

# 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식저감을 위한 항균 콘크리트 개발현황

Development States of Antibacterial Concrete for Biochemical Corrosion Reduction



김규용\*  
Gyu-Yong Kim



조봉석\*\*  
Bong-Suk Cho



이의배\*\*  
Eui-Bae Lee



노경민\*\*\*  
Kyung-Min Roh



김무한\*\*\*\*  
Moo-Han Kim

## 1. 서 론

현대사회에 있어서 하수시설은 도심지의 침수방지를 위한 우수배제, 오수의 수송처리, 수세화 보급에 의한 생활환경개선 이외에도 하천, 호수, 해역 등의 수질보존, 보건환경 및 위생 등 국민의 환경권 보장에 있어서 필수불가결한 사회기반시설이다. 이러한 하수시설은 광역적 관점에서 하수관거, 펌프장, 하수처리장 등으로 이루어진 시설을 총칭하며, 대부분 지하 매립형 구조물이기 때문에 외압에 대하여 충분히 견딜 수 있도록 설계되며 강도, 내구성, 경제성 등 전반적인 성능에서 가장 우수한 구조재료인 콘크리트로 구성된다.

그러나 최근 하수시설의 경과연수가 증가함에 따라 각종 열화사례가 보고되고 있다. 국내에 비해 일찍이 하수시설이 도입된 일본의 경우, <사진 1(a)>에 나타난 바와 같이 하수시설 콘크리트의 열화, 콘크리트의 박리·박락, 철근의 노출 및 부식 등으로 인해 종국적으로 하수시설의 구조내력이 저하되고, 이로 인한 도로의 함몰 및 안전사고의 발생 등에 관한 사례가 보도되는 등 사회적으로 하수시설의 부식에 대한 관심이 고조되었다.

국내의 경우 현재까지 하수시설의 부식으로 인한 사고사례는 보고되지는 않았으나, <사진 1(b)>에서 보는 바와 같이 서울시의 청계천 복원사업으로 인해 복개구조물의 열악한 상황이 보고된 바 있으며, 환경연합에서 실시한 서울시 중학천 복개구조물 실태조사에서는 km당 약 1,000여 곳의 열화부가 발견된 것으로 보고되었다. 또한 아파트의 정화조 내부의 철재가 심하게 부식되고 슬래브는 철근 부식에 의해 피복 콘크리트가 박락되는 등 공동주택의 하수시설의 부식상태도 매우 심각한 수준이다.

상기한 바와 같이 콘크리트 하수시설은 같은 경과연수의 지상 구조물에 비해 열화현상이 심각하게 발생하고 있다. 이는 하수시설 내의 높은 습도 및 가스 농도, 각종 오염 물질 및 침식성 물질이 다량 포함된 하수의 상재뿐만 아니라 토압, 수압, 활하중 등이 항시 가해지고 있는 하수시설 내의 열악한 환경조건에서 그 원인을 분석할 수 있으며, 이러한 열화요인들의 복합적인 작용에 의해 <그림 1>에 나타난 바와 같이 지상의 타 콘크리트 구조물에 비해 열화의 진행도가 빠르고 내구수명이 현격히 저하한다.

특히 최근에는 황산화세균(thiobacillus속 균주) 등과 같은 미생물에 의해 생성된 황산 등의 부식인자에 의한 생화학적 부식이 하수시설 콘크리트의 열화를 가속화시키는 주요 원인으로 대두되고 있으며, 이에 대한 대책마련이 시급히 요구되고 있다.

한편, 국내의 경우 정부에서는 2002년 4월 23일에 개최된 「하수관거 효율향상을 위한 국제세미나」에서 하수관거 정비를 하수도정책의 최우선으로 추진할 수 있도록 「하수관거 정비 7대 중점과제」를 발표하였으며, 체계적인 하수도 유지를 위해 2002년을 「하수관거 특별정비원년」으로 선포하고 전국적으로 하수

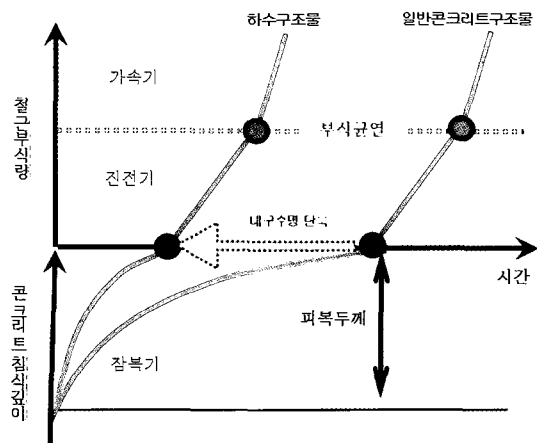


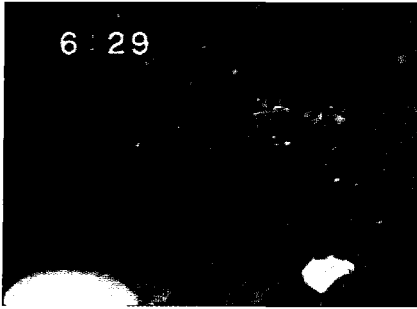
그림 1. 일반 구조물과 하수 구조물의 내구수명

\* 정희원, 충남대학교 건축공학과, 조교수  
gyuyongkim@cnu.ac.kr

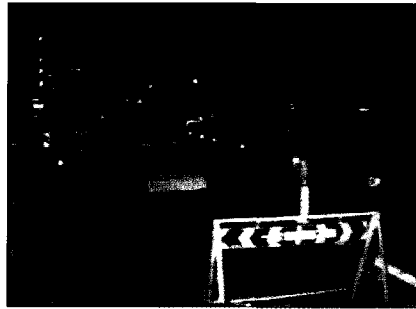
\*\*정희원, 충남대학교 건축공학과, 박사과정

\*\*\*정희원, 충남대학교 건축공학과, 석사과정

\*\*\*\*정희원, 충남대학교 건축공학과, 교수



(가) 관정부 콘크리트 및 철근 부식



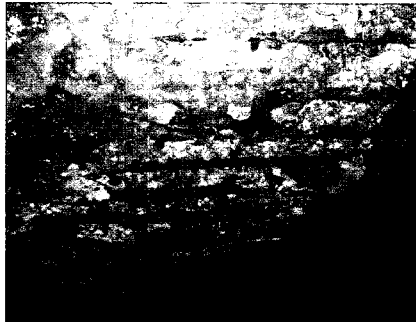
(나) 도로 합몰 사고  
(a) 일본



(디) 보행도로 합몰 사고



(가) 계천 복개구조물 열화보도 일례



(나) 중학천 복개구조물 관정부 부식  
(b) 국내



(다) 정화조시설 부식

사진 1. 하수구조물 부식현상 보도

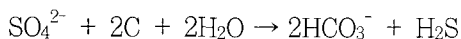
관거의 정비·개선기술 확보를 위한 타당성 조사사업과 시범사업을 실시하고 있다. 이러한 국가적 사업에 때맞춘 감은 있으나 본 원고는 하수 구조물용 콘크리트의 황산화세균에 의한 생화학적 부식 메커니즘을 소개하고 부식 방지 대책의 여러 방법중, 생화학적 부식의 기본적 요인인 황산화세균의 번식 억제 성능을 콘크리트에 부여한 방균/항균 콘크리트의 기술에 대한 소개를 함으로서 관련기술자 및 연구에 도움이 되고자 하였다.

## 2. 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식 메커니즘과 그 대책

### 2.1 생화학적 부식 메커니즘

#### 2.1.1 황화물의 생성(생물학적 작용)

하수관거 내부의 하수가 혐기상태인 경우, 관거의 퇴적물이나 관벽에 부착된 생물막 중에 서식하는 황환원세균(SRB, sulfate reducing bacteria)이 활성화되고, 하수중의 황산이온이 황화물로 환원된다.

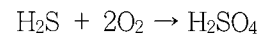


#### 2.1.2 황화수소의 발산(물리적작용)

하수 중에 존재하는 황화물 중 분자형태 황화물인 황화수소 분자(H<sub>2</sub>S)는 휘발성이 높고, 흐름에 난류가 있는 경우 쉽게 대기 중으로 발산된다. 이 때문에 맨홀부의 단차나 압송관의 토출구 등에서는 대량의 황화수소가 하수 중에서 대기 중으로 발산된다.

#### 2.1.3 황산의 생성(생물학적 작용)

기상 중의 황화수소는 관벽의 결로에 녹아들어 황산화세균의 생물작용에 의해 황산으로 변질된다.



황산화세균은 독립영양세균으로 황산을 생성하는 경우 유기물은 필요 없으나, 기체 중 산소를 필요로 한다. 황산화세균의 생육환경은 대략 10 ~ 35 °C사이이며, 30 °C전후의 온도를 가지는 것이 많다. 건조에 대해서는 약하기 때문에, 결로가 생기는 곳에서 활발하게 활동한다. 산에 대해서는 강한 내성을 가지고 있으며, 황산농도가 7%가 되더라도 활성을 유지하고 있는 한편, 알칼리에 대해서는 pH 10 이상의 환경에서는 생육할 수 없다. 시공 직후의 콘크리트 표면은 pH 12 ~ 13의 강한 알칼리성을 나타내고 있기 때문에, 황산화세균은 생육할 수 없고 황산

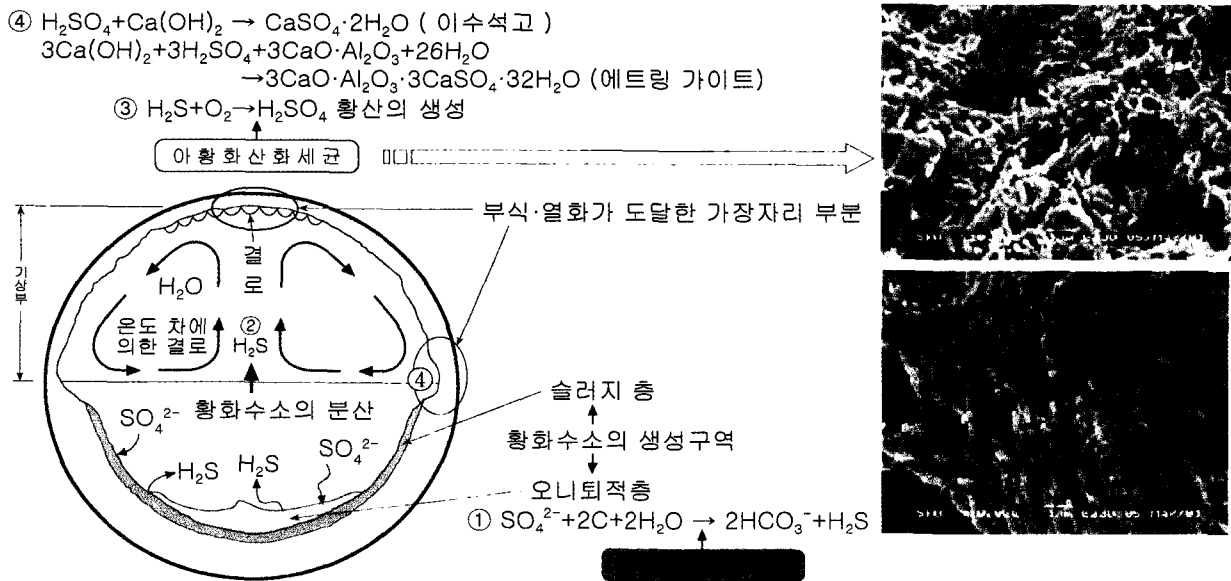
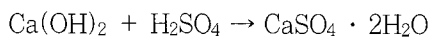


그림 2. 하수시설 콘크리트 구조물의 생화학적 부식 메커니즘

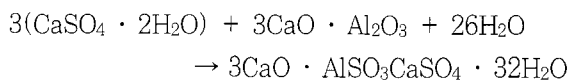
생성은 일어나지 않는다. 그러나 하수시설의 콘크리트는 통상의 대기중 보다도 높은 농도의 이산화탄소에 노출되어 있으므로 콘크리트의 중성화가 진행되어 표면의 pH가 중성영역이 되면 황산화세균에 의해 하수관내에 황산이 발생한다.

2.1.4 콘크리트의 황산부식(화학적 · 물리적 작용)

황산화세균에 의해 생성된 황산은 콘크리트 표면에서 그 알칼리 성분인 수산화칼슘과 반응하여 황산칼슘을 생성한다



생성된 황산칼슘은 계속해서 알루미늄산칼슘과 화학 반응하여 에트링가이트가 생성된다.



에트링가이트의 생성 반응시에 결합수가 들어와 체적이 3~4 배로 팽창되기 때문에 콘크리트의 조직을 붕괴시킨다.

2.2 생화학적 부식대책

기존의 하수시설 콘크리트 구조물의 생화학적 부식방지 대책을 살펴보면 <표 1>에서 나타난 바와 같으며, 최근에는 황산을 생성하는 황산화세균의 활동을 억제시켜 생화학적 부식을 저감시키는 기술인 항균제 및 항균 콘크리트 개발에 관한 연구가

활발히 진행되고 있다.

3. 항균제 및 항균 콘크리트 개발현황

3.1 국외 연구현황

3.1.1 미국 및 기타 국가

하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 대해서는 1900년 미국 로스앤젤레스에서 보고된 이후 이집트의 카이로, 남아공의 케이프타운, 미국의 오렌지카운티 등지에서 하수관거의 부식이 보고되어졌으며 이러한 하수관거의 부식현상이 하수에 포함된 화학 물질과의 직접적인 화학반응이라고 추정하였다.

오늘날 일반화되어 있는 미생물에 의한 생화학적 부식에 관한 최초의 보고는 Parker에 의해 1945년에 발표되었다. 이후 서독, 미국, 오스트레일리아, 남아공 및 영국이 본격적인 연구를 수행하였다. 이러한 연구 결과의 발표와 더불어 부식 예측식 개발과 같은 부식에 대한 강구책이 강구되어 왔으며, 세계적으로 미국 및 호주를 중심으로 하여 관거 부식에 대한 연구가 진행되어 왔다. 현재 이들 국가는 부식방지를 위한 하수관거 설계지침 및 기준이 수립되어 시행되고 있는데 부식 예측식을 적용하여 부식 정도를 판단하고 그 결과에 따라 내식성관의 사용 및 각종 부식 방지기법을 적용토록 되어 있다. 아울러 현재까지도 하수관거의 부식방지를 위한 부식 현상의정확한 규명을 위한 연구는 물론 부식방지를 위한 다양한 재료의 개발에 많은 투자를 하고 있다.

3.1.2 일본

표 1. 콘크리트 생화학적인 부식의 주요 대책 기술

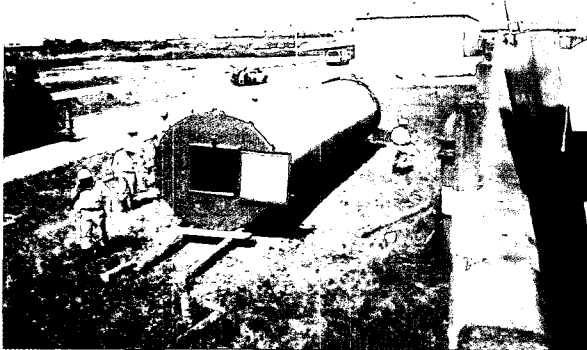
대책 기술의 분류	기술의 분류	대상 시설	원리와 대책
콘크리트 부식의 억제기술 (황산생성의 억제)	하수중의 황산이온농도저하	주요 관로 시설	· 황화수소의 생성 잠재력의 저하 (공장배수, 온천배수 등의 규제, 해수침입의 방지)
	하수 또는 오니 중의 황산생성물 억제	관로시설 펌프장, 처리장	· 혐기화 방지(압송관에 공기, 산소, 초산염주입 등) · 혐기화 방지(양수펌프, 처리장의 적정운전)
	용존황화물의 고정과 황화수소의 기상중으로의 방산방지	관로시설 펌프장 · 처리장	· 액상중의 황화물의 산화 · 고정화 (염화 제2철주입, 폴리황산제2철주입) · 황화수소의 방산을 억제하는 구조 (합류부의 교란방지 및 단차 · 낙차의 해소)
콘크리트방식기술	황산을 생성하는 황산화세균의 활동억제	관로시설 펌프장 · 처리장	· 기상중 H <sub>2</sub> S가스농도의 회석 · 제법 : 환기, 탈취 · 콘크리트 표면의 건조 : 환기 · 황산화세균의 대사억제 : 콘크리트 방균제
	콘크리트의 내황산성 향상	관로시설 펌프장 · 처리장	· 콘크리트표면의 피복(도포형 및 시트 라이닝 공법) · 콘크리트의 내황산성 향상(내황산성 콘크리트)

일본의 경우 미생물에 의한 황화수소 발생 및 콘크리트 하수관의 부식에 관한 연구는 수년 전부터 학계를 중심으로 시작되었으며, 최근에는 하수도 분야의 주요 관심사로 등장하고 있다. 일본 토목연구소 등에서는 수년째 연구를 수행하고 있는 등 매우 활발한 연구와 문제 제기가 이루어지고 있으며, 하수도 사업단에서는 하수도 시설의 부식방지를 위한 지침이 제정되어

시행되고 있다. (사)일본하수도협회에서는 관, 맨홀, 오수조를 포함한 관거시설을 대상으로 한 부식 대책 설계의 지도서 작성을 목적으로 2001년 12월에 「하수도 관로시설 방식 설계 매뉴얼 검토위원회」를 설치하여 하수도 관로시설 부식 대책 지도(안)를 발간하였다.

한편, 일본의 업체에서는 생화학적인 부식의 원인인 황산화세균의 생장을 억제시킬 수 있는 방균제 및 방균콘크리트에 관한 실용적 연구를 진행하였다. 그 결과 하수시설 콘크리트의 혼화재료로 투입되는 분말형의 방균제가 개발되었으며, (주)시나넨의과 (주)hazama건설 등의 항균 · 방균제가 실용화되고 있다.

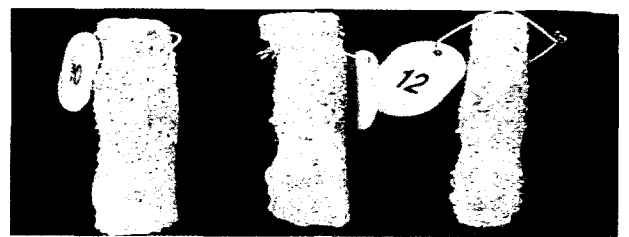
〈사진 2〉는 실제 하수환경에 폭로시험을 위한 콘크리트 파이프의 설치 모습과 파이프 내부의 시험체 설치 상황을 보여주고 있다. 〈사진 3〉은 폭로시험 2년 후의 방균제의 항균성분을



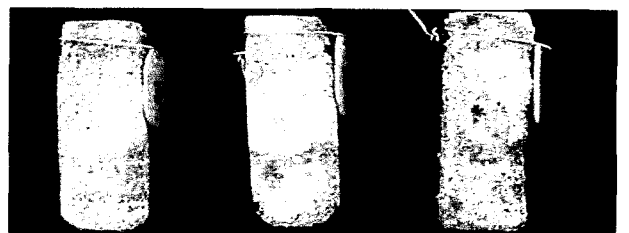
(a) 하수환경에 폭로시키기 위한 콘크리트 파이프



(b) 콘크리트 파이프 내부의 공시체  
사진 2. 하수환경에의 폭로시험 (일본)<sup>9)</sup>

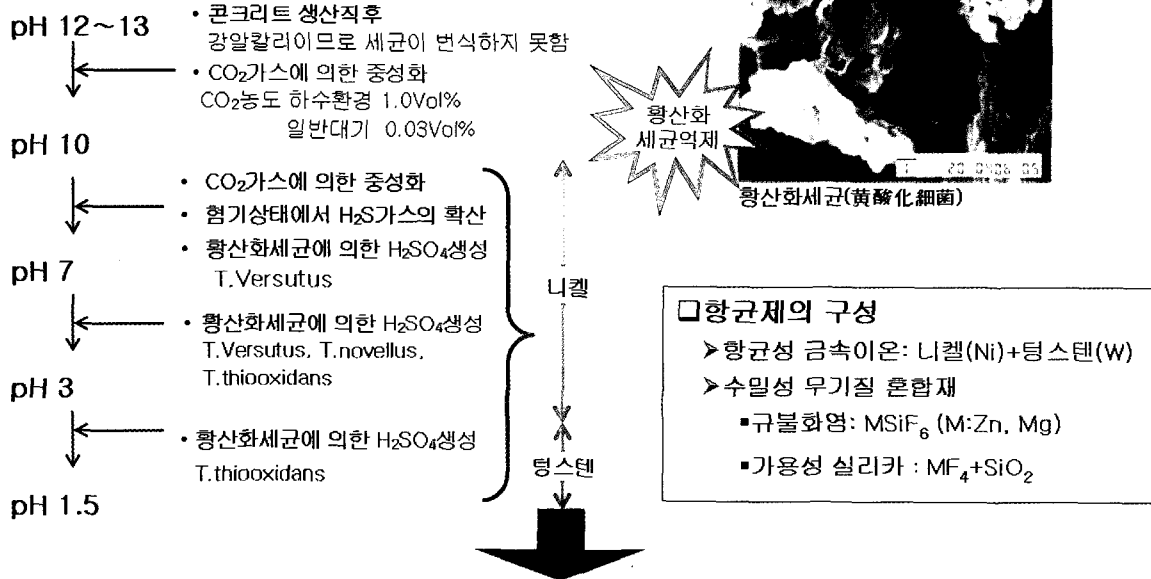


(a) Plain



(b) 항균성분 0.1% 첨가  
사진 3. 폭로 시험 2년 후의 시험체 모습<sup>9)</sup>

### 콘크리트의 pH



중성화 억제 성능 + 황산화세균 억제성능

그림 3. 생화학적 부식 메커니즘에 의한 항균 콘크리트의 디자인 사례

첨가한 시험체와 첨가하지 않은 Plain 시험체의 모습이며 <사진 4>는 일본의 오수처리관 내에 5.5년간 폭로시킨 시험체의 사진을 나타낸 것으로 방균제의 항균성분이 포함되지 않은 Plain의 경우 항균성분을 첨가한 시험체에 비해 콘크리트의 부식이 현저하게 나타나 방균제에 의한 생화학적 부식 저항성을 실증적으로 검증한 일례이다<sup>8)</sup>. <표 2>은 일본에서 개발된 방균

제에 대한 개략적인 특징을 나타낸 것이다.

### 3.2 국내 연구현황

국내의 경우 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 대하여 일찍이 문헌적으로 소개되었으며, 현재까지의 연구개발 현황은

표 2. 일본 항균제 개발 현황 및 그 특징

항 목	제품의 특징
제조·판매사	(주)NMB, (주)포조리스물산, (주)hazama건설
상품명	콘크리트용 방균제
형태	회색분말
대상세균	황산화세균(thiobacillus)
주요 성분	은, 동 + Zeolite
항균 기구	니켈(중성영역, pH 6 ~ 8), 텅스텐(산성영역, pH 2.5 ~ 5.0) 은, 동에 의한 항균/살균효과(황산화세균의 번식 억제), Zeolite와 화학적 결합에 의한 장시간 항균효과 발휘 → 황산생성속도 억제
요구 특성	콘크리트 강도에 악영향이 없고, 분산성이 우수해야함
적용 용도	하수도용 도관, 레미콘, 박스 칼버트, 보수용 모르타 등
기타 특성 및 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고가의 Zeolite와 은의 사용</li> <li>- 제조비용 상승 유발과 비경제성으로 인해 국내 적용 곤란</li> <li>○ 무독성</li> <li>- 은의 경우 물, 유기용제에 녹지 않아 용출이 거의되지 않음</li> <li>○ 화학반응에 의한 중금속(구리)의 용출가능성 내포</li> <li>- 중금속 용출에 의한 하천수의 오염위해성 초래</li> <li>○ 은의 강력한 살균작용으로 황산화세균외의 유익세균(pro-biotics)의 번식억제 초래</li> <li>- 유기성슬러지의 생분해 작용 장애 및 환경위해성 유발</li> </ul>

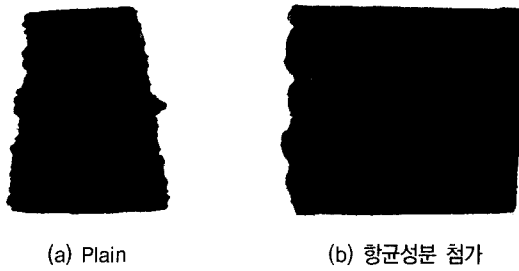


사진 4. 실제하수환경에 5.5년간 폭로 시험 후의 시험체 모습<sup>8)</sup>

〈표 3〉에 개략적으로 나타낸 바와 같다.

1993년 한국건설기술연구원의 「하수관거의 부식에 관한 연구」에서는 선진국에서 수행된 연구자료의 검토 및 현장조사와 실험을 통하여 국내 여건에 적합한 부식방지대책을 제시하고자 부식 상의현 이론 및 유형조사, 국내 하수관거의 부식 실태 및 여건조사, H<sub>2</sub>S의 발생 실험 및 부식량 예측기법 개발, 부식 실험과 국내에 적합한 하수관거의 부식방지 대책 제시 등에 관한 연구가 처음으로 실시되었다<sup>15)</sup>.

### 3.2.1 분말형 항균제 개발연구

2001년에는 (주)유성테크 및 (주)아성정밀화학에서는 항균제에 관한 연구를 진행하였다. 특히 (주)아성정밀화학은 한국전자제시험연구원과 공동으로 「국내·외 흙관의 실태조사 및 성능개선 연구」를 진행하였으며, 원심력 철근 콘크리트관 제조시 무기질 항균제를 첨가하여 황화수소에 대한 내식성 향상과 콘크리트의 치밀화 및 수밀성 증진을 통한 고강도, 고내구성 원심력 철근 콘크리트관을 개발하고자 하였다. 반응성이 높은 Ag<sup>2+</sup>와 Cu<sup>2+</sup>를 무기 담지체(제올라이트)에 이온결합시켜 물리 화학적으로 안정한 구조로 만들어, 장기적으로 항균력을 발휘할 수 있

는 원심력 철근콘크리트관용 무기 항균제를 개발하였다<sup>16)</sup>.

### 3.2.2 규격의 개정

신행 연구 결과를 토대로 2004년도에는 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 대한 지침으로서 KS F 4403 「원심력 철근 콘크리트관」에서 4.4 방균성능, 6.9 방균제, 8.3 방균 시험, 9.6 방균 성능을 명시하였다<sup>18)</sup>.

### 3.2.3 액상형 무기질 항균제 개발연구

2004년 삼성물산(주) 건설부문과 (주)트라이포드는 「항균 콘크리트 제조기술 개발」에 관한 연구를 진행하였으며, 일본의 기존 분말형 항균제와는 다른 액상형 무기질 항균제 및 이를 사용한 하수구조물용 항균 콘크리트에 관한 연구개발을 수행하였다. 본 연구에서는 기존 항균제와는 달리 열악한 하수환경하에 처해 있는 하수구조물의 여건을 고려하여 황산화세균에 대한 항균성능뿐만 아니라 각종 열화요인의 침투를 억제하는 수밀성능, 액상으로서 콘크리트내에서의 분산성능의 향상, 레미콘 적용의 용이성 등 실용적 측면에서 접근하고자 하였다<sup>19)</sup>.

### 3.2.4 도포형 항균제 개발 연구

2004년도 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 중 상·하수도 관망 최적 관리기술의 일환으로 연구가 진행되었으며, 연구과제 수행기관으로서 충남대학교, (주)트라이포드, 한국화학연구원이 공동으로 참여하였다. 본 연구에서는 하수시설 콘크리트의 표면에 도포되는 항균성 피복재와 그 적용기술 및 공정에 관한 연구를 진행하였으며, 피복재 내에 항균성분을 고정화시켜 황산화세균에 대한 항균성능을 발휘하도록 하였다. 표면피복재의 경우 하수시설 콘크리트 표면에 도막을 형성하여 하수환경하에 존재

표 3. 항균제 및 항균 콘크리트에 관한 국내 현황

년도	주관기관	연구명	연구내용
1993	한국건설기술연구원	「하수관거의 부식에 관한 연구」	국내 하수관거의 부식 실태 및 여건조사, H <sub>2</sub> S의 발생 실험 및 부식량 예측기법 검토 등에 관한 연구
2001	(주)유성테크	「콘크리트 하수관 부식방지용 방균제 개발」	항균제 개발에 관한 연구
2002	(주)아성정밀화학 한국전자제시험연구원	「국내·외 흙관의 실태조사 및 성능개선 연구」	황화수소에 대한 내식성 향상과 콘크리트의 치밀화 및 수밀성 증진을 통한 고강도, 고내구성 원심력 철근 콘크리트관을 개발
2004	산업자원부 기술표준원	KS F 4403 「원심력 철근 콘크리트관」	하수시설 콘크리트의 생화학적 부식에 대한 지침으로서 방균제 및 이를 사용한 방균관에 대한 관중 추가와 방균성능에 관한 시험방법 명시
2004	삼성물산(주)건설부문 (주)트라이포드	「항균 콘크리트 제조기술 개발」	기존 일본의 분말형 항균제와는 다른 액상형 무기질 항균제 및 이를 사용한 하수구조물용 항균콘크리트에 관한 연구개발을 수행
2004	충남대학교 (주)트라이포드 한국화학연구원	「도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템 및 실용화 기술개발」	환경부 차세대핵심환경기술개발사업 중 상·하수도관망 최적 관리기술의 일환으로 연구가 진행되었으며, 하수시설 콘크리트의 표면에 도포되는 항균성 피복재와 그 적용기술 및 공정에 관한 연구를 진행

하는 각종 열화인자의 침투를 억제하고 유수의 흐름에 의한 마모저항을 높임으로서 하수시설 콘크리트의 내구성을 증대시키고자 하였다. 또한 도포형 항균제의 피복공정을 하수시설 콘크리트의 신설 및 보수공사의 일부 공정으로 활용함으로써 생화학적 부식에 대한 하수시설 콘크리트의 부식방지시스템으로 구축하고자 하였다<sup>20)</sup>.

#### 4. 맺음말

하수시설은 지하에 매설되어 있기 때문에 한 번 설치되면 변경이 불가능하며, 반영구적으로 사용되어야 하는 국가기반시설이므로 철저한 설계와 유지관리가 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 하수시설의 내구수명을 저해하는 각 요인들에 대한 철저한 분석 및 이를 해결할 수 있는 방안에 대한 연구가 선행되어야 한다. 국내의 경우 하수시설 열화의 중요한 원인으로 대두되고 있는 생화학적 부식에 대한 인식이 뒤늦게 이루어졌음에도 불구하고 최근 외국의 기술을 터득하고, 나름대로의 시행착오와 연구개발을 통하여 독자적인 기술을 갖추었으며 또한 지속적인 연구개발이 진행되고 있는 것은 참으로 다행스러운 일이다. 하수시설 부식에 대한 대비는 미래 지향적인 선진국형 하수시설을 갖추기 위한 기초단계임과 동시에 정성 들여 구축한 시스템을 반영구적으로 사용하기 위한 값진 노력이다. 이는 하나를 투자하여 열의 손실을 예방할 수 있는 매우 현명한 선택이며 이러한 이해와 정서가 널리 확산되어야 할 것이다. ☐

#### 참고문헌

1. 환경부, 하수관거 정비 종합계획, 2002.
2. 환경부, 하수도 통계, 1984~2003.
3. 건교부, 하수관거 시설 정비를 위한 조사연구, 1991.
4. 송호면, 콘크리트 하수관의 생·화학적 부식특성에 관한 연구, 박사학위논문, 전북대학교, 2002.
5. 조경숙, "Characteristics of Sulfur-Oxidizing Microorganisms Isolated Sewer Pipe", 대한환경공학회 춘계학술발표회 논문초록집, 1993.
6. 三品文雄, 하수도시설에서 콘크리트의 미생물 부식과 그 대책, 콘크리트공학, 일본콘크리트공학협회, 2003, Vol.41, No.10.
7. 日本下水道事業團, "下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針", 2002, 12.
8. 前田照信, 콘크리트腐食に對する防菌劑の開發に關する研究, 1999, 8, pp.79~131.
9. C. D. Parker, Aust, *J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 23, 1945, pp.81~90.
10. C. D. Parker, *Sewage and Industrial Wastes*, 23, 1477~1485, 1951.

11. 竹内 準一, 황산염 환원균과 생리생태, 용수와 폐수, Vol.31, No.4, 1989.
12. T. Maeda, A. Negishi, Investigation of antibacterial ability of concrete, in *Fracture and Damage of Concrete and Rock - FDCR-2*, ed. by H. P. Rossmanith, E & FN SPON (London), 1993, pp.307~314.
13. T. Maeda, A. Negishi, Y. Oshima, Y. Nogami, K. Kamimura, and T. Sugio, *Isolation of a Sulfur-oxidizing Bacterium That can Grow under Alkaline pH, from Corroded Concrete*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 62, 1998, pp.1087~1092.
14. Design Manual, *Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage System and Treatment plants*, EPA, 1985.
15. 한국건설기술연구원, 下水管渠의 腐食에 關한 研究, 1994.
16. (주)유성테크, 콘크리트 하수관 부식방지용 방균제 개발, 2002.
17. 한국전자제시험연구원, 국내·외 흡관의 실태조사 및 성능개선 연구, 2003.
18. 한국표준협회, KS F 4403, 원심력 철근 콘크리트관, 2004.
19. 삼성물산(주), 항균 콘크리트 제조기술 개발, 2004.
20. 환경부, 도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지시스템 및 실용화 기술개발, 2006.

#### 도서소개



#### 콘크리트공학

저 자 : 박영식, 박우진, 윤상일 공저  
 출판사 : 구미서관  
 발행일 : 2006년 2월 20일  
 총쪽수 : 426쪽  
 정 가 : 23,000원  
 ISBN : 89-8225-525-7

이 책은 콘크리트 재료와 시공 시험방법을 한꺼번에 기술한 책으로 대학에서 토목 및 건축을 전공하는 학생들의 교과서와 콘크리트 기사 시험 준비를 위한 참고서로 활용하도록 하였다.

특히 콘크리트 재료에 국한해서 시멘트, 혼화 재료 등을 중심으로 콘크리트 배합설계와 재료에 관한 특징 및 시공방법 등을 기술하였다. 그리고 부록에는 엑셀을 이용한 콘크리트의 배합설계와 콘크리트 재료시험을 위한 시멘트를 수록하여 콘크리트 기사시험에 도움이 되도록 하였다.

- 장별 구성
- part 1. 콘크리트 재료 및 특성
  - part 2. 콘크리트 구조물의 생산 및 시공관리
  - part 3. 콘크리트 재료시험