

# 바이오필터를 이용하여 하수악취 중 황 화합물 제거

산업환경팀

문병진 · 김은숙 · 이희선 · 김영두 · 이호찬 · 성시홍  
김영일 · 김상수 · 고민승 · 민상기 · 윤중섭 · 어수미

## Removal of Sulfur Compounds in Sewage Odor by Biofilters

*Industrial Environment Team*

**Byeong-jin Moon, Eun-sook Kim, Hee-sun Lee, Young-doo Kim,  
Ho-chan Lee, Si-hong Sung, Young-il Kim, Sang-soo Kim,  
Min-seung Ko, Sang-kee Min, Joong-seop Yun and Soo-mi Eo**

### Abstract

This research aimed to study how to use biofilters to reduce sewage odor efficiently. To check the performance of the biofilter, three experiments were conducted, including the control experiment. Biofilters with sulfur-removing bacteria were used in the activated sludge process at the Tancheon Sewage Treatment Center. The biofilter was tested with a gas mixture comprising hydrogen sulfide and methyl mercaptan. The experiment results are as follows: the rate of hydrogen sulfide removal was 15% in bacteria-free media(case 1) and 69% in distilled water-bearing media(case 2). When the biofilter(case 3) was used, most of the hydrogen sulfide was removed and not detected. The rate of methyl mercaptan removal was 10% in case 1, 64% in case 2, and 97% in case 3. Methyl mercaptan oxidized in wet conditions and was converted to dimethyl disulfide. After the experiment was completed, bacterial strains of *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp. were identified with SEM and MALDI-TOF MS. These bacteria are known to remove sulfur compounds.

**Key words** : sewage odor, biofilter, hydrogen sulfide, methyl mercaptan

## 서 론

하수관거 배제시스템은 빗물과 가정오수를 한꺼번에 배출하는 합류식, 빗물과 오수를 분류해서 배출하는 분류식으로 구분한다. 서울시의 경우, 하수배제방식은 약 86%가 합류식으로 총길이는 8,819 km에 해당한다. 이로 인해 하수의 악취가 빗물받이, 맨홀뚜껑 등을 통하여 대기 중으로 배출되어 민원을 야기한다(1). 악취는 지역특성, 생활수준 등 사회·문화적인 특성과 성별, 연령 등 개인적인 특성이 중요하게 작용한다. 2017년 하수도 통계에 의하면, 서울시 하수악취 민원은 2016년 5,531건에서 2017년 6,065건으로 증가하는 것으로 나타났다(2).

하수에서 발생하는 많은 악취유발물질 중에서 가장 중요한 악취성분은 황화수소(Hydrogen Sulfide, 이하  $H_2S$ )와 암모니아(Ammonia)로 알려져 있고, 특히 황화수소는 최소감지농도가 0.0005 ppm으로 암모니아의 최소감지농도 0.1 ppm보다 낮다(3). 황화수소( $H_2S$ )는 산업안전관리의 주요 대상물질로 썩은 계란 냄새가 나는 무색의 대표적인 악취물질이다. 공기와 잘 혼합되며, 물에 대한 용해도가 2.58~2.9%로 높다. 황화수소는 주로 오수와 하수, 쓰레기 매립장 등에서 유기물이 혐기성 분해될 때 주로 발생한다. 황화수소는 온도가 높을수록, 용존산소가 낮을수록, 정체된 공간일수록 발생량이 증가하며, 특히 침전지 및 저류조 바닥층에서 교반할 경우 황화수소 발생량이 증가하는 특성을 갖는다(1, 3).

메틸메르캡탄(Methyl Mercaptan, 이하 MM)은 황화수소( $H_2S$ )와 비슷하게 황 화합물로서 최소감지농도가 0.0001 ppm으로 축사, 제기공장, 쓰레기, 분뇨, 하수처리장, 쓰레기 매립장 및 하수관거 등 많은 곳에서 발생하는 대표적인 악취물질이다. 황화수소( $H_2S$ )와 메틸메르캡탄(MM)은 지정악취물질로 공업지역의 배출허용기준이 각각 0.06 ppm, 0.004 ppm로 지정되어 규제되고 있다(3, 4).

악취 처리방법에는 주로 흡수법, 흡착법, 연소법, 촉매산화법, 마스크법 등의 물리화학적처리가 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 2차

오염물질 유발 및 근본적인 악취제거가 아닌 일시적인 악취제거에 불과하여 바이오필터를 이용하여 악취를 근본적으로 제거하는 연구가 진행되고 있다(5~8).

바이오필터에 의한 악취처리기술은 여러 가지 장점에도 불구하고 담체 내의 미생물의 활성을 극대화하기 위해 수분, 영양분, pH 등을 적절히 조절해야 하며 최적의 성능을 가진 우수한 담체를 선정해야 한다. 또한 바이오필터의 최대 효율은 미생물을 고정시키는 담체의 선택이 매우 중요하다는 연구결과가 보고되고 있다. 우수한 담체 조건으로는 높은 수분함유량, 높은 공극률, 넓은 표면적, 낮은 압밀정도, 낮은 압력강하, 높은 내구력, 높은 강도, 악취가스 흡수능력 등이 있다. 미생물의 활동과 관련된 조건은 높은 수분함유량과 넓은 표면적이 가장 중요하지만 바이오필터의 구조와 바이오필터 운전부분에서는 낮은 압밀정도와 담체의 강도가 중요한 기준이 된다(9).

본 연구는 하수악취 주성분으로 알려진 황 화합물( $H_2S$ 와 MM)을 바이오필터를 이용하여 오염물질 제거효율을 확인하고 제거효율에 영향을 미치는 미생물을 동정하고자 하였다. 이를 바탕으로 하수 악취를 원천적으로 제거하여 시민의 쾌적한 생활 환경을 조성하는데 기초자료 사용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 바이오필터(Biofilter)

바이오필터에 사용된 미생물은 탄천물재생센터에서 채취한 활성슬러지를 이용하였고, 폴리우레탄(Polyurethane, 이하 PU) 담체를 이용하여 바이오필터를 제작하였다. 활성슬러지는 수천 종 이상의 미생물로 구성되고 상당수가 미생물 배양 방법으로 순수 분리 및 동정이 불가능한 것으로 알려져 있다. 보통 활성슬러지 미생물은 균류, 박테리아, 원생동물, 조류로서 종속영양 박테리아가 대부분을 차지하고 있으며, 가장 대표적인 미생물은 표 1에 나타내었다(10).

미생물 접종에 사용된 PU담체는 큰 비표면적과 통기성이 좋은 특징을 가지고 있으며 다른 담체에

**Table 1. Bacteria and functioning in activated sludge(10)**

Genus	Function
<i>Arthrobacter</i>	Removal of organic
<i>Pseudomonas</i>	Removal of organic, Denitrification
<i>Bacillus</i>	Proteolysis
<i>Nitrosomonas</i>	Nitrification
<i>Nitrobacter</i>	Nitrification
<i>Sphaerotilus</i>	Sludge bulking
<i>Zoogloea</i>	Floc-formation
<i>Acinetobacter</i>	Polyphosphate accumulation
<i>Cytophaga</i>	Decomposition cellulose

비해 우수한 성능을 가지고 있어 바이오필터에 많이 사용하는 담체로 알려져 있다(11). 실험에 사용된 담체는 700개, 공극은 60 PPI(pores per inch), 규격은 10 mm × 5 mm × 5 mm인 제품을 사용하였다.

바이오필터에 사용된 활성슬러지의 양은 4L이며, 접종 방법은 담체와 활성슬러지를 반응기에 넣은 후 24시간 동안 폭기하였다. 이후 상등액을 배제한 후 악취제거 실험을 수행하였다. 바이오필터(Biofilter)는 그림 1과 같이 아크릴 재질로 제작하였다.

실험에 사용된 가스는 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 메틸메르캅탄(MM)의 혼합가스를 사용하였고, 하부에서 유입하여 상부로 유출되는 상향류식(Up-flow type)으로 제작하였다. 유입가스의 유입량은 20~30 mL/min으로 고정하고 Air compressor를 이용하여 대기 중 공기를 1~2 L/min로 주입하여 유입농도를 일정하게 유지하였다. 1일 1회 이상 테들러 백에 유입되는 가스를 받아 GC로 분석하여 유입농도를 확인하였다. 또한 미생물의 활성을 유지하기 위해 상부에 영양물질을 공급할 수 있는 노즐을 장착하여 하루에 20 mL씩 총 2회 주입하였다. 영양물질의 조성은 이전에 보고된 연구결과를 참고하여 표 2과 같이 만들어 사용하였다(12).

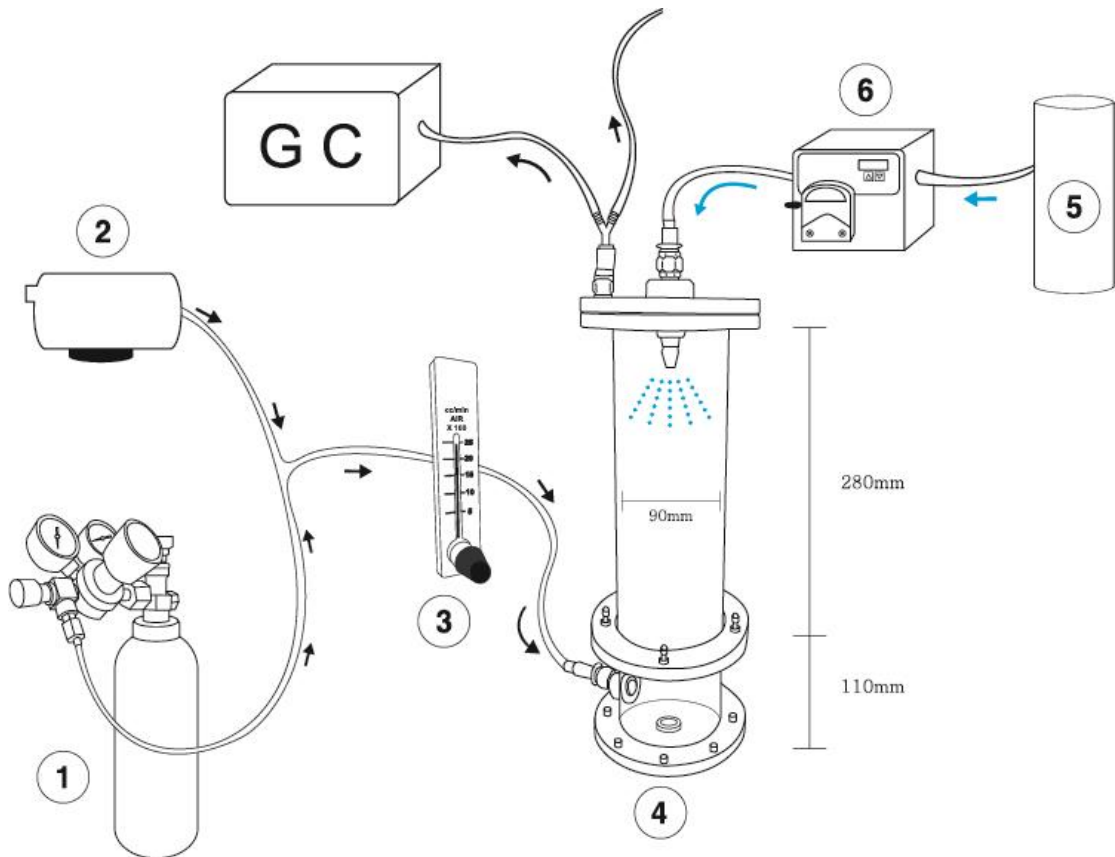
## 2. 실험방법

### 1) 황 화합물 제거실험

바이오필터를 이용하여 황 화합물 제거율을 확

인하기 위하여 대조군을 포함하여 총 3회에 걸쳐 실험을 수행하였다. case 1은 대조군으로써 미생물이 없는 담체가 오염물질을 얼마나 제거하는지 확인하기 위해 실험을 하였고, case 2는 용해도가 높은 오염물질에서 수분의 제거효율을 확인하기 위해 미생물이 없는 담체에 멸균한 증류수를 분사하며 실험을 실시하였다. 마지막 case 3은 바이오필터가 오염물질을 얼마나 효과적으로 제거하는지 확인하기 위해서 위해 바이오필터를 제작한 후 영양물질을 상부에서 분사하면서 실험을 실시하였다. 바이오필터에 유입되는 가스는 고순도 질소(99.999%)로써 3회 이상 세척한 테들러 백을 이용하여 분석하였고, 바이오필터를 통과한 가스는 직접 GC/PFPD로 연결하여 2시간 간격으로 실험하여 유출되는 가스의 농도변화를 분석하였다. 수분의 영향을 줄이기 위해 GC장비에 나피온 드라이어(Nafion dryer)를 설치하여 GC로 유입될 가능성이 있는 수분을 최소화하였다.

황 화합물류는 Air sampler가 부착된 전자 냉각방식을 이용한 열탈착장치(AS/TD Unity, Markes)를 이용, 내부 Cold trap에서 시료를 -13°C로 일정시간(용량) 농축 후 수초 이내에 280°C의 고온으로 탈착하여 GC/PFPD(GC-3800 Varian)로 주입시켜 분석하였다. 표준시료( $\mu\text{mol/mol}$  농도)는 인증표준가스(Rigas, Korea, 메틸메르캅탄 10.4, 황화수소 10.4, 디메틸설파이드 10.5, 디메틸디설파이드 10.5)를 사용하여 고순도 질소와 혼합 희석하여 사용하였다.



**Fig. 2.** Schematic diagram of biofilter system. ① Gas cylinder ② Air compressor ③ Flow meter ④ Biofilter ⑤ Nutrient salts ⑥ Pump

**Table 2.** Composition of Nutrient salts(12)

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	8.0 g/L
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	2.0 g/L
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	2.0 g/L
$\text{MgCl}_2$	0.2 g/L
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.01 g/L
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0.4 g/L

case 1의 혼합가스 유입농도는 20 ppb로 시작하여, 180 ppb로 높아가면서 실험을 실시하였고, case 2는 80 ppb로 시작하여 40 ppb로 유입농도를 낮추어 실험을 실시하였다. case 3는 전농천과 천호유수지 복개구간에서 측정된 황화수소의 농도를 참고하여 혼합가스의 농도를 50~500 ppb로 단계적으로 실험을 실시하였다.

## 2) 담체에 부착된 미생물 관찰 및 동정

case 3 실험종료 후 미생물 변화를 확인하기 위해 주사현미경(Scanning Electron Microscope, SS-550, Japan 이하 SEM)과 Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time of Flight Mass Spectrometer(MALDI-TOF MS; Bruker, Germany)를 활용하여 미생물종을 관찰하였다.

주사현미경으로 미생물을 관찰을 위해 전처리로써 고정화작업을 다음과 같이 진행하였다. 전처리 작업은 일정량의 담체를 완충용액(phosphate buffer, pH 7.0)으로 세척한 후 glutaraldehyde 2.5% (v/v)에 2시간 이상 방치하여 세포를 고정화하였다. 이후 세포의 탈수처리를 위해 70~100% 에탄올용액에 단계적으로 2시간 담근 후 실온에서 건조하였다. 건조된 시료를 백금 도금한 후 주사현미경(SEM)으로 담체를 관찰하였다.

실험이 종료 이후 바이오필터의 담체에서 균주를 분리하였다. 균주 분리는 10개의 담체를 각각 PBS 10 mL가 분주된 10개의 15 mL conical tube(SPL, Korea)에 희석하였다. 희석액을 10개의 Trypton soya agar(Oxoid, England)에 무균적으로 접종하여 37°C에서 24~48시간 호기 배양하였다. 24~48시간 동안 관찰하여 배양된 집락 형태, 크기, 색 등으로 분류하여 각 검체마다 3~6개의 집락을 순수 분리하였다.

황화수소(H<sub>2</sub>S)와 메틸메르캡탄(MM)과 관련이 있는 미생물 집락의 유·무를 확인하기 위해 Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization Time of Flight Mass Spectrometer (MALDI-TOF MS; Bruker, Germany)를 이용하여 동정하였다. 본 실험에서 사용한 장비는 Bruker (Germany)의 MALDI Biotyper System으로 실험 방법은 순수 분리된 집락을 MALDI target plate에 넓게 도포한 다음 MALDI matrix(10

mg/mL of  $\alpha$ -cyano-4-hydroxy-cinnamic acid [ $\alpha$ -HCCP] in 50% acetonitrile-2.5% trifluoroacetic acid; Bruker Daltonik, Bremen, Germany)를 그 위에 1  $\mu$ L 떨어뜨린 다음 실온에 건조하였다. 그리고 MALDI-TOF MS장치에 target plate를 장착하고 진공 상태에서 MTB\_autoX method를 적용하여 분석하였다. 확인된 균주 중 score value가 2.0 이하이거나 Consistency Categorica가 C인 결과는 연구 대상에서 제외하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 황화수소(H<sub>2</sub>S) 제거

황화수소 제거 실험결과는 그림 2와 그림 4와 같다. case 1 실험 결과, 유입되는 황화수소의 농도에 따라 유출되는 황화수소의 농도도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 농도변화는 지체시간 없이 바로 유출가스에서 변화하는 특징을 보였고, 황화수소 제거율은 약 15%로 나타났다.

case 2 실험 결과, 유입되는 황화수소의 농도가 점점 낮아짐에도 불구하고 유출되는 황화수소의 농도는 점점 높아지는 경향을 보였다. 이러한 황화수소 변화는 실험이 시작할지 약 24시간이 경과한 후 보이기 시작하였다. 그러나 황화수소 제거율은 약 69%로 case1보다 높게 나타났다. 즉 용해도가 높은 오염물질은 수분만으로 제거할 할 수

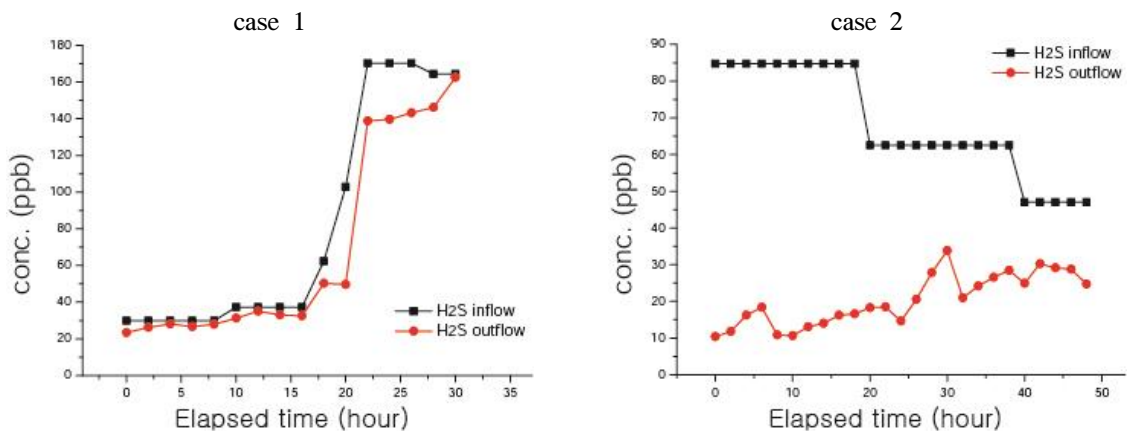


Fig. 2. Time course of H<sub>2</sub>S removal.

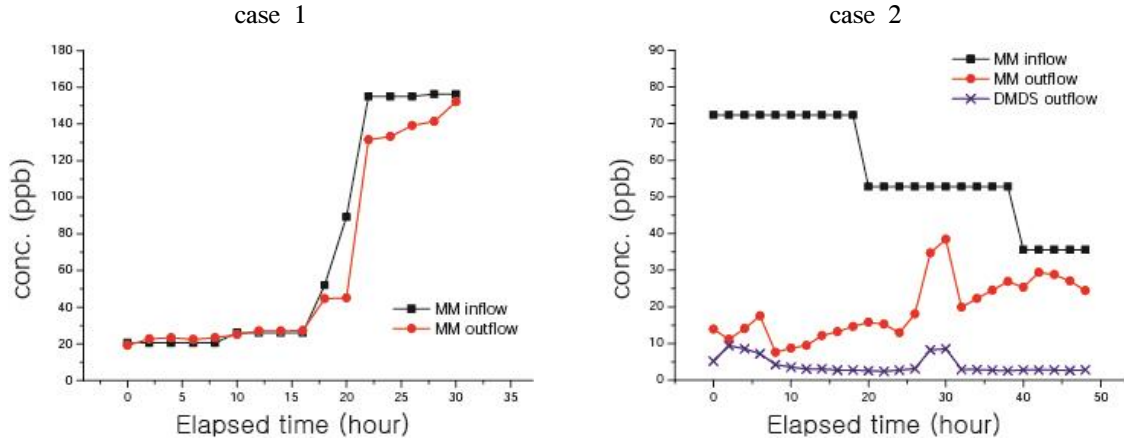


Fig. 3. Time course of MM removal.

있다는 것을 확인하였다.

case 3 실험 결과, 대조군 실험과 다르게 거의 검출되지 않았다. 이러한 결과는 이전 연구결과 (5~7, 13)와 유사한 결과이다.

## 2. 메틸메르캅탄(MM) 제거

메틸메르캅탄의 제거 실험결과는 그림 3과 그림

4와 같다. case 1의 실험결과, 황화수소( $H_2S$ )의 결과와 비슷하게 유입되는 메틸메르캅탄(MM)의 농도가 증가함에 따라 유출되는 메틸메르캅탄(MM)의 농도도 증가하였다. 메틸메르캅탄(MM)의 제거효율도 황화수소( $H_2S$ ) 제거율과 유사한 평균 10%로 나타났다. 이는 오염가스가 담체, 반응기 및 연결관 등의 표면에 흡착 제거된 것으로

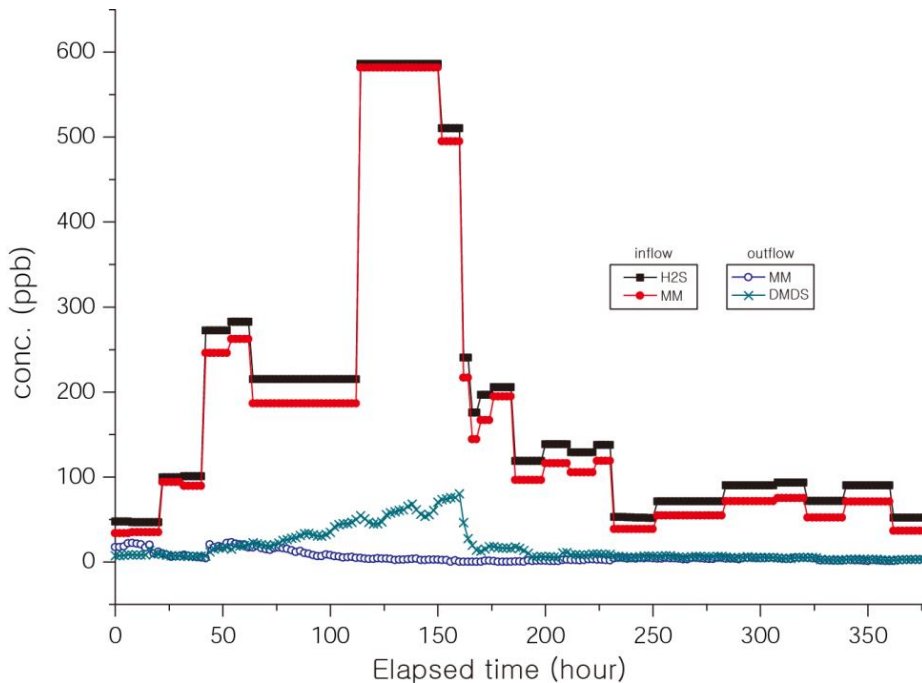
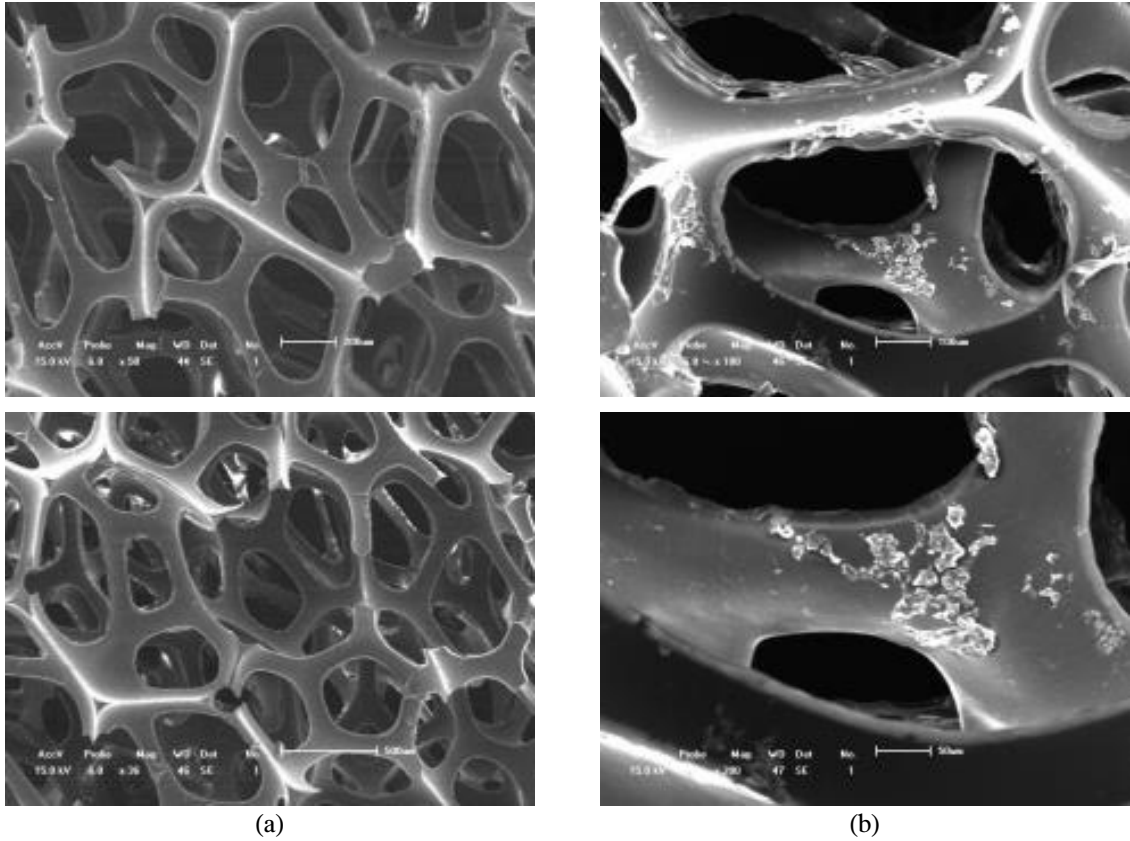


Fig. 4. Time course of  $H_2S$  and MM removal in case 3.



**Fig. 5. SEM image. :** (a) the surface of media (b) the surface of media with activated sludge

판단된다.

case 2 실험결과, 유출되는 메틸메르캡탄(MM)의 농도는 초기에는 10 ppb 전후에서 30 ppb까지 증가하는 경향을 보였다. 오염물질 제거율은 64%로써 case 1보다 높은 제거효율을 나타내었다. 또한 case 1에서는 검출되지 않은 다이메틸다이설파이드(Dimethyl Disulfide,  $(CH_3)_2S_2$ , 이하 DMDS)가 2.4 ppb~ 9.4 ppb(평균 4.1 ppb) 정도 검출되었다. Svetlana Bashkova et al.(2005) 의하면 메틸메르캡탄(MM)이 물과 활성탄 흡착에 의해 산화되어 다이메틸다이설파이드(DMDS)로 전환된다고 보고하였다(16~18). 이러한 반응은 20 0℃ 이상의 고온인 경우, 물이 없는 상태에서도 발생하지만, 실온에서는 습윤한 상태에서 일어난다고 서술하였다. 이와 유사한 실험결과로써 다이메틸다이설파이드(DMDS)는 건조상태로 실험을 실시한 case 1에서는 검출되지 않았지만, 증류수

를 공급한 case 2에서는 메틸메르캡탄(MM)이 산화되어 다이메틸다이설파이드(DMDS)으로 검출된 것으로 파악된다.

case 3 실험 결과, 메틸메르캡탄(MM)도 유입 가스 농도변화에 따라 유출되는 메틸메르캡탄(MM)의 농도는 큰 영향을 미치지 않았다. 유출농도는 실험 초기부터 실험 90시간까지 10~20 ppb에서 실험 후반에는 1~2 ppb 이하로 일정하게 나타났다. 특히 유입농도가 높을 때(유입농도 490~580 ppb)에도 대부분 제거되어 유출농도가 10 ppb를 초과하지 않았다. 다이메틸다이설파이드(DMDS)의 유출농도 변화는 메틸메르캡탄(MM)의 농도가 낮은 실험시작 초반에서는 10 ppb 전후로 검출된 후 메틸메르캡탄(MM)의 농도가 최대일 때 80 ppb까지 나타났다. 이후 실험시간 200시간부터 10 ppb 이하로 일정하게 나타났다. 다이메틸다이설파이드(DMDS)의 검출은 case 2와 비슷

하게 수분에 의해 발생된 것으로 보여진다. 메틸메르캡탄(MM)의 유입농도가 높을 때 유출되는 다이메틸다이설파이드(DMDS)의 농도가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. Andrey Bagreev et al.(2002)에 의하면, 철 이온 등 금속 물질은 메틸메르캡탄(MM)이 산화 시 촉매제로 작용하고, 황성탄 표면에 있는 산소와 OH<sup>-</sup> 등은 산화반응의 활성화를 위해 필요하다고 서술하였다. 그와 유사한 결과로써 영양염류 속에 있는 여러 가지 이온들과 미생물의 영향으로 case 3에서는 메틸메르캡탄(MM) 제거율은 약 97%로써 가장 높게 나타났다.

### 3. 바이오필터의 미생물 변화 관찰

그림 5은 주사현미경으로 실험이 종료된 case 3의 담체 표면과 대조군 담체 표면을 관찰한 사진이다. 대조군 담체에서는 특이사항이 발견되지 않았지만, case 3의 담체에서는 미생물을 포함한 다양한 물질을 확인 할 수 있었다.

미생물의 집락을 확인하기 위해서 실험이 종료된 case 3의 미생물을 MALDI-TOF로 이용하여 동정하였다. 동정 결과 *Pseudomonas* sp., *Myroides* sp., *Shewanella* sp., *Aeromonas* sp., *Wautersiella* sp., *Stenotrophomonas* sp., *Bacillus* sp., *Delftia* sp., *Empedobacter* sp., *Brevundimonas* sp. 등이 확인되었다. 이중 *Bacillus* sp.와 *Pseudomonas* sp.는 여러 연구결과 황 화합물(황화수소(H<sub>2</sub>S), 메틸메르캡탄(MM))이 물과 반응하여 제거 가능한 수용성의 중간물질을 제거할 수 있는 미생물로 확인되었고(13~15), 이런 미생물의 존재로 인해 case 3의 악취물질 제거율이 높은 것으로 추정된다.

## 결 론

본 연구는 바이오필터를 이용한 악취물질(황화수소와 메틸메르캡탄)을 제거하는 연구를 수행하였다. 바이오필터의 성능을 확인하기 위해 대조군 실험을 포함하여 총 3회 실험을 실시하였고, 결과는 다음과 같다.

1. 황 화합물의 제거효율은 바이오필터를 이용한 실험에서 97% 이상으로 가장 높게 나타났다.
2. 미생물이 없는 담체에 수분만 제공한 경우, 악취가스제거 효율은 황화수소(H<sub>2</sub>S)가 평균 69%, 메틸메르캡탄(MM)은 평균 64% 제거되었다. 이를 통해 용해도가 높은 오염물질은 담체와 증류수만으로도 악취가스를 일부 제거할 수 있다는 사실을 확인하였다.
3. 습윤 상태에서는 메틸메르캡탄(MM)이 산화되어 다이메틸다이설파이드(DMDS)로 유출되었고, 특히 바이오필터를 이용한 실험에서, 메틸메르캡탄(MM)의 유입농도가 증가함에 따라 유출되는 다이메틸다이설파이드(DMDS) 농도도 증가하는 것을 확인하였다.
4. 실험 종료 후 SEM과 MALDI-TOF를 이용하여 *Pseudomonas* sp.와 *Bacillus* sp. 등의 다양한 미생물들이 존재한다는 사실을 확인하였다. 이러한 미생물을 이용한 바이오필터는 악취가스를 물리화학적 제거뿐만 아니라 생물학적인 제거가 가능하여, 바이오필터를 이용한 실험에서 가장 높은 제거효율을 보인 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 서울특별시 상수도연구원 : 2014 하수도 연구결과 보고서, 2015.
2. 환경부 : 2016, 2017 하수도 통계, <http://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=10264>
3. 환경부 : 2012 악취관리 편람, 2012.
4. 환경부, 악취방지법 시행규칙(별표 3), 2011.
5. 서동현 : 곰팡이 바이오필터를 이용한 유기성 및 무기성 악취원인 물질 동시 제거. 서울과과학기술대학교 환경공학과 석사논문, 2019.
6. 김건우 : *Acidithiobacillus thiooxidans* SOB5VT1균을 활용한 바이오필터에서 H<sub>2</sub>S 제거. 동의대학교 생명융합학과 석사논문, 2015.
7. 이은영, 조옥상, 유선경 : 지렁이 분변토 바이오필터 의한 황화수소 제거. 대한환경공학회,



- (12):1323~1326, 2004.
8. 이은영 : Polyurethane 담체 및 Ceramic담체를 이용한 Biofilter에서의 CH<sub>3</sub>SH 제거. 한국냄새환경학회지, 4(4):189~195, 2005.
  9. Kyung-Suk Cho, Hee Wook Ryu and Nae Yoon Lee : Biological deodorization of hydrogen sulfide using porous lava as a carrier of Thiobacillus thiooxidans. Journal of Bioscience and Bioengineering, 90(1):25~31, 2000.
  10. 윤지형 : 하폐수 처리를 위한 미생물 고정화 담체 물성 및 효율 분석. 서울시립대학교 석사논문, 2018.
  11. 차규석 : 담체 종류에 따른 황화수소의 제거특성. 한국지반환경공학회 논문집, 8(4):41~45, 2007.
  12. 임광희 : 황화수소와 암모니아를 함유한 악취 폐가스의 세미파일럿 규모 바이오필터 처리:2. 분리 미생물들을 접종한 담체를 충전한 바이오필터 운전. 한국화학공학회, 52(2):240~246, 2014.
  13. 이병현, 이민규, 김중균, 권상현, 최혁, 빈정인 : 화산석을 담체로 한 Biofilter에서 황화수소 제거 특성. 화학공학회지, 39(3):379~384, 2001.
  14. Kazunari Ushida, Kenta Hashizume, Kohji Mryazaki, Yoicchi Kojima and Susumu Takakuwa : Isolation of *Bacillus* SP. as a Volatile Sulfur-Degrading Bacterium and Its Application to Reduce the Fecal Odor of Pig. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 16(12):1795~1798, 2003.
  15. Nakada, Y and Y. Ohta : Hydrogen sulfide removal by a deodorant bacterium *Bacillus* sp. BN53-1(In Japanese). Seibutsu Kogaku Kaishi, 75:425~431. 1997.
  16. Svetlana Bashkova, Andrey Bagreeev and Teresa J. Bandosz : Catalytic properties of activated carbon surface in the process of adsorption/oxidation of methyl mercaptan. Catalysis Today, 99(3~4):323~328, 2005.
  17. Svetlana Bashkova, Andrey Bagreeev and Teresa J. Bandosz : Effect of Surface Characteristics on Adsorption of Methyl Mercaptan on Activated Carbons. Ind. Eng. Chem. Res. 41:4346~4352, 2002.
  18. Andrey Bagreeev, Svetlana Bashkova and Teresa J. Bandosz : Dual Role of Water in the Process of Methyl Mercaptan Adsorption on Activated Carbons. Langmuir, 18:8553~8559, 2002.