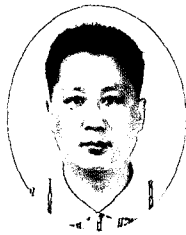


항균 콘크리트의 정화조 구조를 적용 사례

- The Application of Antibacterial Concrete for Sewage Facilities -



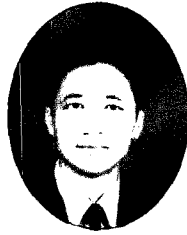
김규용*
Gyu-Yong, Kim



이승훈**
Seung-Hoon, Lee



김재영***
Jae-Young, Kim



최남철****
Nam-Chul, Choi



김명식*****
Myoung-Sig, Kim



길배수*****
Bae-Su, Kim

1. 서 론

1.1 하수 구조물의 부식현황

하수도 시설에 사용되고 있는 콘크리트는 황산화세균에 의해 생성된 황산에 의해 부식되는데, 심한 경우에는 10년간에 수 cm에 달하여, 경우에 따라서는 구조내력의 저하로 함몰사고로 이어지는 보고가 선진외국에서 있었으며, 국내에서도 <그림 1>과 같이 중학천 복개 구조물의 경우 축조 후 24년여의 동안 철근의 부식과 피복 콘크리트가 박리되어 구조내력에 심각한 위험성이 있다는 조사가 보고된 바 있다. (2003년 6월)

하수 콘크리트 구조물의 부식이 매우 빠르게 진행되는 이유는 하수 자체의 부식성 때문이 아니라 하수환경 하에서 번식하고 있는 황산화세균과 같은 미생물에 의한 부식으로 그의 메커니즘은 이미 <그림 2>와 같이 밝혀져 있다.

1945년 Parker는 콘크리트의 생화학적 부식을 유발하는 미생물을 황산화세균으로 규정하였으며, 이 황산화세균은 현재 Thiobacillus neapolitanus, Thiobacillus intermedius, Thiobacillus novellus로 알려져 있다.

황산화세균에 의한 콘크리트의 부식 메커니즘이 알려지면서 일본의 마에다(前田)는 니켈과 텅스텐의 금속이온이 황산화세균의 번식을 억제한다는 것에 착안하여 콘크리트용 혼화제로서 분말형태의 방균제(防菌劑)를 개발하였으며, 일부 적용된 사례도 있다.

또한, 국내에서는 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소와 (주) 트라이포드가 협동연구에 의하여 액상형의 니켈과 텅스텐의 황균성 분과 수밀성 재



중학천 24년간 복개구조물에서 발견된 '지하 황거점'

철근 녹슬고 콘크리트 부식 '아찔'



그림 1. 하수 콘크리트의 부식현황 (서울환경연합 보도자료)

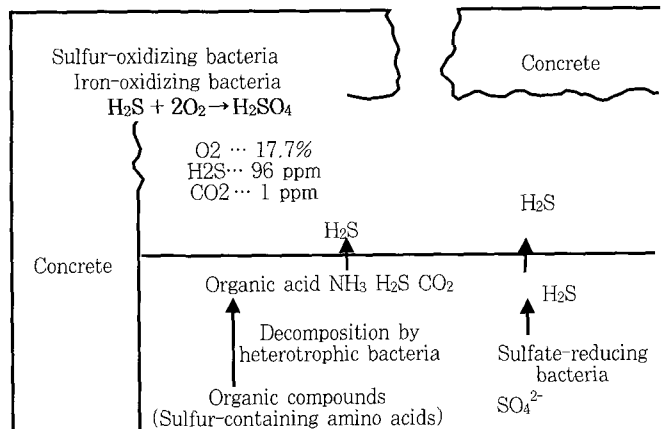


그림 2. 하수콘크리트의 생화학적 부식개요

* 정희원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소, 선임연구원
 ** 정희원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소, 수석연구원
 *** 삼성물산(주) 건축사업본부 서초프로젝트 현장소장
 **** 삼성물산(주) 건축사업본부 서초트라팔리스2 현장소장
 ***** 삼성물산(주) 건축사업본부 서초프로젝트 현장 공무
 정희원, (주)트라이포드 대표이사

료를 1액형으로 하는 항균제를 개발하였으며, 본 항균제를 적용한 콘크리트(이하 항균 콘크리트)의 성능이 평가됨과 아울러 현장적용과 용도개발에 주력하고 있다.

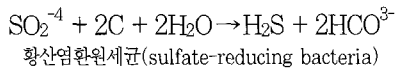
이러한 일련의 프로젝트 진행에 있어서 서초프로젝트, 서초트라펠리스2차 현장의 정화조 콘크리트 구조물에 미생물의 부식 억제 성능이 증명된 항균 콘크리트를 적용함으로써 하수 구조물의 품질안정성을 향상시키고자 하였으며, 이에 관한 시공사례를 보고하고자 한다.

1.2 하수 콘크리트의 부식개요

이러한 황산화세균에 의해 콘크리트가 부식되는 기본 메커니즘은 다음과 같이 단계별로 정리할 수 있다.

(1) 1단계 : 혐기성 상태(anaerobic state)

하수 중에 포함되어 있는 황산염의 대부분이 황산염환원세균에 의해 황화수소(H₂S)를 발생시킨다.



(2) 2단계 : 황화수소(H₂S)의 확산

하수 중에 생성된 황화수소는 하수의 흐름에 의해 공기 중에 확산된다.

(3) 3단계 : 황산의 생성

황화수소가 황산화세균의 작용에 의해 황산을 생성한다.

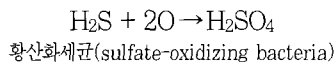
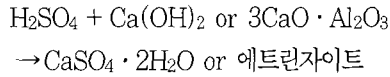


그림 3. 정화조 구조물에서의 황화수소(H₂S)가스 발생

(4) 4단계 : 황산에 의한 콘크리트의 부식
황산은 콘크리트 수화물과 반응하여 콘크리트가 팽창, 균열, 박리 등의 생화학적 부식에 의한 열화현상을 유발한다.



1.3 정화조에서의 황화수소(H₂S) 발생

황산화세균의 번식에 의한 황산의 생성으로 콘크리트의 생화학적 부식은 기본적으로 황화수소(H₂S) 가스가 공급되는 환경에서 일어난다.

이러한 부식환경은 정화조에서도 유사한 환경이 조성되며, 고층집합주택의 대형 정화조 구조물에서도 황화수소(H₂S) 가스의 생성과 황산화세균에 의한 콘크리트의 생화학적 부식이 일어날 수 있다.

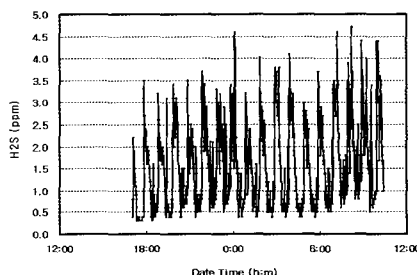
〈그림 3〉과 같이 집합주택의 정화조 구조물에서 발생되는 황화수소가스(H₂S)를 측정해 본 결과 5.0ppm의 수준으로 황산화세균에 의한 번식이 충분히 예상된다고 할 수 있다.

2. 항균 콘크리트의 개발

2.1 항균 콘크리트의 기본사항

(1) 기존의 레미콘에 콘크리트용 혼화제로서 항균제를 적용함으로써 극히 간단하게 적용할 수 있다.

항균 콘크리트의 제조는 콘크리트, 모르타르의 비빔시 시멘트 중량에 약 1.0% 정도 항균제를 콘크리트용 혼화제와 같은 방법으로 혼입하는 방법으로 특수한 설비,



공법이 필요치 않다.

(2) 황산화세균에 대한 우수한 항균성으로 방식효과가 크다.

콘크리트와 모르타르의 부식 원인이 되는 황산화세균의 번식을 억제하고, 무해화(無害化)함으로써 비용에 비하여 효과가 크다.

(3) 화학적, 물리적으로 안정된 구조로 장기보유, 경제성이 크다.

항균제 중의 금속성분은 물과 유기용제에 대하여 불용성이므로 용출되기가 극히 어렵고, 배수규제상의 우려되는 문제가 없다. 또한, 장기재령에 걸쳐 항균작용을 유지하고, 현재까지의 부식대책에 대한 재료비를 비교하여도 경제적이다.

(4) 우수한 분산성

금속이온성분과 규불화염계의 수밀성재료를 1액형으로 액상화 함으로써 모르타르, 콘크리트의 제조시에 일반 레미콘 플랜트에서도 충분히 가능하며, 양호한 분산성을 확보할 수 있다.

(5) 콘크리트 강도발현에 영향을 주지 않음

항균제를 혼입한 모르타르, 콘크리트의 압축강도는 무첨가된 경우와 비교하여 압축강도의 발현에 거의 변함이 없다.

2.2 항균제 및 항균 콘크리트의 성능

(1) 항균제의 항균성능

Broth Microdilution MIC 시험 결과, 〈표 1〉 및 〈그림 4〉에 나타난 바와 같이 황산화세균이 배양된 상태에서 분말형 및 액상형의 항균제를 각각의 적하농도에 따라 황산화세균에 대한 항균효과가 나타나는 투명한직경을 측정하였다.

항균제의 고형분 농도에 따라 분말형과 액상형의 적하농도를 다르게 적용하였으나, 니켈, 텅스텐계열의 금속이온성분에 의한 항균효과가 확인되었다.

(2) 항균 콘크리트의 항균성능

표 1. Broth Microdilution MIC testing

구분	Control	RCF-95	Antibio-C				
적하농도(μl)	-	2 × 10	-	1.5 × 10 ⁻²	3.0 × 10 ⁻²	4.5 × 10 ⁻²	6.0 × 10 ⁻²
투명환직경(mm)	-	13.6	An-C1	9.5	12.0	14.0	16.5
			An-C2	9.5	12.0	14.5	17.0

Control	분말형 항균제 RCF-95	액상형 항균제 Antibio-C-1, -2			
항균제 적하농도 : 0 μl	항균제 적하농도 : 20 μl	적하농도 : 0.015 μl	적하농도 : 0.030 μl	적하농도 : 0.045 μl	적하농도 : 0.060 μl

그림 4. 항균제 적하농도에 따른 투명환직경

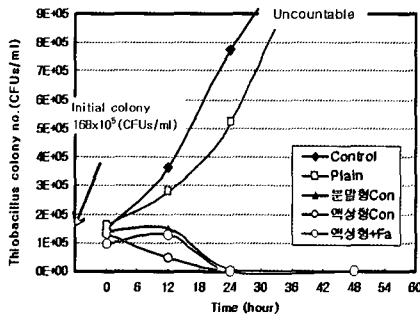


그림 5. 황산화세균 배양시험(콘크리트)

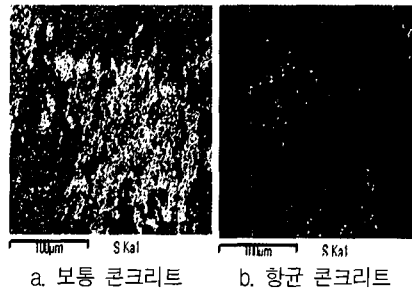


그림 6. 단기폭로에 의한 콘크리트 표면에서의 황(S) 성분 검출

표 4. 항균 콘크리트의 배치플랜트 실 생산

단계	개요	체크 포인트
배합설계 요인	 콘크리트용 항균제 - 콘크리트용 항균제는 삼성건설(주)와 (주)트라이포드가 공동 개발한 개발품 - 항균성, 유해성, 분산성 등 안정성 확인	· 콘크리트용 항균제의 첨가를 결정 · 첨가를 범위 : Cwt × 0.5 ~ 2.0 %
레미콘 플랜트 생산	 항균제의 계량/투입 자동화 경과시간에 따른 시공성 평가	· 항균제의 자동계량 및 자동투입 · 일반 레미콘 생산관리와 동일
시공성 및 품질 평가	 일반 콘크리트(슬럼프15cm) 고유동화(슬럼프플로우 60±5cm)	· 일반 → 고유동 범위 · 항균제에 의한 품질 이상 현상은 없음 · 경과시간에 따른 품질변동은 일반 레미콘과 동일

〈그림 5〉는 Thiobacillus novellus 균주를 대상으로 콘크리트 시험체를 4종류(Plain, FAA-1, Antibio-C, Antibio-CF)에 대하여 황산화세균의 번식억제효과를 시간대 별로 시험배양액(ml)당 총균

수(colony forming units, CFUs)를 측정한 결과이다.

동일 농도(1.68 × 10⁵/ml)의 황산화세균을 접종하였을 때 control로 사용한 Thiobacillus. novellus는 접종 후부터

생장하여 28시간까지 계속 세포(cell) 수가 증식하였으며 48시간에는 측정이 불가능할 정도 증식되었다.

반면 항균제를 사용한 시험체에서는 황산화세균을 접종한 직후에는 세포 수가 감소하여 24시간까지 세포의 증식이 억제되는 효과가 확인되었다.

(3) 정확조 단기폭로 시험

보통 콘크리트와 항균 콘크리트의 생화학적 내부식성을 실제의 하수환경 하에서 평가하기 위하여 각각의 콘크리트 시험편을 약 4개월간 단기간 폭로하였다.

폭로된 콘크리트의 표면부를 채취하여 황산화세균에 의한 황산(H₂SO₄)이 생성되었는지를 평가하기 위하여 주사전자현미경(SEM + EDX)으로 황(S) 성분만을 분리 분석하였다.

그 결과 〈그림 6〉과 같이 보통 콘크리트의 표면에서는 황산화세균의 작용에 의한 황산(H₂SO₄)의 생성을 나타내는 황 성분이 다량 검출되었으나, 항균 콘크리트의 표면에서는 거의 검출되지 않았다. 이 결과로 항균작용에 의한 콘크리트의 생화학적 부식을 억제하는 성능이 확인되었다.

3. 정확조 구조물에서의 항균 콘크리트 적용

3.1 현장개요

정확조 콘크리트 구조물의 경우 건축물 구조부재의 일부가 되는 경우 콘크리트의 생화학적 부식대책을 고려하여야 한다.

이에 대하여 당사의 서초프로젝트 현장과 서초트라펠리스 2차 현장에서는 정확조 구조물에 대하여 콘크리트의 황산화세균에 의한 생화학적 부식을 억제하는 공법으로 항균 콘크리트를 적용하고자 하였으며, 그의 개요는 다음과 같다.

· 서초프로젝트 현장

- 현장명 : 서초프로젝트 A 신축공사
- 건물규모 : 지하 7층/지상 34층
- 정확조 타설 규모 : 277 m³

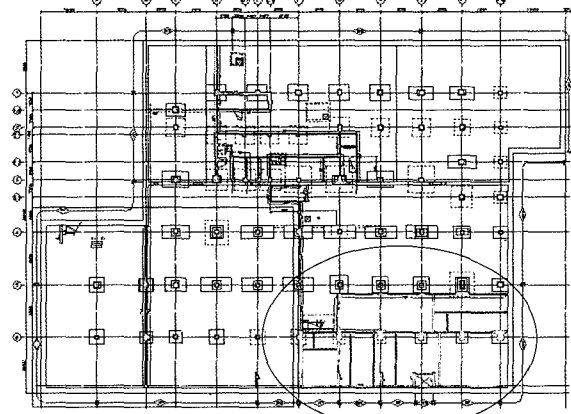
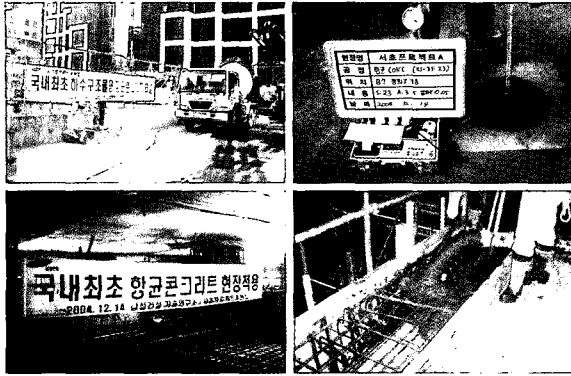


그림 6. 항균 콘크리트의 타설 및 시공모습과 지하 7층 평면도(서초프로젝트현장 정화조 부분)

- 서초트라펠리스 2차현장
- 현장명 : 서초트라펠리스 2차 신축공사
- 건물규모 : 지하 5층/지상 15층(높이 49.9m)
- 정화조 타설 규모 : 150m³

3.2 항균 콘크리트의 배치플랜트 생산

항균 콘크리트의 실구조물에 적용하기 위하여 레미콘 배치플랜트에서의 생산성과 품질관리에 대한 사항을 검토 하였다.

항균제는 콘크리트용 혼화제와 동일한 사용형태로 <표 4>와 같이 항균 레미콘의 실 배치플랜트 생산에 있어서 일반 레미콘 생산과 동일하며, 항균제에 의한 별도의 생산 및 품질관리 항목이 추가되지 않았다.

3.3 항균 콘크리트의 타설 및 시공

서초프로젝트 및 서초트라펠리스2 현장에서는 정화조용 콘크리트로서 황산화세균에 의한 생화학적 부식을 억제효과가 확인된 항균 콘크리트를 적용함으로써 구조물의 품질안정성을 향상시키고자 하였다. <표 3, 4>와 같이 항균 콘크리트의 적용부재에 따른 규격을 고려하

여 배합조건을 결정하였으며, <그림 6>과 같이 일반 레미콘의 타설방법과 같이 순조롭게 시공되었다.

4. 항균 콘크리트의 시공 결론

하수환경 하에서 번식하는 황산화세균에 의한 콘크리트의 생화학적 부식을 억제하기 위하여 항균 콘크리트를 개발하여, 실정화조 구조물에 적용하였으며, 다음과 같은 시공결과를 얻었다.

- (1) 항균 콘크리트의 레미콘 공장생산성
 - 항균제는 일반 콘크리트용 혼화제와 같이 레미콘 배치플랜트에 첨가함으로써 일반 레미콘의 생산 방식에 별도의 생산관리가 요구되지 않았다.
 - 항균 콘크리트의 레미콘생산 결과 콘크리트의 기본물성에 전혀 영향이 없었으며, 일반 레미콘의 시공성과 동일함을 확인하였다.
- (2) 항균 콘크리트의 현장시공성
 - 서초프로젝트 및 서초트라펠리스 2 현장 적용에 있어서, 항균 콘크리트의 공장생산 후 현장에 도착까지의 경과시간에 따라 급격히 슬럼프가 저하되는 등의 품질변동이 없이 안정적으로 공급되었다.
 - 정화조 기둥부재의 증타와 같은 경우 타설 및 밀실한 충전의 요구되어 고유동성을 설정하였으며, 적정하게 설정하였으며, 유동성능을 확인하였다.
 - 항균 콘크리트의 강도발현에 있어서 설계기준강도를 안정적으로 상회하였으며, 항균제에 의한 콘크리트 압축강도 발현특성에는 전혀 영향이 없는 것으로 확인되었다. □

표 2. 항균 콘크리트 배치플랜트 생산결과

배합조건	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

표 3. 항균 콘크리트 규격 및 타설량

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

표 4. 항균 콘크리트의 배합

배합 조건	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

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.
2. 김규용 외, “하수구조물용 항균 콘크리트의 개발”, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회 논문집. 2004. 11. pp.541~544.