

# 항균제를 도포한 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Durability of Concrete Covered with Antibiotics

○이 의 배\*      이 동 혁\*      문 형 재\*      김 재 환\*\*      김 규 용\*\*\*      김 무 한\*\*\*\*  
 Lee, Eui-Bae      Lee, Dong-Heck      Moon, Hyung-Jae      Kim, Jae-Hwan      Kim, Gyu-Yong      Kim, Moo-Han

### Abstract

Recently sewage facilities mainly consisted of concrete structures are being deteriorated seriously by biodeterioration originated from sulfur-oxidizing bacteria. In this study, to prevent biochemical corrosion of the sewer concrete, antibiotics which prevent the growth of sulfur-oxidizing bacteria were developed and antimicrobial performance of it was investigated. After that, to consider applicability of antibiotics to concrete, durability such as resistance to carbonation, salt damage and chemical attack of concrete covered with inorganic and complex antibiotics were investigated.

As a result of this study, it was proved that the antimicrobial performance of antibiotics was available. Also resistance to carbonation, salt damage and chemical attack of concrete covered with inorganic antibiotics was little improved but, in case of complex antibiotics, was remarkably improved. Moisture content of concrete, as a application condition of antibiotics in whole case, have little effect on performance but covering times of antibiotics have effect on performance only in case of complex antibiotics.

키 워 드 : 생화학적 부식, 항균제, 콘크리트, 황산화세균, 내구성

Keywords : Biochemical corrosion, Antibiotics, Concrete, Sulfur-oxidizing bacteria, Durability

## 1. 서 론

주요 재질이 콘크리트로 구성된 하수관거의 내구성을 저해하는 요인은 다종다양하며, 최근에는 황산화세균에 의해 생성되는 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 시멘트 수화물이 반응하여 콘크리트의 열화를 초래하는 생화학적 부식이 주요 원인으로 알려져 있다.<sup>1),2)</sup>

일찍이 선진국에서는 이러한 하수관거의 생화학적 부식에 대한 연구와 더불어 부식방지를 위한 하수관거 설계지침 및 기준을 수립하여 시행하고 있다. 반면 국내의 경우 하수시설 콘크리트의 부식방지에 대한 체계적인 연구가 아직 미미한 실정이며, 최근 정부에서 대규모 하수도 정비사업을 실시하고 있으나 생화학적 부식에 대한 근본적인 대책이 마련되어 있지 않아, 이에 대한 체계적인 연구 및 검토가 필요한 실정이다.<sup>3)</sup>

이러한 배경 하에 본 연구에서는 하수관거 콘크리트의 생화학적 부식을 방지하기 위한 방안의 일환으로 황산화세균의 생장을 억제시킬 수 있도록 개발된 항균제 2종류의 항균성능을 평가한 후, 항균제를 도포한 콘크리트의 내구성능을 실험실중적으로 비교·분석함으로써 하수관거 콘크리트에 대한 항균제의 적용성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

표 1은 무기계 및 유·무기계 복합 항균제를 도포한 콘크리트의 물리적 특성을 검토하기 위한 실험 계획을 나타낸 것으로, 항균제 도포시 표면의 함수상태와 항균제의 도포횟수에 따른 영향성을 검토하기 위해 모체콘크리트의 함수상태를 흡관 및 BOX형 압거 등 신설되는 하수시설의 제작 및 시공조건을 고려하여 기건 및 표건의 2수준, 항균제의 도포횟수를 무도포, 1, 2, 3회의 4수준으로 설정하였다. 또한 측정항목으로는 항균제의 항균성능과 항균제를 도포한 시험체의 중성화, 염해 및 화학저항성을 평가하기 위해 중성화깊이, 염화물이온 침투깊이 및 중량변화율의 3항목을 설정하였다.

표 1. 실험 계획

구분	항균제 종류	모 체 콘크리트 함수상태	항 균 제 도포횟수 (회)	측 정 항 목
I	I.A. <sup>1)</sup>	기 건 표 건	2 (I.A.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 항균성능</li> <li>■ 중성화깊이 (mm)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5% CO<sub>2</sub> 중성화 챔버</li> </ul> </li> <li>■ 염화물이온 침투깊이 (mm)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10% NaCl 수용액 침지</li> </ul> </li> <li>■ 중량변화율 (%)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 수용액 침지</li> </ul> </li> </ul>
			1 (C.A.)	
II	C.A. <sup>2)</sup>	기 건	0, 1	
			2, 3	

주 1) 무기계 항균제  
 2) 유·무기계 복합 항균제

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 조교수·공박

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

표 2. 모체 콘크리트의 배합

W/C (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	S/a (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S	G
55	15±2	4.5±1.5	47	180	317	814	935

표 3. 모체 콘크리트용 사용재료의 기초물성

사용재료	기초 물성
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.15 g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,230 cm <sup>2</sup> /g
굵은골재	퇴촌산 부순자갈 밀도 : 2.65 g/cm <sup>3</sup> , 최대치수 : 20 mm
잔골재	인천산 제염사 밀도 : 2.56 g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 2.9

표 4. 항균제의 주요 성분 및 기초물성

종류	주요 성분	기초 물성
I.A.	■ 규불화염 ■ 실리콘계 발수제 ■ 항균금속 (Ni)	■ 고형분농도 : 25±1 % ■ pH : 2.0±0.5 ■ 비중 : 1.15±0.05
C.A.	■ 아크릴변성실리콘 ■ TEOS ■ 항균금속 (Ni)	■ 고형분농도 : 99% ■ pH : 8-9 ■ 비중 : 1.2± 0.1

2.2 콘크리트 배합 및 사용재료

본 실험에 사용된 모체 콘크리트의 배합은 표 2에 나타난 바와 같으며, 물시멘트비를 하수관거의 가장 일반적인 배합비인 55%로 설정하였다. 또한 표 3은 모체 콘크리트에 사용된 재료를 나타낸 것으로서 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 최대치수 20 mm의 퇴촌산 부순골재, 잔골재는 밀도 2.56 g/cm<sup>3</sup>의 인천산 제염사를 사용하였다.

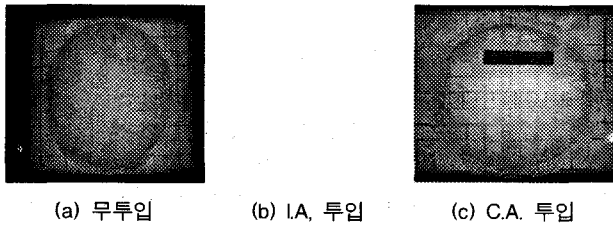


사진 1. 황산화세균(Thiobacillus novellus)에 대한 항균제의 항균성능 평가

본 연구에서 사용한 항균제 중 무기계 항균제는 시멘트수화물의 칼슘성분과 반응하여 불용성의 안정하고 치밀한 결정구조를 생성시키는 규불화염과 황산화세균의 성장을 억제시키는 항균금속인 니켈 및 발수성을 부여하기 위한 실리콘계 발수제를 첨가하여 제조하였다. 또한 유기 복합 항균제는 유기 복합형태인 아크릴변성실리콘 고분자에 반응성 모노머로서 TEOS (Tetraethylorthosilicate)를 혼합시킨 용액에 항균금속으로서 니켈(Ni)을 첨가하여 제조한 것으로, 콘크리트 표면 공극으로 쉽게 침투하여 시멘트수화물과 가교결합반응을 통하여 경화반응이 진행됨과 동시에 기공에서 도막을 형성하는 특성을 갖고 있다.

2.3 시험체 제작 및 양생방법

콘크리트의 비빔은 용량 100 l의 팬타입 믹서를 사용하여

시멘트와 잔골재를 투입한 후 30초간 건비빔을 실시하고 물을 첨가하여 60초간 비빔을 실시하였으며, 소정의 유동성을 확보한 후 굵은골재를 혼입하여 60초간 비빔을 실시하였다. 비빔 완료된 콘크리트는 각 몰드에 타설하고 1일간 실내에서 존치한 후 탈형하여 14일간 20±3 °C의 표준수중양생을 실시하였으며, 이후 모체 콘크리트의 표면함수상태를 조절하고 각 요인 및 수준에 따라 항균제를 도포한 후 재령 28일까지 20±3 °C의 실내에서 기건양생을 실시하였다.

2.4 시험 방법

항균제의 황산화세균에 대한 항균성능은 먼저 배지를 제조하여 페트리 디쉬(Petri dish)에 약 10 ml의 배지를 넣은 후 배양한 황산화 세균을 배지에 고르게 분산시키고 항균제를 0.05 ml 투여하여 약 한달 동안 인큐베이터에 배양시켜 클리어 존(Clear zone)의 생성여부를 관찰함으로써 평가하였다.

한편 중성화깊이, 염화물이온 침투깊이 및 중량변화율을 측정하기 위해 우선 재령 28일된 시험체를 5% CO<sub>2</sub>, 습도 60%의 중성화 촉진시험기, 10% NaCl 수용액 및 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 수용액에 각각 촉진재령 1, 4, 8주간 존치시켰다. 그 후 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이는 시험체를 활렬하여 1% 페놀프탈레인용액과 0.1 N 질산은용액을 각각 분무하고 변색된 지점까지 5개 부위를 측정하여 평균값으로 깊이를 산정하였으며, 중량변화율은 시험체의 열화된 부위를 제거하고 기건중량을 측정하한 후 식 1을 이용하여 산출하였다.

$$S = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots \dots \dots (식 1)$$

여기서, S : 중량변화율 (%)  
 A : 침지전 기건중량 (g)  
 B : 침지후 기건중량 (g)

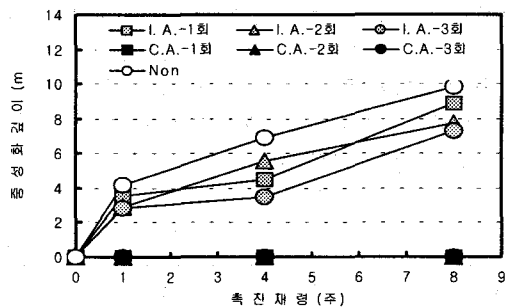
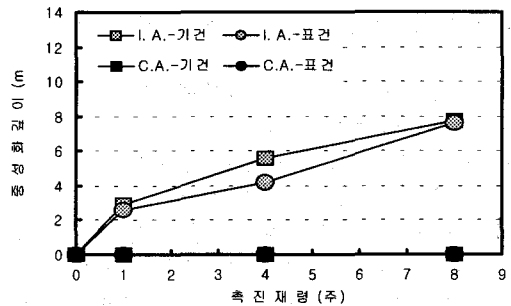


그림 1. 중성화깊이

### 3. 실험결과 및 고찰

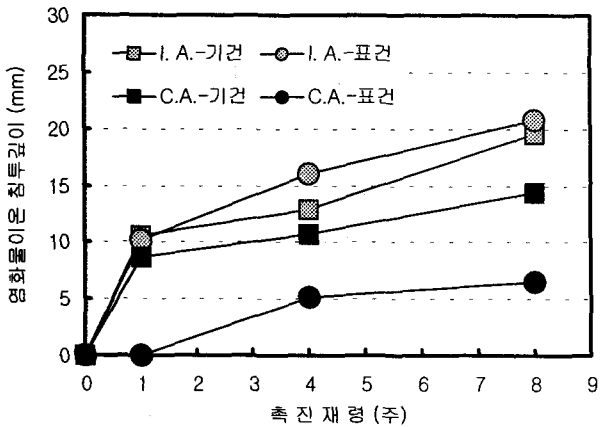
#### 3.1 항균성능

무기계 및 유기무기계 복합 항균제를 황산화세균(Thiobacillus novellus)의 배양액에 투여하여 항균성능을 평가한 결과, 사진 1에 나타난 바와 같이 항균제 무투입의 경우 황산화세균 콜로니(Colony)가 유지되고 있는 반면, 두 항균제의 경우 모두 클리어존(Clear zone)이 뚜렷하게 형성되는 것으로 나타나 항균제의 황산화세균에 항균성능을 실증적으로 검증할 수 있었다.

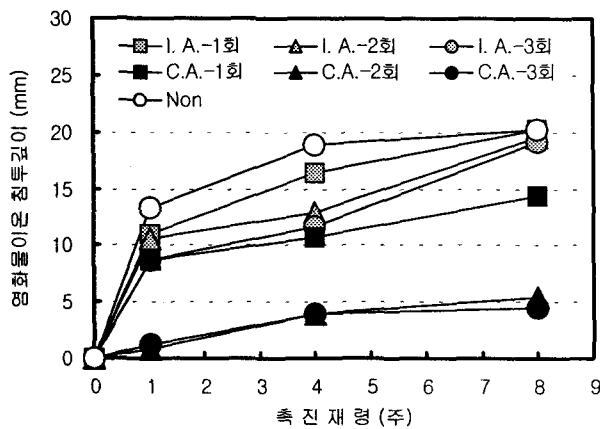
#### 3.2 중성화깊이

그림 1은 모체함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 항균제를 도포한 콘크리트의 축진재령별 중성화깊이를 나타낸 것으로, 모체의 함수상태에 있어서 무기계 항균제의 경우는 기건과 표건 모두 유사한 값으로 증가하고 있는 반면 복합 항균제는 본 실험의 조건하에서 축진 재령 8주까지 중성화깊이가 전혀 나타나지 않았다.

항균제 도포횟수에 있어서는 무기계 항균제의 경우 무도포에 비해 약 1-2mm 정도 낮은 중성화깊이를 보이고 있으며, 복합 항균제의 경우는 축진 재령 8주까지 중성화깊이가 전혀 나타나지 않았다.



(a) 모체 함수상태



(b) 항균제 도포횟수

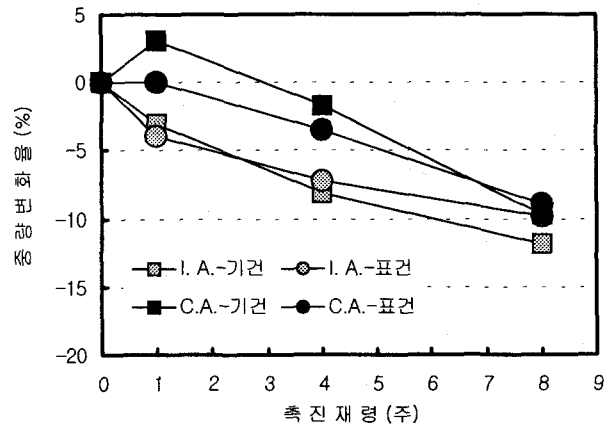
그림 2. 염화물이온 침투깊이

#### 3.3 염화물이온 침투깊이

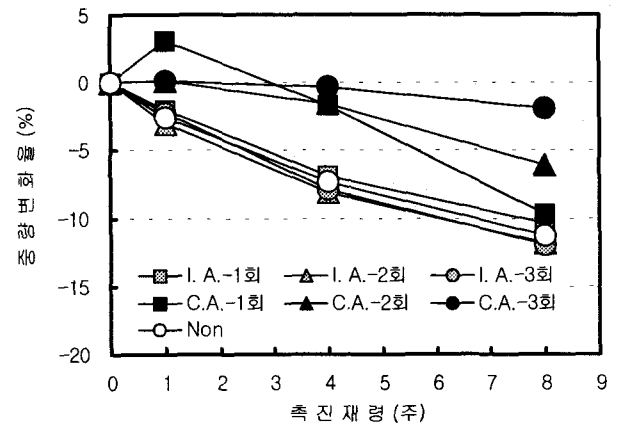
그림 2는 모체함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 항균제를 도포한 콘크리트의 축진재령별 염화물이온 침투깊이를 나타낸 것으로, 모체의 함수상태에 있어서 무기계 항균제의 경우는 기건과 표건 모두 유사하게 축진 재령의 증가에 따라 염화물이온 침투깊이도 증가하고 있다.

반면 유기-무기 복합 항균제의 경우 표건이 기건에 비해 5~8mm 낮은 침투깊이를 보이고 있으며, 전체적으로는 축진재령 8주까지 무기계 항균제보다 약 5~13mm 낮은 침투깊이를 나타내고 있다.

항균제 도포횟수에 있어서 무기계 항균제의 경우는 축진재령 8주에 이르러 도포횟수와 상관없이 무도포의 경우와 유사한 침투깊이를 보이고 있다. 유기무기 복합 항균제의 경우 1회 도포는 축진재령 8주까지 무도포에 비해 약 5mm 낮은 침투깊이를 보이고 있으며, 2회 이상은 무도포에 비해 약 1/4 정도 수준의 낮은 염화물이온 침투깊이를 보이고 있다.



(a) 모체 함수상태



(b) 항균제 도포횟수

그림 3. 중량변화를

#### 3.4 중량변화를

그림 3은 모체함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 항균제를 도포한 콘크리트의 축진재령별 중량변화율을 나타낸 것으로, 모체 함수상태에 있어서 무기계 항균제의 경우 축진 재령 4주까지 기건 및 표건 모두 유사한 중량감소를 보이고 있으며,

8주에는 표진이 기전보다 약 2% 낮은 중량감소를 보이고 있다. 유·무기 복합 항균제의 경우 촉진재령 4주까지 무기계 항균제보다 낮은 중량 변화를 보였으나 8주에 이르러서는 기전 및 표진 모두 무기계와 유사한 수준의 중량감소를 보이고 있다.

항균제 도포횟수에 있어서 무기계 항균제의 경우는 도포횟수 1, 2, 3회 모두 무도포와 유사한 수준으로 중량감소를 보이고 있다. 한편 유·무기 복합 항균제의 경우 도포횟수 1회는 촉진 재령 8주에 이르러 무도포보다 약 2% 낮은 수준까지 중량감소를 보였으며, 도포횟수 2회는 무도포에 비해 약 1/2, 도포횟수 3회는 약 1/5 수준의 낮은 중량변화를 보이고 있다.

#### 4. 결 론

무기계 항균제 및 유·무기 복합 항균제의 항균성능 및 이를 도포한 하수시설용 콘크리트의 내구성능을 실험·실증적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 무기계 및 유·무기 복합 항균제의 항균성능을 평가한 결과, 황산화세균에 대한 생장억제 성능이 두 항균제 모두 유효한 것으로 나타났다.
- 2) 중성화깊이 측정결과, 유·무기 복합 항균제의 경우 본 시험 조건 내에서는 전혀 중성화가 진행되지 않은 것으로 나타난 반면, 무기계 항균제의 경우 촉진 재령에 따라 중성화깊이의 증가를 보였으며, 모체의 함수상태 및 항균제 도포횟수에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다.
- 3) 염화물이온 침투깊이에 있어서 유·무기 복합 항균제의 경우 무도포 및 무기계 항균제의 약 75-25% 수준을 보여 우수한 염해 저항성을 나타내었으며, 특히 항균제 도포횟수 증가에 의한 염해 저항성의 향상이 뚜렷하게 나타났다.
- 4) 무기계 항균제를 도포한 경우 도포횟수에 무관하게 무도포의 경우와 유사한 중량변화를 보이고 있는 반면 유·무기 복합 항균제의 경우 도포횟수 증가에 의해 무도포의 20~50% 수준까지 감소시켜 우수한 화학저항성을 나타내었으며, 두 항균제 모두 모체콘크리트 함수상태에 따른 유의할 만한 경향은 나타나지 않았다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 차세대 핵심환경기술개발사업인 「도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템 및 실용화 기술 개발」에 관한 일련의 연구결과로 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 하수관거의 부식에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1994
2. 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, 日本下水道事業團, 2002
3. 송호면, 콘크리트 하수관의 생·화학적 부식특성에 관한 연구, 박사학위논문, 2000. 2
4. 김무한, 액상 무기질 항균제를 도포한 콘크리트의 경화성상 및 내구특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 21권 5호, pp. 97-104, 2005. 5
5. 김무한, 액상 무기질 항균제를 도포한 하수시설 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 24권 2호, pp. 491-494. 2004. 10