지렁이 분변토와 주정슬러지 혼합 배양액을 이용한 Biofilter에서의 고농도 악취제거

박종웅† · 장석조*

대구한의대학교 소방방재환경학과, *대구한의대학교 환경시스템개발연구소

Removal of High Odor Concentration with Biofilter using Mixture of Earthworm Cast and Distillery Sludge

Jong-Woong Park† and Seg-Joo Jang*

Department of Safety & Environmental Prevention, Daegu Hanny University *Environmental System Development Institute, Daegu Hanny University

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to investigate the removal of high odor concentration from swine wastewater treatment facility by full scale biofilter using liquid with deodorant mixed with earthworm cast and distillery sludge.

Methods: The supply of the culture liquid to the microorganism on the media in the biofilter increases the activity and growth of biomass. The experimental equipment was biofilter tower with treatment capacity of 90 m³/min. The experimental conditions included gas flow of 60 m³/min, retention time of 20 sec, and gas/liquid ratio of 67.

Results: With changing season from winter to summer, the inlet odor concentration of ammonia increased from 2.5 ppm to 29 ppm, and of hydrogen sulfide from 21 ppm to 91 ppm, respectively. The odor treatment system with biofilter using the culture liquid was stable when the high loading rate increased and showed excellent removal grade with an average of 96.7% for ammonia, and an average of 93.7% for hydrogen sulfide. The pH and SCOD in the recirculating culture liquid near the bottom of the biofilter tower decreased with operation time, but its influence on the odor removal rate was negligible, because the organic matter(SCOD) was replaced by some culture liquid supplied 2-4 times per day.

Conclusions: The biofilter using culture liquid could successfully remove high odor concentration which was generated from swine wastewater treatment facility.

Keywords: Biofilter, Culture liquid, Distillery sludge, Earthworm cast, Odor removal

I. 서 론

악취는 사람들에게 심미적으로 불쾌한 영향을 미치는 이외에 생리학적 영향으로 호흡기계, 순환기계, 소화기계, 생식기계, 후각기계 등에 영향을 미치며,

주로 감각적인 영향을 미침에 따라 피해를 구체적으로 입증하기가 곤란하다. 또한 악취물질은 알러지 반응을 촉진하거나 정신적 불안감으로 인한 증상의 악화 또는 회복에 저해를 일으킬 수 있는 인체에 유해한 물질이다. 이러한 악취는 산업시설이나 환경 처

[†]Corresponding author: Department of Safety & Environmental Prevention, Daegu Hanny University, 1 Hanui-daero, Gyeongsan-si, Gyeongsan-buk-do, 712-715, Korea, Tel: +82-53-819-1417, Fax: +82-53-819-1276, E-mail: jwpark@dhu.ac.kr Received: 12 February 2014, Revised: 25 February 2014, Accepted: 7 March 2014

리시설에 주거지가 인접해 있는 경우, 발생되는 악취는 거주민들의 생활환경을 직접적으로 악화시켜 인근 주민의 민원발생과 근무환경 조건의 취약화 등의 문제점으로 지적되어 왔다. 최근 들어 국민의 의식 고양과 함께 악취에 대한 민원은 소음에 대한 민원과 함께 급격한 증가를 보이고 있어, 이에 대한 근본적인 대책이 필요한 시점이다. 12)

한편 각종 산업시설이나 환경처리시설에서 발생되 는 혼합 기체로부터 악취를 제거하기 위한 탈취기술 의 개발이 요구되고 있다. 이를 위한 탈취기술로는 물리적 처리방식과 화학적 처리방식 및 생물학적 처 리방식으로 크게 대별할 수 있다. 이들 중 대표적인 물리, 화학적 처리방식은 수세정법, 활성탄흡착법, 오 존산화법, 산-알칼리 약액세정법, 연소법 등이 있는 데 약품비, 재료비 등의 소비가 많기 때문에 비용측 면에서 효과적이지 못하다. 이에 반해 생물학적 처 리방식은 물리 · 화학적 처리방법보다 관리가 용이 하고 운전비가 저렴한 장점을 가지고 있다.3,4) 생물 학적인 탈취법은 토양 미생물을 이용하는 토양 탈취 법, 포기조내의 활성슬러지를 이용하여 악취 물질을 제거하는 포기조 탈취법, 담체에 탈취미생물을 부착 하여 악취를 제거하는 바이오필터법(biofilter), 바이 오트리클링 필터법(biotrickling filter) 및 바이오 스 크러버(bioscrubber) 등이 주로 사용되고 있다. 5,6) 그 러나 생물학적 처리는 압력손실이 크고 동력비가 많 이 소요되며 처리효율이 상대적으로 낮아 넓은 부지 면적이 필요하게 되는 등의 문제점이 대두되었다. 최 근 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 악취 제거 능력이 있는 미생물을 집적화하여 다량의 악취 가스를 단시간에 처리할 수 있는 살수여상형 미생물 탈취법이 개발되고 있다.7,8)

또한 기존 바이오필터에 주로 사용되고 있는 일반 혼합세균(mixed bacteria) 대신 오염물질 분해능이 뛰어나거나 현장상황에 특화된 미생물을 적용하여 악취 제거율과 반응기 성능을 개선할 수 있다. 박테리아를 적용한 바이오필터의 단점을 보완하기 위하여 최근 곰팡이(fungus) 또는 효모(yeast)에 대한 연구도 다각도로 이루어 지고 있다.

이러한 점을 착안하여 본 연구에서는 지렁이 분변 토(earthworm cast)와 주정슬러지(distillery sludge)를 혼합 배양한 고농도의 미생물 배양액을 제조하여 미 생물 탈취탑에 공급하므로써 탈취 성능이 뛰어난 미

생물의 성장을 촉진토록 하였다. 지렁이 분변토는 질 소, 인산, 칼륨 등의 함량이 매우 높고 미생물량도 10⁸ CPU 이상으로 풍부하다. 또한 통기성 및 투수성이 우 수하며 비표면적(400~800 m²/g) 역시 활성탄에 비교 할 만큼 크고 양이온 교환용량(2.30~4.60 mg/g soil)이 높아 탈취 능력이 높은 것으로 알려져 있다. 3,10) 또한 주정슬러지는 다양한 종류의 발효미생물이 포함되어 있으나 영양성분이 부족하기 때문에 균체농도가 낮 다. 이러한 주정슬러지에 탄소와 질소 공급원인 가 축분뇨나 분뇨와 같은 유기성 폐수를 공급하면 알코 올 분해균주를 비롯한 다양한 종류의 악취 제거용 발효 미생물을 얻을 수 있다. 이와 같이 탈취 미생 물종이 풍부한 지렁이 분변토와 주정슬러지를 혼합 하여 배양, 제조한 고농도 악취제거용 미생물 용액 을 살수여상형 탈취탑에 공급하고 순환시켜 탈취탑 내 다공성 여재 표면에 형성된 미생물 막에 의한 생 물학적 산화 분해와 수 세정으로 악취물질을 제거하 는 것이다.") 그러나 지렁이 분변토와 주정슬러지를 혼합 배양하여 고농도 악취 제거용 바이오필터에 적 용하는 연구는 거의 미흡한 실정이다. 따라서 본 연 구에서는 지렁이 분변토와 주정슬러지를 혼합 배양 한 액을 실규모 바이오필터에 적용하여 고농도 악취 물질 제거효과에 대한 조사 · 분석을 하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 장치

1) 장치구성

본 연구에 사용된 실험장치는 처리용량이 90 m³/min으로서 경상북도 G시 가축분뇨 및 분뇨처리장에 설치하였으며, Fig. 1과 같이 배양조, 분배조, 바이오필터 탈취탑으로 구성되어 있다

2) 배양조

배양조는 지렁이 분변토와 주정슬러지 및 원폐수를 일정비율(0.25:1.25:98.5)로 혼합하는 조로써, 크기가 Ø740×H1,250 mm이고 용량이 0.5 m³인 PE조에 교반 기를 설치하였다. 교반기는 분배조로 배양액을 이송하기 전에 배양액 내에 존재하는 토사 등을 침강분리하기 위해 약 2시간 정도 정지하는 것을 제외하고는 상시 가동하여 지렁이 분변토 입자를 배양액과 충분히 접촉되게 하고, 분변토에 존재하는 미생물이 배양

액과 혼합이 잘 될 수 있도록 하였다. 배양조는 분배 조와 동일하게 전기열선(heating coil)을 조의 외벽에 감은 후, 단열기구로 감싸, 동절기에도 20°C 이상으 로 온도가 유지되도록 하였다. 배양액 제조방법은 실 험실 규모에서 규명된 조건을 토대로 지렁이 분변토 와 주정슬러지 혼합물(5:1)을 1.5% 첨가하여 20°C에 서 48 hr 동안 가축분뇨와 1.5% 글로코스용액(4:1)에 98.5%의 비율로 혼합하여 배양하였다.")

본 연구에 사용된 지렁이 분변토는 경기도 여주군 에 위치한 C지렁이 사육농장에서 구입하였으며, 주 정슬러지의 경우는 대구광역시에 소재하고 있는 P 주정회사의 탈수케이크를 풍건하여 사용하였다.

3) 분배조

분배조는 배양조에서 1차 배양된 원수를 추가적으 로 배양하면서 일정량씩 탈취탑으로 주입하기 위한 시설로써, 크기가 Ø1,060×H1,140 mm이고 용량이 1 m3인 PE조에 배양액 공급을 위한 수중펌프가 설치 되어 있다. 수중펌프는 타이머를 이용하여 배양액의 공급주기와 공급량을 설정함으로써 탈취탑 내의 미 생물이 필요로 하는 영양분을 공급하며 또한 배양조 에서 배양된 미생물을 연속적으로 공급한다. 교반장 치로 배양액내 고형물질의 과다 침전되는 것을 방지 하였고, 배양조와 마찬가지로 외부에 전기열선 등을 설치하여, 동절기에도 20°C 이상이 유지되도록 하였다

4) Biofilter 탈취탑

(1) 탈취탑의 구조

Biofilter 탈취탑은 전체 높이(H) 4 m, 길이(L) 4.8 m 와 폭(W) 1.6 m의 직사각형 철재구조물로 제작되었 다. 전체 길이 4.8 m는 1.6 m씩 3개의 실로 나누어져 있고, 하부에 배양순환액 7 m³을 저장할 수 있도록 되 어 있으며, 총 4대(예비 1대)의 배양액 순환펌프가 설 치되어 있다. 또한 동절기 기온저하에 따른 미생물 활 성도 저하 등으로 인한 탈취 효율의 감소를 방지하기 위해 바이오필터 탈취탑은 2중벽으로 제작되었으며, 내벽과 외벽사이에 단열재를 장착하여, 외부기온 하 강에 따른 효율 저하를 최대한 억제하였다.

(2) 탈취탑내의 담체 충전

미생물의 고정화를 통한 악취 제거 효율의 향상을 위해 사용된 충전 담체는 기존에 상용화되고 있는

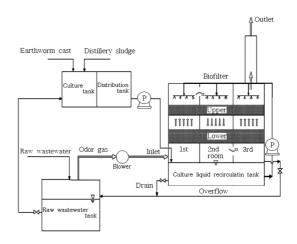


Fig. 1. Flow sheet of biofilter deodor system.

Φ 50mm(1,2단)와 Φ 35mm(3단) pall ring을 사용하 였다. Fig. 1.에서 보듯이 전체 탈취탑은 3실 2단으 로 구성되어 있고 각 실은 상부와 하부에 약 50 cm 높이로 2개 단에 담체를 2 m³씩 3실에 총 6 m³을 충 전 하였다.

2. 운전방법

배양조(용량 0.5 m³)에서 배양된 액을 분배조(용량 1 m³)로 하루에 2-4회 일정량씩 이송되어 탈취탑으 로 공급된다. Fig. 1.의 장치흐름도와 Table 1의 장 치제원 및 운전조건에서 보듯이 악취발생원으로부터 포집된 악취는 송풍기를 통하여 60 m³/min으로 탈취 탑(유효용적 20.25 m³) 하단에 유입되며, 탈취탑 내 부에 설치된 각 실 의 2층에 담체 층으로 구성된 3 개의 실을 통과하면서 악취가 제거된다. 배양액 순 환조 약 7 m³의 배양액은 총 4대의 배양액 순환펌 프 중 3대를 가동하여 각 담체의 상부에 배양액을 0.3 m³/min씩 분사하여 악취물질을 포집하고 담체에 미생물과 영양분을 공급한다.

탈취탑의 운전조건은 공칭체류시간이 20 sec이었 고, 공탑속도는 각 실기준 0.45 m/sec로 3실을 통과 하였으며, 기액비는 67로 운전하였다. 또한 탈취탑 하부 배양순환액의 수위는 0.9m 지점에 월류배관을 설치하여 원수조로 이송토록하였다. 한편 탈리되어 하부에 쌓이는 슬러지나 배양순환액 내부에서 증식 된 과도한 미생물은 배출구(drain valve)로 일정량씩 정기적으로 제거하였다.

Table 1. Specification and operating condition of the biofilter tower

Item		Biofilter tower		
Gas flow (m³/min)		60		
Biofilter tank (mm)	size	L1,600×W1,600× H4,000 ×3room		
	effective size	(L1,500×W1,500 ×H3,000 ×3room)		
Volume (m³)		20. 25		
Culture liquid recirculation tank (m³)		7		
recirculation pump(m³/min)		0.9		
Gas/Liquid ratio		67		
Retention time (sec)		20		
Empty tower velocity (cm/sec·room)		0.45		

3. 분석방법

1) 유량측정

탈취탑의 유량 측정은 풍속계(Wind Boy ISA 80) 로 유출구의 풍속(V)을 측정한 후, 단면적(A)을 곱하여 가스유량(Q)을 산출하였다.

2) 시료채취 및 가스분석

시료채취는 탈취탑의 계절별 온도변화에 따른 처리 특성을 파악하기 위해서 겨울철(1월)부터 여름철(8월) 까지 매월 20일경에 1회씩 유입구와 유출구에서 8회 채취하였다. 악취가스분석은 암모니아, 트라이메틸아 민, 황화수소, 메틸머캅탄 및 설파이드류(다이메틸, 다이메틸다이: 2종), 알데하이드류(아세트, 프로피온, 부티르, n-발레르, i-발레르 : 5종), 스타이렌 등 총 12개 항목에 대하여 측정하였다. 악취성분에 대한 시험 방법은 국립환경과학원 고시 제2005-4호(악취공정시험방법 제4장 기기분석법)에 의하여 측정하였다. ¹²⁾

3) 배양액 수질분석

탈취탑 하부에서 순환되는 배양액의 성상을 조사하기 위해 가스채취와 동시에 배양액 저장조내의 시료를 채취하여 pH, 온도, 탈취미생물의 먹이 지표로서 생물화학적 산소요구량 대신 용존성 화학적산소요구량(Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD)를 분석하였다. 본 연구의 수질분석방법은 Standard Methods⁽³⁾에 의해 분석하였다.

4) 미생물 성상조사

매체에 부착된 미생물량의 측정은 Park 등^[4]이 제시한 측정방법에 의해 각각의 매체가 충전된 탈취탑 내부의 중간지점에서 pall ring을 10개씩 3차례 채취하여 부착된 미생물의 젖은 무게와 건조무게를 측정한 후, 생물막두께, 생물막 건조밀도, 매체 단위 면적당 부착된 미생물량을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 배양액의 액성변화

본 바이오필터 탈취 설비는 Fig. 1에서 보듯이 탈 취탑 하단에 위치한 배양순환액을 펌프를 이용하여 탈취탑 상부로 이송 후 분사하여 유입된 악취물질을 포집하고 매체(pall ring)에 수분, 미생물과 영양분 (SCOD) 등을 공급한다. 이때 대표적인 악취물질이 며 물에 대한 용해도가 높은 황화수소(H2S)와 암모 니아(NH₃)는 순환액에 상당량이 용해되며, 일부는 매체에 부착된 미생물에 의해서 제거된다. 담체와 순 환액에 존재하는 미생물에 의해 악취중의 황화합물 은 산화되어 황산(H2SO4)이 생성되며, 이로 인해 반 응하는 황화합물의 양이 증가함에 따라 순환액의 pH 는 낮아지게 된다. 동시에 용해되는 암모니아는 pH 가 낮아지는 것을 완충하는 역할을 한다. 배양순환 액의 pH와 SCOD의 감소에 따른 악취 제거효율의 저하를 방지하기 위해, 배양순환액에 배양액을 정기 적으로 투입하고, 과량의 배양순환액은 월류되어 악 취발생 원수조로 이송처리 되도록 하였다. 이로써 탈 취탑 하단의 배양순환액의 양도 항상 일정하게 유지 된다. 특히 가축분뇨 및 분뇨에서 발생하는 악취물 질의 농도가 높아지는 여름철의 경우 황화수소와 암 모니아의 발생량과 반응생성물의 양이 증가하여 pH 의 변화 속도에도 영향을 미치기 때문에, 투입되는 배양액의 양을 조절하고, pH의 변동이 심할 경우 NaOH 등을 투입하여 조절하였다.

또한 미생물을 이용한 바이오필터에서 적절한 수분 함량과 영양분 공급은 미생물의 생존과 악취물질의 제거효율 등에 있어서 매우 중요한 요소 중의 하나이 다. 미생물 탈취층의 수분함량은 탈취층의 물리적 특 성인 공기흐름의 속도에도 영향을 미친다. 미생물의 과대증식에 의해 탈취층 내에 압력 강하가 일어나게 되면, 탈취층을 통해 흐르는 공기로부터 탈취 성분 물

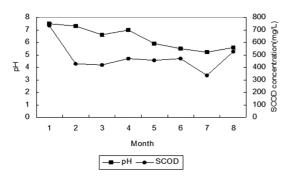


Fig. 2. pH, SCOD concentration of recirculating culture liquid in the biofilter tower.

질을 흡착하는 것이 훨씬 더 어려워진다. 한편 수분 함량이 부족해 미생물층이 지나치게 건조하게 되면, 미생물층의 활성이 저하되어 악취 제거효율이 급격히 저하된다. 이와 같이 운전상의 장애를 방지하고 미생 물의 활성도를 유지하기 위해서 일반적인 바이오필터 공법에서는 탈취탑 상단에 물과 영양분을 공급하여, 미생물층이 적절한 수분함량과 악취제거 미생물의 활 성을 유지할 수 있도록 한다. 따라서 배양액의 pH와 SCOD농도의 적절한 유지는 탈취탑 성능 유지에 대 단히 중요하다. 이와같이 생물탈취법은 독립영양계 미 생물뿐만 아니라 종속영양계 미생물이 다양하게 관여 하기 때문에 적절한 유기탄소원 유지는 생물탈취 기 작에 중요한 역할을 한다. 한편 환원형 무기유황화합 물은 생물학적 산화에 의해 황산염으로 축적되어서 통상 액성이 산성화되지만, 탈취효율에는 뚜렷한 차 이를 보이지 않는다. 그러나 유기유황계 악취물질의 제거효율은 산성조건에서 현저하게 저해되므로 pH의 적절한 유지는 필수적이다.15)

배양순환액의 pH변화는 Fig. 2.에서 보듯이 1월에 pH7.5로 가장 높게 나타났으나, 5, 8월에는 H2S의 농도 증가로 pH5.2까지 감소하였다. 또한 배양순환 액의 SCOD 농도는 335~735(평균 480) mg/L로 종 속영양계 탈취미생물의 영양분 공급이 가능하였다. 배양순환액의 pH의 과다한 저하와 SCOD 농도의 급격한 저하를 막기 위하여 1일 2~4회 주기적인 배 양액 공급과 NaOH를 투입하였다.

2. 온도 및 풍량의 변화

미생물이 활발하게 활동하는 온도는 바이오필터의 효율에 매우 중요한 요인이다. 일반적으로 박테리아

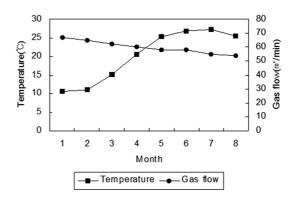


Fig. 3. Variation of temperature, gas flow in the biofilter tower.

는 중온성(mesophile)으로 15-40°C 사이에서 활발하 게 활동한다. 겨울철의 외부 기온의 강하는 탈취탑 내 미생물 담체층에서 일어나는 미생물 활성도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 점을 감안하여 바이오 필터 탈취탑 설비는 배양순환액의 온도가 너무 낮아 지지 않게 하기 위해, 단열 재료로 탈취탑 외벽과 내벽 사이를 채웠으며, 탈취탑 하단의 배양순환액이 위치하는 곳에는 보일러 설비를 하여 가온할 수 있 도록 하였다. 탈취탑 배기가스의 월별 온도변화를 Fig. 3.에 나타내었다. Fig. 3.에서 보듯이 겨울철인 1월에 탈취탑 배기가스의 온도는 10.5°C 이었으나 점차 외기온도의 상승으로 7월에는 27.2°C 까지 상 승하여 평균 20°C를 유지하였다.

한편 풍량값은 겨울철인 1월에 67 m³/min이 었으 나 8월에는 54 m³/min로 서서히 감소하였다. 운전기 간 중 탈취탑내 공극폐쇄 등으로 인한 손실수두 증 가로 풍량이 약간씩 감소는 하였으나, 탈취탑내 압 력강화를 해결하기 위한 탈취층내 미생물 담체의 세 정은 하지 않았다. 탈취탑 통과 처리 가스의 평균 풍량은 60 m³/min이었다.

고농도 악취성분 가스의 높은 제거효율로 인한 미 생물의 성장이 활발하여 풍량의 감소가 클 수 있으 나, 배양순환액의 공급을 통한 세정작용과 공극이 큰 담체의 사용으로 과도한 미생물 증식에 따른 공극폐 쇄 현상을 방지할 수 있었다.

3. 탈취탑의 처리성능

1) 악취제거 기작

일반적으로 생물탈취장치에서 악취물질 제거속도

를 지배하는 인자로서는 기액간의 물질이동, 액상 중 에서의 악취물질의 이동, 미생물 자체에 의한 반응 속도 등 이다. 본 바이오필터 탈취제거의 특징은 탈 취 미생물종이 풍부한 지렁이 분변토와 주정슬러지 를 혼합하여 배양한 고농도 악취제거용 미생물 용액 을 바이오필터 탈취탑에 공급·순환한다. 그리고 탈 취탑으로 유입된 악취물질은 공기층과 다공성 매체 의 생물막 표면에 존재하는 수층(순환액)과의 접촉 과정을 통해 흡수되거나, 배양순환액의 살수과정을 통해 포획되어 배양순화액내로 전이된다. 이렇게 전 이된 악취물질은 매체표면에 부착된 미생물은 에너 지 생성과 번식에 필요한 영양분으로 이용된다. 미 생물이 섭취한 악취물질은 생물학적으로 분해되고 분해과정에서 생성된 부산물은 다시 수층으로 방출 된다. 이때 악취물질의 종류에 따라, 탄소화합물은 보통 이산화탄소(CO2)와 물(H2O)로 산화되고, 할로 겐, 황 혹은 질소화합물이 존재할 경우 무기염(salt) 이 생성되기도 한다. 악취물질로부터 생성된 황화합 물 및 질소화합물은 하부의 배양순환액 저장조에서 탈질과 탈황반응에 의해 질소가스(N₂)와 황화물로 제거된다. 그러나 대부분 악취물질은 다공성 여재 표 면에 형성된 생물막에 의한 생물학적 산화 분해와 수세정 및 수분해로 악취물질이 CO_2 , H_2O 및 무기 염류로 전환되는데, 그 중 일부 악취물질의 반응은 다음 식(1)~(8)과 같이 제거된다.

바이오필터 탈취탑의 계절별 온도변화에 따른 처 리성능을 조사하기 위해서 겨울철(1월)부터 여름철 (8월)까지 유입구와 유출구에서 8회 채취하여 조사 분석한 결과는 Table 2에 요약 정리하였다.

Water soluble

Odor matters (NH3, H2S, etc)+H2O →NH₄OH, H₂SO (1)

Ammonia

Ammonia
$$NH_3 + O_2 \xrightarrow{Nrifying\ bacteria} HNO_3 + O_2$$
(2)

Hydrogen sulfide

$$H_2S+2O_2 \xrightarrow{Thiobacillus} H_2SO$$
 (3)

Methanethiol

$$2CH_3SH+O_2 \xrightarrow{Thiobacillus} 2H_2SO_4+2CO_2+2H_2O$$
 (4)

Dimethyl sulfide
$$(CH_3)_2S+5O_2 \xrightarrow{Thiobacillus} H_2SO_4+2CO_2+2H_2O$$
 (5)

Dimethyl disulfide

$$2(CH_3)_2S_2+13O_2 \xrightarrow{Thiobacillus} 4H_2SO_4+4CO_2+2H_2O$$
 (6)

Trimethylamine (CH₃)₃N+
$$\frac{13}{2}$$
 O₂ $\xrightarrow{Nrifying\ bacteria}$ HNO₃+3CO₂+4H₂O (7)

Aldehyde

HCHO+O₂
$$\xrightarrow{Heterotrophic}$$
 CO₂+H₂O (8)

- 2) 악취물질별 처리효율
- (1) 암모니아와 트라이메틸아민

악취물질 중 분뇨와 생선썩은 냄새를 유발하는 대 표적인 질소화합물은 암모니아와 트라이메틸아민이

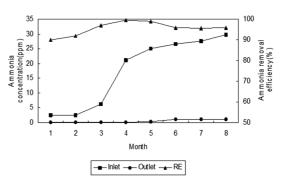


Fig. 4. Ammonia concentration and removal efficiency in the biofilter tower.

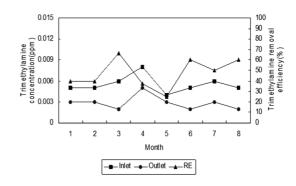


Fig. 5. Trimethylamine concentration removal and efficiency in the biofilter tower.

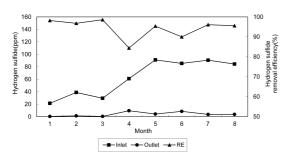


Fig. 6. Hydrogen sulfide concentration and removal efficiency in the biofilter tower.

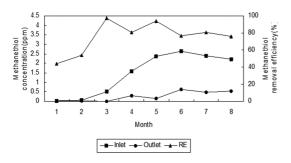


Fig. 7. Methanethiol concentration and removal efficiency in the biofilter tower.

다. 암모니아의 유입농도는 겨울철인 1월에 2.47 ppm 이었으나 계절의 변화와 기온의 상승에 따라 증가하여 8월에 29.76 ppm을 나타내었다. 암모니아의 탈취탑 유입 및 유출 평균농도는 각각 17.67 ppm과 0.59 ppm이 었으며, 처리효율은 96.7%이 었다. 한편트라이메틸아민은 유입 및 유출농도가 각각 0.004~0.008(평균 0.006)ppm와 0.002~0.005(평균 0.003)ppm으로 약 50%가 제거되었으며, 계절과 기온의 영향을 크게 받지 않았다.

(2) 황화수소, 메틸머캅탄 및 설파이드류

대표적인 황화합물은 계란 썩는 냄새를 유발하는 명화수소와 양파, 양배추, 썩는 냄새를 유발하는 메틸머캅탄 및 다이메틸 설파이드와 다이메틸다이 설파이드 등이다. 황화수소의 유입농도는 최소 21.36 ppm에서 최대 91.06 ppm으로 기온의 상승에 따라 약4.3배 증가하였다. 메틸머캅탄 역시 0.032 ppm에서2.653 ppm으로 계절의 변화와 기온의 상승에 따라약83배 차이를 보였다. 이와 같이 암모니아와 황화수소, 메틸머캅탄의 유입농도의 증가로 인한 악취 문

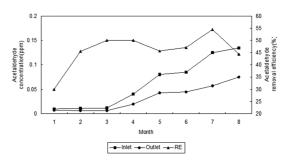


Fig. 8. Acetaldehyde concentration and removal efficiency in the biofilter tower.

제는 계절과 기온의 영향을 크게 받으며, 외기 기온이 높은 여름철에 더 커다란 문제가 됨을 알 수 있다. 황화수소와 메틸머캅탄의 탈취탑 유입 및 유출평균농도는 각각 62.76 ppm, 1.477 ppm과 3.95 ppm, 0.266 ppm이였으며, 처리효율은 93.7%와 81.9%이였다. 그러나 다이메틸 설파이드와 다이메틸다이 설파이드는 검출되지 않았다.

한편 Fig. 2.의 pH변화와 Fig. 6.의 H₂S 농도와 상관 관계를 살펴보면 pH의 과다한 저하를 막기 위하여 배양액에 NaOH 투입에도 불구하고 5~8월에 H₂S의 유입농도가 1월에 비해 4.3배 증가로 pH가 7.5에서 5.2로 감소하였다. 그러나 H₂S의 제거효율은 pH에 영향을 받지 않고 90% 이상을 유지하였는데이는 온도 상승으로 인한 탈취미생물의 활성화 때문인 것으로 사료된다.

(3) 알데하이드류

악취물질 중 자극적이며, 새콤하고 타는 듯한 냄새를 유발하는 대표적인 알데하이드류는 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 부티르알데하이드, n-발데르알데하이드 등이다. 아세트알데하이드의 유입 및 유출농도는 0.085~0.135(평균0.069)ppm과 0.006~0.075(평균0.037)ppm 이었으며, 처리효율은 46.4%였다. 프로피온알데하이드와부티르알데하이드의 유입평균농도는 각각 0.003ppm과 0.006ppm 이었으나 탈취탑을 통과한 유출가스에서는 검출되지 않았다.

(4) 스타이렌

탄화수소류 중 기솔린 냄새를 유발하는 스타이렌의 유입농도는 최소 0.002 ppm에서 최대 0.010 ppm

Table 2. Summary of operating result in the biofilter tower

Component	Inlet(ppm)	Outlet(ppm)	Removal efficiency(%)
Ammonia (NH ₃)	2.47~29.76 (17.67)	0.1~1.26 (0.59)	89.9~99.5 (96.7)
Trimethylamine $((CH_3)_3N)$	0.004~0.008 (0.006)	0.002~0.005 (0.003)	25.0~66.7 (50.0)
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	21.36~91.06 (62.76)	0.40~9.51 (3.95)	84.4~98.2 (93.7)
Methanethiol (CH ₃ SH)	0.032~2.653 (1.477)	0.013~0.623 (0.266)	43.8~97.3 (81.95)
Dimethylsulfide ((CH ₃) ₂ S)	ND	ND	-
Dimethyldisulfide $((CH_3)_2S_2)$	ND	ND	-
Acetaldehyde (CH3CHO)	0.085~0.135 (0.069)	0.006~0.075 (0.037)	25.0~54.4 (46.4)
Propionaldehyde (C ₂ H ₅ CHO)	0.002~0.004 (0.003)	ND	-
Butyraldehyde (CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH0)	0.002~0.008 (0.006)	ND	-
n-valeraldehyde (CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO)	ND	ND	-
i-valeraldehyde ((CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO)	ND	ND	-
Styrene (C ₆ H ₅ CH=CH ₂)	0.002~0.010 (0.006)	ND	-

*ND: Not detected

으로 기온의 상승에 따라 5배 증가하였다. 스타이렌의 평균 유입 농도는 0.006 ppm이였으나 탈취탑을 통과한 유출가스에서는 검출되지 않았다.

이상과 같은 결과를 토대로 볼 때, 가축분뇨 및 분 뇨처리시설의 주요 악취물질인 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄의 유입농도는 계절과 기온의 영향으로 각각 12배, 4배, 83배의 차이를 보였으나, Table 2에서 보듯이 암모니아와 황화수소는 심한 부하변동과 고농도 유입에도 불구하고 96.7%와 93.7%의 높은 제거효율을 보였으며, 메틸머캅탄 역시 81.9%의 높은 처리성능을 유지하였다.

4. 미생물 성상

본 실험에 사용된 바이오필터 탈취탑내의 중간지점에서 pall ring을 10개씩 3차례 채취하여 부착된 미생물이 젖은 무게와 건조무게를 측정한 후, 박 등⁽⁴⁾이 제시한 다음식을 이용하여 부착된 미생물의 물리

적 특성을 조사한 결과를 Table 3에 요약·정리 하였다.

$$T_b(\mu m) = \frac{1}{\rho_f} \frac{AW_w}{A} \tag{9}$$

$$BD(mg/cm^3) = \frac{AW_d}{T_b \times A} \times 1,000$$
 (10)

$$B_A(mg/cm^2) = \frac{AW_d}{A} \times \frac{1}{10} \tag{11}$$

여기서

T_b: 생물막 두께(μm)

 ρ_f : 젖은 생물막의 밀도(g/cm³)

 AW_w : 부착미생물의 젖은무게(g)

 AW_d : 부착미생물의 건조무게(g)

A: 담체의 표면적(m²)

BD: 생물막 건조밀도(mg/cm³)

 B_A : 담체 단위면적당 부착미생물량(mg/cm²)

Table 3. Characteristics of attached biomass in biofilter

Item		Pall ring
Biofilm	Water content(%)	95.8 ± 0.5735
	Thickness(µm)	630 ± 105.3
	Density(mg/cm ³)	55.2 ± 25.2
	Attached mass (mg/cm ²)	2.6 ± 0.8212

Table 3에서 보듯이 탈취장치의 담체에 부착된 생물 막의 함수율 및 두께는 각각 95.8%, 630 µm 이었고, 건조밀도와 단위면적당 부착미생물량은 55.2 mg/cm³, 2.6 mg/cm²으로 나타났다. 이는 배 등¹¹⁾이 살수여상 형 바이오필터를 이용한 가축분뇨의 악취제거 실험 에서 얻어진 부착미생물의 물리적 특성과 거의 비슷 한 결과를 보였다.

IV. 결 론

지렁이 분변토와 주정슬러지를 혼합 배양한 액을 실규모 바이오필터에 적용하여 고농도 악취물질 제 거효과에 대해 조사·분석한 결과 다음과 같은 결 론을 얻을 수 있었다.

- 1. 배양순환액의 pH와 SCOD농도는 NaOH의 pH 조정과 배양액의 주기적인 투입으로 pH 5.2~7.5(평 균 6.3)와 SCOD농도 335~735(평균 480)mg/L로 탈 취미생물의 적정환경조건을 유지할 수 있었다.
- 2. 탈취탑의 배기가스 온도는 10.5~27.2°C(평균 20) 이었으며 풍량은 54~67(평균 60) m³/min로 약간씩 감소는 하였으나 배양순환액의 공급으로 급격한 압 력강하 현상은 발생되지 않았다.
- 3. 가축분뇨 및 분뇨처리시설의 주요 악취물질인 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄의 유입농도는 계절 과 기온의 영향으로 각각 12배, 4배, 83배의 차이를 보였으며, 특히 외기 기온이 높은 여름철이 가장 높 게 나타났다.
- 4. 바이오필터 탈취탑의 암모니아, 황화수소, 메틸 머캅탄의 제거효율은 각각 96.7%, 93.7%, 81.9%이 었으며, 트라이메틸아민, 아세트알데하이드는 각각 50%, 46.4% 이었고, 다이메틸설파이드, 다이메틸다 이설파이드, 프로피온알데하이드, 부티르알데하이드, n-발데르알데하이드, i-발데르알데하이드, 스타이렌

등은 유출가스에서 거의 검출이 되지 않았다.

5. 탈취탑 내부의 매체에 부착된 미생물의 생물막 두께, 생물막 건조밀도는 각각 630 μm, 55.2 mg/cm³ 이었고, 매체단위면적당 부착미생물량은 2.6 mg/cm² 이었다.

감사의 글

본 연구는 (주)그린엔텍의 협조를 받아 수행된 것 으로서 이에 감사드립니다.

References

- 1. Korea Ministry of Environment. Development of Biological Deodorization Technology for Sulfur containing Malodorous Mixed Gases to Reduce Odor Pollution. Gwachon: Korea Ministry of Environment Press; 1997. p.1-20.
- 2. Lee HS, Chu DS, Jung JO. Characteristics of biofilter support media for the odor control. J Environ Health Sci. 2008; 34(1): 101-107.
- 3. Yoo SK, Lee EY. Application of earthworm castingderived biofilter media for hydrogen sulfide removal. J Kor Soc Environ Engin. 2007; 29(7): 820-825.
- 4. Kim JH, Park SH, Park CH, Park HS. Removal characteristics of NH₃ and H₂S in biofilter packed with biomedia encapsulated by organic polymer. J Kor Soc Waste Management. 2004; 21(3): 288-295.
- 5. Sheridan BA, Curran TP, Dodd VA. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. Bioresource Technology. 2002; 82(2):
- 6. Elias A, Barona A, Arreguy A, Rios J, Aranguiza I, Penas J. Evaluation of a packing material for the biodegradation of H₂S and product analysis. Process Biochem. 2002; 37: 813-820.
- 7. Devinny JS, Deshusses MD, Webster TS. Biofiltration for Air Pollution Control. New York: Lewis Publishers Press; 1999. p.4-34.
- 8. Cho KS, Zhang L, Hirai M, Shoda M. Enhanced removability of odorous sulfur-containing gases by mixed cultures of purified bacteria from peat biofilters. J Ferment Bioeng., 1992; 73: 219-224.
- 9. Namgung HK, ShinSK, Hwang SJ, Song JH. Transient behaviors of a two-stage biofilter packed with immobilized microorganisms when treating a mix-

- ture of odorous compounds. *J Kor soc Environ Engin*. 2010; 32(12): 1126-1133.
- 10. Choi HG. A study on sludge feed and breeding condition in vermicomposting of organic sludge [dissertation]. [Seoul]: Seoul City University; 1992.
- 11. Bae YG, Park JW. Odor removal of swine wastewater by trickling biofilter. *J Environ Sys Develop Instit.* 2011; 14: 25-36.
- Korea National Institute of Environmental Research.
 Standard Method of Odor compounds. Inchon:
 Korea National Institute of Environmental Research

- Press; 2005.
- APHA. AWWA and WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington DC: APHA Press; 2000.
- 14. Park JW, Song JH. Measurement method of attached biomass in irregular shape granular media molded with waste tire. *J Kor Soc Wat Waste*. 2003; 17(2): 252~260.
- 15. Huh M. Kinetic theory on biological deodorization by bioscrubbers. *J Kor Soc Environ Engin.* 2007; 29(7): 739-746.