

# A study on the Effect of SOB(Sulfur-Oxidizing Bacteria) Media on the Removal of Hydrogen Sulfide in Water of Septic Tank

SOB(Sulfur Oxidizing Bacteria) Media가 정화조의 수중황화수소 제거에 미치는 영향에 관한 연구

Homyeon Song · Jeongil Cho<sup>1</sup> · Taeksoo Kim · Sucheol Kwon · Hyeongsik Yu\*

송호면 · 조정일<sup>1</sup> · 김택수 · 권수철 · 유형식\*

한국건설기술연구원 환경연구실 · 동양대학교대학원 건설공학과\*

**Abstract :** The odor occurring in the sewage system induces the displeasure, the disgust such as the headache, the vomit, etc. and increases the spiritual stress and disturbs the pleasant life of residents. These odors occur mainly in the area of combined sewage system treatment, being created in the personal sewage treatment plant such as septic tank and are incoming to sewage pipes and emitted to the outside through the manhole and the receiver, etc.; and this causes odors to the people. The Hydrogen Sulfide, the Methyl Mercaptan, the Ammonia, etc. are materials causing the odor, the more serious issue of odor is occurring since the septic tank of degradation process is being applied.

The primary cause of odor is the decomposition of human feces in the septic tanks and sewage disposal facilities. The purpose of this study is reduction of hydrogen sulfide using air supplying and SOB(Sulfur-Oxidizing Bacteria).

As a result of this study of the air supply system and the SOB media equipment by air supply, in case the air is injected to SOB media compared to the injection of air only, the removal efficiency the hydrogen sulfide was average 3.4 times higher.

**Key words :** hydrogen sulfide, odor, SOB, air supplying, septic tank

**주제어 :** 황화수소, 악취, SOB, 공기공급, 정화조

## 1. 서론

일반적으로 하수도내의 생활하수 및 공장폐수에는 단일 또는 수종의 황화합물이 존재한다. 그 존재 형태는 이온 또는 각종 유기 황화합물을 포함하여 약 30여종으로 구분할 수 있다. 그러나 실질적으로 상온에서는 열역학적으로 6가지 형태( $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}^0$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ )만이 안정적으로 존재한다.

황화수소는 황화합물로부터 발산되며, 대체적

으로 관거 중의 낙차, 경사의 갑작스런 증가, 맨홀 등의 잠재적인 난류조건에 의해 발산된다. 그 밖의 역사이편, 펌프장, 공장폐수 유입 지점에서 다량의 황화수소가 발산되며, 유속 및 구배, 용존 산소, 침사 및 협잡물 등에도 영향을 받는다(한국건설기술연구원, 1994).

하수도시설로부터 발산된 황화수소는 맨홀, 받이, 토구 등의 하수도시설을 통해 대기중으로 배출되며, 이는 악취의 주요원인 물질 중 하나로 작용한다. 황화수소는 하수도 시설 내에서 발생하는 악취의 대표적인 물질로서, 폭발성이 있는 무색의 자극적인 계란 썩는 냄새를 가지는 기체이다. 황화수소에 심하게 노출될 경우 어지러움, 현기증,

\* Received 14 November 2012, revised 1 February 2013, accepted 6 February 2013.

\* Corresponding author: Tel: 031-910-0292 Fax: 031-910-0291 E-mail: jicho@kict.re.kr

두통, 졸림, 메스꺼움, 구토, 경련, 폐동맥 증상 등을 포함하여 기침, 호흡곤란, 청색증 등을 유발할 수 있다(Snyder et al., 1995).

이러한 악취가 발생하는 주 원인은 분뇨에 의한 것으로 정화조 및 오수처리시설 내의 체류시간 증가와 온도 상승에 따른 퇴적물 부패로 인해 악취가 발생한다. 악취를 유발하는 물질은 황화물(Sulphide)과 유기물을 미생물이 산화/환원 시키는 과정에서 생성되는 황산에 의한 것이 가장 큰 원인이며, 하수관거시설(맨홀 및 빗물받이)를 통하여 외부로 배출될 시 악취가 발생한다.

환경부는 하수도시설의 악취저감을 위한 근본 대책으로 합류식 정화조 1,000인용 이상 배수설비에 공기공급장치 등 악취제거시설의 설치를 의무화하도록 하수도법 시행령을 개정하였다(환경부, 2011).

본 연구에서는 악취의 근본적인 원인을 해결하고자 황산화세균(Sulfur Oxidizing Bacteria; SOB) 및 공기공급을 이용한 정화조 악취저감 방안에 대해 연구하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험 장치

실험에 사용된 반응조 및 장치는 Table 1.과 같다.

Table 1. Experimental Reactor and Measuring Instrument

Reactor and Measuring Instrument	Note
SOB culture reactor	600×200×600 mm(72 L)
SOB Media	polypropylene 망사튜브형(φ 20)
HS <sup>-</sup> concentration analyzer(in water)	하수 수중 HS <sup>-</sup> /COD/TSS 광학계측기, TriOS
H <sub>2</sub> S concentration analyzer(in water)	MS 08, AMT
pH analyzer	Orion*3-star Plus pH Benchtop meter, Thermo scientific
DO analyzer	YSI 3000

본 연구에서 두 대의 장비를 사용하여 수중 황화수소 농도를 측정하였다. 수중 황화수소 농도 측정장치는 독일 AMT사의 제품을 사용하였으며, 이 장치는 수중 황화수소 농도 및 pH, 총황화물 농도를 1초 간격으로 로깅한다. 또한, TriOS의 하수 수중 HS<sup>-</sup>/COD/TSS 광학계측기를 사용하여 수중 HS<sup>-</sup> 농도를 측정하였다. 수중 HS<sup>-</sup> 농도를 이용하여 pH와 상관관계를 통하여 수중 황화수소 농도를 계산할 수 있다. 수중 황화수소 농도 측정장치 및 수중 HS<sup>-</sup> 농도 측정장치는 Fig. 1.과 같다.



H<sub>2</sub>S concentration analyzer(in water)



HS<sup>-</sup> concentration analyzer(in water)

Fig. 1. H<sub>2</sub>S and HS<sup>-</sup> Concentration Analyzer(in water)

SOB 배양 및 실험은 Fig. 2.의 공기주입장치를 사용하였으며, 0 ~ 40 l/min의 공기주입이 가능하다. Fig. 2.의 실험 반응조는 최대 60 L 용량의 실험 수행이 가능하도록 제작하였으며, 비교실험을 위해 반응조 가운데 아크릴 격

벽을 설치하였다. 실험 수행을 위해 미디어 고정틀 및 공기주입 산기관을 아크릴 반응조 내부에 설치하였다.

## 2.2 SOB 배양

SOB는 황화수소(Hydrogen Sulphide)를 에너지원으로 이용하여 최종 대사산물로 황산을 생성하는 독립영양세균이다. SOB의 일반적인 생육환경은 10 ~ 30 °C 사이이며, 건조조건에서는 생육이 약하고 습기가 많은 곳에서 생육작용이 활발하다. 산에 대해서는 내성을 가지고 있으며, pH 10 이상의 환경에서는 생육할 수 없다.

본 연구의 SOB 배양은 20 ~ 25 °C, pH 7 ~ 7.5, 건조하지 않은 조건의 실험실에서 수행하였다. 반응조는 72 L 용량(600×200×600 mm)이며, 두께 5 mm의 아크릴로 제작하였다. SOB가 부착될 수 있도록 미디어를 아크릴 반응조에 채우고, 물 40 L를 주입하였다. 또한 유기물을 공급하기 위해 A 환경사업소의 협조를 얻어 농축조의 잉여 활성슬러지를 확보하여 10 L 주입하였다. 반응조 내의 원활한 순환을 위해 하부에 산기관을 설치하여 공기를 주입하였다. 공기주입량은 10 L/min 으로 일정하게 유지하였으며, 13 cm길이의 산기관을 사용하여 공기를 주입하였다. SOB 배양 모습은 다음 Fig. 3. 같다.

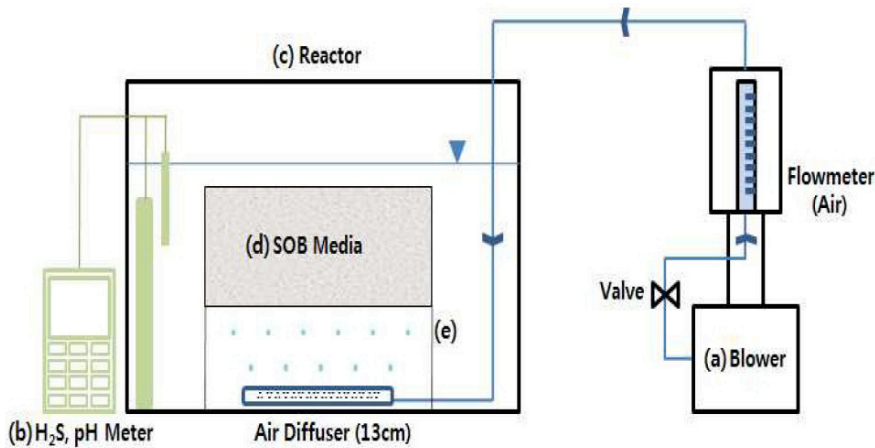


Fig. 2. Experimental Apparatus for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media

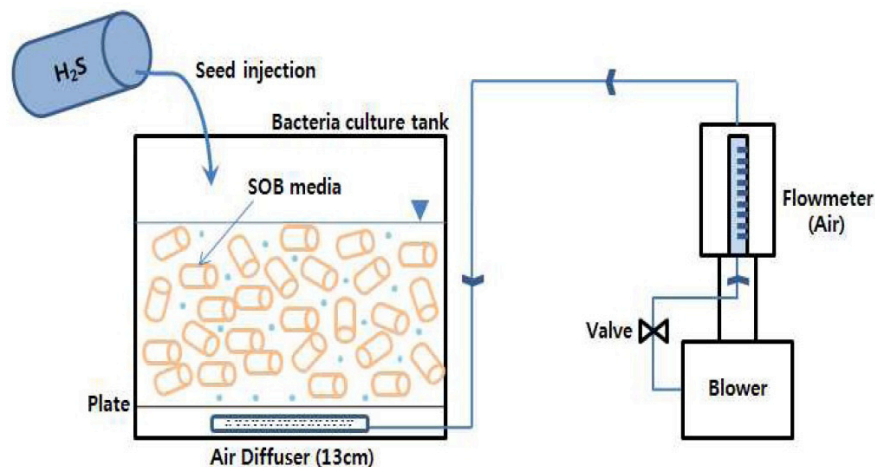


Fig. 3. Culture of SOB in Media

SOB의 배양을 위해 반응조 내의 수중 황화수소 농도가 15 mg/L(pH 7.1)가 되도록 황화수소 용액을 1일 1회 주입하였다. 황화수소 용액은 NaSH 시약을 이용하여 제조하였으며, 수중 황화수소 농도를 75 mg/L(pH 7.1)로 제조하여 10 L를 상등액과 교체 주입하였다.

### 2.3 실험 방법

실험은 54 L 용량의 아크릴 반응조에서 수행하였다. SOB 미디어는 물의 흐름이 원활할 수 있도록 제작한 틀에 넣고 반응조에 설치하였다. 반응조에는 10 L/min의 공기량을 주입할 수 있도록 산기관을 설치하였다. 반응조에 20 L의 물을 채워넣은 후, 수중 황화수소 제조액을 각 실험조건에 맞도록 희석하여 주입하였다. 황화수소 용액 주입 후 시간경과에 따른 수중 황화수소 농도, DO, pH, 수온을 측정하였다. 공기주입만을 하는 경우와 공기주입과 함께 40일 배양 SOB 미디어(Fig. 4.)를 이용하는 경우의 두 가지 조건의 비교실험을 통해 SOB에 의한 약취 저감 효율을 비교하였다.

공기공급만 하는 경우와 공기공급과 함께

SOB 미디어를 적용한 비교 실험은 Table 2.과 같이 수행하였다. 기존의 링블로워 방식의 공기공급장치가 설치된 정화조를 현장조사한 결과, 설치 방류조 수중 용량 25 m<sup>3</sup>에 1.5마력의 블로워가 설치되어 있었다. 1.5마력의 블로워의 경우 공기 토출량은 1300 L/min이며 정화조 용적 1 L당 공기공급량은 0.052 L/min으로 나타났다. 본 실험에서는 실제 적용현장과 유사한 공기공급량을 적용하기 위해 20 L의 수중용량에 10 L/min의 공기 주입(정화조 용적 1 L당 공기공급량 0.05 L/min) 조건을 설정하였고, 비교실험을 위해 5, 15 L/min의 공기공급량을 추가로 실험하였다. 또한 대형 건물 방류조의 수중 황화수소 농도는 현장조사 결과 약 3 ~ 11 mg/L로 나타났으며, 본 실험에서는 이와 비슷한 수준인 5 ~ 15 mg/L의 수중 황화수소 농도를 설정하여 실험을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 결과

수중 황화수소 저감을 위해 공기주입만을 하는 경우와 공기주입과 함께 SOB 미디어를 이용



Fig. 4. SOB Media



Table 2. Conditions of Experiment

Item	1st	2nd	3rd	4th
Air injection amount(L/min)	15	10	10	5
Initial H <sub>2</sub> S concentration(mg/L)	15	10	5	5



한 경우의 비교 실험 결과는 다음과 같다.

1) 1차 실험(공기주입량 : 15 L/min, 초기황화수소농도 : 15 mg/L)

15 L/min의 공기주입량, 초기황화수소농도 15 mg/L의 비교 실험 결과는 Fig. 5.와 같다.

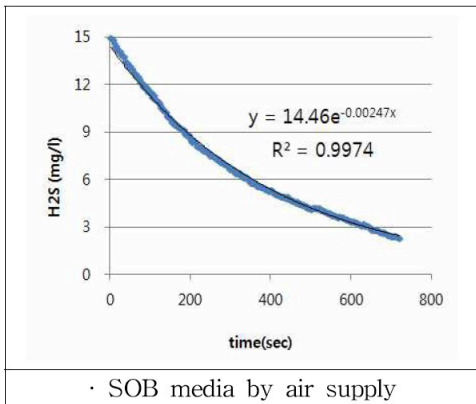
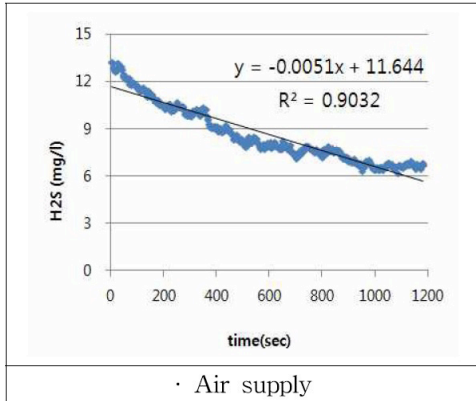


Fig. 5. Results of Experimental for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media(1st experiment : Air injection amount 15(L/min))

그래프의 붉은 표식의 데이터는 공기주입과 함께 SOB 미디어를 적용한 실험결과로서 공기 주입만을 하는 경우의 푸른 표식의 데이터보다 동일 반응 시간에서 수중 황화수소의 높은 저감 결과를 나타냈다. 실험은 약 20분동안 수행하였으며, 실험 결과를 수중 황화수소 저감 속도로 계산하면 Table 3.과 같다.

황화수소 저감 속도는 공기공급과 함께 SOB 를 적용한 경우가 0.841 mg/L · min 으로 공기 주입만을 하는 경우의 저감속도 0.329 mg/

Table 3, 1st Experimental Results

Item	Air supply	SOB media by air supply
H <sub>2</sub> S removal rate(mg/L · min)	0.841	0.329
R <sup>2</sup>	0.903	0.997
H <sub>2</sub> S concentration : End time(mg/L) - Time(min)	0.00 - 17	6.77 - 20

L · min 보다 약 2.6배 높게 나타났다. 또한 SOB를 적용한 경우 실험 경과 17분 후 수중 황화수소 농도가 0 mg/L 까지 떨어지는 결과를 나타냈다.

2) 2차 실험(공기주입량 : 10 L/min, 초기황화수소농도 : 10 mg/L)

10 L/min의 공기주입량, 초기황화수소농도 10mg/L의 비교 실험 결과는 Fig. 6.과 같다.

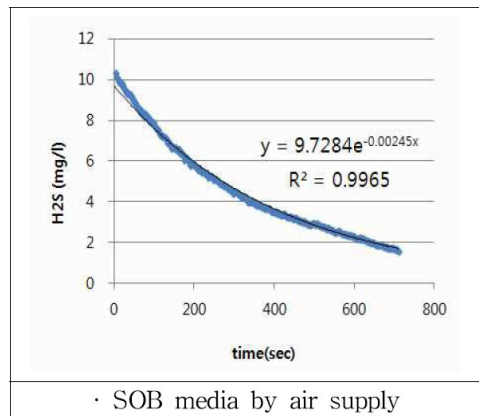
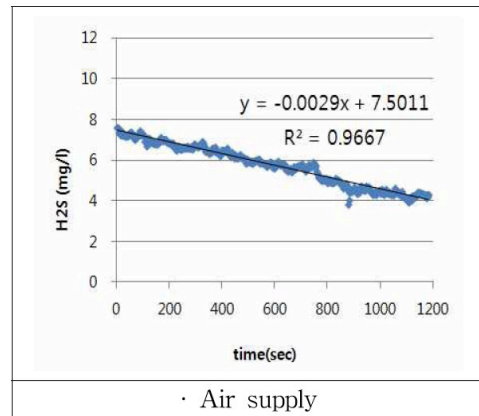


Fig. 6. Results of experimental for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media(2nd experiment : Air injection amount 10(L/min))

그래프의 붉은 표식의 데이터는 공기주입과 함께 SOB 미디어를 적용한 실험결과로서 공기주입만을 하는 경우의 푸른 표식의 데이터보다 동일 반응 시간에서 수중 황화수소의 높은 저감 결과를 나타냈다. 실험은 약 20분동안 수행하였으며, 실험 결과를 수중 황화수소 저감 속도로 계산하면 Table 4.와 같다.

Table 4. 2nd Experimental Results

Item	Air supply	SOB media by air supply
H <sub>2</sub> S removal rate(mg/L · min)	0.581	0.173
R <sup>2</sup>	0.967	0.997
H2S concentration : End time(mg/L) - Time(min)	0.00 - 17	4.35 - 20

황화수소 저감 속도는 공기공급과 함께 SOB를 적용한 경우가 0.581 mg/L · min 으로 공기주입만을 하는 경우의 저감속도 0.173 mg/L · min 보다 약 3.3배 높게 나타났다. 1차 실험 결과보다 저감 효율이 0.7배 가량 높게 나타났는데 이는 2차 실험의 경우 초기 수중 황화수소 농도 조건이 다른 결과로 판단된다. 한편 1차 실험 결과와 마찬가지로 SOB를 적용한 경우 실험 경과 16분 후 수중 황화수소 농도가 0 mg/L 까지 떨어지는 결과를 나타냈다.

3) 3차 실험(공기주입량 : 10 L/min, 초기황화수소농도 : 5 mg/L)

10 L/min의 공기주입량, 초기황화수소농도 5 mg/L의 비교 실험 결과는 Fig. 7.과 같다.

그래프의 붉은 표식의 데이터는 공기주입과 함께 SOB 미디어를 적용한 실험결과로서 공기주입만을 하는 경우의 푸른 표식의 데이터보다 동일 반응 시간에서 수중 황화수소의 높은 저감 결과를 나타냈다. 실험은 약 20분동안 수행하였으며, 실험 결과를 수중 황화수소 저감 속도로 계산하면 Table 5.와 같다.

황화수소 저감 속도는 공기공급과 함께 SOB를 적용한 경우가 0.114 mg/L · min 으로 공기주입만을 하는 경우의 저감속도 0.028 mg/L · min 보다 약 4.1배 높게 나타났다. 1차, 2차 실험 결과보다 저감 효율이 각각 1.4배, 0.8배 가량 높게 나타났다. 1차, 2차 실험 결과와 비교하면 초기 수중 황화수소 농도가 낮은 경우, 황화수소 저감 그래프의 기울기가 완만하게 나타난다. 한편 3차 실험에서는 SOB를 적용한 경우 실험 경과 20분 후 수중 황화수소 농도가 약 5 mg/L에서 2.71 mg/L 까지 떨어지는 결과를 나타냈다.

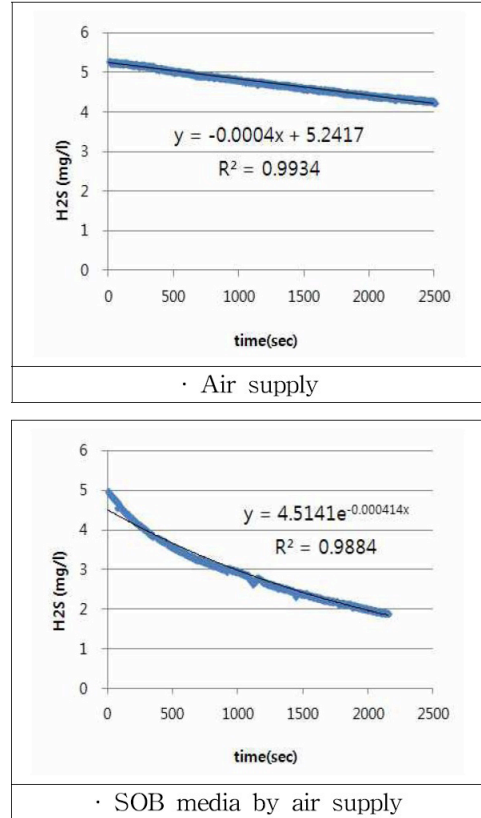


Fig. 7. Results of Experimental for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media(3rd experiment : Air injection amount 10(L/min))

Table 5. 3rd Experimental Results

Item	Air supply	SOB media by air supply
H <sub>2</sub> S removal rate(mg/L · min)	0.114	0.028
R <sup>2</sup>	0.993	0.988
H2S concentration : End time(mg/L) - Time(min)	2.71 - 20	4.72 - 20

L · min 보다 약 4.1배 높게 나타났다. 1차, 2차 실험 결과보다 저감 효율이 각각 1.4배, 0.8배 가량 높게 나타났다. 1차, 2차 실험 결과와 비교하면 초기 수중 황화수소 농도가 낮은 경우, 황화수소 저감 그래프의 기울기가 완만하게 나타난다. 한편 3차 실험에서는 SOB를 적용한 경우 실험 경과 20분 후 수중 황화수소 농도가 약 5 mg/L에서 2.71 mg/L 까지 떨어지는 결과를 나타냈다.

4) 4차 실험(공기주입량 : 5 L/min, 초기황화수소농도 : 5 mg/L)

5 L/min의 공기주입량, 초기황화수소농도 5 mg/L의 비교 실험 결과는 Fig. 8.과 같다.

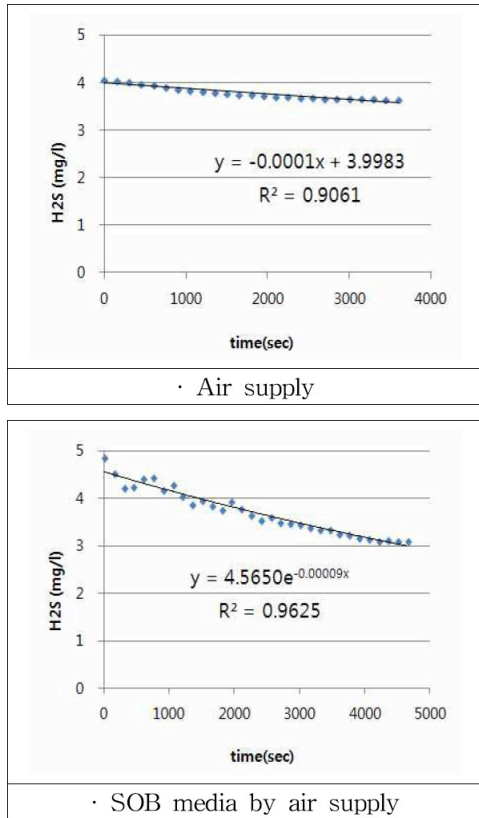


Fig. 8. Results of Experimental for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media(4th experiment : Air injection amount 5(L/min))

그래프의 붉은 표식의 데이터는 공기주입과 함께 SOB 미디어를 적용한 실험결과로서 공기주입만을 하는 경우의 푸른 표식의 데이터보다 동일 반응 시간에서 수중 황화수소의 높은 저감 결과를 나타냈다. 실험은 60분동안 수행하였으며, 실험 결과를 수중 황화수소 저감 속도로 계산하면 Table 6.과 같다.

황화수소 저감 속도는 공기공급과 함께 SOB를 적용한 경우가 0.027 mg/L · min 으로 공기주입만을 하는 경우의 저감속도 0.007 mg/L · min 보다 약 3.9배 높게 나타났다. 3차 실험결과와 비슷한 저감 효율을 나타냈다. 4차 실험

Table 6. 4th Experimental Results

Item	Air supply	SOB media by air supply
H <sub>2</sub> S removal rate(mg/L · min)	0.027	0.007
R <sup>2</sup>	0.906	0.963
H <sub>2</sub> S concentration : End time(mg/L) - Time(min)	3.26 - 60	3.66 - 60

의 경우 수중 황화수소 저감속도가 1 ~ 3차 실험결과보다 낮게 나타나는데, 이는 본 실험조건인 낮은 초기 황화수소 농도와 낮은 공기 주입량으로 인해 황화수소 저감 속도가 낮은 것으로 판단된다. 한편 4차 실험에서는 SOB를 적용한 경우 실험 경과 60분 후 수중 황화수소 농도가 4.86 mg/L에서 3.12 mg/L까지 떨어지는 결과를 나타냈다.

4. 결론

수중 황화수소 저감을 위해 공기주입만을 하는 경우와 공기주입과 함께 SOB 미디어를 이용한 경우의 비교 실험 결과는 요약하면 다음 Table 7.과 같다. 또한 각 실험조건에서 시간에 따른 황화수소 농도의 상관관계식은 다음 Table 8.과 같다.

Table 7.의 황화수소 제거 속도 비교 결과, 1차 실험에서는 공기만 주입한 경우 367.2 mg/hr, SOB 미디어에 공기를 주입한 경우에는 1200.9 mg/L로 SOB 미디어에 공기를 주입한 경우가 공기만 주입한 경우보다 3.3배 제거 속도가 높았다. 2차 실험에서는 공기만 주입한 경우 208.8 mg/hr, SOB 미디어에 공기를 주입한 경우에는 813.3 mg/L로 SOB 미디어에 공기를 주입한 경우가 공기만 주입한 경우보다 3.9배 제거 속도가 높았다. 3차 실험에서는 공기만 주입한 경우 28.8 mg/hr, SOB 미디어에 공기를 주입한 경우에는 89.0 mg/L로 SOB 미디어에 공기를 주입한 경우가 공기만 주입한 경우보다 3.1배 제거 속도가 높았다. 4차 실험에서는 공기만 주입한 경우 7.2 mg/hr, SOB 미디어에

공기를 주입한 경우에는 24.2 mg/L로 SOB 미디어에 공기를 주입한 경우가 공기만 주입한 경우보다 3.4배 제거 속도가 높았다. 총 4회의 실험 결과, SOB 미디어에 공기를 주입한 경우가 공기만 주입한 경우보다 평균 3.4배 제거 속도가 높았다.

공기만 주입한 경우와 비교하여, SOB 미디어에 공기를 주입한 경우에는 충분히 성장한 SOB가 공기를 주입함으로써 수중에 존재하는 황화수소를 산화시켜 황산 또는 황원소의 형태로 전환시킨다. 따라서, 공기만 주입하는 탈기에 산화가 동시에 발생하기 때문에 황화수소가 더 빠르

Table 7. Analysis of Experimental Results for H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media

Item		1st(15 L/min)		2nd(10 L/min)	
		Start	End	Start	End
Air supply	Time(sec)	0	1,183	0	1,183
	H <sub>2</sub> S concentration(mg/L)	11.6	5.61	7.50	4.07
	H <sub>2</sub> S amount(mg)	232.9	112.1	150.0	81.4
	H <sub>2</sub> S removal rate	mg/sec	0.102		0.058
mg/hr		367.2		208.8	
SOB media by air supply	Time(sec)	0	720	0	710
	H <sub>2</sub> S concentration(mg/L)	14.5	2.44	9.73	1.71
	H <sub>2</sub> S amount(mg)	289.2	48.85	194.6	34.2
	H <sub>2</sub> S removal rate	mg/sec	0.334		0.226
mg/hr		1200.9		813.3	
Item		3rd(10 L/min)		4th(5 L/min)	
		Start	End	Start	End
Air supply	Time(sec)	0	2,515	0	3,600
	H <sub>2</sub> S concentration(mg/L)	5.24	4.23	4.0	3.64
	H <sub>2</sub> S amount(mg)	104.8	84.7	80.0	72.8
	H <sub>2</sub> S removal rate	mg/sec	0.0080		0.0020
mg/hr		28.8		7.2	
SOB media by air supply	Time(sec)	0	2,155	0	4,650
	H <sub>2</sub> S concentration(mg/L)	4.51	1.85	4.57	3.00
	H <sub>2</sub> S amount(mg)	90.3	37.0	91.3	60.1
	H <sub>2</sub> S removal rate	mg/sec	0.0247		0.0067
mg/hr		89.0		24.2	

Table 8. Correlations of H<sub>2</sub>S(in water) Removal by Air and SOB Media

Air injection amount	Air supply	SOB media by air supply
1st(15 L/min)	Y = - 0.0051X + 11,644 (R <sup>2</sup> = 0.9032)	Y = 14.46*e <sup>-0.00247x</sup> (R <sup>2</sup> = 0.9974)
2nd(10 L/min)	Y = - 0.0029X + 7,5011 (R <sup>2</sup> = 0.9667)	Y = 9.7284*e <sup>-0.00245x</sup> (R <sup>2</sup> = 0.9965)
3rd(10 L/min)	Y = - 0.0004X + 5,2417 (R <sup>2</sup> = 0.9934)	Y = 4.5141*e <sup>-0.000414x</sup> (R <sup>2</sup> = 0.9884)
4th(5 L/min)	Y = - 0.0001X + 3,9983 (R <sup>2</sup> = 0.9061)	Y = 4.5650*e <sup>-0.00009x</sup> (R <sup>2</sup> = 0.9974)

Where, Y : H<sub>2</sub>S concentration(mg/L), X : Time(sec)



게 제거되는 것이라고 판단된다.

본 연구에서는 정화조의 수중 악취 저감을 위한 공기공급장치의 저감 효율을 높이기 위한 방법으로 SOB를 이용한 Lab test를 수행하였다. 실험 결과 SOB를 이용하여 공기공급을 적용할 때, 공기공급만을 하는 경우보다 평균 3.4배 높은 저감 효율이 나타났다. 이는 유지관리비(전력비)를 줄일 수 있는 좋은 방안이 될 수 있으며, Field test를 통해 검증이 필요한 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업으로 한국환경산업기술원 EI 사업(과제번호 : 414-111-008)의 지원을 받아 한국건설기술연구원 주관으로 진행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Korea Institute of Construction Technology(1994), A Study on Corrosion of Sewer Pipe
- Korea Water and Wastewater Works Association(2007), Guidebook for Corrosion Countermeasure of Sewer Pipe
- Ministry of Environment(2012), A study on Demonstration Project on Odor Reduction in Urban Sewer
- Ministry of Environment(2011), Sewerage Act Enforcement Ordinance
- Ministry of Environment(2011), A Study of Construction of Technology Roadmap Road Map development of for Odor Control in Sewer
- Snyder, J.W., Safir E.F., Summerville, G.P., and Middleberg, R.A. (1995) Occupational Fatality and Persistent Neurological Sequelae After Mass Exposure to Hydrogen Sulfide, *American Journal of Emergency Medicine*, 13(2), pp.199-203.