

## 지렁이 분변토를 이용한 생물담체가 충전된 바이오필터에 의한 황화수소 제거

유선경\* · 이은영†

\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소 · 수원대학교 환경공학과

(2007년 5월 6일 접수, 2007년 7월 9일 채택)

### Application of Earthworm Casting-derived Biofilter Media for Hydrogen Sulfide Removal

Sun-kyoung Yoo\* · Eun Young Lee†

\*MOERI/KORDI · Suwon University Department of Environmental Engineering

**ABSTRACT :** Earthworm casting was the natural fertilizer that contained high concentrations of nutrients such as nitrogen, phosphate and potassium and of over  $10^8$  CFU/ml of microorganisms. Greater than 80% of feed was excreted through the fermentation by the intestinal enzyme, after worm had eaten feeds such as fallen leaves and rotten roots under the ground. Also, the soil structure of casting was known to be very efficient in the aspects of the porosity, the water permeability, and deodorizing activities. In this research, the biofilter packed with a biomedica made of casting and waste polyurethane foam, a binder, which helped to improve the durability and perpetuity of casting, was investigated to degrade malodorous hydrogen sulfide gas. The biomedica had no need of extra supply of nutrients and of microbial inoculations. On the beginning of the operations, it showed 100% removal of hydrogen sulfide gas without lag phase. At SV of  $50 \text{ h}^{-1}$ , hydrogen sulfide gas from the outlet of the biofilter was not detected, when inlet concentration increased to 450 ppmv. After that, removal efficiency decreased as increasing inlet hydrogen sulfide concentration. Hydrogen sulfide removal was maintained at almost 93% until inlet concentration was increased up to 950 ppmv, at which the elimination capacity of  $\text{H}_2\text{S}$  was  $61.2 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ . Maximum elimination capacity guaranteeing 90% removal was 61.2, 65.9, 84.7, 89.4  $\text{g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$  at SV ranging from  $50 \text{ h}^{-1}$  to  $300 \text{ h}^{-1}$ , but was  $59.3 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$  at SV of  $400 \text{ h}^{-1}$ . The results calculated from Michaelis-Menten equation revealed that  $V_m$  increased from 66.04, 88.96, 117.35, 224.15, to  $227.54 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$  with increasing space velocity in the range of  $50 \text{ h}^{-1}$  to  $400 \text{ h}^{-1}$ . However, saturation constant( $K_s$ ) decreased from 79.97 ppmv to 64.95 and 65.37 ppmv, and then increased to 127.72 and 157.43 ppmv.

**Key Words :** Hydrogen Sulfide, Biofilter, Earthworm Casting

**요약 :** 지렁이 분변토는 낙엽이나 땅 속의 썩은 뿌리 등을 먹고 장 내의 효소에 의해 부숙화시켜 섭취한 먹이의 80% 이상을 그대로 배설한 질소, 인산, 칼륨 등의 함량이 매우 높고 미생물량도  $10^8$  CFU 이상이 되는 천연비료이다. 또한, 분변토의 단립 구조는 통기성 및 투수성이 매우 우수하며, 비표면적이 크고 양이온 교환용량( $2.30\text{-}4.60 \text{ mg/g-soil}$ )이 높아 탈취 능력이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 분변토의 특성을 유지하고 내구성을 향상시켜주기 위해 폐 polyurethane form을 binder로 하여 담체를 제조한 후, 이를 충전한 바이오필터를 대상으로 악취가스 중 황화수소의 제거 성능을 평가하였다. 본 담체는 별도의 배지를 사용하지 않고 분변토 자체에 포함된 유기, 무기물질을 이용하고, 분변토 자체에 있는 미생물을 이용하여 황화수소를 제거할 수 있었다. 황화수소 주입 직후부터 lag phase 없이 100%의 제거효율을 보였다. 공간속도  $50 \text{ h}^{-1}$ 인 경우 입구농도 450 ppmv까지 출구에서 황화수소가 검출되지 않았으며, 악취가스의 입구 농도가 증가함에 따라 바이오필터의 제거효율이 감소하여 출구의 황화수소 농도가 증가하였다. 이 후 950 ppmv까지 약 93% 이상의 우수한 제거효율은 보였고, 약  $61.2 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 의 최대제거용량을 얻을 수 있었다. 90% 이상의 제거효율을 갖는 황화수소의 최대제거용량은 SV  $50 \text{ h}^{-1}$ 에서  $300 \text{ h}^{-1}$ 로 증가함에 따라, 61.2, 65.9, 84.7,  $89.4 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 증가하다가 SV  $400 \text{ h}^{-1}$ 에서는 약  $59.3 \text{ g S} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 감소하였다. 공간속도의 증가에 따른 최대제거속도( $V_m$ )와 포화상수( $K_s$ )를 Michaelis-Menten식으로부터 구한 결과, 각각 66.04, 88.96, 117.35, 224.15,  $227.54 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 비례적으로 증가하였으며, 반면 포화상수는 79.97, 64.95, 65.37, 127.72, 157.43 ppmv으로 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다.

**주제어 :** 황화수소, 바이오필터, 지렁이 분변토

## 1. 서론

2004년 2월 9일 악취방지법(법률 7170호)의 제정과 2005년 2월의 법의 시행<sup>1)</sup>으로 인한 생활환경 및 산업분야로 악취를 발생시키는 다양한 산업체들에게 있어 악취 방지 설비의 대

책은 이제 현실적인 어려움으로 다가왔다. 악취를 배출하는 시설들은 환경기초시설, 도장시설, 식품 및 사료생산 공정, 각종 건조시설, 화학공장 등 매우 다양하다.<sup>2)</sup> 악취물질은 ppb 미만의 매우 낮은 농도에서도 사람의 후각을 자극하는 감각 오염물질로 소음과 함께 주요한 민원 대상이 되고 있는 실정이다. 이와 같이 악취물질 제거의 중요성과 필요성이 증가됨에 따라 다양한 종류의 탈취기술이 개발되고 있다. 지금까지 개발된 탈취방법으로는 물리·화학적 방법과 생물학적 방

† Corresponding author  
E-mail: ley@suwon.ac.kr  
Tel: 031-220-2614

Fax: 031-220-2533

법 등이 있다.<sup>3)</sup> 생물학적 방법은 미생물의 활성을 이용하여 악취물질을 분해 대사하여 무취화시키는 방법으로 물리·화학적 방법보다 관리가 용이하고 운전비가 저렴한 장점을 가지고 있다.<sup>4,5)</sup> 바이오필터를 비롯한 생물학적 방법에서는 미생물의 탈취 성능 및 담체의 선경이 가장 중요한 인자이다.<sup>4,6,7)</sup> 따라서 다양한 악취제거에 뛰어난 미생물 균주의 개발과 처리 기술을 극대화하기 위한 운전 기술들이 연구되어지고 있다. 따라서, 지금까지 바이오필터를 이용한 많은 연구들은 최대제거효율을 얻기 위하여 최적의 운전 인자와 적당한 담체를 찾는 데 초점이 맞추어져 왔다.<sup>8,9)</sup> 담체는 흡착 효과뿐만 아니라 생물학적으로 대사하기에 충분한 체류시간을 제공하며, 미생물이 서식할 공간과 기질을 제공하고, 습도를 유지시켜주고, 생물상이 내부 구조를 유지하도록 지지하는 역할을 한다.<sup>4)</sup> 또한 미생물의 성장에는 다양한 무기물, 유기물질 등의 영양분과 수분들이 필요하다. 일반적으로 오염물질을 제거하는 과정 동안 생물량은 증가하게 된다. 그러나 오염물질의 분해를 통하여 얻게 되는 탄소와 에너지 이외에도 질소, 인, 황 및 미량 원소와 같은 영양물질이 미생물의 증식을 위하여 요구된다. 또한, 미생물은 대사 반응을 수행하는데 물을 요구하기 때문에<sup>10)</sup> 함수율이 매우 낮은 경우는 담체가 건조되어 생물학적 활성이 저하되거나 완전히 중지된다. 건조된 담체는 수축되고 변형되어 암밀현상(channeling)이 발생하고, 순환주기를 단축시키며, 체류시간을 단축시키고 처리효율을 감소시킨다. 반면에, 함수율이 너무 높을 경우, 산소전달을 저해하여 반응 속도를 제한한다.<sup>11~13)</sup>

본 연구에서 이용하는 지렁이 분변토는 지렁이가 먹이로 낙엽이나 땅 속의 썩은 뿌리 등을 먹고 장내의 효소에 의해 부숙화시켜 섭취한 먹이의 80% 이상을 그대로 배설한 질소, 인산, 칼륨 등의 함량이 매우 높고 미생물량도 10<sup>8</sup> CFU 이상이 되는 천연비료이다.<sup>14)</sup> 또한, 지렁이가 먹고 배설하는 과정을 통해 형성된 단립 구조는 틈이 많아 일반 토양보다 4-10배의 통기성 및 투수성이 매우 우수하며, 화학적 특성으로는 치환성 칼슘, 마그네슘, 칼륨, 인산함유율이 높고 유기물질 함유량이 58%로 대단히 높다.<sup>14)</sup> 물리·화학적 특성으로 비표면적이 크고 양이온 교환용량(2.30-4.60 mg/g-soil)이 높은 것으로 나타나 비료로서 뿐만 아니라 미생물 담체로서의 역할도 매우 뛰어나다고 할 수 있다. 또한, 자체의 탈취 능력이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>14)</sup> 따라서, 본 연구에서는 악취가스 중 황화수소를 대상으로 지렁이 분변토를 이용한 담체를 개발하여 황화수소 제거 성능을 평가하였다. 지금까지 황화수소의 제거를 위한 연구로는 섬유상 피트, 컴포스트, 활성탄, 및 고정화된 미생물 등을 이용한 다양한 충전체를 이용한 생물학적 방법이 시도되어져왔다.<sup>15~17)</sup> 지렁이 분변토와 페polyurethane form을 binder로 하여 담체를 제조한 후 별도의 배지를 사용하지 않고 분변토 자체에 포함된 미생물상과 유기, 무기물질을 이용하여 황화수소와 같은 악취물질의 제거를 통해 담체로서의 실용화 가능성을 살펴보고 있다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 바이오필터 장치

본 연구에 사용된 Lab-scale의 바이오필터 장치 개략도는 Fig. 1과 같다. 바이오필터 컬럼은 직경 7 cm, 높이 50 cm 인 원통형 아크릴수지로 제작하였다. 황화수소 악취가스는 농도 5,000 ppm인 cylinder와 공기를 mixing chamber에서 혼합하여 제조하였고, 공기와 황화수소의 유량을 조절하여 황화수소의 농도를 조절하였다. Mixing chamber에서 혼합되어 제조된 악취가스는 증습 장치를 거쳐 미생물이 대사반응을 수행하는 어려움이 없도록 가습화하여 바이오필터로 주입하였다. 본 장치는 기존의 바이오필터와는 달리 살수 장치를 두지 않고 앞서 언급한 증습장치로 담체의 수분함유량을 유지하는 특징이 있다.

### 2.2. 담체

지렁이 분변토 1 kg을 건조와 sieving한 50 mm × 50 mm × 50 mm의 정육면체로 자른 polyurethane 담체에 PVA 392 접착제 (0.1 g/mL)를 분사하여 분변토를 고정화 시킨 담체를 제작하였다.<sup>6)</sup>

### 2.3. 분석

황화수소의 유입농도와 유속 변화에 따른 황화수소 제거 특성을 조사하였다. 악취가스의 공간속도 SV(space velocity)는 50~400 h<sup>-1</sup>로 변화시켰고 황화수소의 농도를 약 920 ppmv 까지 변화시켰다. 바이오필터의 탈취성능은 입·출구의 황화수소 농도를 측정하여 평가하였다. 바이오필터 입·출구의 황화수소 농도의 분석은 FPD(Flame Photometric Detector)가 장착된 가스 크로마토그래피(HP 5890 Series II)를 이용하여 분석하였다. Injector 200℃, detector 200℃, oven 30℃에서 1분, 140℃까지 55℃/min으로 승온시키고 140℃에서 1분간 분석하였고, 칼럼은 HP-1(25 m × 0.2 mm × 0.33 μm)으로 Split ratio는 100:1로 분석하였다. 황화수소 가스의 검량선 작성은 104 ppm 황화수소 표준가스(순도 99.999%)를 사용하여 준비하였다.

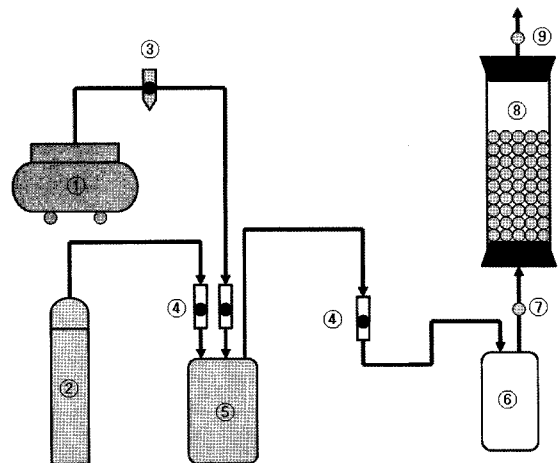


Fig. 1. Schematic diagram of the biofilter system.

- ① Air compressor ② Gas cylinder ③ Pressure regulator
- ④ Flow meter ⑤ Mixing chamber ⑥ Humidifier
- ⑦ Inlet sampling port ⑧ Column ⑨ Outlet sampling port

2.4. 오염물질 제거 속도식

바이오필터에 의한 황화수소의 제거속도는 다음과 같은 방법에 의해 해석하였다. 우선, 바이오필터내의 황화수소의 흐름을 plug-flow로 가정하고, Michaelis-Menten 식을 적용하면 아래의 식을 얻을 수 있다.<sup>18)</sup>

$$-\frac{dC}{dt} = \frac{V_m \cdot C}{K_s + C} \cdot \frac{S_a}{F} \cdot \alpha \tag{1}$$

$$= \frac{V_m \cdot C}{K_s + C} \cdot \frac{1}{L \cdot SV} \cdot \alpha$$

여기에서 C는 황화수소의 농도(ppmv), l은 컬럼의 길이(m), V<sub>m</sub>는 최대제거속도(g·m<sup>-3</sup>·h<sup>-1</sup>), K<sub>s</sub>는 포화상수(ppmv), S<sub>a</sub>은 바이오필터의 단면적(m<sup>2</sup>), F는 가스의 유속부피(m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>), L은 담체의 충전 높이(m), SV는 공간 속도(h<sup>-1</sup>), α는 환산계수이다. α는 다음의 식 (2)를 이용하여 농도의 단위를 ppm으로 전환하는데 이용하였다.

$$\alpha = \frac{22.4 \cdot \left(\frac{273+T}{273}\right) \cdot 10^6}{MW \cdot 100} \tag{2}$$

여기에서 T(°C)는 온도, MW는 황화수소의 분자량이다. l=0일 때 C=C<sub>0</sub>이고, l=L일 때 C=C<sub>e</sub>인 경계조건으로부터 식 (1)을 적분하여 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$\frac{\alpha}{(C_0 - C_e)SV} = \frac{K_s}{V_m} \cdot \frac{1}{C_0 - C_e} + \frac{1}{V_m \ln \frac{C_0}{C_e}} \tag{3}$$

여기에서 C<sub>0</sub>(ppmv)와 C<sub>e</sub>(ppmv)는 각각 바이오필터의 입구와 출구에서의 황화수소 농도이다. 식 (3)을 간결하게 정리하여 최종적으로 식 (4)을 얻을 수 있다.

$$\frac{C_{in}}{R} = \frac{C_{in}}{V_m} + \frac{K_s}{V_m} \tag{4}$$

여기에서  $R = \frac{SV(C_0 - C_e)}{\alpha}$  이고,  $C_{in} = S = \frac{C_0 - C_e}{\ln \frac{C_0}{C_e}}$  이다.

식 (4)를  $\frac{C_{in}}{R}$ 과 C<sub>in</sub>의 Hanes-Wolf plot<sup>19)</sup>으로부터 V<sub>m</sub>과 K<sub>s</sub>를 각각 구할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 농도변화에 따른 황화수소의 제거특성

지렁이 분변토를 이용해 만든 담체를 충전한 바이오필터의 황화수소 제거는 Lag phase없이 황화수소 주입 직후부터 100%의 황화수소 제거효율을 보였다. SV가 50~400 h<sup>-1</sup>인 영역에

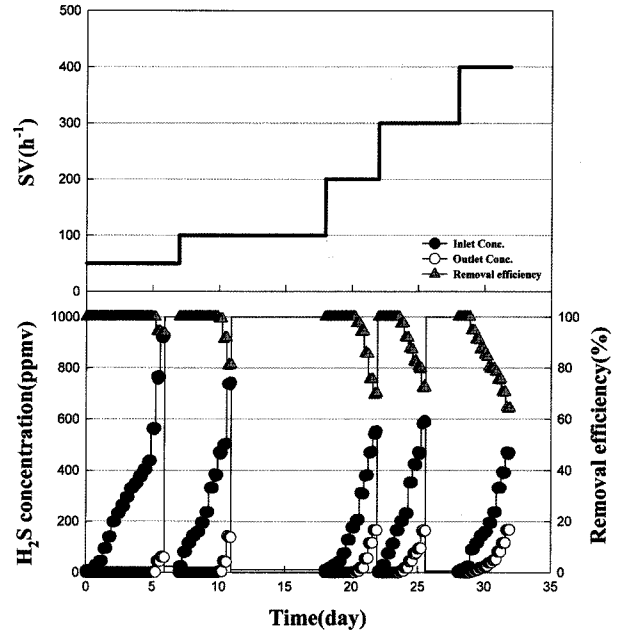


Fig. 2. Relationships between inlet load and H<sub>2</sub>S elimination capacities.

서 황화수소의 유입농도 변화에 따른 제거효율의 변화를 Fig. 2에 도시하였다. SV가 50 h<sup>-1</sup>(체류시간 72초)인 조건하에서 황화수소의 유입농도 440 ppmv 이하에서는 100%의 제거 효율을 얻을 수 있었으며, 유입농도 920 ppmv까지의 고농도의 조건에서도 93% 이상의 높은 제거효율을 얻을 수 있었다. 황화수소의 유입농도가 증가할수록 제거효율이 감소하였다. SV 100 h<sup>-1</sup>인 조건하에서 황화수소의 제거특성을 살펴보면 유입농도 380 ppmv 이하에서는 100%의 제거 효율을 보였으며, 500 ppmv까지는 90% 이상의 제거효율을 얻을 수 있었다. SV가 200 h<sup>-1</sup> 이상인 조건에서 SV가 증가함에 따라 황화수소의 제거효율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. SV 200, 300, 400 h<sup>-1</sup>에서는 유입 농도가 각각 175, 165, 23 ppmv에서 100%의 제거효율을 보였으며, 300, 230, 115 ppmv의 유입농도에서는 90% 이상의 제거율을 나타내었다. 이러한 결과들로부터 바이오필터의 성능은 SV에 많은 영향을 받는다는 것을 의미한다.

환경부의 악취방지법에 따르면 황화수소의 배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준의 범위는 0.02~0.06 ppmv이다. 본 연구결과를 배출 허용기준에 적용하여 바이오필터의 황화수소 제거 특성을 살펴보면 유출농도가 0 ppmv, 다시 말해 100%의 제거효율을 기준으로 하여 SV 50~400 h<sup>-1</sup>에서의 제거된 최대 유입농도를 Fig. 3으로 나타내었다. 이러한 결과들로부터 바이오필터의 성능은 SV에 많은 영향을 받는다는 것을 의미한다. SV 50, 100, 200, 300, 400 h<sup>-1</sup>에서 100% 제거되는 최대 유입농도는 각각 440, 380, 175, 165, 23 ppmv이었다.

본 담체가 충전된 바이오필터의 경우 기존 다른 바이오필터와는 달리 세척을 통해 침출수가 발생하지 않는 특성이 있다. 그러나 담체의 일부를 꺼내어 증류수에 현탁하여 pH를 측정한 결과 초기 7.56에서 큰 변동이 없었음을 알 수 있었

다. 이는 담체 구성 성분인 분변토내의 다양한 무기물 성분이 buffer 작용을 함으로서 산성 산물인 sulfate 등을 중화시켜준 것으로 사료된다.

3.2. 유량변화에 따른 황화수소의 제거특성

악취가스의 유속을 SV 50~400 h<sup>-1</sup>로 변화시켰을 경우 황화수소 가스의 농도변화에 따른 황화수소 제거성능을 평가하였다. SV가 50 h<sup>-1</sup>에서는 약 450 ppmv까지는 출구에서 황화수소가 거의 검출되지 않을 정도로 황화수소를 제거할 수 있었고, 악취가스의 풍량이 증가함에 따라 바이오필터의 제거효율이 감소하여 출구의 황화수소 농도가 증가하였다. 유입 부하량 변화에 따른 바이오필터의 황화수소 제거용량을 조사하였다(Fig. 4). 가운데 일직선으로 표시된 선이 100% 제거용량을 보여준다. 공간속도가 증가함에 따라 제거용량이 감소됨을 관찰할 수 있었다.

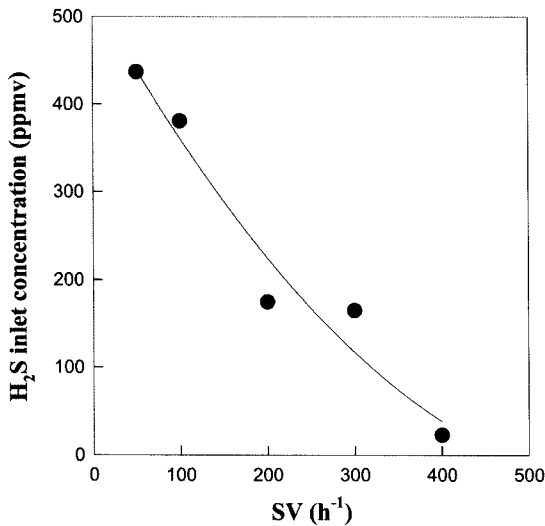


Fig. 3. Maximum H<sub>2</sub>S inlet concentration guaranteeing 100% removal of H<sub>2</sub>S at different SV conditions.

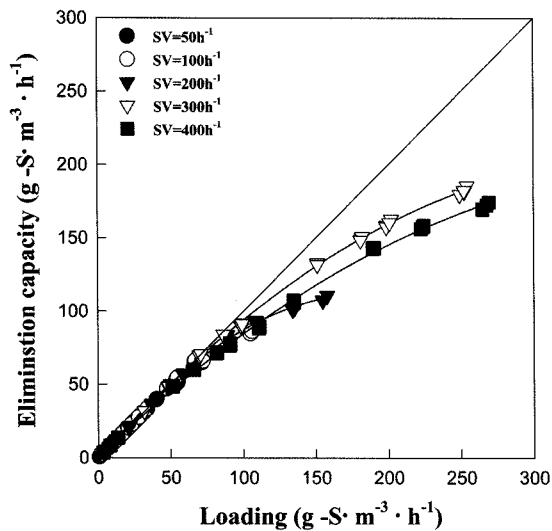


Fig. 4. Relationships between inlet load and H<sub>2</sub>S elimination capacities.

대용량의 오염물질을 바이오필터를 이용하여 처리할 경우 미생물의 오염물질 분해속도에 따라 최적의 성능으로 많은 양의 악취물질을 빠르게 처리하기에는 한계가 있다. 그러므로 우수한 오염물질 제거효율뿐만 아니라 처리용량 또한 중요한 인자이다. Fig. 5는 90% 이상의 제거효율을 갖는 임계 제거용량을 SV별로 도시하여 본 연구에 사용된 바이오필터의 최적의 운전인자를 비교하여 보았다. 황(S)을 기준으로 한 90% 이상의 제거효율을 갖는 황화수소의 최대제거용량은 SV 50 h<sup>-1</sup>에서 약 61.2 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>이었고, SV 100 h<sup>-1</sup>에서 약 65.9 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>이었다. SV 200 h<sup>-1</sup>에서 약 84.7 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>이었고, SV 300 h<sup>-1</sup>에서 약 89.4 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>이었고, SV 400 h<sup>-1</sup>에서는 약 59.3 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>으로 풍량이 증가하여도 높은 황화수소 제거성능을 가지고 있었으나 SV 400 h<sup>-1</sup>에서는 황화수소의 제거능이 급격히 감소하였다(Fig. 5). 바이오필터를 SV 300 h<sup>-1</sup>에서 운전하는 것이 빠른 시간 내에 황화수소를 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 사료되어 진다. 하지만 체류시간 12초 미만의 시간에서는 오히려 바이오필터의 황화수소 제거능이 저하되는 것으로 보여진다. 이러한 결과들은 지렁이 분변토 바이오필터를 이용한 황화수소의 탈취는 황화수소의 농도에 의한 저해작용에 의한 낮은 생분해 속도 보다는 악취가스 중의 황화수소가 생물막으로의 물질전달이 율속 단계로 작용한다는 것을 의미한다.

본 연구를 통해 얻은 결과를 기존의 연구 결과들이 0.14 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>에서 55 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>, 0.07 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>에서 각각 55 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>, 45 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>의 최대제거용량<sup>19)</sup>을 보인 것과 비교하였다. 이는 본 연구의 결과에서와 비교할 경우 SV 100 h<sup>-1</sup> 및 SV 50 h<sup>-1</sup>의 실험조건이 각각 유속 0.1154 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>, 0.058 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>인데 99%의 제거효율을 보이는 최대제거용량이 67.4 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>, 40.2 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>로서 이는 기존의 단일 균주를 대상으로 한 실험과 비교하여 효과적이었다고 사료된다. Oyarzun 등<sup>20)</sup>은 *Thiobacillus thioparus*를 이용한 황화수소 제거 실험에서 자신들의 실험 결과가 기존의 *Thiobacillus* sp.를 이용한 실험<sup>21-23)</sup>이 25 g S · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>을 초과하지 못했던 것에 비하여 우수함을 역설하였다.

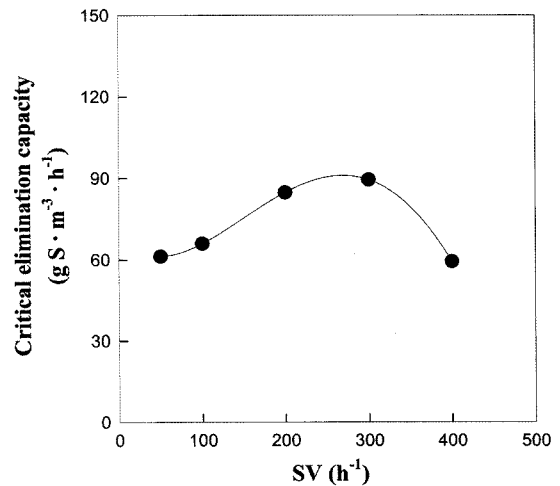


Fig. 5. Effect of SV on critical elimination capacities guaranteeing 90% removal of H<sub>2</sub>S.

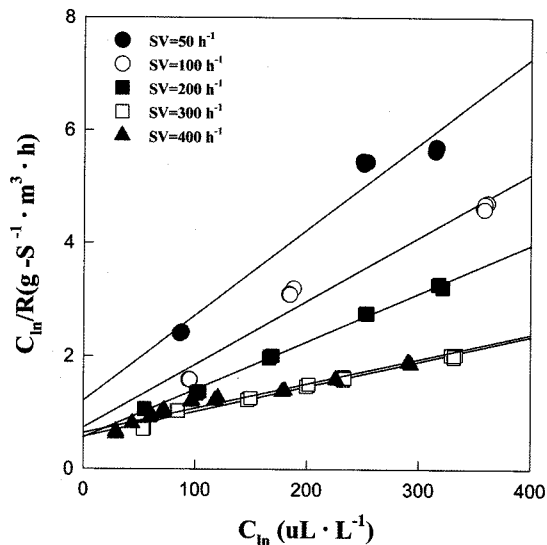


Fig. 6. Kinetic analysis of H<sub>2</sub>S removal at SV of 50 to 400 h<sup>-1</sup>.

### 3.3. 오염물질 제거 속도

Fig. 6은 황화수소의 제거에 있어서 SV 별로 최대제거속도  $V_m$ 과 포화상수  $K_s$ 를 각각 도식화 한 것이다. Fig. 6의  $V_m$ 의 단위는  $\frac{g-H_2S}{m^3 \cdot h}$ 로 나타내었다. SV가 50 h<sup>-1</sup>의 경우  $V_m$ 이 66.04 g S·m<sup>-3</sup>·h<sup>-1</sup>이고,  $K_s$ 는 79.97 ppmv이었다. 속도(V)가 100~400 h<sup>-1</sup>의 경우  $V_m$ 이 88.96, 117.35, 224.15, 227.54 g S·m<sup>-3</sup>·h<sup>-1</sup>이고,  $K_s$ 는 64.95, 65.37, 127.72, 157.43 ppmv이었다.

SV 50 h<sup>-1</sup>보다 SV가 증가함에 따라  $V_m$ 은 1.35, 1.78, 3.4, 3.57배 증가하였고,  $K_s$ 는 SV 100, 200 h<sup>-1</sup>일 때 13.23, 1.22배 감소하였고, SV 300, 400 h<sup>-1</sup>에서는 1.6, 1.97배 증가하였다.

## 4. 결론

본 연구는 통기성 및 투수성이 매우 우수하며, 자체의 탈취 능력이 있는 것으로 알려져 있는 지렁이 분변토를 이용한 바이오필터를 악취가스 중 황화수소를 대상으로 제거 성능을 평가하였다. 별도의 배지를 사용하지 않고 분변토 자체에 포함된 유기, 무기물질을 이용하고, 분변토 자체에 있는 미생물을 이용하여 황화수소의 제거 특성을 공간속도 50~400 h<sup>-1</sup>로 변화를 시키면서 평가하였다. 황화수소 주입 직후부터 lag phase없이 100%의 제거효율을 보였으며 공간속도 50 h<sup>-1</sup>인 경우 입구농도 450 ppm까지 출구에서 황화수소가 검출되지 않았다. 이후 950 ppm까지 약 93% 이상의 우수한 제거효율은 보였다. SV 300 h<sup>-1</sup>에서는 황화수소가 100%의 제거효율을 가질 때 약 70.6 g S·m<sup>-3</sup>·h<sup>-1</sup>의 최대제거용량을 얻을 수 있었는데 EBRT(empty bed retention time)가 감소해도 높은 황화수소 제거성능을 가지고 있음을 확인하였다. 이러한 결과들은 지렁이 분변토 바이오필터를 이용한 황화수소의 탈취는 황화수소의 농도에 의한 저해작용에 의한 낮은 생분해 속도보다는 악취가스 중의 황화수소가 생물막으로의

물질전달이 율속단계로 작용한다는 것을 의미한다. 또한 별도의 적응기간 없이도 황화수소 제거에 용이한 것으로 관찰되었다.

## 참고문헌

1. 환경부, 악취방지법(2004).
2. Bo, I. De., Langenhove, H. V., and Heyman, J., "Removal of dimethyl sulfide from waste air in a membrane bioreactor," *Desa.*, **148**, 281~287(2002).
3. 허목, "악취 방지기술과 평가," 한국냄새환경학회지, **2**, 1~13(2003).
4. 임정수, 이은영, 조옥상, "Biomedia를 충전한 Biofilter에서 H<sub>2</sub>S와 NH<sub>3</sub> 혼합악취의 제거," 한국청정기술학회지, **12**(3), 165~170(2006).
5. Elias, A., Barona, A., Arreguy, A., Rios, J., Aranguiza, I., and Penas, J., "Evaluation of a packing material for the biodegradation of H<sub>2</sub>S and product analysis," *Process Biochem.*, **37**, 813~820(2002).
6. Reynolds, F. E. and Grafton, W. D., "Biofiltration: an old technology comes of age," *Environ. Technol.*, **7**/8, 51~52(1999).
7. 이은영, 조옥상, "폐자동차에서 회수된 폐폴리우레탄과 분변토를 이용한 바이오필터용 생물담체의 제조," 한국냄새환경학회지, **4**(1), 35~41(2005).
8. Cohen, Y., "Biofiltration -the treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review," *Biores. Technol.*, **77**, 257~274(2003).
9. Yang, Y. and Allen, E. R., "Biofiltration control of hydrogen sulfide 1. Design and operational parameters," *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **44**, 863~868(1994).
10. Ergas, S. J., Schroeder, E. D., Chang, D. P. Y., and Morton, R. L., "Control of volatile organic compound emissions using a compost biofilter," *Water Environ. Res.*, **67**(5), 816~821(1995).
11. Ottengraf, S. P. P., "Exhaust gas purification," In *Bio-technol.*, Rehm, H. J. and Reed, G.(eds.), Vol 8. VCH, Weinheim, pp. 425~452(1986).
12. Van Lith. C., Lesen, G., and Michelsen, R., "Evaluation design operation for biofilters," *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **47**, 37~48(1997).
13. Auria, R., Aycaguer, A. C., and Deviny, J., "Influence of water content on the degradation capacity if ethanol in biofiltration," *J. Air Waste Management Assoc.*, **48**, 65~70(1998).
14. Cox, H. H. J., Doddema, H. J., Harder, W., and Magierlsen, F. J., "Influence of the water content and water activity on styrene degradation by *Exophiala jeanselmei* in biofilters," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*,

- 45, 85~857(1996).
15. 최훈근, 류제근, 토양생물지렁이를 이용한 폐기물 활용, 신광출판사, 서울, pp. 114~123(2001).
  16. Chung, Y. C., Huang, C., and Tseng, C. P., "Removal of hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus* sp. strain CH11 in a biofilter," *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **69**, 58~62(1997).
  17. Lec, S. K. and Shoda, M., "Biological deodorization using activated carbon fabric as a carrier of microorganisms," *J. Ferment. Bioeng.*, **68**, 437~432(1991).
  18. Leson, G. and Winer, A. M., "Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emission," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, **41**, 1045~1054(1991).
  19. 이은영, "황산화 세균과 암모니아 산화세균의 분리와 황화계 및 암모니아 약취제거의 특성," 박사학위논문, 이화여대(1999).
  20. Shuler, M. L. and Kargi, F., *Bioprocess engineering*, Prentice-Hall International Series, London, pp. 66(1992).
  21. Oyarzun, P., Arancibia, F., Canales, C., and Aroca, G. E., "Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thiooparus*," *Process Biochem.*, **39**, 165~170(2003).
  22. Chung, Y., Huang, C., and Tseng, C. P., "Microbial oxidation of hydrogen sulfide with biofilter," *J. Environ. Sci. Health(A)*, **31**, 139~155(1996).
  23. Chung, Y., Huang, C., and Tseng, C. P., "Operation optimization of *Thiobacillus thiooparus* CH11 biofilter for hydrogen sulfide removal," *J. Biotechnol.*, **52**, 31~38(1996).
  24. Tanji, Y., Kanagawa, T., and Mikami, E., "Removal of hydrogen sulfide, methyl mercaptan, and hydrogen sulfide by immobilized *Thiobacillus thiooparus* TK-m," *J. Ferment. Bioeng.*, **67**, 280~285(1987).