

# 항균 콘크리트를 적용한 정화조 및 하수처리 콘크리트 구조물의 황산화세균에 의한 생화학적 부식 저감 기술

## Technology for Controlling Biochemical Corrosion by Sulfur-oxidizing Bacteria of Sewage Concrete Construction applied Antimicrobial Concrete

김 도 수\*

Kim, Do-Su

길 배 수\*\*

Khil, Bae-Su

손 유 신\*\*\*

Sohn, Yu-Shin

이 승 훈\*\*\*\*

Lee, Seung-Hoon

---

### ABSTRACT

Recently sewage facilities mainly consisted of concrete structures are being deteriorated seriously by biochemical reaction originated from sulfur-oxidizing bacteria. To prevent biochemical corrosion of the sewage concrete, antibiotics which inhibit growth of sulfur-oxidizing bacteria have to be developed and applied necessarily.

In this study, we are going to introduce technology which biochemical corrosion of sewage facilities concrete could be controlled effectively by antibiosis of antimicrobial concrete

### 요 약

최근 콘크리트로 대부분 시공되는 정화조 및 하수구조물은 황산화세균에 의한 생화학적 부식반응에 의해 심각하게 열화되고 있는 실정이다. 이러한 생화학적 부식방지를 위해서는 하수환경에 서식하는 황산화세균의 생장을 저해하는 생화학적 부식을 억제하는 항균제를 적용한 항균 콘크리트 적용 기술이 필수적으로 개발되고 적용되어야만 한다.

이에 본 연구에서는 항균 콘크리트의 항균특성에 의해 하수환경에 노출된 하수구조물의 생화학적 부식을 효과적으로 억제할 수 있는 기술을 소개하고자 한다.

---

\* 정회원, (주)트라이포드 총괄이사, 공학박사

\*\* 정회원, (주)트라이포드 대표이사, 공학박사

\*\*\* 정회원, 삼성물산 건설부문 기술연구소 선임연구원, 과장

\*\*\*\* 정회원, 삼성물산 건설부문 기술연구소 수석연구원, 부장

## 1. 서 론

하수관로, 정화시설 등의 하수구조물은 대부분 지하매립형 및 폐쇄형 구조로 이루어져 있을 뿐만 아니라 내부에는 높은 습도, 유해가Antimicrobial스, 각종 오염 물질 및 침식성 물질이 다량 포함된 하수 등이 상재하고 있어, 지상의 타 콘크리트 구조물에 비해 열화의 진행도가 빠르고 내구수명이 현격히 저하한다.<sup>1)</sup>

이러한 하수구조물 콘크리트의 열화를 발생시키는 물리·화학적 요인 이외에 콘크리트 하수구조물의 열화를 가속화시키는 주요 원인으로서는, 황산화세균(Thiobacillus속 균주) 등과 같은 미생물의 신진대사 작용으로 생성된 황산 등의 부식인자에 의한 생화학적 부식이 보고된 바 있다. 이후 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 관련된 다방면의 연구가 수행되어 왔으며 황산화세균을 배양하여 인공적인 열화환경을 조성한 후 시험체를 적용시켜 콘크리트의 생화학적 부식특성을 평가하는 연구도 진행된 바 있다.<sup>2,3)</sup>

한편 이러한 생화학적 부식의 현상규명에 관한 연구와 더불어 최근에는 하수구조물 콘크리트의 생화학적 부식을 저감시킬 수 있는 방안에 관한 연구도 진행되었다. 특히 Maeda 등은 특정 금속성분을 콘크리트에 혼입하여 황산화세균의 생장을 억제시키는 연구를 진행하였다. 이를 위해 실제 하수환경 하에서 장기간의 폭로실험을 실시하였으며, 시험체의 외관, 질량변화율 및 부식깊이 등의 물리적 특성 평가를 통해 타당성을 검증하였다.<sup>4)</sup>

이에 본 연구에서는 지난 2007년 11월 건설신기술 544호[황산화세균 억제 특성을 지닌 금속화합물을 함유한 콘크리트의 생화학적 부식저감 기술]과 관련하여 하수환경에 노출된 정화조 및 하수구조물에 효과적으로 생화학적 부식열화를 억제할 수 있는 항균 콘크리트의 적용기술에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 콘크리트의 생화학적 부식 메커니즘

콘크리트의 생화학적 부식을 초래하는 황산의 생성은 오수 및 하수내에 포함된 황산이온 및 유기성 황화물과 BOD 등의 유기물이 주요 원인물질이다. 이러한 생화학적 부식과정은 표 1과 같이 3단계의 주요 반응으로 진행된다.

표 1 콘크리트의 생화학적 부식기구

단계	생화학적 부식반응
1단계	혐기성 미생물(황산염 환원세균)에 의한 황화수소(H <sub>2</sub> S)의 생성 및 확산 $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{C} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{황산염환원세균(SLB)}} \text{H}_2\text{S}(\text{g})$
2단계	호기성 미생물(황산화세균)에 의한 황산(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )의 생성 $\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{황산화세균(SOB)}} \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$
3단계	황산에 의한 콘크리트의 화학적 부식 $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 / 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{Ettringite}(\text{s})$

이러한 생화학적 부식단계에서 황산화세균은 호기성 하수환경에 서식하며 콘크리트의 생화학적 부식을 유발하는 황산을 배출하는 독립영양세균으로 최근 콘크리트 하수환경에 번식하면서 콘크리트의 중성화가 진행되면서 생화학적 부식을 초래하여 콘크리트가 박리, 탈락, 팽창, 균열 등의 열화현상을 유발하는 주요 원인균으로 알려지고 있다. 이와 같이 콘크리트의 생화학적 부식은 황화합물들이 미생물의 생물학적 작용에 의한 변화에 기초하게 된다. 즉, 콘크리트를 부식시키는 황산은 오수 및 하수중에서 생성된 황화수소 가스에 의해 만들어지고, 이 때 하수환경에 비산되는 황화수소는 하수내의 황산이온으로부터 변화된다. 황화수소는 화학적 반응에 의해서도 황산 또는 황으로 전환이 가능하나 오수 및 하수환경과 같은 자연계에서는 화학적 산화는 무시될 정도로 매우 느린 반면 미생물에 의한 생물학적 산화는 매우 빠르게 진행되므로 콘크리트 부식을 지배하는 주요 요인이 된다.

콘크리트는 타설 후 초기 양생과정에서부터 하수환경에 노출된 대기중의 CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> 가스 등에 의해

콘크리트의 알칼리도 저하에 따른 중성화가 진행되며, pH 10이하로 저하된 상태에서는 Thiobacillus versutus 균주가 우점종으로 서식하며 대기에 확산된 황화수소를 황산으로 산화시키는 황산화작용에 의해 콘크리트 표면에 황산을 배출함으로써 콘크리트의 부식열화가 개시된다.

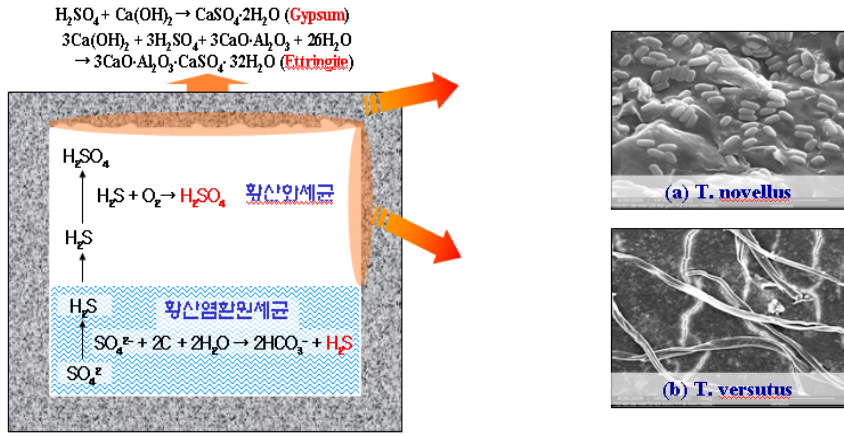


그림 1. 콘크리트 하수구조물의 생화학적 부식과정

이러한 황산화작용은 콘크리트의 pH가 7.0 전후로 완전히 중성화되면 주종을 이루는 Thiobacillus novellus 균주에 의해 콘크리트의 생화학적 부식반응이 더욱 심화되게 된다. 이 단계에서는 콘크리트의 생화학적 부식에 의한 침식 및 열화현상이 가속화되므로 Thiobacillus novellus 균주의 성장을 근본적으로 억제하여 Thiobacillus ferrooxidans 혹은 thiooxidans 균주가 생화학적 부식을 더욱 가속화시키는 다음 단계로의 진행을 차단하는 것이 중요하다.

이에 따라 부식환경에 노출된 콘크리트는 황산화작용에 의한 생화학적 부식을 효율적으로 억제하기 위하여 황산화세균중에서도 T. novellus 균주의 성장 및 증식을 효율적으로 억제하는 항균특성이 근본적으로 필요하다.

### 3. 항균 콘크리트의 항균 메커니즘

그림 2는 항균 콘크리트에 함유된 항균 금속이온에 의해 황산화세균의 성장 및 증식이 억제되는 항균특성을 나타낸 것이다.

항균특성은 체내에 흡수된 항균 금속이온이 산소와 결합하려는 황산화세균의 대사작용을 저해하는 황산화작용과 항균 금속이온의 산화-환원반응을 통해 세균의 세포막을 손상하는 활성산소( $O_2^-$ )를 생성시키는 금속이온의 촉매작용에 의해 나타난다.

이러한 항균특성으로 하수환경에서 콘크리트에 서식하는 황산화세균의 생육이 효율적으로 억제된다면 콘크리트를 부식시키는 황산 배출량을 감소시킴으로써 궁극적으로 황산화세균에 의한 콘크리트의 생화학적 부식을 저감할 수 있다.

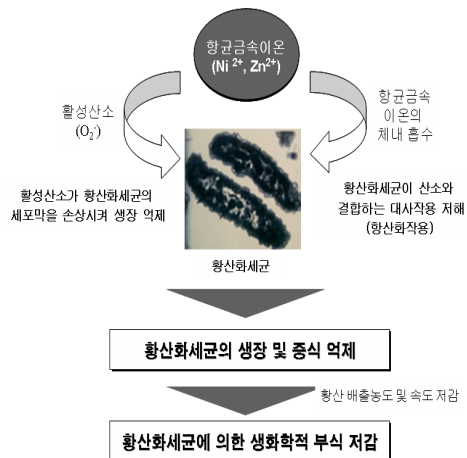


그림 2. 황산화세균의 성장 및 증식억제 기구

#### 4. 항균 콘크리트의 항균성능 주요 평가방법 및 결과

##### 4.1 주요 평가방법

항균 콘크리트에 함유된 항균제의 항균활성은 Broth-Microdilutio법으로 실시하였고, 균주의 최소생육억제농도(MIC)는 KS F 4403 부속서 2[유황산화세균에 대한 무기항균제의 최소생육억제농도 측정법]의 시험방법에 따라 실시하였다. 콘크리트의 항균특성으로는 황산화저항성, 황산배출농도 및 속도를 평가하였으며, 항균 콘크리트 공시체의 항균효과는 KS F 4403 부속서 3[무기 항균제가 첨가된 공시체의 항균효과 시험방법]에 따라 실시하였다. 하수환경에 폭로시킨 시험체에서의 생화학적 부식저항성은 SEM 및 EDX-Mapping분석을 통해 표면분석 및 황(S)검출특성을 통해 측정하였다.

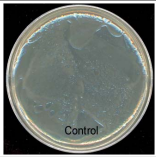


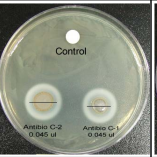
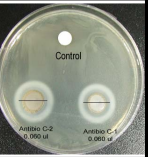
항균특성 외에 콘크리트로서의 기초물성 및 내구성에 미치는 효과를 각각의 KS 기준 및 ASTM 기준을 준용하여 평가하였다.

##### 4.2 주요 평가결과

황산화세균의 대사작용에 따른 황산배출 저항성 평가는 황산화세균중 T.novellus 균주를 도말한 배지 위에 시험물질(항균제)을 적정농도씩 적하하고, 30℃에서 2일간 배양한 후 균주가 서식하지 않는 성장억제대(clear zone)의 직경(mm)을 측정하였다. 항균활성은 성장억제대의 직경이 10mm 이상인 것을 양성으로 판정하였다. 항균제의 적하농도는  $1.5\sim 6.0\times 10^{-2}\mu\text{l}$  범위에서 시험을 실시하였다.

표 2와 같이 항균제의 적하농도에 따른 성장억제대의 변화는  $1.5\times 10^{-2}\mu\text{l}$ 에서 9.5mm로서 항균활성이 음성인 반면  $3.0\times 10^{-2}\mu\text{l}$ 에서는 12.0mm로서 양성으로 나타났다. 따라서 T. novellus의 성장 억제를 위해 필요한 항균제의 최소농도는  $3.0\times 10^{-2}\mu\text{l}$ 인 것으로 확인되었다.

표 2. 항균제의 항균활성 분석결과

구분	Control	Antibio-C			
		$1.5\times 10^{-2}$	$3.0\times 10^{-2}$	$4.5\times 10^{-2}$	$6.0\times 10^{-2}$
적하농도( $\mu\text{l}$ )	-	$1.5\times 10^{-2}$	$3.0\times 10^{-2}$	$4.5\times 10^{-2}$	$6.0\times 10^{-2}$
성장억제대 직경(mm)	-	9.5	12.0	14.0	16.7
배지사진					

황산화세균의 최소생육억제농도(MIC) 평가는 황산화세균(Thiobacillus thiooxidans IFO 3701)을 접종하고 4주간 회전배양기(30℃, 150rpm)에서 배양한 시험액에 항균제의 농도를 10ppm, 50ppm, 100ppm 첨가하고 배지색상 변화를 관찰하였다.

평가결과 그림 3과 같이 항균제를 50ppm 첨가한 시험액의 배지색상이 4주간 배양 후에도 초기의 푸른색을 유지함으로써 판정기준인 배양 후 변색이 되지 않는 최소생육억제농도가 50ppm 이하인 기준을 충족하였다.

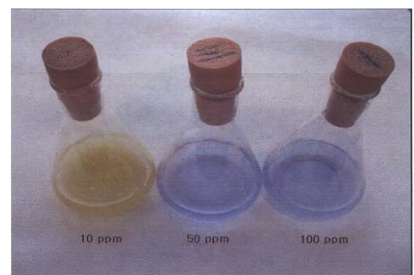


그림 3. MIC 측정결과

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1994), 하수관거의 부식에 관한 연구
2. 충남대학교(2004), 도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템 및 실용화 기술개발
3. 日本下水道事業團(2002), 下水道コンクリート構造物の腐食制御技術及び防蝕技術指針・同マニュアル
4. 前田照信(1999), 콘크리트腐食に對する防菌劑の開発に關する研究