

무기계 항균제 및 유·무기계 복합 항균제를 도포한 하수시설 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fundamental Properties of Sewage Concrete Covered with Inorganic and Complex Antibiotics

이의배* 이동혁* 나철성** 길배수*** 김규용**** 김무한*****
Lee, Eui-Bae Lee, Dong-Heck Na, Chul-Sung Khil, Bae-Su 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 growth of sulfur-oxidizing bacteria were developed and antimicrobial performance of it was investigated. After that, to consider applicability of antibiotics to concrete, physical properties such as bond strength, resistance to abrasion, water absorption and air permeability of concrete covered with inorganic and complex antibiotics were investigated.

1. 서론

주요 재질이 콘크리트로 구성된 하수관거의 내구성을 저해하는 요인은 무수히 많으며, 최근에는 황산화세균에 의해 생성되는 황산(H_2SO_4)과 시멘트 수화물이 반응하여 콘크리트의 열화를 초래하는 생화학적 부식이 주요 원인으로 알려져 있다.¹⁾²⁾

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.³⁾

이러한 배경 하에 본 연구에서는 하수관거 콘크리트의 생화학적 부식을 방지하기 위한 방안의 일환으로 황산화세균의 생장을 억제시킬 수 있도록 개발된 항균제 2종류의 항균성능을 평가한 후, 하수관거 콘크리트에 대한 적용성을 검토하기 위해 항균제를 도포한 콘크리트의 기초물성을 실험·실증적으로 비교·분석하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

표 1은 무기계 및 유·무기계 복합 항균제를 도포한 콘크리트의 기초물성을 검토하기 위한 실험 계획을 나타낸 것으로, 항균제 도포시 표면의 함수상태와 항균제의 도포횟수에 따른 영향성을 검토하기 위

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정
** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정
*** 정회원, (주) 트라이포드 대표이사, 공학박사
**** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 조교수·공학박사
***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사

해 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 항균성과 부착강도, 마모감소량, 흡수계수, 투기계수의 4항목을 설정하였다.

2.2. 콘크리트의 배합 및 사용재료

본 실험에 사용된 모체 콘크리트의 배합은 표 2에 나타낸 바와 같으며, 물시멘트비를 하수관거의 가장 일반적인 배합비인 55%로 설정하였다. 또한 표 3은 모체콘크리트에 사용된 재료를 나타낸 것으로서 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.65 g/cm³, 최대치수 20 mm의 퇴촌산 부순골재, 잔골재는 밀도 2.56 g/cm³의 인천산 제염사를 사용하였다.

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 유·무기 복합 항균제는 유·무기 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 기중에서 도막을 형성하는 특성을 갖고 있다.

2.3. 시험체 제작 및 양생방법

콘크리트의 비빔은 용량 100ℓ의 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 ℃의 표준수중양생을 실시하였으며, 이후 모체콘크리트의 표면함수상태를 조절하고 각 요인 및 수준에 따라 항균제를 도포한 후 재령 28일까지 20±3 ℃의 실내에서 기건양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 항균성능

무기계 및 유·무기계 복합 항균제를 황산화세균(*Thiobacillus novellus*)의 배양액에 투여하여 항균성능을 평가한 결과, 사진 1에 나타낸 바와 같이 두 항균제 모두 클리어존(Clear zone)이 뚜렷하게 형성되는 것으로 나타나 항균제의 황산화세균에 항균성능을 실증적으로 검증할 수 있었다.

표 1 실험 계획

구분	항균제 종류	모체 콘크리트 함수상태	항균제 도포횟수 (회)	측정 항목
I	I.A. ¹⁾ C.A. ²⁾	기건 표건	2 (I.A.) 1 (C.A.)	<ul style="list-style-type: none"> 항균제의 항균성능 부착강도 (MPa) 마모감소량 (mg) 흡수계수 (kg/m²·h^{0.5}) 투기계수 (cm/sec)
			기건	

주 1) 무기계 항균제
2) 유·무기 복합 항균제

표 2 모체 콘크리트의 배합

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

표 3 모체 콘크리트용 사용재료의 기초물성

사용재료	기 초 물 성
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.15 g/cm ³ , 분말도 : 3,230 cm ² /g
굵은골재	퇴촌산 부순자갈 밀도 : 2.65 g/cm ³ , 최대치수 : 20 mm
잔골재	인천산 제염사 밀도 : 2.56 g/cm ³ , 조립율 : 2.9

표 4 항균제의 주요 성분 및 기초물성

종류	주요 성분	기 초 물 성
I.A.	<ul style="list-style-type: none"> 규불화염 실리콘계 발수제 항균금속 (Ni) 	<ul style="list-style-type: none"> 고형분농도 : 25±1 % pH : 2.0±0.5 비중 : 1.15±0.05
C.A.	<ul style="list-style-type: none"> 아크릴변성실리콘 TEOS 항균금속 (Ni) 	<ul style="list-style-type: none"> 고형분농도 : 99% pH : 8~9 비중 : 1.2± 0.1

3.2 부착강도

그림 1은 모체콘크리트의 함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 부착강도의 측정결과를 나타낸 것으로, 모체의 함수상태가 기건일 경우 부착강도는 무기계 2.64MPa, 유·무기계 1.70MPa, 표건일 경우 무기계 3.12MPa, 유·무기계 1.64MPa로 나타나 무기계가 유·무기계보다 1~1.5MPa 높은 부착강도를 보이고 있다. 항균제 도포횟수에 있어서도 무기계는 2.31~2.92MPa, 유·무기계는 1.70~1.83MPa로서 무기계의 경우가 다소 높은 부착강도를 나타내고 있다.

한편 무기계 항균제의 도포횟수가 증가함에 따라 부착강도는 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 이는 미반응된 항균제 성분이 콘크리트 표면에 잔류·누적되어 모체와의 부착을 저해했기 때문인 것으로 사료된다. 또한 유·무기계의 경우 낮은 부착강도를 보이고 있으며, 이는 항균제 도막 자체 또는 도막과 콘크리트 표면과의 계면에서 탈락이 발생하였기 때문으로 사료된다.

3.3 마모감소량

그림 2는 모체콘크리트의 함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 마모감소량의 측정결과를 나타낸 것으로, 모체의 함수상태가 기건일 경우 마모감소량은 무기계 96mg, 유·무기계 27mg, 표건일 경우 무기계 48mg, 유·무기계 23mg으로 나타나 유·무기계가 무기계에 비해 1/2~1/3 낮은 마모감소량을 보이고 있으며, 이는 무기계의 경우 표면에 잔류된 성분이 마모되어 값이 크게 나온 반면 유·무기계는 마찰이 적은 탄성도막층 형성에 의해 마모저항성이 향상된 것으로 사료된다.

또한 항균제 도포횟수가 증가함에 따라 무기계의 경우 무도포보다 30~50mg 높은 마모감소량을 보이고 있는 반면 유·무기계의 경우 도포횟수가 2회 이상이면 무도포에 비해 1/5수준으로 나타나 유·무기계 항균제 도포에 의해 마모저항성이 대폭 향상되는 것으로 나타났다.

3.4 흡수계수

그림 3은 모체콘크리트의 함수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 흡수계수의 측정결과를 나타낸 것으로, 모체의 함수상태가 기건, 표건일 때 무기계의 경우 각각 0.17, 0.15mg/m²h^{0.5}, 유·무기계의 경우 0.06, 0.03mg/m²h^{0.5}로 나타나 유·무기계가 무기계에 비해 1/3 낮은 흡수계수를 보이고 있으며, 표건의 경우가 기건에 비해 다소 낮은 흡수계수를 보이고 있다.

또한 항균제 도포횟수에 있어서는 무기계의 경우

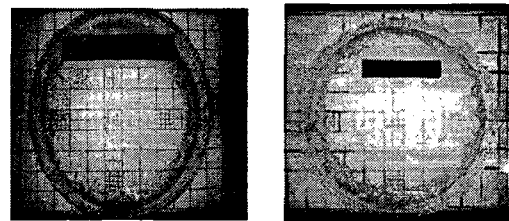


사진 1 황산화세균(Thiobacillus novellus)에 대한 항균제의 항균성능 평가

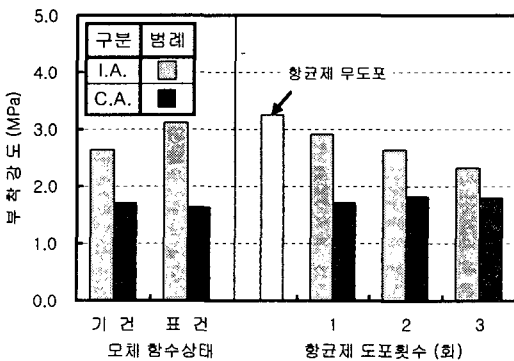


그림 1 부착강도

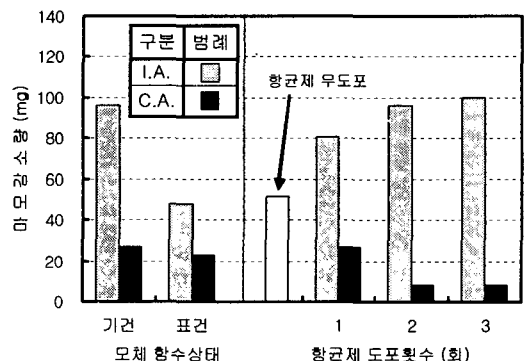


그림 2 마모감소량

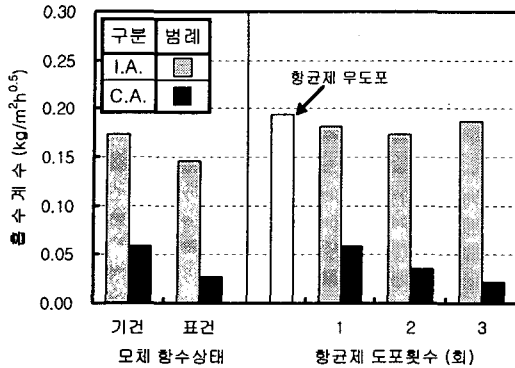


그림 3 흡수계수

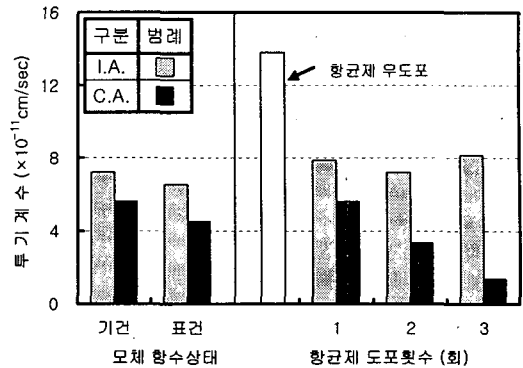


그림 4 투기계수

도포횟수의 증가에 무관하게 $0.17 \sim 0.18 \text{ mg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$ 의 유사한 수준을 보이고 있는 반면 유·무기계의 경우 도포횟수의 증가에 따라 흡수계수는 낮아지고 있으며, 무도포에 비해 1/4~1/10 낮은 수준을 보이고 있다.

3.5 투기계수

그림 4는 모체콘크리트의 흡수상태 및 항균제 도포횟수에 따른 투기계수의 측정결과를 나타낸 것으로, 모체의 흡수상태가 기건, 표건일 때 무기계의 경우 각각 $7.2, 6.5 \times 10^{-11} \text{ cm/sec}$ 로 나타났으며, 유·무기계의 경우 $5.6, 4.5 \times 10^{-11} \text{ cm/sec}$ 로 나타나 유·무기계가 다소 낮은 흡수계수를 보이고 있으며, 표건의 경우가 기건에 비해 다소 낮은 흡수계수를 보이고 있다.

항균제 도포횟수에 있어서는 무기계의 경우 도포횟수의 증가에 무관하게 $7.2 \sim 8.1 \times 10^{-11} \text{ cm/sec}$ 의 유사한 수준을 보이고 있는 반면 유·무기계의 경우 $5.6 \sim 1.4 \times 10^{-11} \text{ cm/sec}$ 의 수준으로 도포횟수가 증가함에 따라 투기계수는 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 무도포에 비해 1/3~1/12 낮은 수준을 보이고 있다.

4. 결론

무기계 항균제 및 유·무기 복합 항균제를 도포한 하수시설용 콘크리트의 기초물성을 실험·실증적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 무기계 및 유·무기계 복합 항균제의 항균성능을 평가한 결과, 황산화세균에 대한 생장억제 성능이 두 항균제 모두 유효한 것으로 나타났다.
- 2) 유·무기계 복합 항균제를 도포한 경우, 무기계 항균제를 도포한 경우에 비해 부착성능은 다소 낮게 나타났으나, 마모저항성, 흡수 및 투기저항성은 대폭 향상되는 것으로 나타났다.
- 3) 항균제 도포시 콘크리트의 흡수상태는 표건으로 조정하는 것이 유리하며, 유·무기 복합 항균제의 경우 도포횟수가 증가함에 따라 성능이 대폭 향상되는 것으로 나타났다.

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.

참고문헌

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