

## 하수관거의 생·화학적 부식특성에 관한 연구

김환기 · 송호면\*

전북대학교 공과대학 토목환경공학부  
\*한국건설기술연구원 수자원환경연구부

(1999년 9월 21일 접수, 1999년 12월 31일 채택)

## A Study on Bio-chemical Sewer Pipe Corrosion in Korea

Hwan-Gi Kim · Ho-Myeon Song\*

*Division of Civil and Environmental Engineering, Chonbuk National University*  
*\*Water Resource & Environmental Eng. Div., Korea Institute of Construction Technology*

### ABSTRACT

Sewer pipe in Korea is generally constructed with concrete pipes. Moreover, the sewer system is susceptible to the corrosion problem due to the regulation employing anaerobic treatment processes, such as domestic sewage treatment facilities, nightsoil septic tanks and so on.

The objective of this study is investigated to experimental test of H<sub>2</sub>S production rate affecting corrosion of sewer pipe in Korea. In this study, tube-type and sealed-type reactor were used to examine the reactions in the microorganism suspended growth and biofilm. Furthermore, concentration changes were investigated with COD and sulfate reduction in each reactor.

Sulfide production rate was 50.4 mg-H<sub>2</sub>S/g-VSS · d in the sealed-type reactor and in the tube-type biofilm reactor was 2.8~18.8 g-H<sub>2</sub>S/m<sup>2</sup> · d.

---

Key Words : Sewer Pipe, Corrosion, Sulfide Production, SRB, Sulfuric Acid

## 요약문

본 연구의 목적은 우리 나라 하수관거의 생·화학적 부식특성을 실험을 통하여 규명하기 위함이다. 하수관거 부식의 가장 대표적인 관정부식은 생·화학적반응에 의하여 진행되는데, 그 원인은 황화수소이다.

우리 나라의 경우 오수발생원에 분뇨정화조와 오수정화시설을 설치하고 있어 간선관거 및 차집관거보다는 상대적으로 지선관거가 부식에 취약한 것으로 나타나고 있으며, 이를 방지하기 위하여는 관거를 정비하여 분뇨를 직투입하므로써 관거의 수명연장이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 우리 나라 하수도 시스템에서의 황화수소 발생속도를 예측하기 위하여, 하수도 시스템의 분뇨정화조를 재현한 혐기성 반응기와 하수관거를 재현한 튜브반응기를 이용하여 실험하였다. 실험결과 황화수소 생성속도는 혐기성 반응기의 경우  $50.4 \text{ mg-H}_2\text{S/g-VSS} \cdot \text{d}$ , 혐기성 막반응기의 경우(COD 150~1000 mg/L)는  $2.8 \sim 18.8 \text{ g-H}_2\text{S/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 나타났다.

우리 나라 하수관거의 부식양상은 외국과는 다르며 더욱 심각한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 오수발생원에 설치된 분뇨정화조와 혐기성 오수정화시설에서 발생하는 고농도의 황화수소가 간선관거보다 상대적으로 얇은 두께를 가지는 지선을 우선적으로 부식시키기 때문이다.

따라서 관거 정비사업의 조기착수와 더불어 내식성재료의 보급 및 하수관거 설계방법의 고도화 등과 같은 부식방지 대책이 시급한 것으로 사료된다.

주제어 : 하수관거, 관정부식, 황산염환원박테리아, 황화수소, 황산

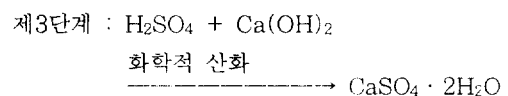
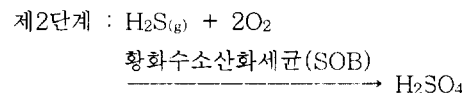
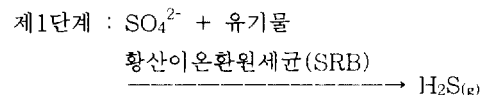
## 1. 서론

최근 우리 나라는 하수처리장의 유지관리 과정에서 하수도 시스템상의 문제들이 부각됨에 따라 하수관거의 중요성이 급부상하고 있다. 이러한 문제의 유형과 정도는 매우 다양하게 나타나고 있는데, 이 중 하나는 하수관거시스템상 대부분의 도시가 오수정화시설 및 분뇨정화조를 운용하고 있어, 생·화학적 부식이 상당히 진행되고 있는 것으로 알려지고 있다.<sup>1,5,6)</sup>

하수관 재료로 사용되는 콘크리트의 열화현상은 관거 내외부의 환경 변화에 의하여 발생하는 요인에 따라 화학적인 침해와 물리적인 침해로 대별되며, 이들은 중성화 현상 등 약 7가지의 열화현상으로 재분류된다. 이중 가장 문제가 심각한 열화현상은 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ )에 의하여 관정에 생성되는 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )이 콘크리트의 시멘트 수화물을 부식시키는 것으로 알려져 있다.<sup>1,6)</sup>

이와 같은 하수관의 생·화학적 부식반응은 다

음과 같은 2단계의 생물학적인 반응과 1단계의 화학반응으로 요약된다. 제1단계 반응은 하수관거의 부식의 근원 물질이라 할 수 있는 황화수소를 생성하므로 가장 중요한 반응이라 할 수 있으며, 부식 및 악취의 조절 대책 중 가장 근본적인 치유가 가능하므로 이에 대한 정확한 예측과 대책이 필요하다.



본 반응의 경우 타영양성의 혐기성 박테리아인 황산이온환원균(SRB: Sulfate Reducing Eacteria)

이 가수분해된 유기물과 유기산 생성균에 의하여 생성된 유기산을 선택적으로 섭취하는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup>

따라서 황화수소 발생반응은 하수내의 황산이온과 유기물의 함유량이 결정적인 역할을 하며, 반응과 관련된 용존산소 유무, 온도, 혼합상태 등이 밀접한 관계를 가진다.

용존산소가 없고 흐름이 비교적 양호한 일반적인 하수관거의 경우에 있어서는 SRB가 잠수면 이하의 측벽 및 저면에 혐기성 생물막 형태로 존재하면서 황화수소를 발생시킨다. 또한 관저에 유기성 퇴적물이 있을 경우 다량의 SRB가 분포하여 다량의 황화수소를 발생시킨다. 그러나 하수에 용존산소가 존재하는 경우에는 호기성 미생물막이 형성되며, 황화수소의 발생 및 용출을 저해시킨다.

한편 하수관거의 유속 및 구배는 우선적으로 황화수소 생성과 관련하여 용존산소 농도와 생물막의 파괴 및 유기물의 침전방지, 생물막과 기질의 접촉시간과 밀접한 관계가 있으며, 또한 하수중의 H<sub>2</sub>S가스를 대기중으로 방출시키는 속도와 관련이 있다.

우리 나라와 같이 하수관거 저부에 다량의 유기성 고형물이 침전되어 있거나, 분뇨정화조나 혐기성 오수정화시설이 설치되어 있을 경우에는 SRB의 성장조건인 혐기성 상태의 조성은 물론 고농도의 기질을 제공하므로 황화수소 발생의 주요 원인으로 작용한다. 아울러 펌프장과 역사이편 등과 같은 밀폐된 구조의 하수관은 혐기성 반응기의 역할을 하므로써 황화수소가 대량으로 발생하는 지점인 것으로 알려져 있다.<sup>1,6)</sup>

미국 등 선진외국의 경우 하수관거 부식에 대한 예측 및 방지 등에 대한 연구는 물론 관련 지침이 발간되어 시행되고 있다. 외국의 경우 기존의 하수관 부식 예측을 위한 기본 가정은 하수관거내에 부착하여 있는 혐기성 미생물(SRB)막에서의 황화수소 발생 속도를 기저로 하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 하수관거 시스템상 오수발생원에 분뇨정화조 등과 같은 혐기성 처리시설이 위치하고 있어 황화수소를 다량으로 생성하여 하수 본관에 유출시키므로, 외국의 부식 예측식을 그대로 활용할 수 없다는 적용조건상의 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 하수도 시스템에서의 생·화학적 부식특성을 파악하기 위하여, 분뇨

정화조 등 고농도 혐기성 반응조에서의 황화수소 발생속도와 아울러 하수관벽체에서 발생하는 황화수소의 발생속도를 실험을 통하여 제시하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험장치

황화수소 발생속도를 예측하는데 있어 중요한 인자는 기질로 작용하는 유기물 및 황산이온의 농도와 부대조건인 것으로 알려져 있다. 따라서 황화수소를 생성하는 미생물반응조를 이용하여 주요 기질의 농도변화 및 부대조건 변화에 따른 황화수소 발생속도를 도출하므로써, 임의의 조건에서 황화수소 발생량을 정확하게 예측할 수 있다.

실험장치는 일반적인 하수관거를 재현하기 위한 혐기성 생물막 반응기와 분뇨정화조를 재현하기 위한 혐기성 반응기를 이용하였다.

#### 2.1.1. 혐기성 미생물막 반응기

본 반응기는 혐기성 미생물막에서의 조건변화에 따른 기질제거 특성을 실험하기 위하여, Table 1과 같은 제원의 생물막 반응기를 제작하였으며 장치에 대한 모식도는 Fig. 1과 같다.

본 반응기는 100 m 이상의 길이를 갖도록 하여 하수의 유하에 따른 황화수소 발생량을 측정하기 위한 Plug-flow의 반응실험과 경우에 따라서는 펌프를 이용하여 자체 순환을 시키므로써 완전혼합 반응 실험을 병행하였다.

한편 튜브는 PE재질의 tube를 이용하였는데, PE tube는 아크릴 또는 유리재질의 tube보다 미생물부착이 용이하였으며, 유연성을 이용하여 100~200 mm를 작은 공간에 배치할 수 있다는 특성과 실험 중간과정에서 생물막의 두께측정을 위한 절단이 용이하다는 특성을 이용하였다.

펌프와 밸브를 이용하여 막반응기의 순환과 유속을 조절하였으며, 펌프의 흡입부에 T자 관을 분기시켜 feeding 및 발생되는 H<sub>2</sub>S가스의 포집과 시료채취를 위한 장치를 설치하였다.

Table 1. Dimension of tube-type reactor

Item	reactor I	reactor II	reactor III
I.D (mm)	10	10	10
L (m)	100	100	200
V (ℓ)	7.8	7.8	15.6

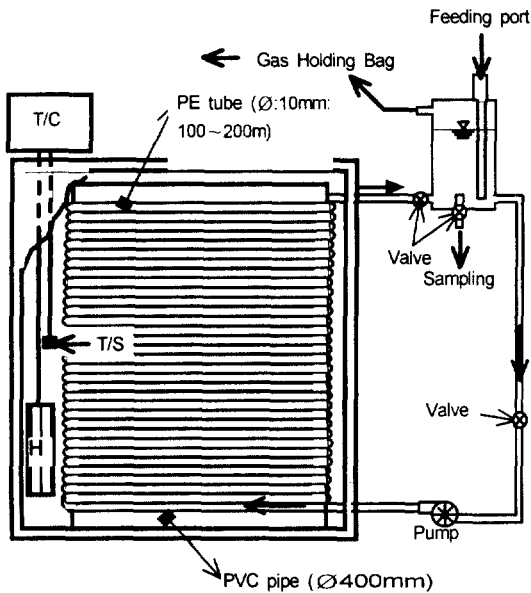


Fig. 1. Schematic diagram of tube-type reactor.

2.1.2. 혐기성 반응기

본 반응기는 부유성장상태(Suspended Growth)의 SRB를 이용한 회분식 반응기로서, 분뇨정화조의 황화수소 발생 특성을 실험하기 위함이다. 따라서 본 반응기는 SRB 순양조와 이로부터 이송된 SRB를 Fig. 2와 같은 BOD병에 측정하고자 하는 반응 시간 간격을 고려하여 BOD병을 setting하였으며, 같은 미생물농도 조건으로 충전한 후 기질을 변화시켜 기질이 제거되는 속도를 측정하였다. 이때 BOD병은 온도가 조절되는 진탕기에서 혼합상태를 유지시켰다.

2.2. 배지

본 연구에서의 황산염 환원반응 실험에 사용한 합성하수는 일반적으로 SRB의 배양 실험에 사용되는 Postgate 배지를 이용하였다. 본 배지의 조성은

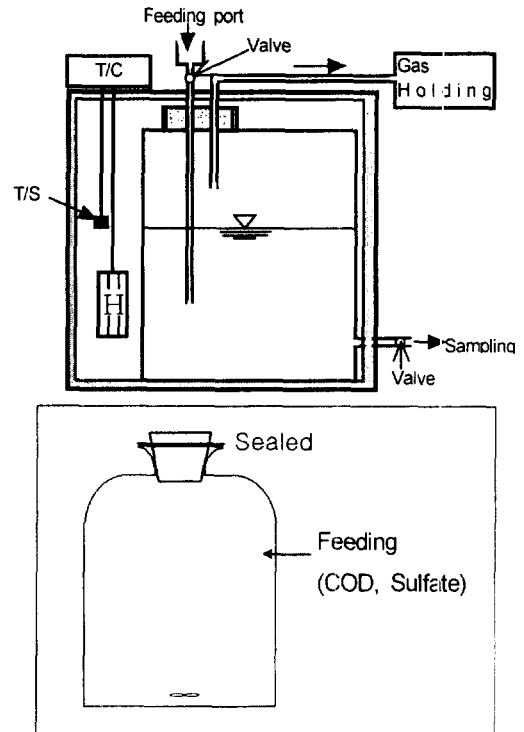


Fig. 2. Schematic diagram of the anaerobic reactor.

Table 2. Composition of synthetic wastewater for sulfate reducing experiment

Composition	Concentration(g/L)
Sodium lactate	3.5
Yeast extract	1.0
Ascorbic acid	1.0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.5
NH <sub>4</sub> Cl	1.0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5
MgCl <sub>2</sub> · 7H <sub>2</sub> O	2.0
CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.1

Table 2와 같이 탄소원으로 유산(Sodium lactate)을 주성분으로 하고, SRB의 성장에 필요한 무기성 영양염류와 완충제를 첨가하여 제조한다. 한편 주입하는 합성하수는 농도를 조절하기 위하여 COD성분과 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>성분을 구분하여 4℃에 냉장보관하여 사용하였다.

본 합성하수의 COD, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 측정농도는 평균치로

Table 3. Test type of tube reactor

Test type	Concentration(mg/L)		COD : SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	COD	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Case I	100	100	1 : 1
Case I	100	50	2 : 1
Case III	500	150	3.3 : 1
Case IV	500	250	2 : 1
Case V	1000	500	2 : 1
Case VI	2000	500	4 : 1

서 각각 6,000 mg/L, 1,000 mg/L이었으며, 실험 시에는 일반하수의 농도 범위로부터 그 이상의 농도로 희석하여 주입하므로써 주입 농도 변화에 따른 황화수소 발생속도를 측정하였다.

### 2.3. 실험 절차 및 범위

#### 2.3.1. 혐기성 미생물막 반응기

튜브에 SRB 부착 및 순양을 위하여 VSS농도가 약 5,000 mg/L인 도시하수처리장의 잉여슬러지를 SRB배지에 주입하여 식종하였으며, SRB배지를 약 3일 간격으로 주입하면서 60일간 SRB생물막의 형성 및 순양과정을 거쳤다. 이때 반응기의 온도는 20℃로 자동온도 조절 장치를 이용하여 유지하였으며, COD, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>S 등 SRB의 성장과 관련된 인자를 지속적으로 관찰하였다.

SRB막의 순양 후 우리 나라의 하수관거에서 재현될 수 있는 기질의 농도를 Table 3과 같이 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하였다.

#### 2.3.2. 혐기성 반응기

VSS농도가 10,000 mg/L 정도인 도시하수처리장의 혐기성소화조 슬러지를 이용하여 온도가 자동 조절되는 SRB순양조에서 배지를 주입하면서 약 30일 정도 순양하였다. 이후 순양된 SRB를 일정량씩 BOD병에 주입하고 각각의 기질을 주입한 후 혼합을 목적으로 20℃로 온도를 조절하면서 진탕기에서 황화수소 발생 속도를 측정하였다. 이 때의 기질 변화농도 및 비율은 분뇨정화조의 유입 기질의 농도를

Table 4. Test type of anaerobic reactor

Test type	Concentration(mg/L)		COE : SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	COD	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Case I	1,000	1,000	1 : 1
Case I	2,000	1,000	2 : 1
Case III	5,000	2,000	2.5 : 1
Case IV	10,000	5,000	2 : 1

기준으로 하여 Table 4와 같이 변화시켰다.

### 2.4. 측정방법

Tube 반응기를 이용한 실험과 BOD병을 이용한 실험에서의 주요 영향인자는 미생물의 농도 및 미생물막의 두께, pH, 온도, 부하율, 유속 등이 있다. 본 실험에서는 pH, 온도, 유속을 일정 조건으로 하여, COD와 황산염의 주입농도 변화에 따른 처리효율, 미생물 농도 및 막의 두께 등 인자의 변화를 측정하였다.

채취한 시료의 COD 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 GF/C로 부유물을 사전 제거하여 탁도에 의한 측정오차가 발생하지 않도록 하였으며, 시료의 주요성분에 대한 측정방법은 다음과 같다.

#### ① COD(CODcr법)

HACH사에서 제작된 COD Vial에 채취한 시료를 넣고 DR-4000과 COD Reactor를 이용하여 측정하였다.

#### ② SS, VSS

Standard Methods에 준하여 측정하였다.

#### ③ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(비탁법)

HACH사에서 제작된 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>용 powder를 채취한 시료에 넣고 DR-4000을 이용하여 측정하였다.

\* 비탁법 : 황산염의 비탁법 측정에서는 황산바륨의 콜로이드 형태의 침전이 생성되는 경향이 클 리세롤과 그밖에 다른 유기화합물을 포함하는 염화나트륨-염산용액 속에서 더욱 증가되는 현상을 이용하는 측정법.

#### ④ pH, 온도

채취한 시료를 pH meter 및 온도계를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 막반응기의 실험결과

##### 3.1.1. 순양실험 결과

튜브에 SRB의 부착 및 순양을 목적으로 초기 VSS농도가 약 5,000 mg/L인 황성슬러지를 주입하여 혐기성막으로 전환시키는데 약 20일 정도가 소요되었다.

순양기간중 관찰 결과 순양개시 약 2일 후부터 황화수소가 발생되기 시작하였으며, 유기물 및 황산이온의 감소속도가 증가하기 시작하였다. 이후 유기물 제거속도와 황화수소 발생속도가 일정한 경향을 나타낼 때까지 약 60일간 배지를 주입하면서 순양을 계속하였는데, 이때의 미생물 부착량은 12 g-VSS/m<sup>2</sup>으로 산정되었으며, 미생물막의 두께는 100 μm이었다.

##### 3.1.2. 기질의 반응비

우리 나라의 하수관거시스템은 거의 모든 도시가 합류식과 분류식이 공존하고 있으며, 이러한 경향은 향후에도 지속될 것으로 판단된다. 이중 분류식은 분뇨정화조 및 오수정화시설이 없이 분뇨를 직투입하고 있으며, 합류식에서는 분뇨와 오수를 발생원 규모에 따라 이종처리하고 있다. 따라서 관거의 부식을 예측하는데 필요한 발생원에서의 유입수의 기질성상에 대한 판단이 매우 다양하며 복잡하다.

그러므로 본 연구에서는 장래 발생가능한 유입수의 조건을 고려하여 발생원에서의 수질을 Table 3과 같이 다양하게 변화시켜 실험하였으며, 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

SRB의 에너지 획득수단은 혐기성호흡의 일종으로써, 분자상의 산소(O<sub>2</sub>)대신에 결합 상태의 산소

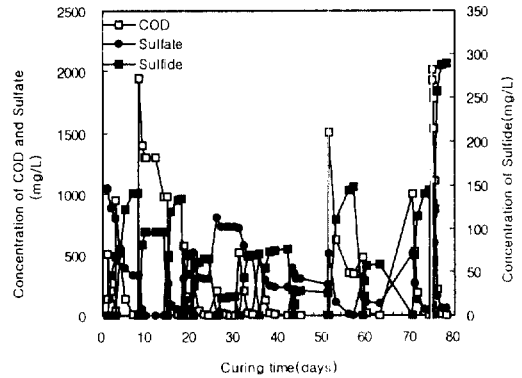


Fig. 3. Test result of tube reactor.

(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)를 이용하여 유기물을 산화하고 이때 발생하는 에너지를 이용한다. 결합식 발생한 유기물의 H<sup>+</sup>(또는 전자)는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>로 전달되고 H<sub>2</sub>S를 생성한다. 이와 같이 H<sup>+</sup>를 주고 받는 과정에서 유기물은 수소(전자)공여체로, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 수소(전자)수용체로 된다.

SRB종이 다양하듯이 이들의 이용기질과 분해속도가 상이한데, 일반적으로 하수관거 및 혐기성 소화조에서 성장하는 SRB는 유산, 프로피온산과 같은 중간단계의 유기산을 기질로 하며, 초산과 같이 저급유기산의 경우는 거의 분해가 느리거나 분해가 불가능하여, 메탄균과 경쟁관계에 있는 것으로 알려져 있다.

SRB의 황화수소 발생과 관련된 유기물과 황화물의 반응비는 Table 5와 같이 BOD를 기준으로 유산과 프로피온산의 경우 각각 2.16 : 1, 1.5 : 1의 반응비를 나타내며, 생성되는 황화수소는 제거되는 황산이온의 약 30%인 것으로 산출된다.

본 실험에서는 탄소원으로 유산을 주입하였는데, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 COD : SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 반응비는 1.8~3.5 : 1 정도로 반응비의 변화폭이 큰 경향을 나타내고 있다. 이는 기질로 사용한 유산의 S-COD(Cr)가 BOD와 거의 유사하였으나, 유산의 SRB분해시 생성되는 초산이 유기물로 잔존되거나

Table 5. Biochemical equivalent of SRB reaction

Lactate	$2\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^2 + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 2.16(BOD) 1(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 0.3(S <sup>2-</sup> )
Propionate	$4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 3\text{HS}^- + 4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ 1.5(BOD) 1(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 0.32(S <sup>2-</sup> )

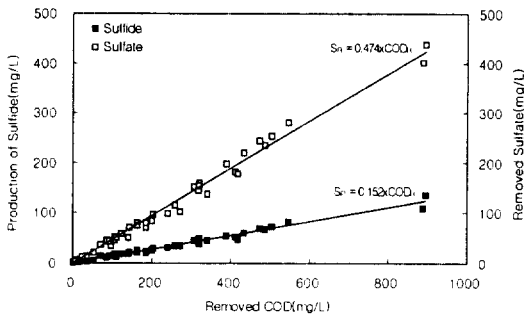


Fig. 4. Substrate reaction rate of SRB.

또는 메탄 발효가 동시에 진행되었기 때문에 판단 된다.

### 3.1.3. SRB에 의한 황화수소 발생속도

하수관거에서 발생하는 황화수소의 예측식은 매우 다양한 연구가 진행중에 있는데, 현재까지 알려져 있는 하수관에서 황화수소 발생속도 예측식은 대부분 경험식으로<sup>1,5)</sup> Table 6과 같다. 이는 만관조건에서 활용되는 예측식이며, 중력식 하수관에서의 황화수소 발생 예측식은 기본적으로 만관의 하수관에서 황화수소 발생량 예측식을 기저로 하여 변형되어 있다.

Table 6의 황화수소 발생량( $g\text{-H}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) 예측식 중 (2)~(4)식은 하수의 수온과 유기물(BOD or COD)의 인자로 구성되어 있으며, 식(1)은 평균유속과 BOD 및 황산이온의 농도를 변수로 하고 있다. 그 중 Pomeroy가 현장에서 조사하여 발표한 식(3)이 미국 정부의 지침으로 사용되고 있다.

이들 모델에서는 황산이온의 감소와 황화수소의 발생이 수중의 황산이온 및 유기물과 미생물의 활동성, 생물막의 밀도와 관련하여 결정되는 것으로 나타나 있다.

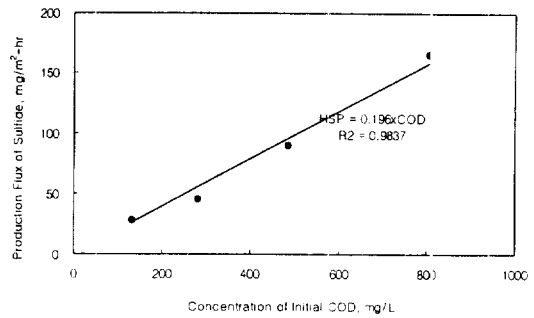


Fig. 5. Sulfide production rate in tube reactor.

황화수소의 발생속도에 대해서는 실제의 하수도 사정을 감안한 예측이 이루어져야 하며 본 연구에서는 이러한 상황을 감안하여 COD(Soluble 상태의 값)농도로서 150 mg/L에서 1000 mg/L까지의 농도로 Plug-flow 시스템으로 운전(유속 6.0 cm/sec)한 반응기의 운전결과를 이용하여 황화수소의 발생속도를 제시한다.

전술한 바와 같이 유기물 또는 황산염이 황산염환원반응에 이용되는 경우 단기간에 이루어지고 있기 때문에 운전 결과를 이용하여 Fig. 5에 초기 COD 농도에 따른 황화수소의 발생속도를 나타내었다. 초기 COD농도 1 g당 황화수소의 발생속도는 유속이 6.0 cm/sec인 경우  $0.196 \times 10^{-3} \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  정도의 황화수소가 발생하는 것으로 도출된다.

한편, 황화수소의 발생속도에 관한 식으로 미국 등에서 활용되는 Pomeroy식에서의 SRB 생물막의 두께는 400  $\mu\text{m}$ 에 달하고 있는데, 전술한 바와 같이 본 연구에서의 SRB 생물막의 두께가 100  $\mu\text{m}$ 에 불과하다. 그렇지만, 실제 현장에서는 Pomeroy의 식에서 적용하는 미생물막의 두께에 이를 것으로 판단된다. 따라서 Pomeroy식에 본 연구의 결과치를 적용하기 위해서는 미생물량에 대한 고려가 필요하다.

Table 6. Sulfide production rate in reference

Sulfide flux ( $g/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )	researcher
(1) $r_s = 0.5 \times 10^{-3} \cdot V_s \cdot (\text{BOD})^{0.8} \cdot (\text{SO}_4^{2-})^{0.4} \cdot 1.139^{(T-20)}$	Thistlethwayte, 1972
(2) $r_s = 0.228 \times 10^{-3} \cdot (\text{COD}) \cdot 1.07^{(T-20)}$	Boen and Lister, 1975
(3) $r_s = 1 \times 10^{-3} \cdot (\text{BOD}) \cdot 1.07^{(T-20)}$	Pomeroy and Parkhurst, 1977
(4) $r_s = (1.5-3.0) \times 10^{-3} \cdot (\text{COD}-50)^{0.5} \cdot 1.07^{(T-20)}$	Nielsen & Hvitved-Jacobsen, 1988

Note 1)  $r_s$  : Sulfide production rate( $g\text{-H}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )  
 3) BOD,  $\text{SO}_4^{2-}$  : Substrate concentration( $\text{mg}/\ell$ )

2)  $V_s$  : Sewage velocity ( $\text{m}/\text{s}$ )  
 4) T :  $^{\circ}\text{C}$

즉, 장기적으로 하수관에서 미생물의 부착량이 증가하여 400  $\mu\text{m}$  정도에 이르렀을 때 하수관에서 발생하는 황화수소의 발생속도는 COD 150 mg/L인 경우, 2.8  $\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 가 발생하며, COD 300 mg/L인 경우 5.6  $\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  발생하고 고농도의 정화조유출수가 포함된 COD 1,000 mg/L의 하수가 흐르는 하수관에서는 18.8  $\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 의 속도로 황화수소가 발생할 것으로 예측된다.

이러한 결과는 미국에서 활용되는 Pomeroy식을 적용하여 산출한 값의 약 78.4% 정도로 적은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 외국 예측식의 경우 현장에서 측정된 조사 결과를 이용한 경험식으로서 미생물막에 존재하는 SRB 뿐만 아니라 부유성 SRB가 황화수소 발생에 상당히 기여하였을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구결과는 순수한 SRB생물막에서 발생하는 황화수소에 예측식에 활용하여야 하며, 현장에서의 활용을 위하여는 부유성 SRB에 의한 황화수소 생성속도를 추가하여야 할 것으로 판단된다.

### 3.2. 혐기성 반응기

본 연구에서 사용된 혐기성 반응기는 도시하수처리장의 혐기성소화조와 유사한데, 다만 황산이온을 고농도로 유지한다는 점에서 상이하며 분뇨정화조와 유사하다. 본 실험의 배경은 우리 나라의 하수관거시스템은 거의 모든 도시가 합류식과 분류식이 공존하고 있으며, 합류식지역에 설치된 분뇨정화조 및 오수정화시설은 관거가 정비되기 전까지는 계속적으로 유지되어야 하므로 이에 의한 황화수소 발생이 하수관거의 부식에 미치는 영향이 크기 때문이다.

따라서 본 실험은 분뇨정화조 등과 같이 발생원에서 고농도의 유기물과 황산이온을 포함한 오수를 혐기성으로 처리할 때 발생하는 황화수소 생성속도를 실험을 통하여 예측함으로써 하수관의 부식속도 예측에 활용하기 위함이다.

Fig. 6은 초기 COD농도에 따라 단위 SRB 미생물 1 g에 의한 황화수소발생량은 직선적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 이 회귀직선에 의해 1 hr당 COD 1 mg/L당 단위 미생물에 의한 황화수소의 발생속도를 산출한 결과  $2.1 \times 10^{-3} \text{ g-H}_2\text{S}/\text{g-VSS} \cdot \text{hr}$  (50.4  $\text{mg-H}_2\text{S}/\text{g-VSS} \cdot \text{d}$ )로 계산된다. 이것은

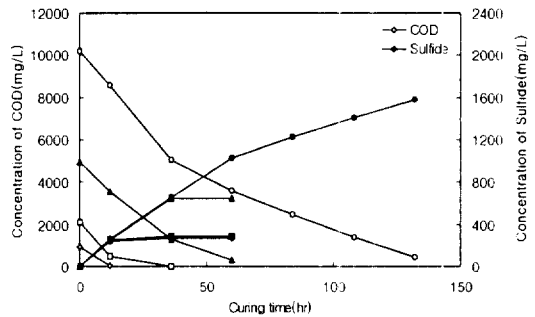


Fig. 6. Substrate variation in anaerobic reactor.

일반적인 하수의 수질인 COD 200 mg/L에서 미생물만 존재한다면, 0.42  $\text{mg-H}_2\text{S}/\text{g-VSS} \cdot \text{hr}$ 의 속도로 황화수소가 발생함을 나타내고 있다. 또한 이를 정화조 부피로 환산하면 5.0  $\text{g-H}_2\text{S}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$  나타나고, 정화조 유출수의 황화수소 농도는 약 12  $\text{mg-H}_2\text{S}/\text{L}$  정도로 산출된다. 따라서 하수발생원 단위로 환산하면 하수관에 약 4.2  $\text{mg-H}_2\text{S}/\text{L}$ 의 황화수소가 분뇨정화조가 있는 각 가정에서 유출되는 것으로 산출되었다.

이러한 결과는 발생원에서 대량의 황화수소가 생성되어 하수관에 유입된다는 사실을 입증하고 있으며, 따라서 상대적으로 본관에서는 유기물 부하가 낮아 황화수소 발생속도를 저감시킬 것으로 판단된다.

그러나 발생원에서 고농도의 황화수소가 하수본관에 유입시 대량의 황화수소가 발산되어 지선관거부터 부식을 유발하며, 특히 연결부나 맨홀과 같은 낙차가 큰 시설물은 이러한 황화수소의 발생량이 크므로 더욱 심각한 부식을 초래할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

황화수소는 하수관거의 부식을 유발하는 기초물질로 작용하므로 이의 예측은 부식속도의 산출과 방지대책의 수립시 가장 중요한 자료가 된다. 우리 나라 하수관거에서의 황화수소 발생속도를 예측하기 위한 실험 결과를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실험실에서 측정된 SRB막에서의 황화수소 발생속도는 유기물 농도에 따라 변화하며, COD농



도 150~1000 mg/L의 범위에서는 2.8~18.8 g-H<sub>2</sub>S/m<sup>2</sup>·d 정도로 나타났다. 이는 외국의 현장에서 측정된 경험치의 78.4% 정도에 불과한 것으로 나타났는데, 이는 외국의 현장 측정치가 생물막 이외의 부유성 SRB 및 침전물 등에 기인한 황화수소 생성량이 추가되었기 때문에 판단되며, 아울러 생물막 두께가 현장의 경우 콘크리트관의 조도 등에 따라 상대적으로 두꺼웠기 때문이라 판단된다.

- 2) 우리 나라의 하수관거의 부식양상은 외국과는 다르며 더욱 심각한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 오수발생원에 설치된 혐기성 분뇨정화조와 오수정화시설에서 발생하는 4.2 mg-H<sub>2</sub>S/L 정도의 고농도의 황화수소가 간선관거보다 두께가 상대적으로 얇은 지선을 우선적으로 부식시키기 때문이다.
- 3) 또한 이들로부터 다량 배출되는 SRB는 관거 내 유하중의 오수와 유기성 침전물의 황화수소 생성에서 제한될 수 있는 SRB농도를 다소나마 증대시킬 것으로 판단된다.
- 4) 우리 나라의 하수관거 부식 속도를 효과적으로 저하시키기 위하여는 우선적으로 하수도 정비에 의하여 분뇨를 직투입하여야 하며, 아울러 이때 발생할 수 있는 간선관거의 부식을 방지하기 위하여는 내식 설계 또는 내식성 재질을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 하수관거부식에 관한 연구(1994).
2. 三品文雄, 川口幸男, 堺好雄, "下水道搬送管内における硫化水素の生成についての一考察" 第24回下水道研究発表會講演集, pp. 106~108(1990).
3. 元吉正和, 上加重田光博, 三代陸儀, "硫化水素による管きよの損失と對策," 第23回下水道研究発表會講演集, pp. 86~88(1986).
4. Design Manual, Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage System and Treatment Plants, EPA(1985).
5. Pomeroy, R. D., J. D. Paekhurst, J. Licingston and H. H. Bailey, "Sulfide Occurrence and Control in Sewage Collection Systems," U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/X-85-052, Cincinnati, OH(1985).
6. Sulfide in Wastewater Collection and Treatment System, ASCE(1989).