

# 시물레이션 시험에 의한 생화학적 부식 저항성 평가

## Evaluation of Resistance to Biochemical Corrosion by Simulation Test

김 규 용\*\*                      이 의 배\*  
Kim, Gyu Yong                Lee, Eui Bae

---

### ABSTRACT

To analyze the growth of SOB (*Thiobacillus novellus*) and biochemical corrosion of concrete, simulation test method and device were developed. And two types of simulation tests were conducted according to a transplant method and a concentration of  $H_2SO_4$ . As a result, the SOB growth in distinct manners and antibiosis of specimen were observed.

In the case of the specimens indirectly transplanted with SOB through culture solution submersion at a hydrogen sulfide level of 120ppm, the rapid activation of SOB and the resulting sulfuric acid production were observed. However, SOB were shown to grow rapidly and then die out in a relative short period of time. Meanwhile, in the case of the specimens directly transplanted with SOB at a hydrogen sulfide level of 50ppm, the long-term growth of SOB was possible, but the production of sulfuric acid by SOB did not progress. In the case of the antibiotic metal-mixed specimens, SOB with destroyed cell membranes and internal organizations were observed.

### 요 약

본 연구에서는 황산화세균의 성장과 이에 따른 콘크리트의 생화학적 부식을 실증적으로 분석하기 위해 생화학적 부식 시물레이션 시험 및 장치를 구축한 후, 세균의 이식방법과 황화수소농도 조건에 따라 크게 2종류의 시험을 진행하였으며, 이에 따른 *Thiobacillus novellus*의 성장특성과 항균금속의 첨가에 따른 항균성능을 검증할 수 있었다.

우선 황화수소 120ppm의 조건하에서 시험체를 세균배양액에 침지시켜 *Thiobacillus novellus*을 간접적으로 이식한 시물레이션 시험의 경우, 사슬형태의 대단위 군집을 형성하는 *Thiobacillus novellus*의 급속한 성장과 높은 황원소의 검출을 관찰할 수 있었으나 장기적으로 *Thiobacillus novellus*의 성장을 유도하기는 곤란하였다. 반면 황화수소 50ppm의 조건하에서 황산화세균인 *Thiobacillus novellus*를 직접 이식한 시물레이션 시험의 경우, *Thiobacillus novellus*의 비교적 장기적인 개별생장이 관찰되었으며, 항균금속을 첨가한 시험체에서 세포막과 내부 조직이 파괴된 *Thiobacillus novellus*의 개체가 관찰되어 항균금속 성분에 의한 *Thiobacillus novellus*의 성장억제 성능을 실증적으로 검증하는 것이 가능하였다.

---

\* 정희원, 충남대학교, 건설재료·시공학연구실, 박사과정

\*\* 정희원, 충남대학교, 건축학부, 조교수

## 1. 서 론

하수구조물의 다양한 물리화학적 열화요인 이외에 황산화세균(SOB, Sulfur-oxidizing bacteria)과 같은 미생물에 의한 생화학적 부식이 하수구조물 콘크리트의 열화를 가속시키는 원인으로 보고된 이후 하수구조물 콘크리트의 생화학적 부식에 관련한 다방면의 연구가 수행되었으며, 그 결과 황산화세균에 의한 생화학적 부식의 발생 메커니즘은 이론적으로 구명이 가능하였다<sup>1,2)</sup>. 또한 최근 몇몇 연구자들은 황산화세균을 배양하여 인공적인 열화환경을 조성한 시물레이션 시험을 통해 생화학적 부식 특성을 검증하려 하였으며, Maeda 등은 특정 금속성분을 콘크리트에 혼입하여 황산화세균의 성장을 억제시키는 연구를 진행하였다<sup>3)</sup>.

이미 국내에서도 항균금속을 혼입한 콘크리트의 항균성을 검증한 바 있으며, 생화학적 부식을 재현할 수 있는 시물레이션 시험을 구축하고, 그 가능성을 검증한 바 있다<sup>4)</sup>. 이후로 생화학적 부식 시물레이션 시험은 지속적으로 수행되어 왔으며, 본 논문에서는 이러한 연구수행 과정 중 현재까지 구축된 생화학적 부식 시물레이션 시험과 본 시험에서 관찰된 시험조건에 따른 황산화세균의 성장특성 및 항균금속이 혼입된 시험체의 항균성능에 대해 서술하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

생화학적 부식 시물레이션을 위한 장치의 모식도는 그림 1과 같다. 또한 황산화세균의 종류 및 성장조건, 황산화세균의 이식방법, 황산화세균의 최적생장을 위한 전처리 조건 등은 표 1에 나타낸 바와 같다.

시험체는 모르타르(물:시멘트:모래=1:1.67:4(wt))로 제작하였으며, 항균성 시험체 제작을 위한 항균제의 성분 및 물리적 성능은 표 2에 나타낸 바와 같다.

## 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 황화수소 120ppm 조건하에서 세균배양액 침지를 통해 황산화 세균을 이식한 시험체의 외관 및 SEM 측정 결과를 나타낸 것으로, 시험개시 후 4주째부터 외관상 변화가 나타났으며, 표면이 백화와 같은 흰색 반점들이 다량 관

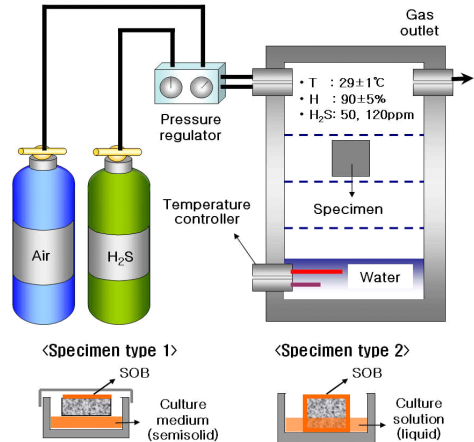


그림 1. 시험장치의 모식도

표 1. 생화학적 부식 시물레이션 시험 조건

Items	Contents
SOB	▪ Thiobacillus novellus
Temperature	▪ 29±1 °C
Humidity	▪ 90±5%
Transplant method of SOB and H <sub>2</sub> S concentration	I ▪ Transplant by submersion in culture solution ▪ 120ppm
	II ▪ Transplant by hygiene swabs ▪ 50ppm
Sterilization	▪ sterilization of all tool by ethyl alcohol ▪ sterilization of specimen by high temperature reheating furnace
Constant temperature & humidity	▪ Constant temperature and humidity by heated water vapor
Carbonation	▪ Carbonation of specimen by carbonation chamber
Coating	▪ Removal of stainless(Ni alloy)'s effect by silicon Coating

표 2. 항균제의 구성성분 및 물리적 성능

Ingredients of antibiotics	Composition rate (%)	Items	Value of measurement
▪ Floussilicate salt (ZnSiF <sub>6</sub> , MgSiF <sub>6</sub> )	5~30	▪ Solid concentration ▪ Specific gravity ▪ External appearance ▪ pH	13 ± 2 % 1.20 ± 0.05 Liquid type with green 3.0 ± 0.5
▪ Soluble silica	20~30		
▪ Nickel compound (Ni)	0.5~10		
▪ Tungsten compound (W)	0.1~5.0		
▪ Diluted solution	25~74.4		

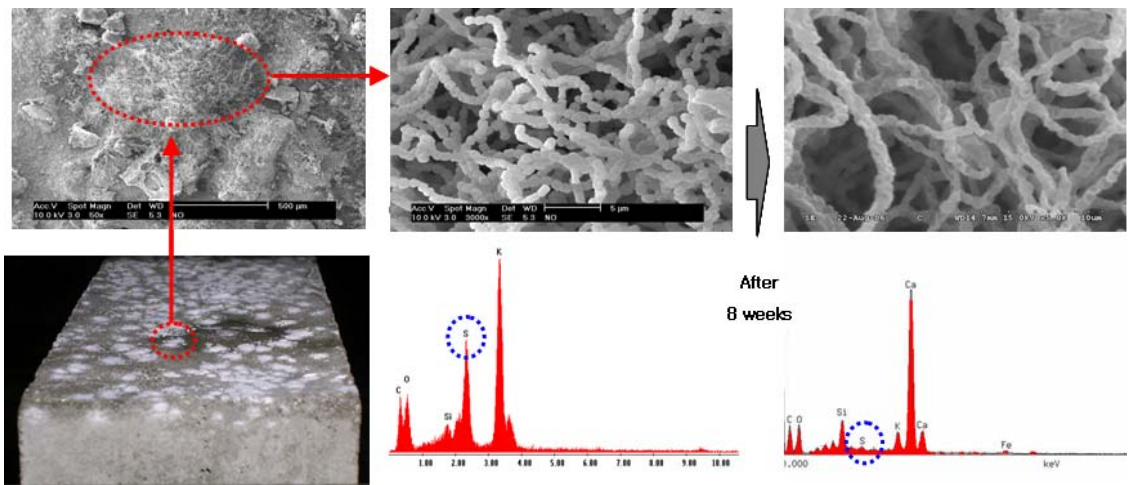
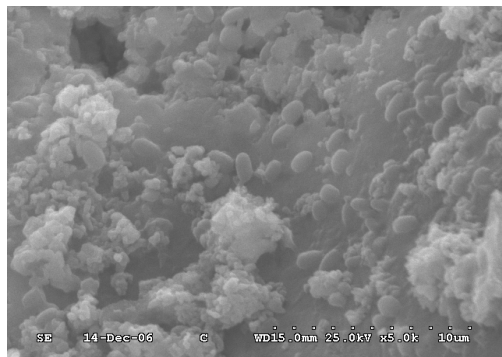
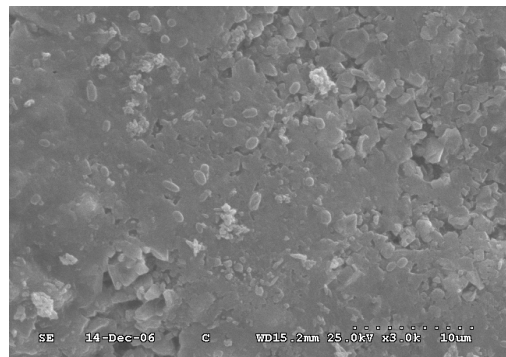


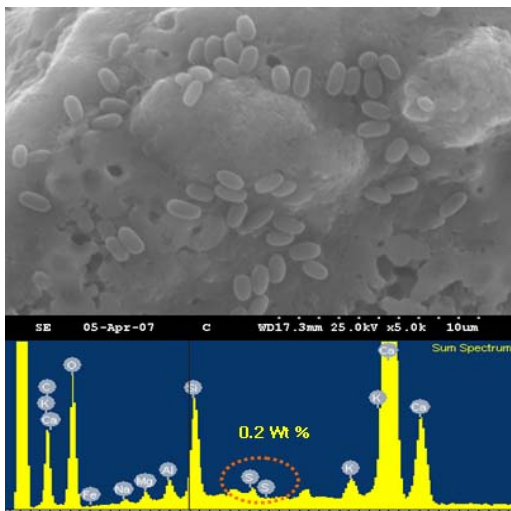
그림 2. 세균배양액 침지를 통해 황산화세균을 이식한 시험체에서의 황산화세균 성장 특성



(a) specimen elapsed 4 weeks

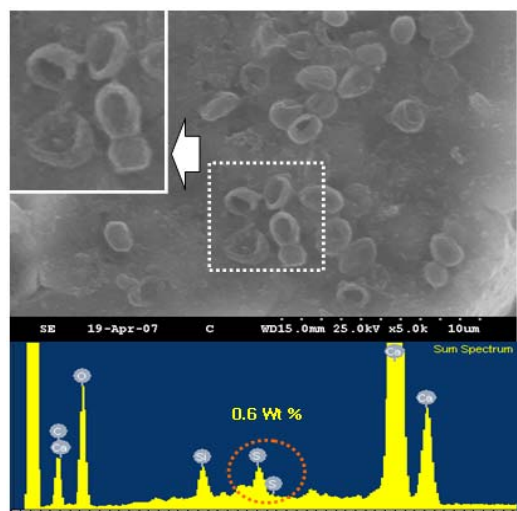


(a) specimen elapsed 4 weeks



(b) specimen elapsed 20 weeks

Fig. 3 일반 시험체의 SEM 및 EDX 측정결과



(b) specimen elapsed 20 weeks

Fig. 4 항균 시험체의 SEM 및 EDX 측정결과

찰되었다. 이를 SEM으로 관찰한 결과, 50배 배율에서는 그물망 형태로 관찰되었으며, 3,000배 배율에서는 황산화 세균이 서로 사슬을 이루어 대단위 군집을 형성하고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 EDX에 의한 원소분석 결과 을 실시한 결과 황산의 발생현상의 지표 원소인 황(S)이 9.8 Wt%의 높은 값을 나타내었다. 반면, 시험개시 후 12주 경과 후에는 황산화 세균의 형태가 매우 압착되어 있었으며, EDX 분석결과에 있어서도 황(S)이 급격히 낮아진 값을 나타내었다.

황화수소 50ppm 조건하에서 직접 이식을 통해 황산화 세균을 이식한 방법의 경우 비교적 장기적인 황산화 세균의 개별생장을 관찰되었고, 항균금속 첨가유무에 따른 황산화세균 성장특성의 차이가 확인되었으며, 그 결과는 그림 3 및 그림 4와 같다.

생화학적 부식 시뮬레이션 시험이 4주 경과한 경우, 항균 시험체는 일반 시험체에 비해 세균의 개체수가 전반적으로 적게 관찰되었으며. 이러한 특성은 시험기간이 증가하여도 같은 경향을 나타내었다. 또한 EDX에 의한 시험체의 표면원소 분석결과 4주까지는 황원소(S)가 검출되지 않았으며, 20주에 있어서는 황원소가 검출되었으나, 검출량이 1.0 Wt% 미만의 소량이 검출되었다.

한편 항균금속이 첨가된 시험체의 경우 시뮬레이션 시험기간이 경과할수록 세포막이 파괴되거나 내부조직이 파괴된 황산화 세균이 다수 관찰되었다. 일반적으로 항균금속의 주요 항균성능 작용 메커니즘을 살펴보면 항균성분에 의해 황산화세균의 피막이 파괴되거나 단백질 조직이 파괴되어 황산화세균의 생장이 억제되는 것이 일반적인 원리이며<sup>5)</sup>, 그림에 나타난 황산화 세균의 피막 및 내부 조직의 파괴상은 시험체에 함유된 항균금속의 항균성능에 의한 결과로 사료된다.

#### 4. 결 론

1) 황화수소 120ppm의 조건하에서 시험체를 세균배양액에 침지시켜 황산화 세균을 간접적으로 이식한 시뮬레이션 시험의 경우, 사슬형태의 대단위 군집을 형성하는 황산화 세균의 급속한 활성화와 높은 황원소의 검출이 가능하였으나 황산화 세균의 지속적인 성장 유도는 곤란하였다.

2) 황화수소 50ppm의 조건하에서 황산화 세균을 직접 이식하여 시뮬레이션 시험을 실시한 경우, 황산화 세균의 장기적인 성장 유도가 가능하였다. 또한 항균금속을 첨가한 시험체의 경우 세포막이 파괴되고 내부 조직의 파괴된 황산화 세균의 개체가 관찰되어 항균금속 성분에 의한 황산화 세균의 성장 억제 성능을 실증적으로 검증하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(R01-2007-000-11142-0)이며, 연구자의 일부는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받은 바, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. C.D. Parker, "The corrosion of concrete 1. The function of Thiobacillus concretivorus nov. spec. in the corrosion of concrete exposed to atmospheres containing hydrogen sulfide", Science, Vol, 23, 1945, pp.91-98
2. K. Middle, W. Sand, E. Bock, Thiobacilli of the corroded concrete wall of the Hamburg sewer system, Journal of General Microbiology. Vol, 129, 1983, pp.1327-133
3. T. Maeda, "A study on the development of antibiotics for concrete corrosion", Doctoral thesis, Okayama University, 1999
4. 김규용, 김무한, 이의배, 조봉석, 길배수, "액상 수밀성 항균제를 사용한 항균 콘크리트의 성능평가에 관한 연구", 콘크리트학회논문집, Vol. 19, No. 1, 2007, pp.113-120
5. T.E. Cloete, "Resistance mechanisms of bacteria to antimicrobial compounds", International Biodegradation & Biodeterioration, Vol. 51, 2003, pp.272-282