# 하수시설에 사용되는 항균 콘크리트용 무기계 액상 항균제의 항균성능

# Antibacterial Performance of Inorganic Liquified Antibiotics for antibacterial Concrete used in Sewage Facilities

김 도 수* 길 배 수** 김 규 용*** 이 승 훈****
Kim, Do Su Khil, Bae Su Kim, Gyu Yong Lee, Seung Hoon

ABSTRACT

This study was performed to evaluate antibacterial performance antibiotics(RCF-95, Antibio-C) which could control biochemical corrosion of concrete used sewage facilities by sulfate oxidizing bacteria. As antibacterial methods, Broth MIC testing was used for investigating controlled growth effect of sulfate oxidizing bacteria. Also, color-changed testing by indicator was used for confirming between $H_2SO_4$ diffusion rate by bacteria and antibiotics.

It confirmed that Antibio-C was superior to RCF-95 in the antibacterial performance and hence anticipated that this developed Antibio-C was enough to replace imported antibiotics from Japan.

## 1. 서론

현대 도시주민의 생활을 지배하는 하수도, 하수처리시설 등 콘크리트 건축물의 부식노화가 현재 국내 각지에서 급속하게 진행되고 있으며, 한 예로서 최근 청계천 복개공사로 드러난 지하하수 콘크리트와 같이 콘크리트 자체 혹은 하수관의 부식이 원인으로 작용하여 콘크리트가 급속히 열화되거나 도로가 함몰되는 예도 보도되어 주민생활에 큰 위험성이 따를 가능성이 있다. 콘크리트 구조물은 반영구적인 것으로 생각되었으나 콘크리트 하수시설 및 하수관은 항상 지하의 습기와 급격한 온도변화에 노출되어 있고 토압, 수압, 활하중 등의 상재하중이 가해지는 상태에 처해있어 지상시설물보다 노화의 진행정도가 빠르며, 특히 노출 환경중에서 황화합물이 다량 존재하는 환경에서 황산을 배출하는 황산화세균(*Thiobacillus*균주)의 생화학적 부식작용으로 내구수명이 매우 단축되게 된다. 이러한 중성화 및 미생물에 의한 생화학적 부식피해의 예로서 서울의 중학천 상류 2km 구간 복개구조 현장조사 결과 콘크리트의 생화학적 부식에 의한 피해로 콘크리트와 철근부식이 천여곳 이상 노출되어 단순한 보수로는 해결되지 않고 근본적인 복원이 필요한 심각한 피해 사례를 보도한 바 있다. 이러한 황산화세균의 생화학적 부식을 억제하기 위해 다양한 항균제의 사용이 제기되고 있으나 특히 일본의 하자마 건설 등에서 개발된 분말형 항균제(RCF-95)가 일본 등지에서는 유력하게 사용되고 있으며, 국내에 일부 도입되고 있는 단계이다. 따라서 본 논문에서는 자체 기술로 액상항균제를 개발하고, 이미 시판되고 있는 일본의 분말항균제와 황산화세균에 대한 항균성능을 비교 평가하여 이의 활용성을 검토하

* 정회원, (주)트라이포드 기술경영이사, 공학박사
** 정회원, (주)트라이포드 대표이사, 공학박사
*** 정회원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소 선임연구원, 공학박사
**** 정회원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소 수석연구원, 공학박사

고자 하였다.

2. 황산화세균에 의한 콘크리트의 생화학적 부식기구

황산에 의한 콘크리트 부식은 밀폐된 관로시설과 탱크내에서 혐기상태의 하수 및 오니(汚泥)중에 황산염환원세균에 의한 황산염($SO_4^{-2}$)으로부터 황화수소가 생성되어 액상으로부터 기체상태로의 황화수소가 확산된다. 확산된 황화수소는 콘크리트 표면의 결로수에 황산화세균의 작용에 의해 황산으로 전환된다. 이와같이 콘크리트 표면에 형성된 황산은 콘크리트 수화물과 반응하여 이수석고 혹은 에트링가이트를 생성시켜 팽창, 균열, 박리 등의 부식현상을 유발한다.

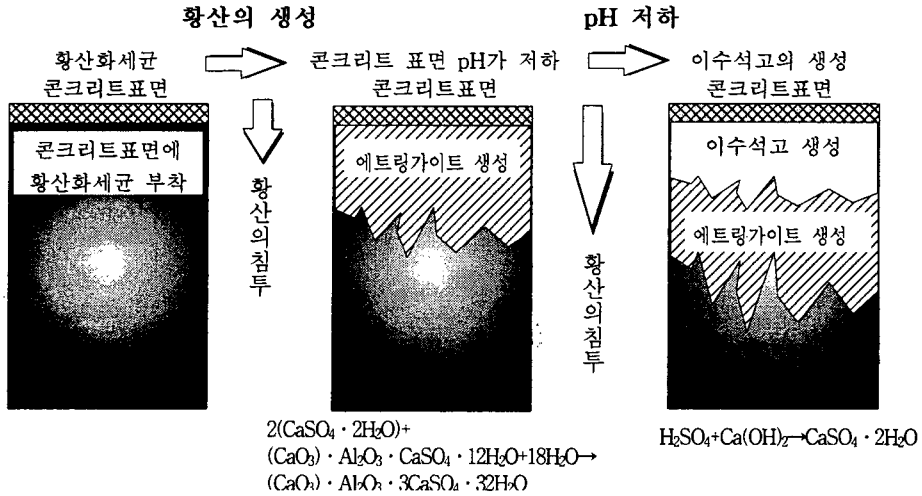



그림 1 황산에 의한 콘크리트의 부식 진행도

또한, 하수도 시설에서 관찰되는 대표적인 황산에 의한 콘크리트의 부식 진행의 개념도는 그림 1과 같으며, 하수도 콘크리트 시설물의 단계별 부식현상을 정리하면 표 1과 같다.

표 1 하수도 콘크리트의 단계별 부식현황

| 단계 | 현상 및 화학적 반응 |
|---|---|
| **1단계**<br>혐기상태 | · 산소공급이 되지 않거나, 침전물 및 슬러지 등이 콘크리트에 부착되는 등에 의해 혐기상태가 되며, 하수중에 포함되어 있는 황산염의 대부분이 황산염환원세균에 의해 황화수소를 발생시킨다. $SO^{2-}_4$ +2C+2$H_2O$ → $H_2S$+2$HCO_3^-$ 황산염환원세균의 환원작용 |
| **2단계**<br>$H_2S$의 확산 | · 하수중에 생성된 황화수소는 산성영역에서 분자 상태의 황화수소로 되어 하수의 흐름에 의해 공기 중에 확산된다. |
| **3단계**<br>$H_2SO_4$의 생성 | · 공기중에 확산된 황화수소는 콘크리트 상부에 결로 및 비말수(飛沫水)에 의해 용해된다.<br>· 용해된 황화수소는 황산화세균의 작용에 의해 황산을 생성한다.<br>$H_2S$ +2$O_2$ → $H_2SO_4$ 황산화세균의 산화작용 |
| **4단계**<br>황산에 의한<br>부식 | · 콘크리트 표면에 생성된 황산은 콘크리트 수화물과 반응하여 이수석고를 생성한다.<br>· 이수석고가 시멘트중의 3CaO · $Al_2O_3$ 와 반응하면 에트링가이트가 생성되면서 콘크리트가 팽창, 균열, 박리 등의 부식현상을 일으킨다. |

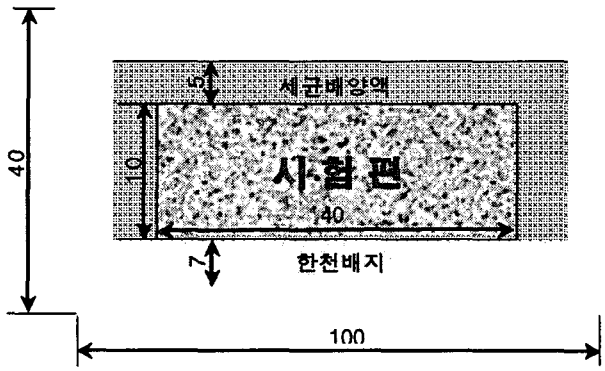
3. 항균성능 평가방법

일본에서 현재 시판되고 있는 분말항균제와 개발된 액상항균제의 특성을 요약하면 표 2와 같다.

표 2 항균제의 특성

| 구 분 | 외관 | 비중 | pH | 성분 |
|---|---|---|---|---|
| 분말항균제(RCF-95) | 회색 분말 | 2.4 | - | 시멘트계 광물, 항균금속 |
| 액상항균제(Antibio-C) | 초록색 액체 | 1.10±0.05 | 3.2 | 단체형 항균화합물, 규불화염, 실리카 |

황산화세균에 대한 항균제의 항균성능은 Broth Microdilution MIC 시험으로 실시하였으며, 시험균주로는 pH 3~7에서 우점을 점하는 *Thiobacillus novellus*(KCTC No. 40157)를 선택하였다. 먼저 *Thiobacillus novellus*를 농도가 $3.75x10^8$/ml이 되도록 0.85% saline에 현탁한 후에 *T. novellus*의 적정배지인 Nutrient agar에 도말하였다. 시험물질의 농도는 각각의 물질 1g을 멸균수 1ml에 현탁시켜서 사용하였다. *Thiobacillus novellus*를 도말한 배지 위에 시험물질 20 ul를 적하하고, 30℃에서 2일간 배양하였다. 배양 후 나타나는 투명환(clear zone)의 직경(mm)을 측정하였고 모든 시험은 3회 반복을 시행하였다. 항균제를 첨가한 콘크리트 시편에 대한 항균성능은 KS 규격[무기 항균제가 첨가된 공시체의 항균효과 시험방법]에 따라 시험균주를 배양한 상태에서 배양액의 색상변화를 관찰하는 비색시험법으로 평가하였다. 시험균주로는 pH 7~10에서 우점을 점하는 *Thiobacillus versutus*(KCTC No. 2846) 및 *T. novellus*을 선택하였다. 항균성능 평가용 시험시편(규격 : 4×4×1cm)은 중성화 처리가 완료된 콘크리트 시험체(규격 : 10×10×10cm)에서 채취한 후 그림 2와 같이 균주가 배양된 시험배양액에 26~30℃에서 접종시켜 4주간 1주 간격으로 색상변화를 관찰하였다. 색상 판독을 위한 지시약으로는 *T. versutus*의 경우 페놀레드(phenol red )를, *T. novellus*에서는 브로모 크레졸 퍼플(bromo cresol purple)을 사용하였다.




- 시험편 : 40 x 40 x 10mm
- 한천배지 : 7mm
- 시험편과 배양접시와의 간격 : 5mm
- 시료 표면으로부터 세균배양액의 높이 : 5mm

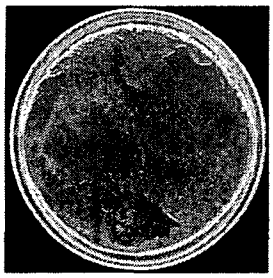
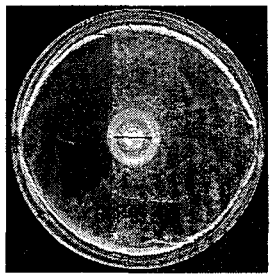
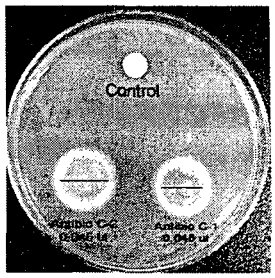
그림 2 시편의 접종상태 및 조건

항균효과의 판정은 *T. versutus*의 황산화작용에 의해 pH가 저하되어 지시약의 변색범위를 넘어서면 초기의 붉은색에서 황색으로의 색상변화가 나타나며, *T. novellus*의 경우 초기의 적자색에서 황색으로의 색상변화가 나타나게 된다. 따라서 동일기간에 초기 색상의 변화가 없는 것은 항균효과가 있는 것으로 판정하며, 황색으로 변색되면 항균효과가 없는 것으로 판정하였다.

4. 항균성능 평가결과

MIC 시험결과 일본에서 시판되는 분말항균제인 RCF-95의 경우 T. novellus가 서식하지 않는 투

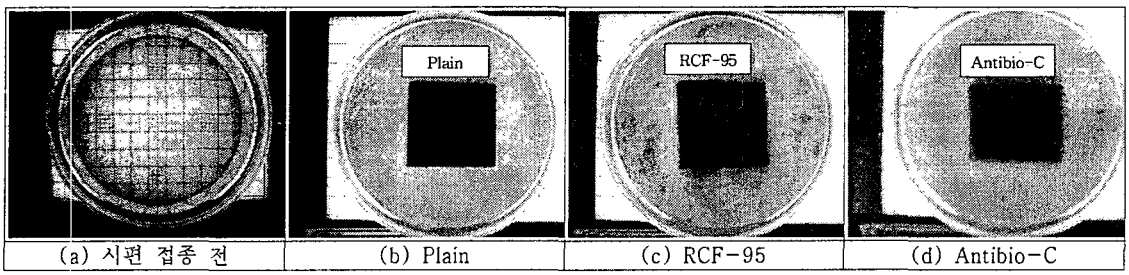
명환의 직경이 13.6mm일 때 적하농도가 20μl인 반면, 동등의 투명환을 얻기 위한 Antibio-C의 적하농도는 0.045μl이었다. 따라서 동일한 농도를 투여할 경우 Antibio-C가 황산화세균의 생장억제에 매우 효과적임을 알 수 있었다.


| (a) Control | RCF-95 (Conc. : 20μl) | Antibio-C (Conc. : 0.045μl) |
|---|---|---|
| | Clear zone dia. : 13.6mm | Clear zone dia. : 14.0~14.5mm |

그림 3 MIC 측정결과

항균제를 함유한 시편에 대한 항균성능을 측정한 결과 *T. novellus*에 접종시킨 경우 그림 4와 같이 항균제를 첨가하지 않은 시편(Plain)에서는 황산화세균의 황산배출 작용으로 pH가 저하되어 초기 색상이 접종 후 1주 이내에 변화되었고, RCF-95를 함유한 시편은 2주간은 초기 색상이 유지되다 4주에 노란색으로 변색되었다. 이와는 달리 Antibio-C는 약간 노란색이 비치기는 하나 대부분 초기 적자색을 유지하여 황산화세균에 의한 황산배출속도를 크게 억제하는 것으로 확인되었다.




| (a) 시편 접종 전 | (b) Plain | (c) RCF-95 | (d) Antibio-C |
|---|---|---|---|

그림 4 *T. novellus*가 4주간 접종된 시편의 비색변화

## 5. 결론

실내시험을 통해 항균제의 황산화세균에 대한 항균성능을 평가한 결과, 개발 액상 항균제가 황산화세균의 생육 및 황산배출 속도를 억제하는 효과에 있어서 일본에서 시판되는 항균제보다 우수한 것으로 확인되었다.

## 참고문헌

1. 항균 콘크리트 제조기술 개발, 삼성물산(주) 건설부문, (주)트라이포드 공동 개발과제 최종보고서, 2004. 12.
2. 방균제 및 방균콘크리트, 일본 방균제 분석자료, 일본 건축연구소, 2002.
3. 日本下水道事業団, 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術および防食技術指針■同マニュアル, 2002年12月
4. 김규용 외, 하수구조물용 항균콘크리트의 개발, KCI 가을학술발표대회논문집, 2004. 11.