다. 암모니아와 황화수소 제거능은 황화수소와 암모니아의 농도비(ppmv H₂S/

ppmv NH₃)와 무관하였으나, 황화수소의 농도가 80 ppmv 이상인 경우에는 황화수소 제거능이 저해 받았다.

감사의 글

이 연구는 2000년도 숭실대학교 교내연구비에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

1. 오상집. 1999. 양도장에서 발생하는 냄새의 종류와 발생원리. 월간양돈. 11월호, 114-117.
2. 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. Biosci. Bioeng. **90**: 25-31.
3. Smer, E., C. Chasaya, H. van Langenhove, and W. Verstraete. 1996. The effect of inoculation and the type of carrier material used on the biofilter of methyl sulfides. Appl. Microbiol. Biotechnol. **45**: 293-298.
4. de Castro, A., D.G.G. Allen, and R.R. Fulthorpe. 1996. Characterization of the microbial population during biofiltration and the influence of the inoculum source. pp.164. In F. E. Reynolds (ed.). An air pollution control technology. The Reynolds Group, Tustin, Ca.
5. Kim, N.-J., M. Mitsuyo, and M. Shoda. 2000. Comparison of organic and inorganic packing materials in the removal of ammonia gas in biofilters. J. Hazard. Mater. **B72**: 77-90.
6. Martin, A. M. 1991. Peat as an agent in biological degradation: Peat biofilters. pp. 341-362. In Marthin A.M.(ed.), Biological degradation of wastes, Elsevier Science Publishers, NewYork.
8. Shinabe, K., S. Oketani, T. Ochi, and M. Matsumura. 1995. Characteristics of hydrogen sulfide removal by *Thiobacillus thiooxidans* KS1 isolated from a carrier-packed biological deodorization system. J. Ferment. Bioeng. **80**: 592-598.
9. Devinnny, J.S., M.A. Deshusses, and T.S. Webster. 1999. Biofiltration for air pollution control, pp. 46. Lewis Publishers, NewYork.
10. Tiwaree, R.S., K.S. Cho, M. Hirai, and M. Shoda. 1992. Biological deodorization of dimethyl sulfide using different fabrics as the carriers of microorganisms. Appl. Biochem. Biotechnol. **32**: 135-148.
11. Scheels, M. and J.K. Park. 1995. Grounds for odor removal. Wat. Environ. Technol. **17**: 48-51.
12. Yani, M., M. Hirai, and M. Shoda. 1998. Removal kinetics of ammonia by peat biofilter seeded with night soil sludge. J. Ferment. Bioeng. **85**: 502-506.
13. Chung, Y. C. and C. P. Tseng. 1997. Biotreatment of ammonia from air by an immobilized *Arthrobacter oxydans* CH8 biofilter. Biotechnol. Prog. **13**: 794-798.
14. Cho, K.S., M. Hirai, and M. Shoda. 1991. Degradation characteristics of hydrogen sulfide, methanethiol, dimethyl sulfide and dimethyl disulfide by *Thiobacillus thioiparus* DW44

- isolated from peat biofilter. *J. Ferment. Bioeng.* **71**: 384–389.
15. Cho, K.S., L. Zhang, M. Hirai, and M. Shoda. 1991. Removal characteristics of hydrogen sulfide and methanethiol by *Thiobacillus* sp. isolated from peat in biological deodorization. *J. Ferment. Bioeng.* **71**: 44–49.
16. Tanji, Y., T. Kanagawa, and E. Mikami. 1989. Removal of dimethyl sulfide, methyl mercaptan, and hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus thioparus* TK-m. *J. Ferment. Bioeng.* **68**: 280–285.
17. Chung, Y.-C., C. Huang, C.-P. Tseng, and J. R. Pan. 2000. Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. *Chemosphere.* **41**: 329–336.
18. Chung, Y.-C., C. Huang, and C.-P. Tseng. 2001. Biological elimination of H₂S and NH₃ from wastegases by biofilter packed with immobilized heterotrophic bacteria. *Chemosphere.* **43**: 1043–1050.

(Received Dec. 20, 2001/Accepted Feb. 27, 2002)