

# 무기질 항균제 도포에 의한 콘크리트의 경화성상 및 내구성상 향상에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Development of Physical Properties and Durability of Concrete Spread with Inorganic Antibiotics

김무한\*      길배수\*\*      김재환\*\*\*      조봉석\*\*\*      이의배\*\*\*\*  
Kim, Moo-Han      Khil, Bae-Su      Kim, Jae-Hwan      Cho, Bong-Suk      Lee, Eui-Bae

### 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.

So, in advanced countries, prediction techniques and corrosion inhibition system for sewer concrete are developed and are being applied. Also, antibiotics were developed already but application of that is low because it is not economical and has no practical use. But, in domestic, countermeasures for the corrosion of sewage concrete are not sufficient and biochemical attack is not reflected in those essentially.

In this study, to prevent biochemical corrosion of the sewer concrete, surface of the concrete was spread with liquefied inorganic antibiotics and then its engineering properties were experimentally investigated. As a result, compressive strength of the specimen spread with antibiotics were similar to those of non spread, Both bond strength and abrasion amount of the specimen spread with antibiotics were inferior to non spread. Properties of absorption and air permeability of the specimen spread with antibiotics were superior to non spread. Finally, carbonation depth, chloride ion penetration depth and weight change ration of the specimen spread with antibiotics were smaller than non spread.

키 워 드 : 생화학적 부식, 무기질 항균제, 하수시설, 콘크리트, 황산화세균

Keywords : Biochemical corrosion, Inorganic antibiotics, Sewage, Concrete, Sulfur-oxidizing bacteria

## 1. 서 론

현대사회에 있어 하수시설은 도심지의 침수방지를 위한 우수배제, 오수의 수송처리, 수세화 보급에 의한 생활환경 개선 이외에도 하천, 호소, 해역 등의 수질보존, 보건환경 및 위생 등 국민의 환경권 보장에 있어서 필수불가결한 사회기반시설이다.<sup>1)</sup> 이러한 하수시설의 최적 유지관리를 위해 정부에서는 2002년에 개최된 「하수관거 효율향상을 위한 국제세미나」에서 하수관거의 정비를 하수도정책의 최우선으로 추진할 수 있도록 「하수관거정비 7대 중점과제」를 발표한 바 있으며, 최근에는 전국적으로 하수관거의 정비 및 개선을 위한 타당성 조사사업과 시범사업을 실시하고 있는 등 나날이 그 중요성이 증대되고 있다.

한편, 하수시설의 대부분을 이루고 있는 하수관거는 주요 재질이 콘크리트이며, 이러한 콘크리트 하수관거의 수명을 저해하는 요인은 크게 시멘트 수화물, 골재, 철근 등의 화학적

침해와 유체 흐름에 의한 물리적 침식으로 대별될 수 있다. 실제 하수시설 콘크리트의 부식 메커니즘에 있어서는 이와 같은 다종다양한 열화요인이 복합적으로 작용하고 있으며, 이 중에서도 특히 미생물 작용에 의해 생성되는 황산( $H_2SO_4$ )과 콘크리트의 시멘트수화물이 반응하여 부식을 유발하는 생화학적 부식이 주요 원인인 것으로 보고되고 있다.<sup>1),2)</sup>

이에 일본 및 미국 등의 선진국에서는 일찍이 하수관거의 생화학적 부식에 대한 연구와 더불어 부식 예측식 개발과 같은 부식에 대한 대책이 강구되어 왔으며, 현재에는 부식방지를 위한 하수관거 설계지침 및 기준을 수립하여 시행함으로써 하수시설 콘크리트의 부식방지를 도모하고 있다. 반면 국내의 경우 하수관거의 생화학적 부식을 인식하기 시작한지 불과 수년에 지나지 않아 체계적인 연구가 아직 미비한 실정이며, 최근 정부에서 대규모 하수도 정비사업을 실시하고 있으나 생화학적 부식에 대한 근본적인 대책이 마련되어 있지 않은 실정이다.<sup>3),4)</sup>

한편 최근 신설용 하수시설 콘크리트의 황산화 세균에 의한 생화학적 부식을 방지하기 위한 대책으로서 황산화세균의 생육을 억제하기 위한 콘크리트 혼화용 항균제가 개발되었으나 이들은 중금속인 니켈, 텅스텐 등의 항균금속이 콘크리트

\* 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과, 교수·공학

\*\* 정회원, (주)트라이포드, 대표이사·공학

\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

관 제조시 원심성형에 의한 비중차에 의해 관 외부에 집중되는 문제가 지적되고 있으며, 이를 해결하기 위해 다공질의 제올라이트 입자에 항균금속을 혼입시키는 공법이 개발되었으나 제조원가의 상승 등으로 인해 그 사용실적이 미미한 실정이다.

이에 본 연구에서는 그림 1과 같이 황산화세균에 대한 항균성능, 콘크리트의 물성 개선효과 및 경제성을 갖도록 개발된 액상 무기질 항균제를 콘크리트에 도포한 후, 콘크리트의 경화성상 및 내구성상을 실험·실증적으로 비교·분석하여 하수시설용 콘크리트에 대한 항균제의 적용성을 검토함으로써 항균제 도포에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템을 구축하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

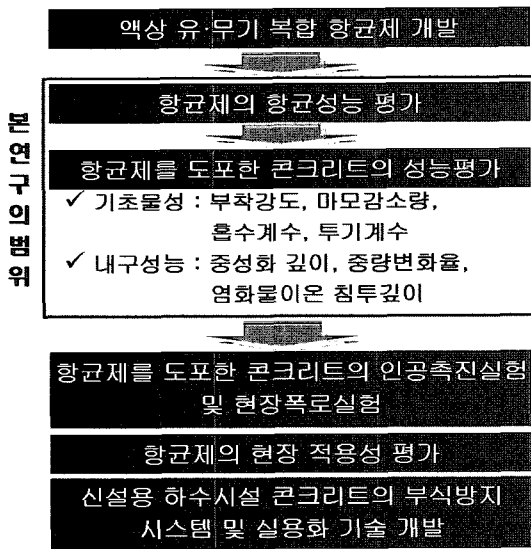


그림 1. 본 연구의 내용 및 범위

## 2. 연구의 개요

### 2.1 생·화학적 부식의 메커니즘

그림 2는 하수관거 콘크리트의 황산화 세균에 의한 생화학

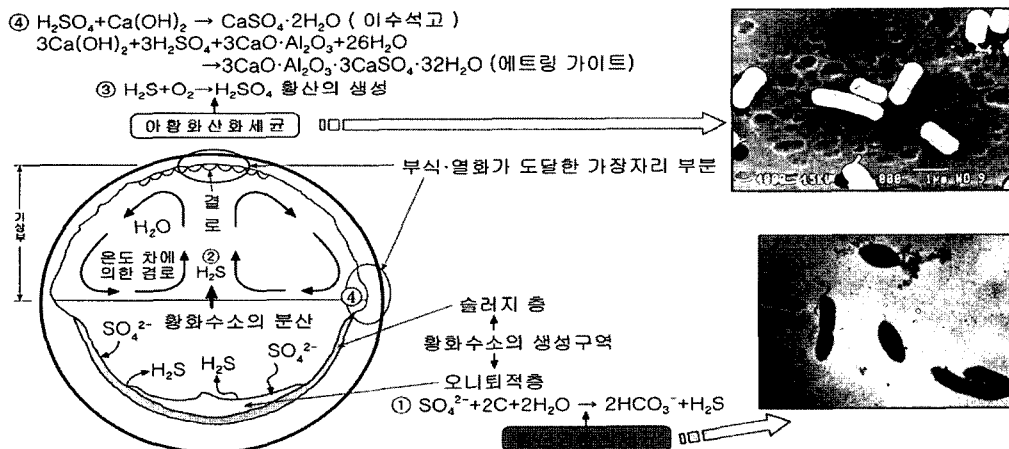


그림 2. 황산화 세균에 의한 생·화학적 부식의 메커니즘

적 부식 메커니즘의 모식도를 나타낸 것으로서, 1차적으로 하수관거의 하수층 하부에 퇴적되어 있는 오니층이나 슬러지층에 생존하는 혐기성 미생물이 황산이온과 유기물을 이용하여 황화수소(H<sub>2</sub>S)를 생성하게 된다.

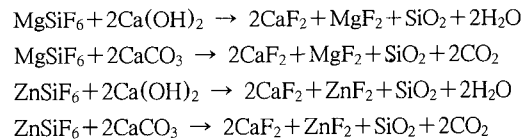
생성된 황화수소는 기층부로 상승·이동하게 되고, 콘크리트면에 서식하는 호기성 미생물인 황산화 세균에 의해 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)으로 전환된다. 생성된 황산은 콘크리트의 시멘트수화물과 화학반응을 일으켜 이수석고 등을 발생시킴으로써 최종적으로 시멘트수화물의 조직 와해 및 콘크리트의 열화를 유발시키게 되며, 이러한 생·화학적 부식의 진행단계를 개략적으로 나타내면 다음과 같다.

- 제 1 단계 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + 유기물 → H<sub>2</sub>S(g)
- 제 2 단계 H<sub>2</sub>S(g) + 2O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- 제 3 단계 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 시멘트수화물 → 이수석고 등

### 2.2 액상 무기질 항균제

#### 1) 항균제의 제조기술 개요

본 연구에서는 국내에서 시판되고 있는 콘크리트 침투성 무기질 표면강화제인 규플루오르화염계 수용액에 니켈 및 텅스텐 등의 항균금속을 첨가하여 수용액 상태로 제조하였다. 규플루오르화염계 표면강화제는 규플루오르화마그네슘(MgSiF<sub>6</sub>) 및 규플루오르화아연(ZnSiF<sub>6</sub>) 등을 주성분으로 하며, 콘크리트 표면에 도포할 경우 모세관 공극을 따라 침투하여 칼슘성분과 반응하여 불용성의 안정하고 치밀한 결정구조를 갖는 플루오르화칼슘(CaF<sub>2</sub>)과 플루오르화마그네슘(MgF<sub>2</sub>) 등을 생성시킴으로써 콘크리트 표면층의 내마모성, 내수성 및 내약성을 향상시키는 것으로 보고되고 있다.



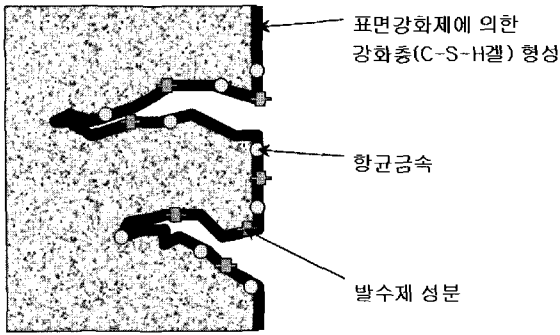


그림 3. 콘크리트 표면과 공극에서의 항균제 부착 및 침투 모식도

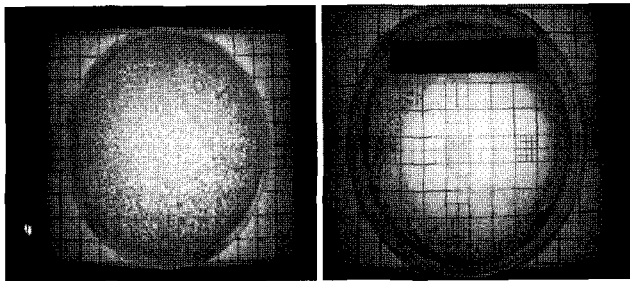


사진 1. 항균제의 항균성능 평가 (Thiobacillus novellus)

한편, 항균제는 상기의 표면강화제에 황산화 세균의 증식을 억제시키기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 니켈 및 텅스텐 등의 항균금속을 용해시켜 수용액 상태로 제조하였다. 또한 콘크리트 하수시설은 항상 습윤상태가 유지되는 점을 고려하여, 항균제를 도포한 콘크리트가 발수성을 나타내도록 하기 위해서 상기와 같이 제조한 항균제에

실리콘계 발수제를 첨가하여 발수성을 부여한 항균제도 제조하였다. 상기된 바와 같이 개발된 항균제를 도포하여 콘크리트에 항균성이 부여되는 메커니즘을 그림 3에 개략적으로 나타내었다. 그림 3에서 항균제를 도포한 콘크리트 표면에서는 콘크리트 수화반응시 생성되는  $Ca(OH)_2$ 와 규플루오르화염이 반응하여 표면과 공극면에 불용성 플루오르화염 및 강화층(C-S-H겔)을 형성하게 되며, 이 강화층 내에 항균금속이 존재함으로써 황산화 세균의 증식을 억제하게 됨으로써 항균성능이 발휘되며, 실리콘계 발수제가 포함되어 있기 때문에 흡수저항성을 발휘하게 된다.

## 2) 액상 무기질 항균제의 항균성능

본 연구에서 개발된 항균제의 황산화세균에 대한 항균성능을 평가하기 위해 먼저 배지를 제조하여 페트리 디쉬(Petri dish)에 약 10 ml의 배지를 넣은 후 배양한 황산화 세균(Thiobacillus novellus)을 배지에 고르게 분산시키고 항균제를 0.05 ml 투여하여 약 한달 동안 인큐베이터에 배양시켜 클리어존(Clear zone)의 생성여부로서 항균성능을 평가하였다.

그 결과, 사진 1에 나타난 바와 같이 항균제를 투입한 경우가 투입하지 않은 경우에 비해 클리어존이 뚜렷이 생성되었으며, 이로서 본 연구에서 개발한 항균제의 황산화 세균 증식억제 성능을 실증적으로 확인할 수 있었다.

표 1. 실험 계획

| 시험 계 호 <sup>1)</sup> | 항 균 제                   |             |                   |
|----------------------|-------------------------|-------------|-------------------|
|                      | 모체 콘크리트<br>물시멘트비<br>(%) | 발수제<br>첨가유무 | 항 균 제<br>도포횟수 (회) |
| 45-유-0               | 45                      | 유           | 무도포               |
| 45-유-1               |                         |             | 1                 |
| 45-유-2               |                         |             | 2                 |
| 45-유-3               |                         |             | 3                 |
| 45-무-2               | 55                      | 무           | 2                 |
| 55-유-0               |                         |             | 무도포               |
| 55-유-1               |                         |             | 1                 |
| 55-유-2               |                         |             | 2                 |
| 55-유-3               | 55                      | 유           | 3                 |
| 55-무-2               |                         |             | 무                 |

주 1) 45 - 유 - 0  
 → 도포횟수  
 → 발수제 첨가유무  
 → 모체콘크리트의 물시멘트비

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 실험계획

표 1은 본 연구에서 개발한 액상 무기질 항균제를 도포한 콘크리트의 경화성상 및 내구성상을 검토하기 위한 실험 계획을 나타낸 것으로서, 물시멘트비는 현재 신설용 하수시설 콘크리트에 대표적으로 활용되는 45% 및 55%의 2수준으로 설정하였다. 또한 항균제에 있어서 발수제 첨가에 의한 영향을 검토하기 위해 발수제 첨가 유/무의 2수준을 설정하였으며, 항균제의 도포 횟수를 무도포, 1, 2, 3회의 4수준으로 설정하였다.

측정항목으로서는 표 2에 나타난 바와 같이 항균제를 도포한 콘크리트의 경화성상을 검토하기 위해 마모감소량, 부착강도, 흡수계수 및 투기계수 등의 4항목을 재령 28일에 측정하였으며, 내구성상을 검토하기 위해서는 중성화깊이, 염화물이온 침투깊이 및 중량변화율을 촉진재령 1, 4, 8주에 각각 측정하였다.

표 2. 측정 항목

| 경 화 성 상 <sup>1)</sup>   | 내 구 성 상 <sup>2)</sup>   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>부착강도 (MPa)</li> <li>마모감소량 (mg)</li> <li>흡수계수 (<math>kg/m^2 \cdot h^{0.5}</math>)</li> <li>투기계수 (cm/sec)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>중성화깊이 (mm)</li> <li>염화물이온침투깊이 (mm)</li> <li>중량변화율 (%)</li> </ul> |

주 1) 재령 28일에 측정

2) 재령 28일 양생 후 촉진재령 1, 4, 8주에 측정

표 3. 모체 콘크리트의 배합

| W/C (%) | 공기량 (%) | 잔골재율 (%) | 단위수량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 단위중량 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |
|---------|---------|----------|---------------------------|---------------------------|-----|------|
|         |         |          |                           | 시멘트                       | 잔골재 | 굵은골재 |
| 45      | 4.5±1.5 | 47       | 180                       | 400                       | 786 | 903  |
| 55      | 4.5±1.5 | 47       | 180                       | 317                       | 814 | 935  |

표 4. 모체 콘크리트용 사용재료

|      |  |
|------|--|
| 시멘트  | 1종 보통보틀랜드시멘트<br>밀도 : 3.15 g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,230 cm <sup>2</sup> /g |
| 굵은골재 | 퇴촌산 부순자갈<br>밀도 : 2.65 g/cm <sup>3</sup> , 최대치수 : 20 mm                       |
| 잔골재  | 인천산 제염사<br>밀도 : 2.56 g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 2.9                           |

표 5. 액상무기질 항균제의 주요 성분 및 기초물성

| 항균제의 주요 성분                                      | 항균제의 물성         |
|---|-----------------|
| 표면강화제 : MgSiF <sub>6</sub> , ZnSiF <sub>6</sub> | 고형분 농도 : 25±1 % |
| 항균 금속 : Ni                                      | pH : 2.0±0.5    |
| 발수제 : Silicon계                                  | 비중 : 1.15±0.05  |

### 3.2 콘크리트의 배합 및 사용재료

본 실험에 사용된 모체 콘크리트의 배합은 표 3에 나타낸 바와 같다. 또한 표 4는 모체콘크리트에 사용된 재료를 나타낸 것으로서 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재로는 밀도 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 최대치수 20 mm의 퇴촌산 부순골재를 사용하였고, 잔골재로는 밀도 2.56 g/cm<sup>3</sup>의 인천산 제염사를 사용하였다.

또한 본 연구에서 사용한 액상 무기질 항균제는 앞서 기술한 바와 같이 MgSiF<sub>6</sub>와 ZnSiF<sub>6</sub>의 표면강화 성분, Ni성분의 항균금속 및 Silicon계의 발수제로 구성되어 있으며, 항균제의 기초물성은 표 5에 나타낸 바와 같다.

### 3.3 시험체 제작 및 양생 방법

콘크리트의 비빔은 용량 100 l의 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 °C의 표준수중양생을 실시하였으며, 이후 모체콘크리트의 표면함수상태를 기건상태로 조절하고 각 요인 및 수준에 따라 항균제를 도포하였다.

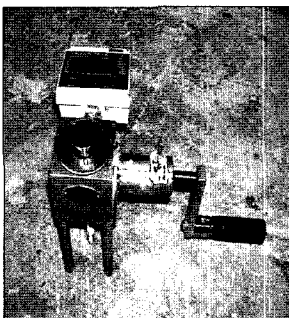


사진 2. 부착강도시험기

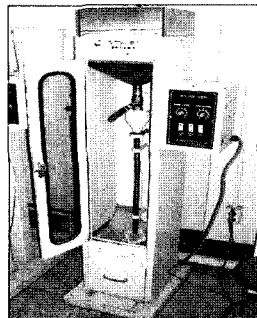


사진 3. 낙사시험기

한편 항균제의 도포는 붓을 사용하였으며, 도포 후 제령 28일까지 20±3 °C의 실내에서 기건양생을 실시하였다.

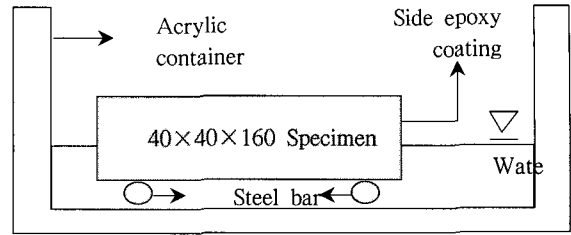


그림 4. 흡수계수 시험방법 모식도

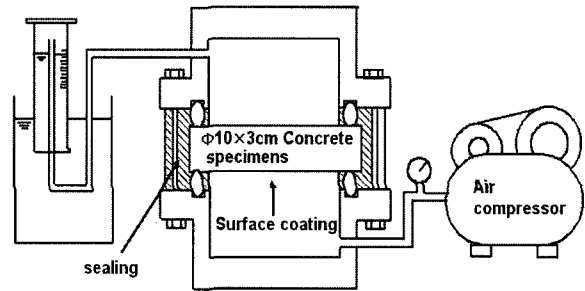


그림 5. 투기계수 시험방법의 모식도

### 3.3 시험방법

#### 1) 경화성상

부착강도는 KS F 4716에 준하여 포터블 부착강도기를 이용하여 측정하였다. 마모감소량은 KS F 2812에 제시된 50×50×10 mm의 시험체를 이용하여 측정하였으며, 사진 3과 같은 낙사모시험기에 의해 낙사 전후의 시험체 중량차로서 계산하였다.

흡수계수는 그림 4에 나타낸 바와 같이 KS F 2609에 준하여 침지 후 10분, 30분, 1시간, 6시간, 24시간의 물흡수량을 측정하여, 식 (1)에 의해 물흡수계수를 산정하였다.

$$m = w\sqrt{t} \quad \text{--- 식 (1)}$$

여기서, m : 면적당 물 흡수량 (kg/m<sup>2</sup>)

w : 물흡수계수 (kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)

t : 시간 (hr.)

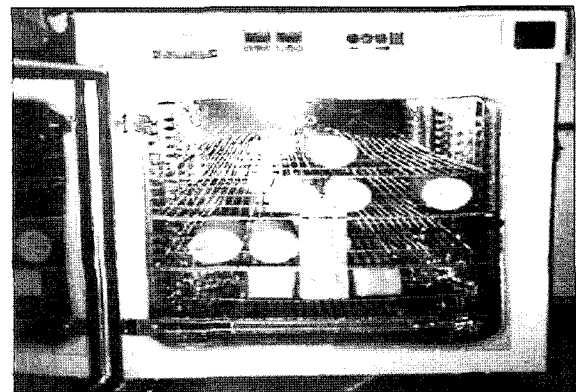


사진 4. 중성화 촉진 시험기

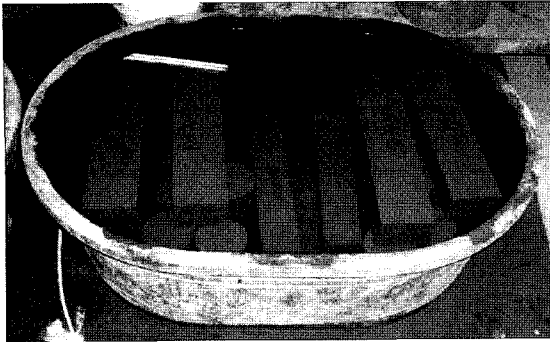


사진 5. NaCl 5% 수용액 침지시험

투기계수는 그림 5에 나타난 바와 같이 내부직경 7cm의 실린더에 시험체를 고정하고 실링한 후, 0.2MPa의 압축공기를 주입하여 메스실린더를 이용한 수증치환법에 의해 투기량을 측정하였으며, 다르시(Darcy)의 법칙을 적용한 식(2)를 이용하여 산정하였다.

$$K = \frac{2 P_2 h \gamma}{P_1^2 - P_2^2} \cdot \frac{Q}{A} \quad \text{식 (2)}$$

- 여기서, K : 투기계수 (cm/sec)  
 P<sub>1</sub> : 재하압력 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 P<sub>2</sub> : 대기압 (1.0332kgf/cm<sup>2</sup>)  
 h : 시험체 두께 (cm)  
 Q : 투기량 (cm<sup>3</sup>/sec)  
 A : 투기면적 (cm<sup>2</sup>)  
 γ : 기체의 단위용적중량 (1.205×10<sup>-6</sup>kg/cm<sup>3</sup>)

## 2) 내구성상

중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이는 100×100×400mm의 시험체를 사진 4와 5에 나타난 바와 같은 CO<sub>2</sub> 5%, 습도 60%의 중성화 촉진시험기 및 5%의 NaCl 용액에 촉진재령 1, 4, 8주간 존치시킨 후 시험체를 할렬하여 1% 페놀프탈레인용액과 0.1N AgNO<sub>3</sub>를 각각 분무하고 변색된 지점까지 5개 부위를 측정하여 각각의 평균값으로 산정하였다.

표 6. 경화성상 측정결과

| 시험체 기호 | 부착강도 (MPa) | 마모 감량 (mg) | 흡수 계수 (kg/m <sup>2</sup> h <sup>0.5</sup> ) | 투기 계수 (×10 <sup>-11</sup> cm/sec) |
|--------|------------|------------|---|-----------------------------------|
| 45-유-0 | 3.03       | 53         | 0.1581                                      | 5.63                              |
| 45-유-1 | 2.86       | 59         | 0.1308                                      | 3.61                              |
| 45-유-2 | 2.89       | 75         | 0.1261                                      | 4.06                              |
| 45-유-3 | 2.66       | 79         | 0.1261                                      | 3.38                              |
| 45-무-2 | 3.12       | 70         | 0.1522                                      | 4.51                              |
| 55-유-0 | 3.21       | 63         | 0.2867                                      | 13.60                             |
| 55-유-1 | 2.92       | 81         | 0.2623                                      | 7.89                              |
| 55-유-2 | 2.64       | 96         | 0.208                                       | 7.21                              |
| 55-유-3 | 2.31       | 100        | 0.2619                                      | 8.11                              |
| 55-무-2 | 2.92       | 92         | 0.2048                                      | 8.56                              |

주) 각 시험항목의 측정값은 3회 평균값임.

중량변화율은 φ100×200 시험체를 5% MgSO<sub>4</sub> 수용액에 촉진재령 1, 4, 8주간 존치시킨 후 기전상태의 질량을 측정하여 산정하였다.

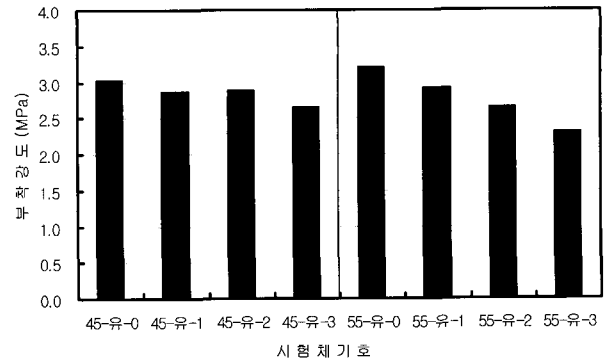


그림 6. W/C 및 도포횟수에 따른 부착강도

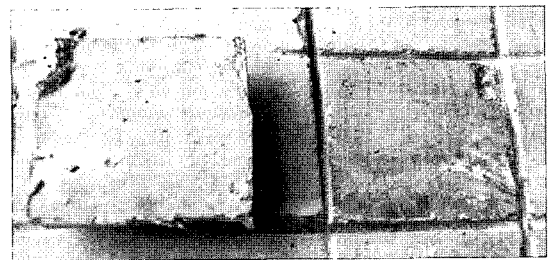


사진 6. 부착강도 측정 후 계면에서의 파단 일례

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 경화성상 검토 및 분석

표 6은 W/C, 항균제의 발수제 첨가유무 및 도포횟수에 따른 항균제를 도포한 콘크리트의 재령 28일 부착강도, 마모감소량, 흡수계수 및 투기계수 등의 경화성상 측정결과를 나타낸 것이다.

#### 1) 부착강도

그림 6은 W/C 및 항균제 도포횟수에 따른 부착강도 측정 결과를 나타낸 것으로서 부착강도는 2.8~3.1MPa의 범위로 도포 횟수가 증가함에 따라 부착강도는 다소 저하하는 경향을 보이고 있으며, 이는 사진 6에 나타난 바와 같이 항균제 도포에 의한 피막형성 및 항균제의 잔류에 의해 콘크리트 표면과의 부착이 저해되었기 때문인 것으로 사료된다.

한편 항균제의 발수제 첨가 유무에 따른 부착강도는 대부분 유사한 수준을 보이고 있어 이 요인이 부착강도에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

#### 2) 마모감소량

그림 7은 W/C 및 항균제 도포횟수에 따른 마모감소량 측정 결과를 나타낸 것으로서 W/C 45%의 경우 53~79mg의 범위를 나타내고 있으며, W/C 55%의 경우 51~100mg의 범위를 나타내고 있다. 또한 도포 횟수가 증가함에 따라 마모감소량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이는 도포횟수가 증가

할수록 콘크리트 표면에 잔류된 항균제 성분이 마모되어 기인한 것으로 사료된다.

이외의 발수제 유무에 있어서는 유의할 만한 경향이 없는 것으로 나타났다.

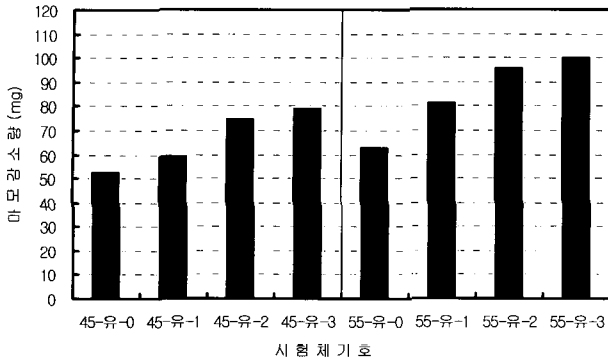


그림 7. W/C 및 도포횟수에 따른 마모감소량

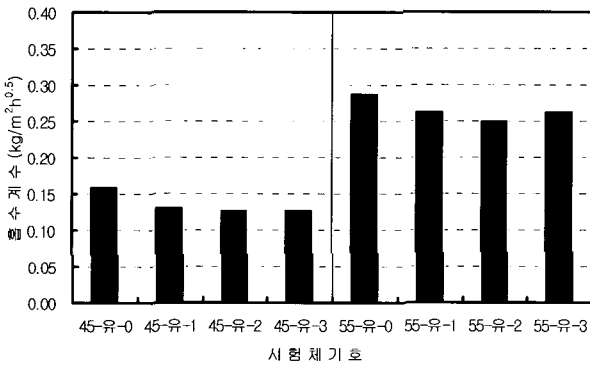


그림 8. W/C 및 도포횟수에 따른 흡수계수

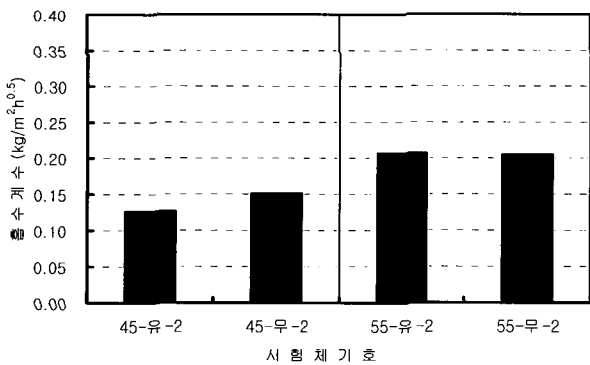


그림 9. W/C 및 발수제 첨가 유무에 따른 흡수계수

### 3) 흡수계수

그림 8은 W/C 및 항균제 도포횟수에 따른 흡수계수를 나타낸 것으로서, W/C 45%의 경우가 W/C 55%의 경우에 비해 약 0.1 kg/m²h⁰.⁵ 정도 낮은 흡수계수를 나타내고 있으며, 도포횟수가 증가함에 따라 흡수계수가 다소 저하하는 경향을 보이고 있다.

그림 9는 W/C 및 항균제의 발수제 첨가 유무에 따른 흡수계수를 나타낸 것으로서 항균제에 발수제를 첨가한 경우가

첨가하지 않은 경우에 비해 다소 낮은 흡수계수를 나타내고 있다.

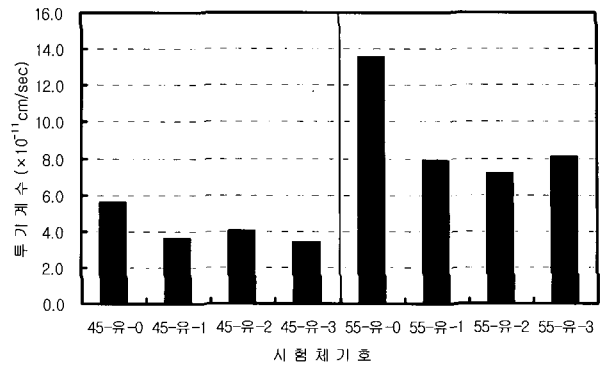


그림 10. W/C 및 도포횟수에 따른 투기계수

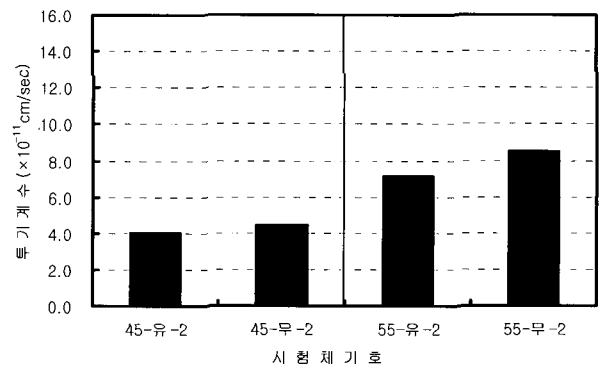


그림 11. W/C 및 발수제 첨가 유무에 따른 투기계수

### 4) 투기계수

그림 10은 W/C 및 항균제 도포횟수에 따른 투기계수를 나타낸 것으로서 W/C 45%의 경우가 55%의 경우에 비해 약  $4 \times 10^{-11}$  cm/sec 낮은 투기계수를 나타내고 있으며, 항균제를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우에 비해 투기계수가 저하하였으며, 이러한 경향은 W/C 55%에서 뚜렷하게 나타났다. 이는 W/C 55%의 경우 표면공극이 W/C 45%에 비해 다수 존재하며 이로 인해 항균제를 도포함으로써 표면공극이 채워지는 효과가 현저하기 때문인 것으로 사료된다.

표 7. 내구성상 측정결과

| 시험체기호  | 중성화깊이 (mm) |     |      | 염화물이온 침투깊이 (mm) |      |      | 중량변화율 (%) |      |      |
|--------|------------|-----|------|-----------------|------|------|-----------|------|------|
|        | 1주         | 4주  | 8주   | 1주              | 4주   | 8주   | 1주        | 4주   | 8주   |
| 45-유-0 | 2.1        | 4.2 | 6.7  | 7.17            | 9.53 | 12   | 0.55      | 0.55 | 0.63 |
| 45-유-1 | 1.5        | 3.4 | 4.5  | 5.17            | 8.3  | 9.97 | 0.53      | 0.55 | 0.64 |
| 45-유-2 | 0.8        | 2.8 | 4.3  | 5.60            | 7.97 | 9.6  | 0.59      | 0.56 | 0.66 |
| 45-유-3 | 1.1        | 3.9 | 4.6  | 7.80            | 8.7  | 10.2 | 0.56      | 0.57 | 0.64 |
| 45-무-2 | 1.7        | 3.0 | 5.0  | 5.77            | 9.67 | 9.75 | 0.62      | 0.62 | 0.70 |
| 55-유-0 | 4.2        | 7.1 | 12.8 | 8.20            | 12.8 | 15.4 | 0.88      | 0.86 | 0.96 |
| 55-유-1 | 3.5        | 5.6 | 8.9  | 8.00            | 10.5 | 13.2 | 0.83      | 0.90 | 0.89 |
| 55-유-2 | 2.9        | 4.8 | 7.5  | 7.63            | 9.83 | 14.3 | 0.88      | 0.84 | 0.94 |
| 55-유-3 | 2.5        | 5.1 | 8.9  | 8.10            | 10.3 | 12.2 | 0.93      | 0.87 | 0.97 |
| 55-무-2 | 3.7        | 4.6 | 7.2  | 9.60            | 9.8  | 14.2 | 0.88      | 0.80 | 0.88 |

주) 각 항목의 측정값은 5회 평균값임.

그림 11은 W/C 및 항균제의 발수제 첨가 유무에 따른 투기계수를 나타낸 것으로서, 발수제를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우에 비해 낮은 투기계수값을 타내고 있다.

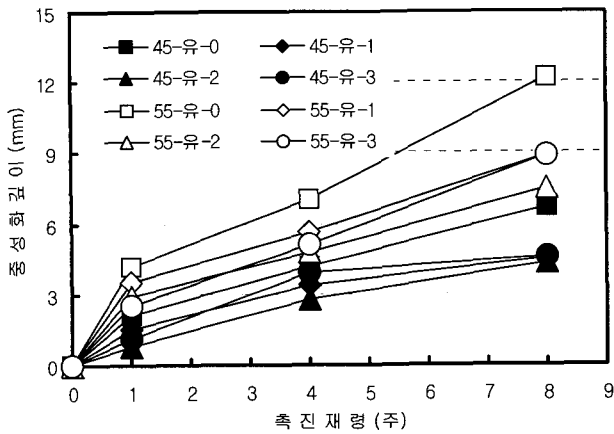


그림 12. W/C 및 도포횟수별 축진재령에 따른 중성화 깊이의 변화

#### 4.2 내구성상 검토 및 분석

표 7은 W/C, 항균제의 발수제 첨가유무 및 도포횟수에 따른 항균제를 도포한 콘크리트의 축진재령 1, 4, 8주에 따른 중성화 깊이, 염화물이온 침투깊이 및 중량변화율 측정결과를 나타낸 것이다.

##### 1) 중성화깊이

그림 12는 W/C 및 항균제 도포횟수별 축진재령에 따른 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로서 동일조건에서 축진재령 8주까지 W/C 55%의 경우 4.3~6.7 mm, 45%의 경우 7.2~12.8 mm로 나타나, W/C 45%의 경우가 비교적 낮은 중성화 깊이를 보였다. 또한 항균제를 도포한 경우 도포하지 않은 경우에 비해 중성화 깊이가 크게 나타났으나, 도포횟수 및 발수제 첨가 유무에 따른 유의할 만한 차이는 확인할 수 없었다.

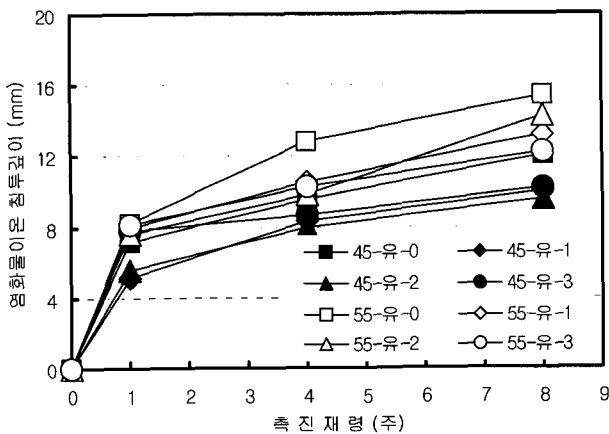


그림 13. W/C 및 도포횟수별 축진재령에 따른 염화물이온 침투깊이의 변화

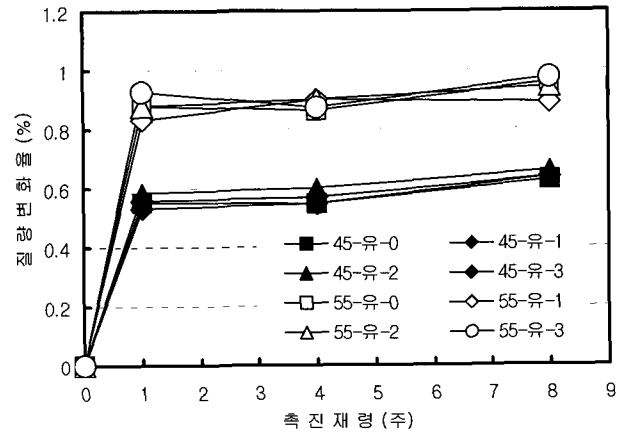


그림 14. W/C 및 발수제 첨가 유무에 따른 중량변화율의 변화

##### 2) 염화물이온 침투깊이

그림 13은 W/C 및 항균제 도포횟수별 축진재령에 따른 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로서 축진재령 8주까지 W/C 45%의 경우 9.6~12.0 mm, W/C 55%의 경우 12.2~15.4 mm로 나타나 45%의 경우가 비교적 낮은 염화물이온 침투깊이를 나타내었다.

또한, 항균제 도포횟수 및 발수제 첨가 유무 따른 경향은 미미하였으나 항균제를 도포한 경우가 무도포의 경우에 비해 다소 낮은 수준을 보이고 있어, 항균제 도포에 의해 하수시설 콘크리트의 염해 저항성을 향상시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

##### 3) 중량변화율

그림 14는 W/C 및 항균제 도포횟수별 축진재령에 따른 중량변화율을 나타낸 것으로서 축진재령 8주까지 W/C 45%의 경우 0.64~0.70%, W/C 55%의 경우 나타나 0.88~0.97로 나타나 W/C 45%의 경우가 비교적 낮은 중량변화율을 나타내고 있다. 또한 항균제 도포횟수 및 발수제 첨가 유무에 따른 유의할 만한 차이는 확인할 수 없었다.

## 5. 결 론

액상 무기질 항균제를 도포한 하수시설용 콘크리트의 경화성상 및 내구성을 실험·실증적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 부착강도 및 마모감소량의 경우 항균제의 도포횟수가 증가함에 따라 부착강도는 다소 낮아지고 마모감소량은 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 항균제에 의한 피막 형성 및 잔류한 항균제 성분에 의한 영향으로 사료된다.
- 2) 흡수계수 및 투기계수의 경우 항균제를 도포함으로써 다소 낮아지는 경향을 보였으며, 발수제 첨가에 의해서도 흡수 및 투기계수를 다소 저감시킬 수 있었다.

- 3) 중성화 침투깊이 및 염화물이온 침투깊이의 경우 항균제를 도포함으로써 그 침투깊이를 저감시킬 수 있었으나, 중량변화율의 경우 항균제 도포보다 물시멘트비에 따른 영향이 크게 작용하고 있다.
- 4) 이와 같이 항균제를 도포함으로써 콘크리트의 경화성상 및 내구성상이 대체적으로 항균제를 도포하지 않은 경우와 동등 이상으로 향상됨을 확인할 수 있었으며, 향후 인공촉진 및 현장 폭로시험과 현장적용성 평가에 의해 본 연구에서 개발한 하수시설 부식방지공법의 지속적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 감 사 의 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.

### 참 고 문 헌

1. 하수관의 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ユアル, 日本下水道事業團, 2002
3. 송호면, 콘크리트 하수관의 생·화학적 부식특성에 관한 연구, 박사학위논문, 2000. 2
4. 정순형 외, 초음파 반응기를 이용한 폐촉매중의 니켈 회수, 한국폐기물학회지 제14권 4호, pp.354-366, 1997
5. Elke Vincke etc, Influence of ploymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete. International biodeterioration & biodegradation, pp.1-10, 2002
6. D. Nica etc, Isolation and characterization of microorganisms involved in the biodeterioration of concrete in sewers. International biodeterioration & biodegradation, pp.61-68, 2000
8. 金武漢 ほか, "モルタル及コンクリートの中性化に影響を及ぼす透氣係數に關する實驗的研究", 日本コンクリート工學協會 論文集, pp.1027-1032, 2000.06, 日本コンクリート工學協會
9. 김무한 외, 콘크리트 표면성능개선에 의한 중성화 억제방안에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제24권 1호, pp.255-258, 2004. 4