

하수구조물용 항균콘크리트의 개발

Development of Antibacterial Concrete for Sewage Facilities

김 규용* 김 한준** 이 승훈*** 정 삼룡**** 길 배수***** 김도수*****
Kim, Gyu Yong Kim, Han Jun Lee, Seung Hoon Chung Sam Yong Khil, Bae Su Kim, Do Su

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the antibiotic and physical properties of antibiotic concrete added inorganic liquor-type antibiotic agent(as named for Antibio-C) as the basic data for the development of antibiotic concrete. The main experimental variables were the types of antibiotic agents and it is tested for the properties of antibiotic, flow, compressive strength, crack-resistance and durability of concrete. As results, concrete containing antibiotic agent presented the strong antibiotic activities compared with non-added concrete. Also antibiotic concrete showed the higher or equality properties than non-added concrete with respect to compressive strength, crack resistance and durability such as neutralization depth.

1. 서론

현대의 하수구조물 콘크리트시설물은 도시생활환경 개선, 국민의 환경권 보장에 있어 필수불가결한 기반시설로서 하수도 정비의 필요성이 날로 증대되고 있으며, 최근 국내에서도 환경부의 하수관로 정비사업이 국책사업으로 진행되고 있다.

이와 같이 현대사회의 주요한 사회간접자본시설로서 하수도, 하수도처리시설 등의 콘크리트구조물은 하수시설 특유의 화학적 부식환경에 있어 황산화세균 등의 미생물이 증식하면서 발생하는 황화수소(H_2S)가스 및 황산 등의 황산화합물이 다량으로 배출되고 있으며, 이에 의한 「미생물적 중성화촉진과 화학적부식」에 의해 콘크리트구조물의 열화가 급속히 촉진된다.

따라서 하수도콘크리트에 부식현상이 일어나면 콘크리트가 조기에 부식되어 시설물의 내용 연수가 짧아지고, 파손의 우려가 제기되고 있다. 이를 위하여 본 연구과제에서는 황화수소의 발생억제와 발생 황화수소의 저감, 황산화세균의 증식억제에 관한 기술로서 항균제를 콘크리트에 혼입하여 콘크리트 자체의 내황산성 향상과 황산화세균의 증식억제를 목적으로 하는 항균콘크리트의 개발에 있다.

2. 콘크리트 하수구조물의 열화메카니즘 및 항균제의 역할

하수 환경하에서의 콘크리트 열화메카니즘 개요를 표 1에 나타내었다. 부식에 황환원균 및 황산화세균이 주로 관여하는 것으로 알려져 있다. 콘크리트 부식과정에서 황환원균 및 종속영양세균은 혐기성 조건에서 하수중의 황이온과 유기물로부터 황화수소를 발생시키고, 발생된 황화수소가 하수구조물의 표면에서 황산화세균에 의해 산화되어 황산으로 된다 결국, 황산화세균에 의해 생성된 황산이 콘크리트의 중성화를 촉진시키고, 콘크리트 구조물을 급속히 노화시킨다.

이에 대하여 본 연구에서 개발된 항균제의 기본 구성으로서 항균제의 주성분은 니켈이지만, 광범

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 선임연구원 공·박
** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 전임연구원
*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 수석연구원
**** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 수석연구원 재료연구팀장
***** 정회원, (주)트라이포드 대표이사 공·박
***** 정회원, (주)트라이포드 기술이사 공·박

위한 pH영역에서도 황산화세균의 활동을 억제시키기 위하여 텅스텐화합물도 함유되어 있다. 방균제중의 니켈성분은 pH가 중성(pH=6~8)에서 황산화세균에 대한 저항효과를 발휘한다.

중성이하의 영역에서 활동이 용이한 황산화세균으로는 Thiobacillus versutus(生育 pH=5.0~10.0), Thiobacillus novellus(生育 pH=5.0~9.2)등이 있는데, 니켈성분의 억제효과에 의해 황산의 생성이 억제된다.

또한, 항균제에서 텅스텐화합물의 역할은 산성영역(pH=2.5~5.0)의 유황화세균을 억제한다. 산성영역에서 활동이 용이한 황산화세균으로는 Thiobacillus thiooxidans(生育 pH=1.0~5.0)등이 있고, 텅스텐화합물의 억제효과에 의해 황산의 생성이 억제된다.

본 연구에서는 항균성을 평가하기 위하여 T. novellus (KCTC 2845)의 농도가 2.5×10^8 /mL가 되도록 0.85% saline에 현탁한 후에 T. novellus의 적정배지인 Nutrient agar에 도말한 후, 항균제(Antibio-C)의 농도를 0.015~0.060 μ l로 조절한 2종의 Antibio-C1 및 Antibio-C2를 사용하여 Broth Microdilution MIC testing을 한 결과를 그림 1에 나타내었다. 항균제의 농도(Concentration, μ l)에 따라서 배양지의 항균영역(Clear zone diameter, mm)이 명확히 확인되어 항균효과가 인정된다.

표 1 하수환경하에서의 콘크리트 부식

단계	현상 및 화학적 반응
1단계 혐기상태 嫌氣狀態	<ul style="list-style-type: none"> 산소공급이 되지 않거나, 침전물 및 슬러지 등이 콘크리트에 부착되는 등 혐기상태. 하수 중에 존재하는 황산염환원세균에 의해 황화수소(黃化水素)발생 $SO_4^{2-} + 2C + 2H_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3^-$ 황산염환원세균(黃酸鹽還元細菌)
2단계 황화수소의 확산	<ul style="list-style-type: none"> 하수중에 생성된 황화수소는 산성영역에서 분자 상태의 황화수소로 되어 하수의 흐름에 의해 공기 중으로 확산
3단계 황산의 생성	<ul style="list-style-type: none"> 공기중에 확산된 황화수소는 콘크리트 상부에 결로 및 비말수(飛沫水)에 의해 용해되고, 황산화세균의 작용에 의해 황산이 생성 $H_2S + 2O \rightarrow H_2SO_4$ 황산화세균(黃酸化細菌)
4단계 황산에 의한 부식	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 표면에 생성된 황산은 콘크리트 수화물과 반응하여 황산칼슘(이수석고, 二水石膏)으로 변화 이수석고가 시멘트중의 $3CaO \cdot Al_2O_3$ 와 반응하면 에트링가이트가 생성되면서 팽창, 균열, 박리 등의 부식현상

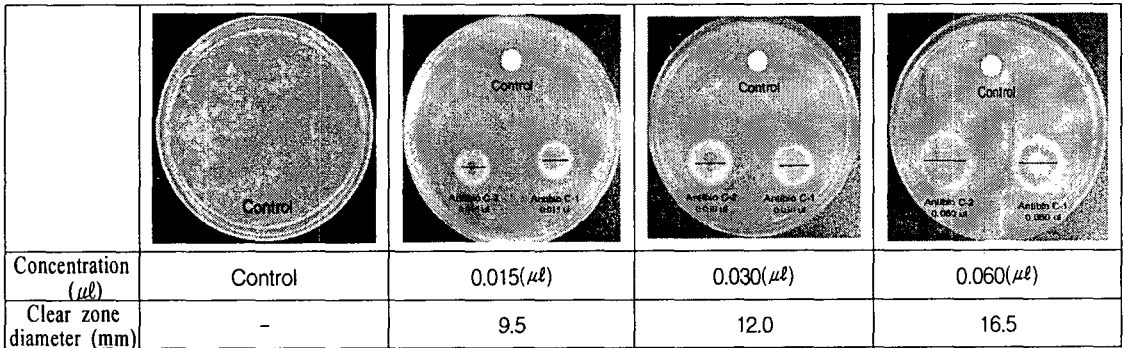


그림 1 항균제의 항균성 평가(Broth Microdilution MIC Test)

3. 항균제 및 항균콘크리트의 개발형태

하수구조물용 항균콘크리트에 요구되는 기본적인 성능과 항균제의 형태를 표 2에 나타내었다. 본 연구에서의 항균제는 하수구조물로서 요구되는 항균성과 아울러 하수구조물로서의 콘크리트 구체수밀성을 확보하기 위하여 수밀성 개질제와 금속이온(니켈, 텅스텐)계의 항균제를 복합화 하는 것을 목표로 하였다.

본 연구에서 개발된 항균제(Antibio-C)의 작용기구 및 효과에 대하여 그림 2에 나타내었다. 황산화세균에 대한 번식억제에 대하여 니켈, 텅스텐의 금속이온의 항균성능과 콘크리트의 수밀성 증대를 위하여 무기질계의 규불화염(주성분: Fluorosilicate)과 가용성 실리카질을 1액형의 액상혼화제로서 개발

하였다. 또한, 수밀성과 항균성능을 가지는 액상의 1액형 혼화제로서 일반 콘크리트조성물에 적용하기 용이하고, 분산성이 향상하도록 하였다.

4. 항균콘크리트의 물성평가

그림3은 각 콘크리트의 슬럼프 경시변화량을 평가한 것으로 일반OPC콘크리트에 대하여 항균제가 콘크리트의 유동성상에 영향을 주지 않은 것으로 평가된다.

그림4는 각 콘크리트의 응결시간을 평가한 것으로 액상형 항균제의 경우 응결이 다소 늦는 경향으로, 무기계 수밀성 개질재료와 금속이온계 항균제에 의한 특성으로 판단되며, 콘크리트 구조물 적용에 있어서 유의할 만한 사항은 아닌 것으로 판단된다.

표 2 하수구조물용 항균콘크리트의 개요

구분	형태 및 성능
1.항균제 형태	-액상(분산성 및 사용성에서 유리)
2.항균제 구성 (1액형)	-주성분: 규불화염 및 가용성실리카 -부성분: 니켈+텅스텐화합물
3.항균콘크리트 성능	-항균성 (황산화세균 등) -수밀성(침투저항성) 및 균열저항성 -화학적안정성(분산성 및 불용출)
4.적용시설	-하수처리시설 및 관로시설 -건축물 정화조 등
5.활용범위	-H ₂ S가스 농도가 50ppm미만 -레디믹스트콘크리트 -2차제품(하수관거, 맨홀, 칼버트 등) -보수용 모르터 -항균성 침투액체방수

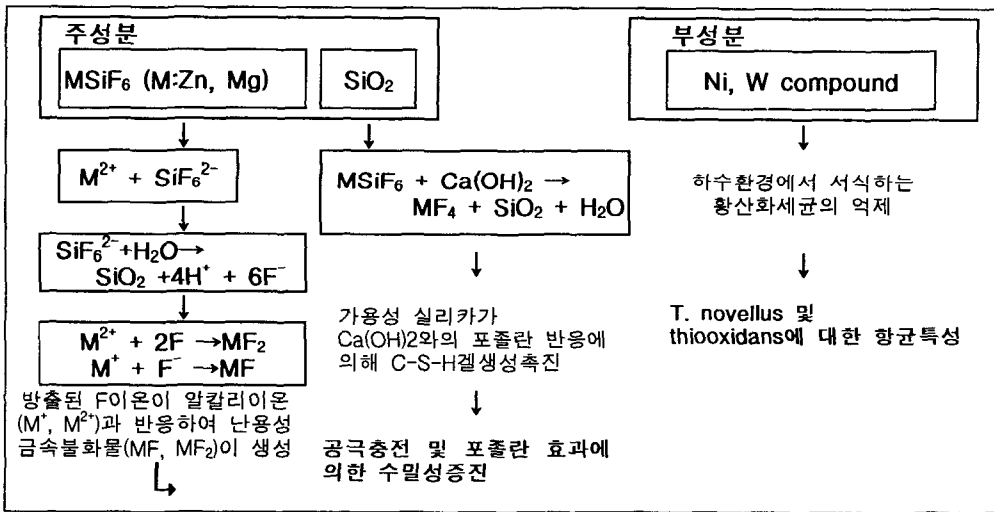


그림 2 수밀성 무기질 항균제(Antibio-C)의 작용기구 및 효과

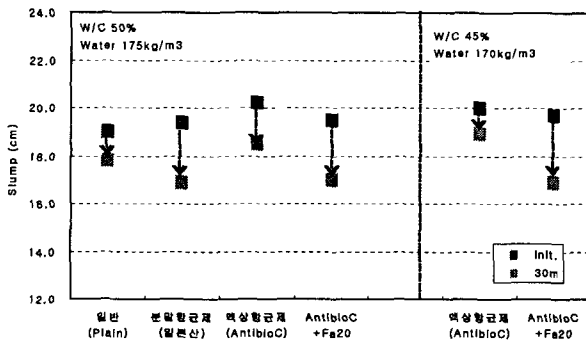


그림 3 각 콘크리트의 슬럼프 경시변화량

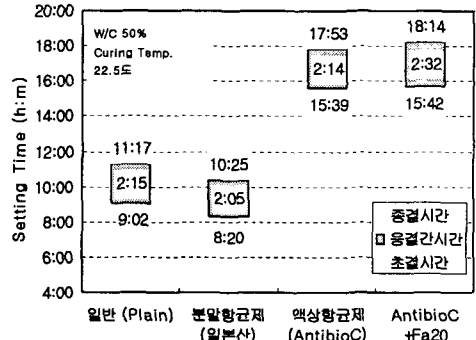


그림 4 각종 콘크리트의 응결시간변화

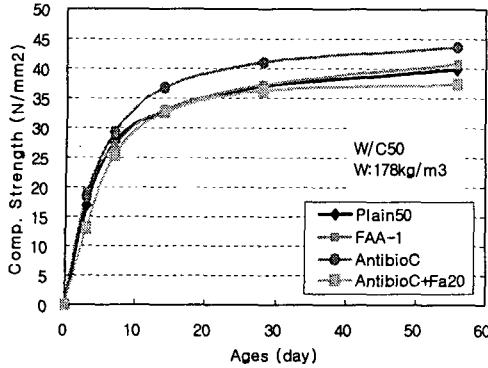


그림 5 압축강도 발현특성

압축강도의 발현특성은 그림5에 나타난 바와 같다. 항균콘크리트는 초기재령(약3일)에서의 강도발현이 플레인콘크리트에 비하여 약간 낮은 수준이나 7일 이후의 재령에서는 압축강도 발현이 상대적으로 크게 되는 특성이 있다.

그림 6에서는 각 콘크리트를 촉진탄산화에 의해 탄산화속도를 평가한 것이다. 수밀성개질제에 의한 구체수밀화에 의해 탄산가스의 침투가 억제됨이 확인되었다.

항균제의 균질한 분산을 확인하기 위하여 그림 7과 같이 EPMA 분석에 의해 항균성분의 분포상태를 확인하였다. 분말형의 경우 항균성분이 일부 밀집되어 있는 상태를 보이고 있으나, 액상형 항균제의 경우 상대적으로 균질성과 분산성이 양호한 것으로 평가된다.

그림8은 콘크리트에 분산되어 있는 항균제의 유해 용출성을 각각의 재령에 대하여 평가한 것으로 수질환경보전법의 환경기준농도가 규정하는 Zn:1.0 ppm이하, Cr:0.5 ppm이하, Pb:0.2ppm이하, Cu:0.5 ppm이하의 수준에 비하여 용출량이 매우 적게 평가되어 유해용출성은 안정성이 인정된다.

5. 결론

항균성과 수밀성을 복합화한 액상형의 항균제(Antibio-C)가 본 연구에서 개발되었으며, 황산화세균의 번식억제 효과가 확인되었다. 또한, 항균콘크리트로서 각종 성상을 평가하여 하수구조물용 콘크리트로서 그의 적용성을 검토하였으며, 향후 폭로현장에서의 검증이 요망된다.

참고문헌

1. 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

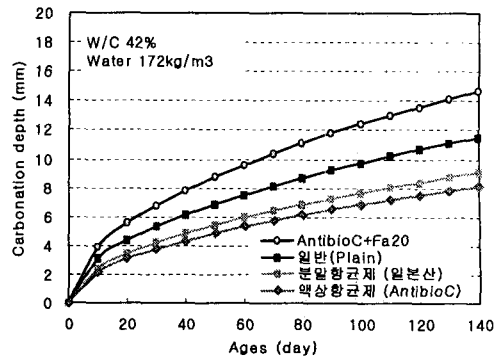
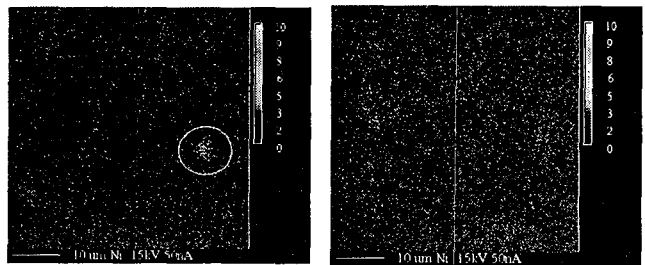


그림 6 촉진탄산화에 의한 탄산화속도 평가



(a)분말형 항균제

(b)액상형 항균제

그림 7 EPMA분석에 의한 균질성 평가

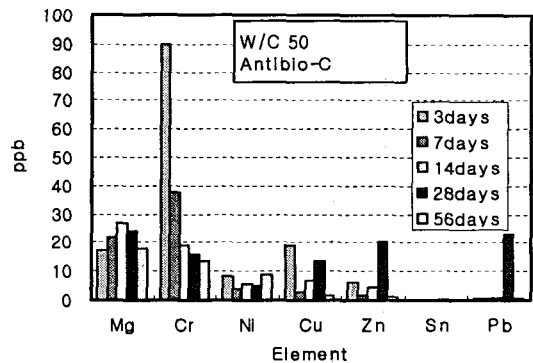


그림 8 ICP(유해성 용출) 분석결과