

하수구조물용 항균콘크리트의 개발 및 현장적용

Development of Antimicrobial Concrete for Sewage Structures and Application to Construction Field

김 무 한* 김 규 용** 이 의 배*** 이 승 훈**** 손 유 신*****
Kim, Moo-Han Kim, Gyu-Yong Lee, Eui-Bae Lee, Seung-Hoon Sohn, Yu-Shin

Abstract

Sewage facilities are positively necessary for environment improvement such as rainwater removal, sewage disposal, preservation of the quality of water and health of the citizens in present-day. Meanwhile, a deterioration of the concrete sewer pipe is increasing rapidly due to the chemical and physical attack and especially biochemical attack that is to say biodeterioration.

In this study, researches for the development of antibiotics and antimicrobial concrete were conducted to reduce biochemical corrosion of sewage concrete. First of all, desired performance, such as watertightness, antibiosis, homogeneity, workability and harmlessness, was proposed and performance of antibiotics and antimicrobial concrete were evaluated by them. And developed antimicrobial concrete was applied to actual construction field.

As results of this study, dispersibility and antibiosis of liquid antibiotics superior to powdery antibiotics. Antibiosis of antimicrobial concrete was verified, and amount of elution of harmful and effective ingredients was little. In workability, setting time of antimicrobial concrete was delayed. Compressive strength and resistance to carbonation of antimicrobial concrete were more increased than ordinary concrete. Finally, as there were no problems in quality and construction progress of antimicrobial concrete produced in plant, applicability of antimicrobial concrete to actual construction field was verified.

키 워 드 : 하수구조물, 항균콘크리트, 현장적용, 생화학적 부식, 항균제

Keywords : Sewage structures, Antimicrobial concrete, Application to construction field, Biochemical corrosion, Antibiotics

1. 서 론

국민의 환경권 보장에 있어서 필수불가결한 사회기반시설인 하수시설은 주로 콘크리트로 이루어져 있으며, 이러한 콘크리트 하수시설은 높은 습도, 다종의 가스 및 침식성 물질이 다량 포함된 하수가 상재하고 있을 뿐만 아니라 토압, 활하중 등이 항상 가해지고 있기 때문에 지상의 타 콘크리트구조물에 비해 열화의 진행도가 빠르다.¹⁾

특히 최근에는 황산화세균(Thiobacillus속 균주) 등과 같은 미생물의 신진대사 작용으로 생성된 황산 등의 부식인자에 의한 생화학적 부식은 콘크리트 하수시설의 열화를 가속화시키는 주요 원인으로 대두되고 있다.^{2,3)}

일본의 경우 생화학적 부식을 저감시키기 위한 방안으로서, 前田 등이 니켈을 주성분으로 하는 분말형의 방균제 및 방균콘크리트 개발에 관한 연구를 진행하였으며, 현재에는 방균제 및 방균콘크리트가 제품으로서 실용화되고 있다.^{3,4)}

국내에서도 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 대한 열화사례가 보고된 바 있으며, 이에 대한 대책으로서 2004년도

KS F 4403 「원심력 철근 콘크리트관」에 항균제 및 항균콘크리트관에 대한 규격 및 시험방법을 추가하였으나, 항균제 및 항균콘크리트에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다.⁵⁾

이에 본 연구에서는 하수구조물용 항균콘크리트로서 필요한 요구성능을 살펴본 뒤, 이를 만족할 수 있는 항균제 및 항균콘크리트의 개발과 개발된 항균콘크리트의 실제 하수구조물에 대한 적용 일례를 제시함으로써 항균콘크리트의 구조체 적용에 관한 기초 연구자료를 제시하고자 한다.

2. 항균콘크리트의 요구성능

그림 1은 하수시설 콘크리트의 황산화세균에 의한 생화학적 부식 메커니즘의 모식도를 나타낸 것으로서, 1차적으로 하수시설의 하수층 하부에 퇴적되어 있는 슬러지 층에 생존하는 혐기성 미생물이 유기물을 분해하여 유기산을 섭취하는 과정 중 황화수소(H_2S)를 생성하게 된다. 생성된 황화수소는 기층부로 상승이동하게 되고, 콘크리트 면에 서식하는 호기성 미생물인 황산화세균에 의해 황산(H_2SO_4)으로 전환된다.

생성된 황산은 콘크리트의 시멘트수화물과 화학반응을 일으켜 이수석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 및 에트링가이트(Ettringate, $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 생성시켜 시멘트수화물의 조직와해, 콘크리

* 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과, 교수·공박

** 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과, 조교수·공박

*** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

**** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소, 수석연구원

***** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소, 전임연구원

트리의 박리·박락, 철근의 노출 및 부식을 유발시켜 최종적으로 하수시설 콘크리트의 내하력 저하 및 붕괴에까지 이르게 된다.

한편 신설된 하수구조물의 경우 초기 콘크리트의 높은 pH에 의해 황산화세균의 생장이 억제된다. 그러나 경과연수가 증가함에 따라 CO₂를 비롯한 각종 열화요인에 의한 콘크리트의 중성화가 진전됨에 따라 콘크리트의 pH가 저하되고 황산화세균의 서식이 증가하게 된다. 이후 각종 열화요인에 의한 영향과 생화학적 부식이 복합적으로 작용하면서 하수시설 콘크리트의 열화진행이 가속화 된다.

이와 같은 생화학적 부식에 대응하기 위한 하수구조물용 항균콘크리트의 요구성능으로는 표 1에 나타낸 바와 같이 기본적인 압축강도 이외에 각종 열화요인의 침투에 저항할 수 있는 수밀성이 요구되며, 황산화세균의 성장을 억제시킬 수 있는 항균성과 항균성분 등이 고르게 분포되는 균질성이 요구된다. 또한 유해물질의 용출과 관련된 무해성과 건설현장에 적용될 수 있는 기본적 시공성 등이 요구된다.

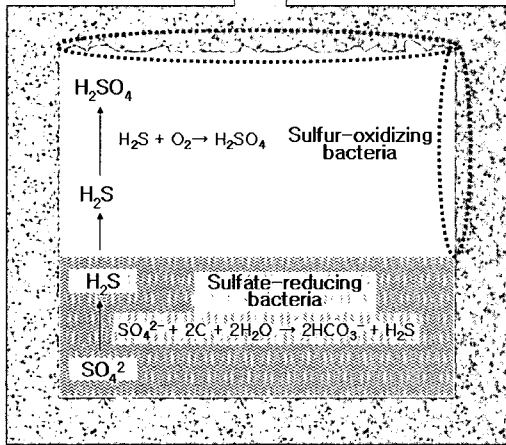
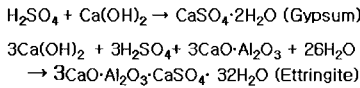


그림 1. 생화학적 부식의 메커니즘

표 1. 하수구조물용 항균콘크리트의 요구성능

항 목	개 요
수밀성	각종 열화요인에 대한 침투저항성
항균성능	황산화세균의 생육 억제
균질성	항균제 유효성분의 고른 분산성능
무해성	항균콘크리트의 유효성분 및 유해성분 용출저항성
시공성	슬럼프, 공기량, 응결시간 등

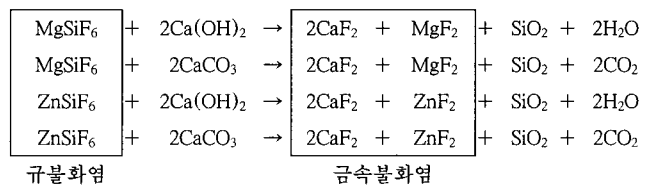
3. 항균콘크리트의 개발

3.1 액상 항균제의 개요

황산화세균에 의한 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식을 방지하기 위해 개발된 기존 항균제의 경우 주요성분으로 은 (Ag), 동(Cu), 니켈(Ni), 텅스텐(W) 등을 사용하였으며, 기존 연구결과 항균콘크리트 제조시 콘크리트 물성에 영향을 미치지 않고 항균성능을 발휘하는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이들 항균제는 상온에서 분말형태로 제조되기 때문에 콘크리

트 내에서 분산성능이 저하되며 레미콘 생산에 있어 개량의 문제점으로 인한 적용의 불합리성이 문제점으로 제기되었고, 분산성능의 개선을 위해 다공질의 제올라이트(Zeolite) 등의 추가 재료를 사용하였으나 경제성이 저하되는 단점이 지적되었다.

반면 본 연구에서 개발한 항균제의 주요성분은 규불화염, 가용성실리카, 니켈 및 텅스텐 화합물이며 액상으로 제조된다. 이 중 규불화염(ZnSiF₆, MgSiF₆)은 아래의 반응식과 같이 콘크리트의 성분과 반응하여 불용성의 안정하고 치밀한 결정구조를 갖는 플루오르화칼슘(CaF₂)과 플루오르화마그네슘(MgF₂) 등을 생성시킴으로써 콘크리트의 강도, 수밀성 및 내약품성을 향상시킬 뿐만 아니라 수화발열속도를 저감시켜 수축에 의한 균열발생을 억제시키는 효과를 갖는다.



또한 가용성실리카는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 포졸란반응을 하여 C-S-H 겔을 촉진시킴으로써 콘크리트의 수밀성을 증대시키며, 니켈(Ni) 및 텅스텐(W) 화합물은 황산화세균의 생육을 억제시킴으로써 항균성능을 발휘한다.

더욱이 액상으로 제조되기 때문에 기존 분말형에 비해 콘크리트 내에서의 분산성능이 우수하며 레미콘 생산에 적용이 유리한 이점을 갖고 있다.

표 2. 항균제의 주요 성분 및 구성

주요 성분	구성비 (%)
■ 규불화염 (ZnSiF ₆ , MgSiF ₆)	5 ~ 30
■ 가용성 실리카	20 ~ 30
■ 니켈 분말	0.5 ~ 10
■ 텅스텐 분말	0.1 ~ 5
■ 희석액	25 ~ 74.4

표 3. 항균제의 물리적 성질

항 목	측 정 값
■ 고용분 농도	13 ± 2 %
■ 비중	1.20 ± 0.05
■ 외관 형태	초록계열의 액상형태
■ pH	3.0 ± 0.5

표 4. 실험계획

구분	평가 항목	평가 방법
항균제 ¹⁾	■ 분산성능	■ EPMA 면분석
	■ 항균성능	■ Broth Microdilution MIC 시험
항균 콘크리트	■ 항균성능	■ 비색시험법
	■ 유해물질 용출성	■ ICP분석
	■ 시공성	■ 공기량 ■ 슬럼프 ■ 응결시간
	■ 수밀성	■ 압축강도 ■ 중성화저항성

주 1) 액상 항균제의 분산성능 및 항균성능을 평가하기 위해 기존 분말형 항균제 1종과 비교

항균제의 화학적 성분은 표 2에 나타낸 바와 같이 수밀성분으로서 규불화염과 가용성 실리카가 사용되었으며 항균성분으로 니켈 및 텅스텐 화합물이 사용되었다.

또한, 항균제의 물리적 성질은 표 3에 나타낸 바와 같다. 단, 규불화염 내에 포함된 마그네슘(Mg)과 아연(Zn)은 표준전극 전위가 낮기 때문에 철(Fe)보다 이온화되는 경향이 높다. 즉, 이와 같은 마그네슘과 아연의 희생양극효과(Sacrificial anode effect)와 철근표면에 생성되는 $FeF_2 \cdot SiO_2$ 층에 의해 낮은 pH에도 불구하고 철근부식을 방지할 수 있다.

표 5. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트, 밀도 : 3.15 g/cm ³
굵은골재	부순골재 밀도 : 2.62 g/cm ³ , 최대크기 : 20 mm
잔골재	해사 밀도 : 2.58 g/cm ³ , 조립율 : 2.84
고성능감수제	나프탈렌계

3.2 액상 항균제 및 항균콘크리트의 성능평가

3.2.1 실험계획

표 4는 항균제 및 항균콘크리트의 성능을 평가하기 위한 실험계획을 나타낸 것으로, 우선 액상 항균제의 분산성능 및 항균성능을 평가하기 위해 기존의 분말형 항균제 1종과 비교평가를 실시하였으며, 평가방법으로는 EPMA 면분석과 Broth Microdilution MIC 시험을 실시하였다.

액상 항균제를 사용한 항균콘크리트의 항균성능을 평가하기 위해서는 비색시험법을 사용하였으며, 중금속 용출여부를 평가를 위해 한국폐기물공정시험방법에 준한 시험을 실시하였다. 또한 항균콘크리트의 시공성을 평가하기 위해 공기량, 슬럼프 및 응결시간을 측정하였으며, 수밀성을 평가하기 위해 압축강도, 중성화를 측정하였다.

3.2.2 사용재료 및 배합

표 5는 항균콘크리트의 구성재료에 대한 물리적 성질을 나타낸 것으로서 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.62 g/cm³, 최대치수 20mm의 부순골재, 잔골재는 밀도 2.58 g/cm³의 해사를 사용하였으며, 혼화재료로는 밀도 2.20 g/cm³의 플라이애시와 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였다. 또한 항균제는 액상형으로서 pH 3~4, 밀도 1.20 ± 0.05 g/cm³의 물리적 특성을 갖고 있다.

본 연구를 위한 실험 배합은 표 6에 나타낸 바와 같이 물시멘트비 50%, 잔골재율 45%, 공기량 4.5 ± 1.5%, 슬럼프를 18 ± 1cm

로 설정하였으며, 액상 항균제의 분산성능을 평가하기 위해 기존의 분말형 항균제를 사용한 배합을 1수준씩 추가하였다.

3.2.3 시험방법

항균제의 항균성능을 측정하기 위해 먼저 황산화세균의 일종인 Thiobacillus novellus를 농도가 3.75 × 10⁸/ml이 되도록 0.85% saline에 현탁한 후에 T. novellus의 적정배지인 Nutrient agar에 도말하였다. 이후 배지 위에 시험물질 20 ul를 적하하고, 30℃에서 2일간 배양하여 투명환(clear zone)의 직경(mm)을 측정함으로써 항균성능을 평가하였다.

또한 항균콘크리트의 항균성능에 대한 평가는 KS F 4403 「원심력 철근 콘크리트관」의 부속서에 수록된 [무기항균제가 첨가된 공시체의 항균효과 시험방법]에 준하여 40×40×10mm의 항균콘크리트 시험체를 시험용주 배양액에 4주간 침지한 후 배양액의 색상변화를 통해 항균성능을 평가하는 비색시험법을 실시하였다.

항균콘크리트의 유해물질 용출성 평가는 한국폐기물공정시험법(KSLT)에 준하여 시험체중 중금속 및 유효성분의 용출성을 평가하였다. 먼저 시험체를 파쇄한 후 고형분/물=1/10의 조건의 혼합물에 염산을 사용하여 pH= 5.8~6.3으로 조정된 상태에서 진탕기(shaker)로 15~25℃에서 6시간 진탕한 후 여액을 채취하여 시험대상액으로 하였다. 중금속 및 유효성분의 용출특성은 ICP-MASS (Thermo Elemental IRIS DUO)를 사용하여 측정하였으며, 중금속으로는 Cu, Pb, Sn, Cr을 대상으로 하였으며, 항균제가 첨가되었을 때를 고려하여 유효성분으로는 Ni, Mg, Zn을 대상으로 하였다.

항균제의 분산성능은 EPMA(Electron Probe Micro-Analyzer SX-50, CAMACA) 면분석을 통해 고찰하였고, 항균콘크리트의 공기량, 슬럼프, 응결시간 및 압축강도는 각각 KS에 준해 측정하였으며, 중성화저항성은 5% CO₂, 습도 60%의 중성화 촉진시험을 통해 고찰하였다.

3.2.4 실험결과

1) 항균제의 분산성능 및 항균성능

그림 2는 동일 혼합조건하에서 액상 항균제와 기존 분말형 항균제를 사용한 콘크리트의 EPMA 면분석 결과를 나타낸 것으로서, 분말형 항균제를 첨가한 경우 콘크리트 미세구조 중에 항균성분이 응집된 상태가 관찰된 반면, 액상 항균제를 첨가한 시험체의 경우 시험체면 전체에 항균성분이 균일하게 분포됨을 알 수 있었다. 따라서 항균 콘크리트 제조시 균일한 항균성능을 위해서는 액상형 항균제가 유리할 것으로 판단된다.

표 6 실험 배합

구분	W/C(%)	s/a(%)	공기량(%)	슬럼프(cm)	항균제 첨가율(%)	물(kg)	단위중량 (kg/m ³)		
							시멘트	잔골재	굵은골재
Plain					0	178	356	788	978
항균콘크리트 (분말형)	50	45	4.5 ± 1.5	18 ± 1	1	178	352	790	980
항균콘크리트 (액상형)					1	178	356	788	978

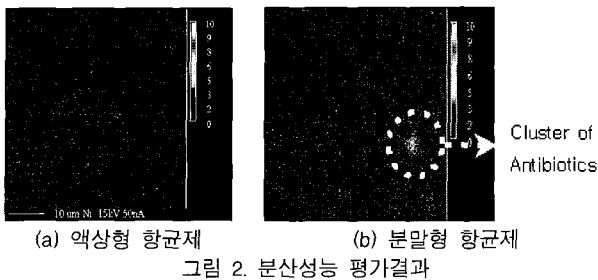


그림 2. 분산성능 평가결과

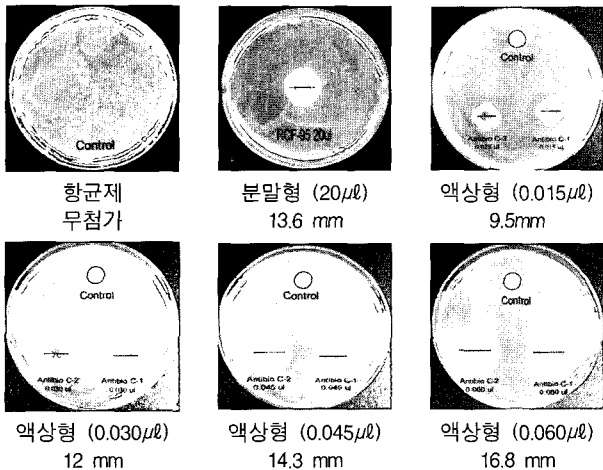


그림 3. 항균제의 항균성능 평가결과

그림 3은 Broth Microdilution MIC 시험 결과를 나타낸 것으로 기존 분말형 항균제의 경우 20µl의 농도에서 투명환의 직경이 13.6mm인데 비해서 액상 수밀성 항균제의 경우 0.045µl의 농도에서 투명환 직경이 14.0mm 이상으로 관찰되어 적하농도가 기존 분말형 항균제에 비해 매우 적음(동일 투명환 직경농도의 약 1/400)에도 불구하고 항균효과가 동등이상으로 나타났다.

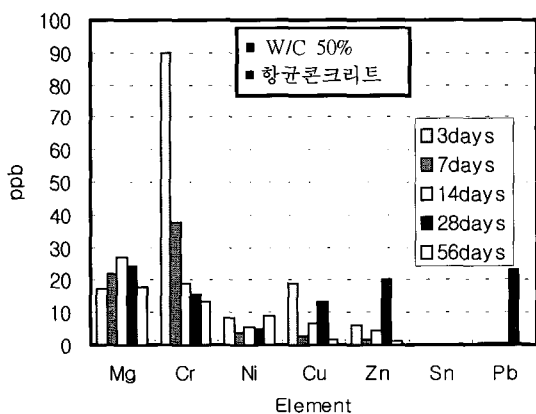


그림 4. 항균콘크리트의 유해물질 용출성 평가결과

2) 항균콘크리트의 항균성능

표 7은 T. versutus 및 T. novellus 균주에 대한 액상 수밀성 항균제를 사용한 항균콘크리트의 항균성능 평가결과를 나타낸 것이다.

T. versutus 균주에 대한 항균시험결과 시험균주의 접종 초기 상태에서는 지시약 페놀레드(phenol red)에 의한 핑크색상이

관찰되었다. 이 후 시험균주를 접종 후 1주일이 경과된 시점에서 항균성능이 구분되었으며, Plain은 이미 노란색으로 변색되었다. 반면 액상 항균제를 첨가한 시험체의 경우 시험균주를 접종하지 않은 비접종 상태와 유사한 핑크색상을 띄는 것으로 황산화 세균의 황산화작용이 억제되어 pH 변화가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 액상 수밀성 항균제를 첨가함으로써, CO₂ 등 중성가스에 의해 콘크리트가 중성화로 진행되는 영역(pH 7.0~10.0)에서 주로 서식하는 T. versutus의 생육을 억제하는 성능이 뛰어난 것으로 판단된다.

표 7. 항균콘크리트의 항균성능 평가결과

	T. versutus	T. novellus
초기		
Plain		
항균 콘크리트		

한편, T. novellus 균주의 항균성능을 측정된 결과 시험균주의 접종 초기상태에서는 지시약 브로모 크레졸 퍼플(bromocresol-purple)에 의한 적자색만이 관찰되었다. 그러나 시험균주를 접종 후 4주에서 항균성능이 뚜렷이 구분되었다. 세균 증식에 의해 시험배양액의 탁도(turbidity)가 증가되었으나 Plain의 경우 황산화세균에 의한 황산배출로 인해 pH 저하된 결과, 노란색으로 이미 변색되었다. 반면 액상 항균제를 첨가한 경우는 접종 초기의 적자색이 그대로 유지된 바 황산화세균에 의한 황산배출이 크게 억제되는 것으로 확인되었으며, 중성영역(pH 5.0~9.0)에 주로 서식하는 T. novellus의 황산화 작용을 억제하는 성능이 우수한 것으로 나타났다.

3) 항균콘크리트의 유해물질 용출성 평가

중금속 및 유해성분의 용출특성을 측정된 결과, 그림 4와 같이 시험체의 종류에 관계없이 거의 유사한 용출특성을 나타내었으며, Cr(환경기준 : 0.5ppm 이하), Pb(환경기준 : 0.2ppm 이하), Sn(환경기준 : 0.5ppm 이하) 등의 중금속의 용출농도는 Cr이 약 60~90ppb(0.06~0.09 ppm)로 가장 높았으나 항균제의 첨가에 관계없이 모두환경기준 치 이하의 농도로 용출되는 것으로 확인되어 중금속 용출에 의한 환경위해성은 없는 것으로 판단되었다. 한편, 항균제의 유효성분인 Ni과 규불화염의 유효성분인 Zn, Mg의 경우에도 모두 30ppb(0.03ppm)이하로 용출되

어 극히 미소량만이 용출되어 유효성분의 대부분이 콘크리트에 안정하게 고착된 것으로 판단된다.

따라서 항균제의 첨가 및 재령에 따라 유의할만한 환경기준치 이상의 중금속 용출이 없는 것이 확인되었고, 항균제의 유효성분이 콘크리트 경화조직 중에 화학적으로 안정한 불용성 염형태로 고착되어 거의 용출되지 않는 것으로 나타나, 항균제의 무독성과 유효성분의 과다 용출에 의한 항균성능의 저하는 없을 것으로 사료된다.

4) 항균콘크리트의 시공성 평가

그림 5 및 그림 6은 시험체 종류별 슬럼프 및 공기량을 나타낸 것이다. 60분 경과후 액상 항균제를 첨가한 항균콘크리트의 슬럼프는 약 5cm 저하하여 일반 콘크리트에 비해 슬럼프 손실이 다소 큰 것으로 보이나, 시공상 콘크리트의 품질에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 공기량에 있어서는 일반 콘크리트와 항균콘크리트가 유사한 손실을 보이고 있다. 한편 그림 7은 시험체 종류에 따른 초결 및 종결시간을 나타낸 것으로 액상 항균제를 사용한 항균콘크리트의 경우 일반 콘크리트에 비해 초결 및 종결 모두 약 6.5~7시간 지연되는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구에서 보고된 바와 같이 항균제의 주요 성분인 불소계 화합물이 시멘트가 수화하면서 용출되는 Ca^{2+} , K^{+} 이온과 반응하여 시트 입자의 표면이 미립자인 CaF_2 , SiO_2 등에 의해 피복되어 시멘트 표면과 물의 접촉을 방해하여 시멘트의 수화를 일정 기간 지연시키기 때문인 것으로 사료된다.

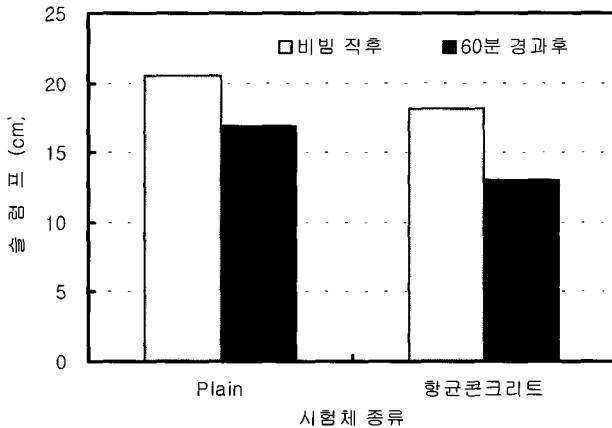


그림 5. 슬럼프 측정결과

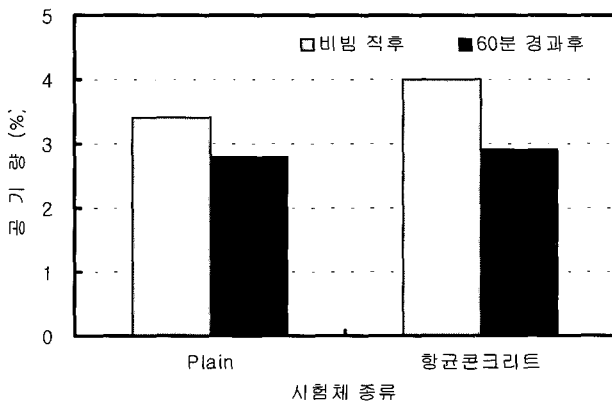


그림 6. 공기량 측정결과

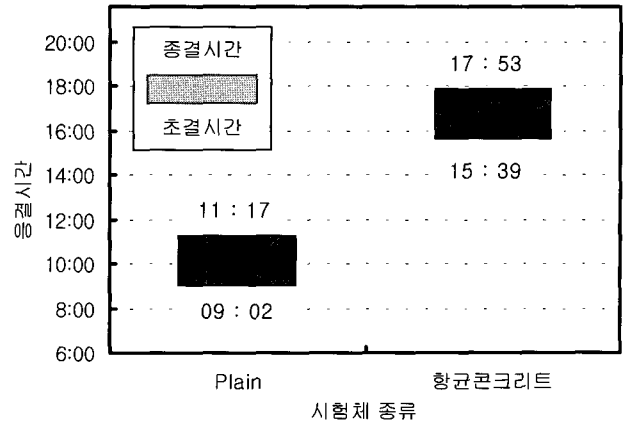


그림 7. 응결시간 측정결과

5) 항균콘크리트의 수밀성 평가

그림 8은 시험체 종류별 재령에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 항균콘크리트의 경우 Plain에 비해 약 10~15% 높은 압축강도를 보이고 있으며, 이는 항균제 주요성분인 규불화염과 가용성 실리카에 의해 수밀성이 증대되었기 때문인 것으로 사료된다.

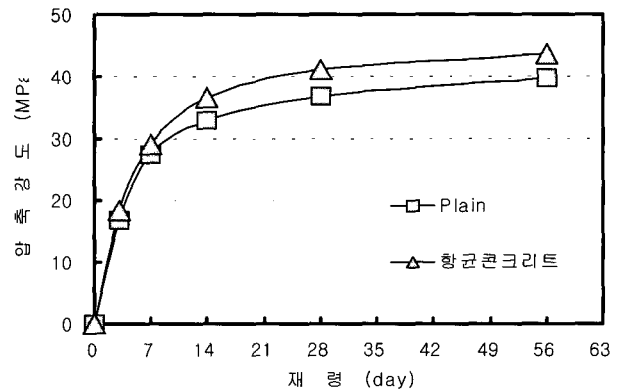


그림 8. 압축강도 측정결과

그림 9는 시험체 종류별 중성화 촉진재령 90일 후의 중성화 깊이를 나타낸 것으로, 항균콘크리트의 경우 Plain에 비해 약 30% 적은 중성화 깊이를 보이고 있어 액상 수밀성 항균제에 의한 콘크리트의 수밀성 증대를 확인할 수 있었다.

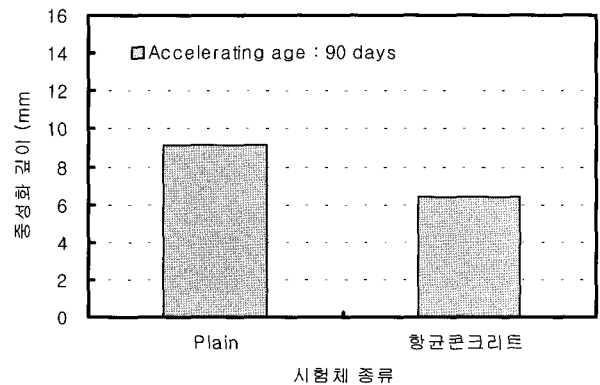


그림 9. 중성화깊이 측정결과

4. 항균콘크리트의 현장적용

4.1 현장개요

개발된 항균콘크리트를 적용한 구조체는 공동주택의 정화조 구조물로서 콘크리트의 생화학적 부식확률이 높게 예상되는 곳이며, 그 적용현장의 개요는 다음과 같다.

A 현장

- 건물규모: 지하7층/지상34층
- 정화조타설규모: 277m³

B 현장

- 건물규모: 지하5층/지상15층 (높이49.9m)
- 정화조타설규모: 150m³

그림 10은 항균콘크리트가 적용될 정화조 구조물의 위치를 나타낸 평면도의 일레이다.

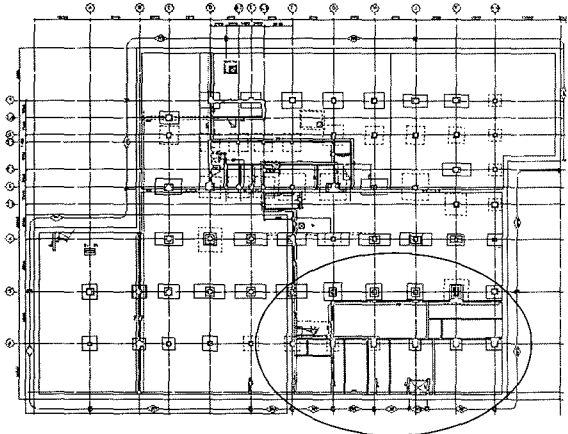


그림 10. 항균콘크리트의 적용위치
(A현장 지하 7층 정화조)

4.2 항균콘크리트의 Batcher Plant생산

표 8. 항균콘크리트의 규격 및 타설량

부재	규격 및 배합조건	타설량
기둥 (증타설)	< 규격: 19-35-23 > -물시멘트비: 39% -단위수량: 168kg/m ³ -시멘트량: 436kg/m ³ -공기량: 3~5% -슬럼프: 23±1cm, 슬럼프플로우 42±3cm	11m ³
벽/ 보/ 슬래브	< 규격: 25-35-23 > -물시멘트비: 46% -단위수량: 172kg/m ³ -시멘트량: 374kg/m ³ -공기량: 3~5% -슬럼프: 18±1.5cm,	266m ³

표 8은 항균콘크리트가 적용될 정화조 구조물의 부재에 따른 콘크리트의 규격 및 타설량을 나타낸 것이다. 표 9는 실구조물에 적용할 항균콘크리트의 배합을 나타낸 것으로 항균콘크리트의 적용부재에 따른 규격을 고려하여 물시멘트비는 46%

와 39% 2수준을 설정하였다. 항균콘크리트의 실구조물에 적용하기 위하여 레미콘 배처플랜트에서의 생산성과 품질관리에 대한 사항을 검토 하였다. 항균제는 콘크리트용 혼화제와 동일한 사용형태로 표 10과같이 항균레미콘의 실 배처플랜트 생산에 있어서 일반 레미콘 생산과 동일하며, 항균제에 의한 별도의 생산 및 품질관리 항목이 추가되지 않았다.

표 9. 항균콘크리트의 배합

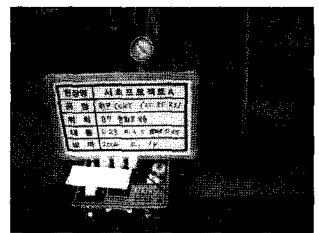
배합조건	W/C	s/a	Unit Weight(kg/m ³)						
			W	C	S	G	sp (%)	항균제 (%)	AE제 (%)
25-27-18	46	45	172	374	786	975	1.0	0.8	0.0015
19-35-23	39	42	170	436	714	987	1.4	0.7	0.0015

표 10. 항균콘크리트의 배처플랜트 실생산

단계	개요	
레미콘 플랜트 생산		
	항균제의 계량/투입 자동화	경과시간에 따른 시공성평가
시공성 및 품질 평가		
	일반 콘크리트(슬럼프15cm)	고유동화(슬럼프플로우 60±5cm)



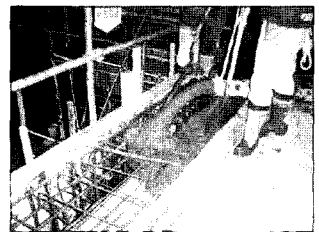
(a) 레미콘 이송



(b) 타설전 품질검사



(c) 항균콘크리트 타설현장



(d) 항균콘크리트 타설모습

그림 11. 항균콘크리트의 타설 및 시공모습

표 11은 배처플랜트에서 생산된 항균콘크리트의 슬럼프 및 공기량의 측정결과를 나타낸 것으로, 60분 경과 후에도 슬럼프 및 공기량이 저하없이 유사한 수준을 보이는 것으로 나타나 시

공상 필요한 품질을 확보하는 것으로 나타났다.

표 11. 항균콘크리트 배처플랜트 생산결과

배합 조건	W/C	슬럼프(cm)			공기량(%)		
		0분	40분	60분	0분	40분	60분
25-27-18	46	21	21.5	20.5	4.7	-	4.5
19-35-23	39	23.5 (43×44)			5.4	-	-
		24.5 (57×58)	24 (55×55)	24 (58×58)	5.4	-	4.0

4.3 항균콘크리트의 타설 및 시공

공동주택 구조물 A 및 B 현장에서는 정화조 구조물을 시공하기 위해 황산화세균에 의한 생화학적 부식의 저감효과가 확인된 항균콘크리트를 적용함으로써 구조물의 품질안정성을 향상시키고자 하였다.

앞서 기술한 바와 같이 항균콘크리트의 적용부재에 따른 규격을 고려하여 배합조건을 결정하였으며, 레미콘 생산에 의한 항균콘크리트의 품질을 검토한 후, 그림 11에 나타낸 바와 같이 실제 현장에 항균콘크리트를 타설하였다. 항균콘크리트를 타설하는 과정에 있어서는 발생하는 문제없이 순조롭게 시공되었다.

5. 결 론

하수구조물용 항균콘크리트에 필요한 요구성능을 검토한 후, 이를 만족할 수 있는 항균제 및 항균콘크리트의 개발하였으며, 개발된 항균콘크리트를 실제 정화조 구조물에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 액상 항균제의 항균성능 및 분산성능 평가 결과, 항균성능은 기존 분말형 항균제에 비해 동등 이상의 항균성능을 보였으며, 분산성능은 분말형에 비해 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 액상 수밀성 항균제를 사용한 항균콘크리트의 경우 비색 시험을 통해 항균성능을 검증할 수 있었으며, 용출시험 결과 유해성분 및 유효성분의 용출은 극히 적은 것으로 나타났다.
- 3) 항균콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 시공성에 있어 유의할 만한 경향은 나타나지 않았으나, 응결시간이 일반 콘크리트에 비해 약 6.5~7시간 지연되는 것으로 나타나 현장에 적용할 시에는 이점을 유의해야 할 것으로 사료된다.
- 4) 압축강도 및 중성화저항성은 일반 콘크리트에 비해 다소 향상되는 것으로 나타났으며, 이는 항균제 수밀성분에 의한 결과로 사료된다.
- 5) 항균콘크리트의 레미콘 공장생산성 평가결과, 항균제는 일

반 콘크리트용 혼화제와 첨가함으로써 별도의 생산관리가 요구되지 않았으며, 항균콘크리트의 생산결과에 있어서는 기본물성의 변화는 전혀 없었다.

- 6) 항균콘크리트의 공장생산 후 현장에 도착까지의 경과시간에 따른 품질변동은 없었으며, 타설과정에 있어서는 유의할 만한 문제점은 전혀 발생되지 않아 하수구조물용 항균콘크리트의 현장적용성을 검증할 수 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문 및 (주)트라이포드의 연구 지원하에 수행되었으며, 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. 前田照信, 콘크리트腐食に對する防菌劑の開発に關する研究. 박사학위논문, 1999
4. 송호면, 콘크리트 하수관의 생·화학적 부식특성에 관한 연구, 박사학위논문, 2000. 2
5. KS F 4403, “원심력 철근콘크리트관”. 한국산업규격(안), 2004
6. 김승문, 문정호, 이병기, 이범재, 김철규, 노재성, “규불화수소산 처리 시멘트 슬러지의 특성과 시멘트 페이스트 및 몰탈의 물성에 미치는 영향”. 한국폐기물학회지, 제15권 제4호, 1998, pp. 386~392
7. Elke Vincke etc, Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete. International biodeterioration & biodegradation, pp.1~10, 2002
10. 김무한 외, 콘크리트 표면성능개선에 의한 중성화 억제방안에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제24권 1호, pp.255~258, 2004. 4
11. 김무한 외, 액상 무기질 항균제를 도포한 콘크리트의 경화성상 및 내구특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 21권 5호, pp. 97~104, 2005. 05
12. 김무한 외, 항균제 도포에 의한 하수시설 콘크리트의 성능향상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 18권 3호, pp. 371~378, 2006. 06