



항균제 도포에 의한 하수시설 콘크리트의 성능향상에 관한 연구

김무한¹⁾ · 김규용¹⁾ · 길배수²⁾ · 조봉석¹⁾ · 이의배^{1)*}

¹⁾충남대학교 건축공학과, ²⁾(주)트라이포드

A Study on the Performance Development of Sewage Concrete by Application of Antibiotics

Moo-Han Kim¹⁾, Gyu-Yong Kim¹⁾, Bae-Su Khil²⁾, Bong-Suk Cho¹⁾, and Eui-Bae Lee^{1)*}

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-742, Korea

²⁾Tripod Co. Inc., Daejeon 138-130, Korea

ABSTRACT Recently sewage facilities mainly consisted of concrete structures are being deteriorated seriously by biodeterioration originated from sulfur-oxidizing bacteria. In this study, to prevent biochemical corrosion of the sewer concrete, antibiotics which prevent growth of sulfur-oxidizing bacteria were developed and antimicrobial performance of it was investigated. After that, to consider applicability of antibiotics to concrete, physical properties of concrete covered with antibiotics were investigated. As a results of the study, it was proved that the antimicrobial performance of antibiotics was available. Also compressive strength and bond strength of concrete didn't closely connected with antibiotics, and resistance to abrasion, water absorption, air permeability, carbonation, salt damage and chemical attack of concrete was improved remarkably by covering with it.

Keywords biochemical corrosion, antibiotics, sewage concrete, sulfur-oxidizing bacteria, corrosion prevention

1. 서 론

현대사회에 있어 필수불가결한 사회기반시설인 하수시설은 주요재질이 콘크리트로 이루어져 있으며, 이러한 콘크리트 하수시설의 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 열화요인이 복합적으로 작용하고 있으며, 항상 높은 습도 및 오염물질에 노출되어 있을 뿐만 아니라 토압 및 활하중이 가해지고 있어 지상의 콘크리트구조물에 비해 열화속도가 빠르다. 특히 황산화세균에 의해 생성되는 황산(H_2SO_4)과 시멘트 수화물이 반응하여 부식을 유발하는 생화학적 부식은 하수시설 콘크리트의 열화를 가속시키는 주요 원인인 것으로 보고되고 있다^{1,2)}.

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 수

립하여 시행함으로써 하수시설 콘크리트의 부식방지를 도모하고 있다. 반면 국내의 경우 하수관거의 생화학적 부식을 인식하기 시작한지 불과 수년에 지나지 않아 체계적인 연구가 아직 미비한 실정이고, 최근 정부에서 대규모 하수도 정비사업을 실시하고 있으나 생화학적 부식에 대한 근본적인 대책이 마련되어 있지 않은 실정이다³⁾.

한편 최근 신설용 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식을 방지하기 위한 대책으로서 황산화세균의 생육을 억제하기 위해 콘크리트 혼화용 항균제가 개발되었으나 이들은 중금속인 니켈, 텅스텐 등이 콘크리트관 원심성형 제조시 비중차에 의해 관 외부에 집중되는 문제가 지적되었고, 또 이를 해결하기 위해 다공질의 제올라이트 입자에 항균금속을 혼입시키는 공법이 개발되었으나 제조원가의 상승 등으로 인해 그 사용실적이 미미한 실정이다.

이러한 배경하에 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 황산화세균에 대한 항균성능, 콘크리트의 물성 개선효과 및 경제성을 갖도록 개발된 액상 유·무기 복합 항균제를 콘크리트에 도포한 후, 콘크리트의 물리적 특성과 내구적 특성을 실험·실증적으로 비교·분석하여 하수시설용 콘크리트에 대한 항균제의 적용성을 검토함으로써 항균제 도포에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지시스템을 구축하기 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

*Corresponding author E-mail : mir2468@cnu.ac.kr
Received October 10, 2005, Accepted March 30, 2006
©2006 by Korea Concrete Institute

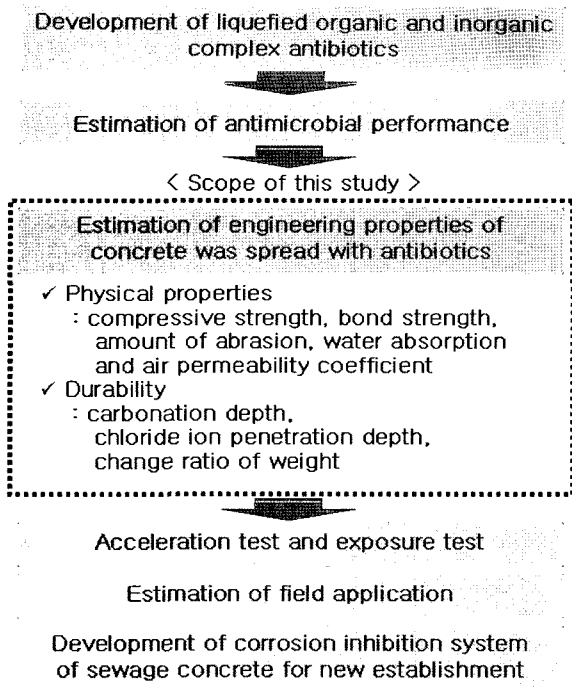


Fig. 1 Contents and scope of the study

2. 생화학적 부식 및 항균제의 개요

2.1 생화학적 부식의 메커니즘

Fig. 2는 하수시설 콘크리트의 황산화세균에 의한 생화학적 부식 메커니즘의 모식도를 나타낸 것으로서, 1차적으로 하수관거의 하수층 하부에 퇴적되어 있는 슬러지층에 생존하는 혐기성 미생물이 유기물을 분해하여 유기산을 섭취하는 과정 중 황화수소(H_2S)를 생성하게 된다. 생성된 황화수소는 기층부로 상승·이동되고, 콘크리트면에 서식하는 호기성 미생물인 황산화세균에 의해 황산(H_2SO_4)으로 전환된다.

이렇게 생성된 황산은 콘크리트의 시멘트수화물과 화학반응을 일으켜 이수석고 및 에트링가이트를 생성시키고 반응이 더욱 진전되어 시멘트수화물의 팽창, 크리트

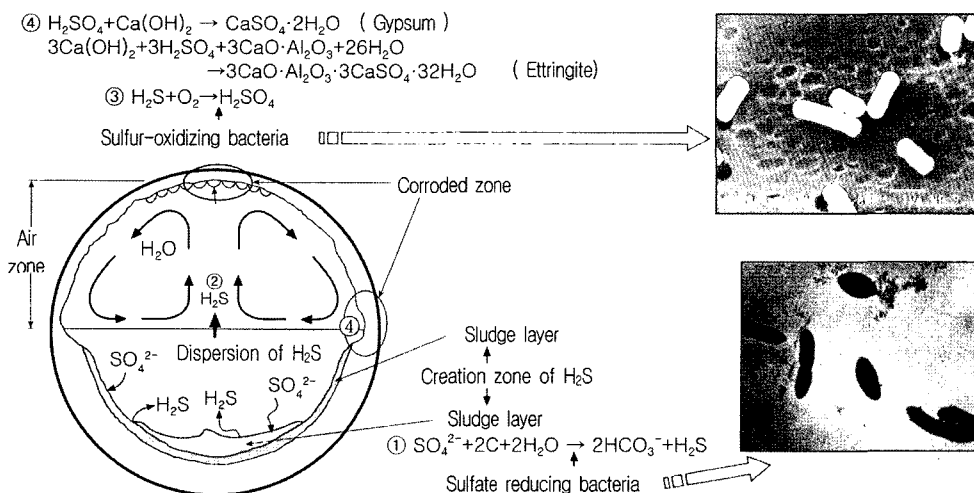
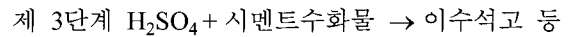
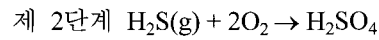
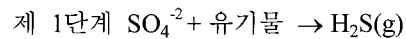


Fig. 2 Biochemical corrosion mechanism of sewage concrete by sulfur-oxidizing bacteria

의 박리·철근의 노출 및 부식을 유발시켜 최종적으로 하수시설 콘크리트의 내하력 저하 및 붕괴에까지 이르게 되며, 이러한 생화학적 부식의 진행단계를 개략적으로 나타내면 다음과 같다.



2.2 액상 유·무기, 복합 항균제

2.2.1 항균제의 개요

본 연구에서 개발한 항균제는 유·무기, 복합 형태인 아크릴변성실리콘 고분자와 반응성 모노머인 TEOS(Tetra-ethylorthosilicate)를 혼합시킨 액상 혼합물에 항균금속으로서 니켈(Ni)을 첨가하여 제조하였다. 반응성 모노머인 TEOS는 나노(nm) 크기로 존재하기 때문에 콘크리트 표면 공극으로 쉽게 침투하고, 알칼리성인 콘크리트 내부 미세공극에서 아크릴변성실리콘 고분자와 가교결합반응을 통하여 3차원 망목구조로 경화반응이 진행되며, 기층에서 도막을 형성하는 특성을 갖고 있다.

또한, 100% 유효성분으로 구성되어 있어 콘크리트의 표면에서 반응 후 부피의 감소가 거의 없으며, 습윤상태의 콘크리트 면에도 도포가 가능하고, 인체에 전혀 무해한 성분으로 구성되어 있는 등의 특징을 갖고 있다.

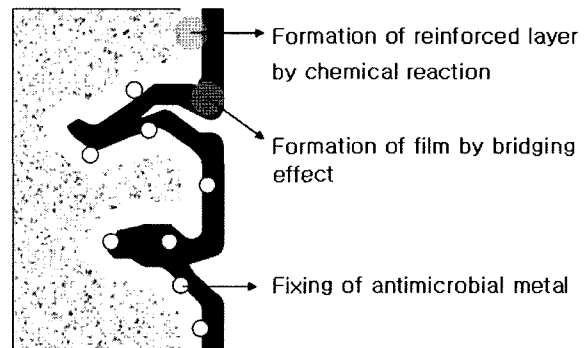
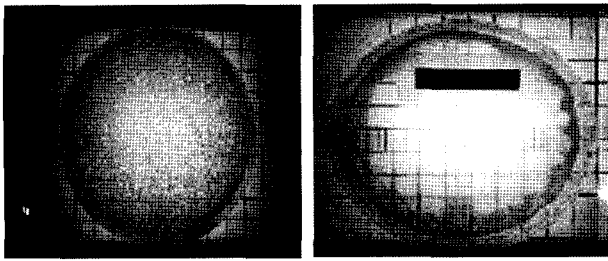


Fig. 3 Schematic of antibiotics performance



(a) Non antibiotics (b) Applying of antibiotics

Photo 1 Estimation antimicrobial property of antibiotics to *Thiobacillus novellus*

한편 항균제는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 콘크리트 표면에 도포되어 일부는 내부로 침투하여 수밀층을 형성하고 일부는 표면에 도막을 형성한다. 또한 수밀층과 도막층 내에는 항균금속이 고정화되어 항균성능을 발휘하게 된다.

2.2.2 항균제의 항균성능 평가

본 연구에서 개발된 항균제의 황산화세균에 대한 항균성능을 평가하기 위해 먼저 배지를 제조하여 페트리 디쉬(Petri dish)에 약 10 ml를 넣었다. 이후 배양된 황산화세균의 일종인 *Thiobacillus novellus*를 배지에 고르게 분산시키고 항균제를 0.05 ml 투여하여 약 한달 동안 인큐베이터에 배양시킨 후, 클리어존(Clear zone)의 생성여부로서 항균성능을 평가하였다.

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

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

Table 1은 액상 유·무기, 복합 항균제의 시공방법에 따른 콘크리트의 물리적 성능 및 내구성능을 검토하기 위한 실험 계획을 나타낸 것으로, 항균제의 도포방법을 미장과 뿔칠의 2수준을 설정하였다. 또한 항균제의 1회 도포량을 10, 20, 40 mg/cm²의 3수준으로 설정하였으며, 도포횟수를 무도포, 1, 2, 3회의 4수준으로 설정하였다.

Table 1 Experimental factors and levels

Series	Applying method of antibiotics		
	Covering method	Covering amount (mg/cm ²)	Covering times (times)
I	Sc. ¹⁾ , Sp. ²⁾	10	1
II	Sc.	10, 20, 40	1
III	Sc.	10	0, 1, 2, 3

1) Covering with scoop (refer to Photo 2(a))

2) Covering with air compressor and spray gun (refer to Photo 2(b))



(a) Sc. (b) Sp.

Photo 2 Covering method

3.2 콘크리트의 배합 및 사용재료

본 연구에 사용된 모체 콘크리트의 배합은 Table 2에 나타난 바와 같다. 또한 Table 3은 모체콘크리트에 사용된 재료를 나타낸 것으로서 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은골재로는 밀도 2.65 g/cm³, 최대치수 20 mm의 퇴촌산 부순골재를 사용하였고, 잔골재로는 밀도 2.56 g/cm³의 인천산 제염사를 사용하였다.

또한 본 연구에서 사용한 유·무기, 복합형태의 반응성 항균제는 아크릴변성실리콘 고분자 성분, 반응성 모노머인 TEOS 성분 및 항균금속으로 구성되어 있으며, 항균제의 기초물성은 Table 4에 나타난 바와 같다.

3.3 시험체 제작 및 양생방법

콘크리트의 비빔은 용량 100l의 펜타입 믹서를 사용하여 시멘트와 잔골재를 투입한 후 30초간 견비빔을 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 표준 수중양생을 실시하였으며, 이후 각 요인

Table 2 Mix proportion

W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
55	15±2	4.5±1.5	47	180	317	814	935

Table 3 Physical properties of materials

Materials	Physical properties
Cement	Ordinary portland cement Density : 3.15 g/cm ³ , Fineness : 3,230 cm ² /g
Coarse aggregate	Crushed stone Density : 2.65 g/cm ³ , Max. size : 20 mm
Fine aggregate	Sea sand Density : 2.56 g/cm ³ , Fineness modulus : 2.9

Table 4 Ingredients and physical properties of antibiotics

Ingredients of antibiotics	Physical properties
· Acrylic modified silicon polymer	· Concentration : 99%
· TEOS (Tetraethylorthosilicate)	· pH : 8~9
· Antimicrobial metal : Ni	· Density : 1.2±0.1 g/cm ³

및 수준에 따라 항균제를 도포한 후 재령 28일까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실내에서 기건양생을 실시하였다.

3.4 시험방법

액상 유·무기 복합 항균제를 도포한 콘크리트의 물리적 성능 및 내구적 성능을 검토하기 위한 측정항목 및 시험방법은 Table 5에 나타난 바와 같으며, 압축강도, 부착강도, 마모감소량 및 흡수계수는 각각의 KS에 준하여 측정하였다.

3.4.1 투기계수

투기계수는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 내부직경 7cm의 실린더에 시험체를 고정하고 실링한 후, 0.2 MPa의 압축공기를 주입하여 메스실린더를 이용한 수중치환법에 의해 투기량을 측정하였으며, 다르시(Darcy)의 법칙을 적용한 식(1)을 이용하여 투기계수를 산정하였다.

$$K = \frac{2P_2 h \gamma}{P_1^2 - P_2^2} \cdot \frac{Q}{A} \quad (1)$$

where, K: Air permeability coefficient (cm/sec)

P_1 : Pressure (kgf/cm²)

P_2 : Atmospheric pressure (1.0332kgf/cm²)

h: Thickness of specimen (cm)

Q: Amount of transmitted air (cm²/sec)

A: Transmitted area (cm²)

γ : Air unit weight (1.205×10^{-6} kg/cm³)

3.4.2 중성화깊이

재령 28일된 시험체를 5% CO₂, 습도 60%의 중성화

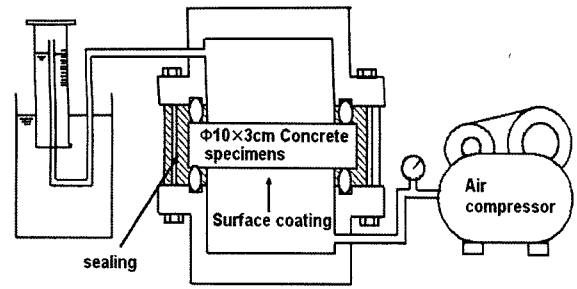


Fig. 4 Equipment schematic for air permeability test

촉진시험기에 1, 4, 8주간 존치시킨 후, 각각의 측정재령에 시험체를 할렬하여 1% 페놀프탈레인용액을 분무하였다. 이후 시험체 표면에서 변색된 지점까지 5개 부위를 측정하여 평균값으로 중성화깊이를 산정하였다.

3.4.3 염화물이온 침투깊이

재령 28일된 시험체를 10% NaCl 수용액에 1, 4, 8주간 침지시킨 후, 각각의 측정재령에 시험체를 할렬하여 페놀프탈레인용액과 0.1 N 질산은용액을 분무하였다. 이후 시험체 표면에서 변색된 지점까지 5개 부위를 측정하여 평균값으로 염화물이온 침투깊이를 산정하였다.

3.4.4 내산성(H₂SO₄)

재령 28일된 시험체를 5% H₂SO₄ 수용액에 1, 4, 8주간 침지시킨 후, 각각의 측정재령에 시험체를 꺼내에 1일간 기건상태에 존치하였다. 이후 열화된 부위를 제거하고 기건중량을 측정 후 식(2)을 이용하여 중량변화율을 산출하였다.

$$S = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (2)$$

Table 5 Measurement items and test method

Measurement items	Test method	Size (mm)
· Compressive Strength (MPa)	KS F 2405	φ 100 × 200
· Bond strength (MPa)	KS F 4716	70 × 70 × 10
· Amount of abrasion (mg)	KS F 2812	50 × 50 × 10
· Water absorption coefficient (kg/m ² ·h ^{0.5})	KS F 2609	40 × 40 × 160
· Air permeability coefficient (cm/sec)	-	f 100 × 30
· Carbonation depth (mm)	5% CO ₂ Acceleration	100 × 100 × 400
· Chloride penetration depth (mm)	10% NaCl Submersion	100 × 100 × 400
· Resistance to acid (H ₂ SO ₄)	5% H ₂ SO ₄ Submersion	φ 100 × 200

Table 6 Test results

Factors and level of test		Comp. strength (MPa)	Bond strength (MPa)	Amount of abrasion (mg)	Water absorption coefficient (kg/m ² ·h ^{0.5})	Air permeability coefficient (cm/sec)
Covering method	Sc.	30.44	1.70	27	0.058	5.63
	Sp.	33.82	1.98	19	0.032	7.89
Covering amount (mg/cm ²)	20	31.80	1.69	14	0.038	2.82
	40	33.39	1.49	9	0.032	1.80
Covering times (times)	0	31.63	2.29	40	0.185	17.46
	2	29.97	1.83	8	0.035	3.38
	3	29.42	1.79	8	0.022	1.35

where, S: Weight change ratio (%)

A : Dry weight before submersion (g)

B : Dry weight after submersion (g)

4. 실험결과 및 고찰

4.1 물리적 성능

Table 6은 항균제를 도포한 시험체의 각 실험요인 및 수준에 따른 압축강도, 부착강도, 마모감소량, 흡수계수 및 투기계수를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

4.1.1 압축강도

Fig. 5는 각 실험요인 및 수준에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서, 뿔칠의 경우가 미장의 경우보다 다소 높게 나타났으며, 1회 도포량의 경우 도포량이 증가할수록 압축강도는 다소 증가한 반면, 도포횟수의 경우는 횟수가 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 모든 요인에 있어 압축강도는 29.42~33.82MPa의 수준을 보이고 있어 항균제의 시공방법에 따른 압축강도는 유의할 만한 차이가 없는 것으로 나타났다.

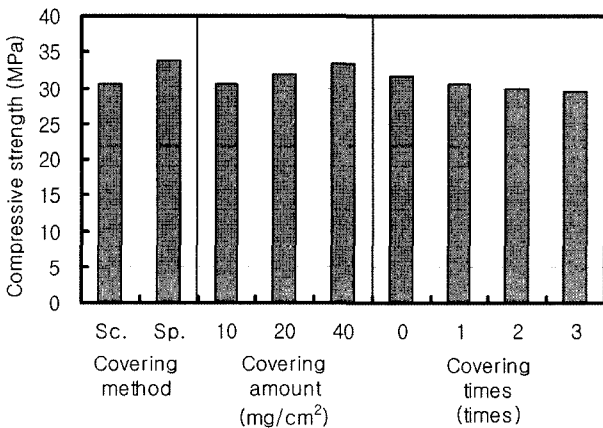


Fig. 5 Compressive strength

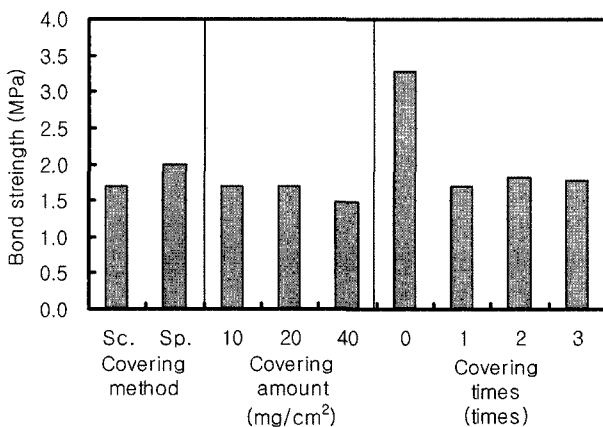


Fig. 6 Bond strength

4.1.2 부착강도

Fig. 6은 각 실험요인 및 수준에 따른 부착강도의 변화를 나타낸 것으로서, 도포방법 중 뿔칠의 경우가 1.98MPa로 미장의 1.70MPa에 비해 높게 나타났다. 1회 도포량 10, 20, 40mg/cm²의 경우 각각 1.70, 1.69, 1.49MPa로 나타나 도포량이 증가할수록 부착강도는 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 이는 1회도포량이 증가할수록 도막의 두께 또한 증가하여 도막 중간층 성분이 완전경화가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 또한 항균제 도포횟수 0, 1, 2, 3회의 경우 각각 2.29, 1.70, 1.83, 1.79MPa로 나타났으며, 모든 실험 요인 및 수준의 경우 KS F 4936의 부착강도 기준인 1.0MPa를 만족하는 것으로 나타났다.

4.1.3 마모감소량

Fig. 7은 각 실험요인 및 수준에 따른 마모감소량의 변화를 나타낸 것으로서, 도포방법에 있어서는 미장 및 뿔칠이 각각 27, 19mg을 나타내고 있어 미장의 경우가 높은 마모감소량을 보이고 있다. 또한 항균제의 1회 도포량 10, 20, 40mg/cm²의 경우 각각 27, 14, 9mg을 나타내고 있어 1회 도포량이 증가할수록 마모감소량은 감소하는 것으로 나타났으며, 도포횟수 0, 1, 2, 3회의 경우

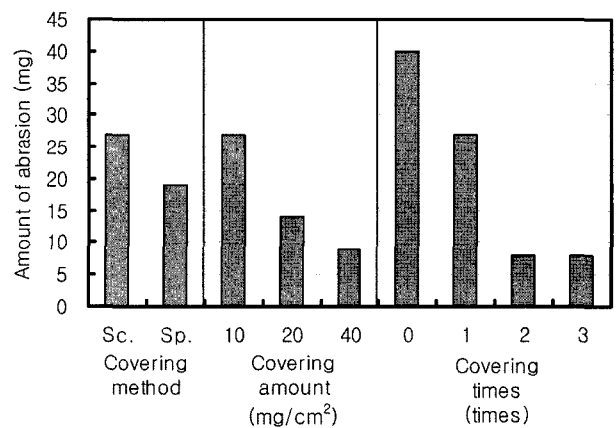


Fig. 7 Amount of abrasion

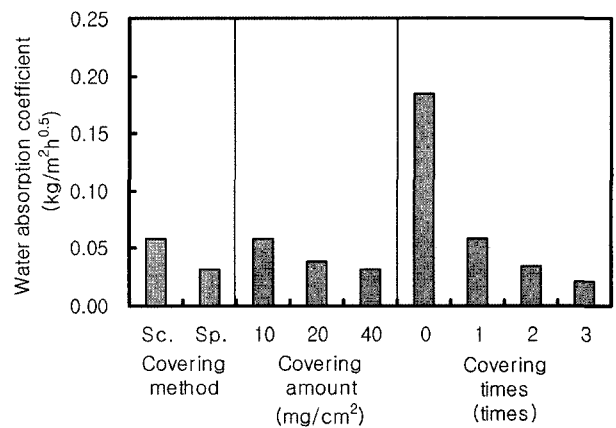


Fig. 8 Water absorption coefficient

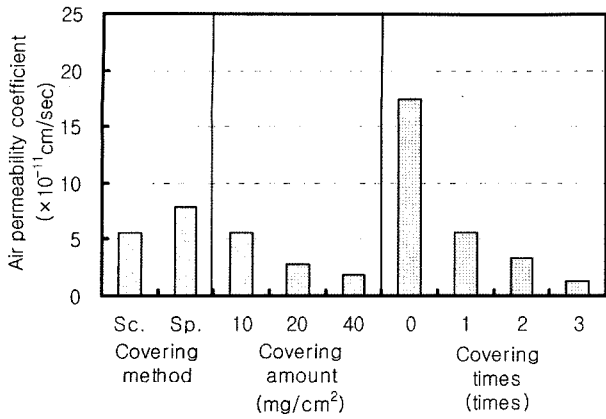


Fig. 9 Air permeability coefficient

각각 40, 27, 8, 8mg으로 나타나 도포횟수가 증가할수록 마모감소량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 항균제 도포에 의한 도막형성으로 인해 낙사에 대한 표면마찰 저항이 감소하였을 뿐만 아니라 탄성거동을 하는 도막이 1회 도포량 및 도포횟수가 증가할수록 두께가 증가하여 낙사에 대한 충격에너지 흡수능력이 증가하였기 때문으로 사료된다.

4.1.4 흡수계수

Fig. 8은 각 실험요인 및 수준에 따른 흡수계수의 변화를 나타낸 것으로서, 도포방법에 있어서는 미장 및 뿔칠이 각각 0.058 및 $0.032\text{kg/m}^2\cdot\text{h}^{0.5}$ 를 나타내고 있어 미장의 경우가 다소 높은 흡수계수를 보이고 있다. 항균

제의 1회 도포량 10, 20, 40mg/cm^2 의 경우 각각 0.058, 0.038, $0.032\text{kg/m}^2\cdot\text{h}^{0.5}$ 를 나타내고 있어 항균제의 도포량이 증가함에 따라 흡수계수는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 도포횟수 0, 1, 2, 3회의 경우 각각 0.185, 0.058, 0.035, $0.022\text{kg/m}^2\cdot\text{h}^{0.5}$ 로 나타나 도포횟수가 증가함에 따라 흡수계수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 항균제 도포로 인해 표면조직이 밀실화되고 도막이 형성되어 흡수저항성이 향상되었을뿐만 아니라 1회 도포량 및 도포횟수의 증가로 인해 도막의 두께가 증가하여 그만큼 흡수저항성이 증가하였기 때문인 것으로 사료된다.

4.1.5 투기계수

Fig. 9는 각 실험요인 및 수준에 따른 투기계수의 변화를 나타낸 것으로서, 도포방법에 있어서는 미장 및 뿔칠이 각각 5.63 및 7.89cm/sec 로 나타나 뿔칠의 경우가 다소 높은 투기계수를 보이고 있다. 항균제의 1회 도포량 10, 20, 40mg/cm^2 의 경우 각각 5.63, 2.82, 1.80m/sec 로 나타나 도포량이 증가함에 따라 투기계수는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 도포횟수 0, 1, 2, 3회의 경우 각각 17.46, 5.63, 3.38, 1.35cm/sec 로 나타나 도포횟수가 증가함에 따라 투기계수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이 또한 흡수계수와 유사한 결과로, 표면조직의 밀실화, 도막의 형성 및 도막두께의 증가로 인한 결과로 사료된다.

Table 7 Results of carbonation depth chloride ion penetration depth and chemical resistance

Factors and level of test	Carbonation depth (weeks)			Chloride ion penetration depth (weeks)			Resistance to H_2SO_4 (weeks)	
	1	4	8	1	4	8	4	
Covering method	Sc.							
	Sp.							
Covering amount (mg/cm^2)	20							
	40							
Covering times (times)	0							
	2							
	3							

Note) In case of carbonation depth and chloride ion penetration depth, the bottom of specimen was covered with antibiotics.

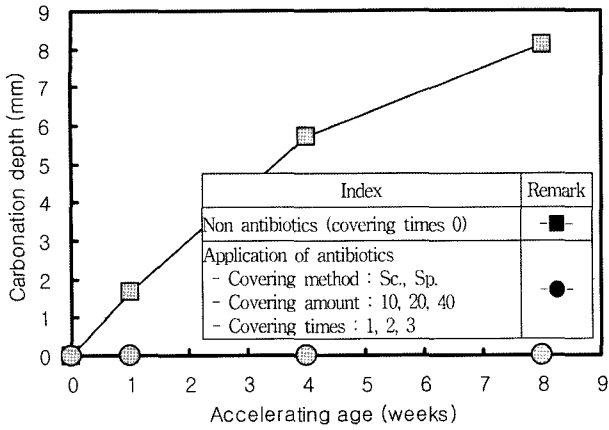


Fig. 10 Carbonation depth

4.2 내구성능

Table 7은 각 실험요인 및 수준에 따른 촉진재령별 중성화깊이, 염화물이온 침투깊이 및 내산성을 측정 한 시험체의 모습을 나타낸 것이다.

4.2.1 중성화 깊이

Fig. 10은 각 실험요인 및 수준에 따른 중성화 촉진재령별 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로, 무도포의 경우를 제외한 항균제를 도포한 모든 경우는 5% CO₂의 범위 내에서 촉진재령 8주까지 중성화의 영향을 전혀 받지 않는 것으로 나타났으며 이는 항균제 도포에 의한 도막의 형성으로 인해 CO₂의 투기저항성이 향상되었기 때문인 것으로 사료된다.

4.2.2 염화물이온 침투깊이

Fig. 11은 각 실험요인 및 수준에 따른 10% NaCl 수용액 침지재령별 염화물이온 침투깊이를 나타낸 것으로, 도포방법 중 뿔칠의 경우가 미장의 경우에 비해 다소 높은 침투깊이를 보이고 있다. 항균제 1회 도포량의 경우 도포량이 증가함에 따라 침투깊이는 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나, 항균제 도포량 증가에 비해 염해저항성의 향상은 다소 미약한 것으로 나타났다. 반면 항균제의 도포횟수 2회 및 3회의 경우는 무도포에 비해 1/4 수준의 침투깊이를 보이고 있어 항균제 도포횟수 증가에

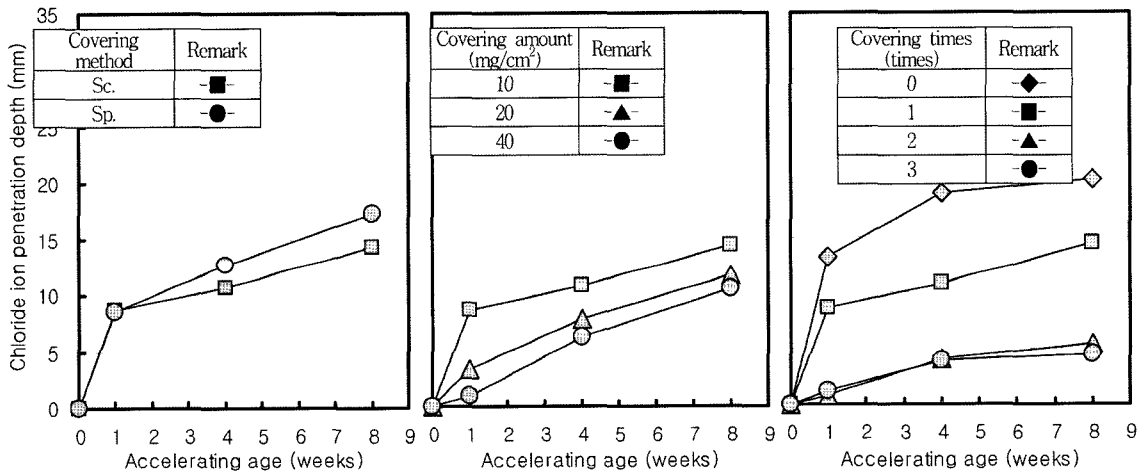


Fig. 11 Chloride ion penetration depth

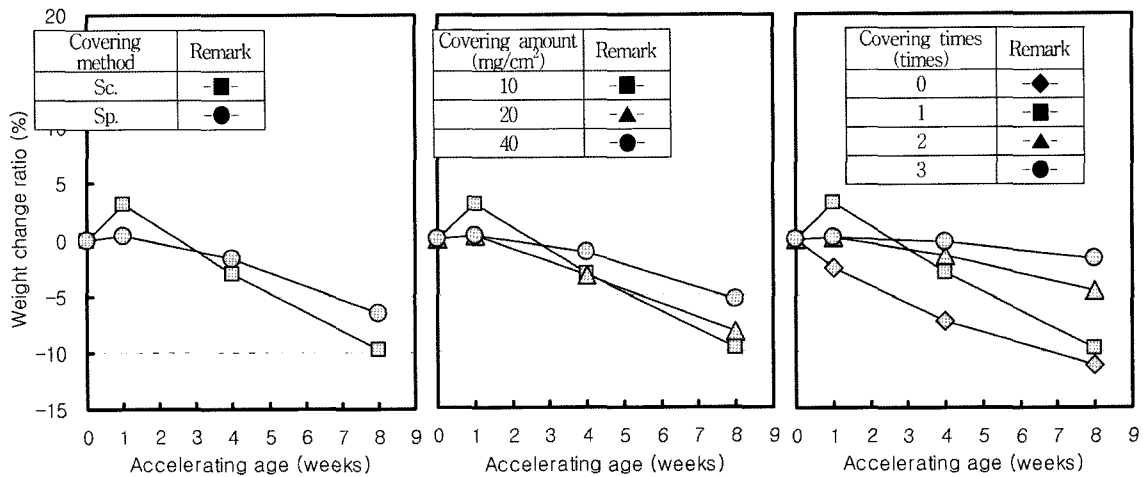


Fig. 12 Weight change ratio

의한 염해저항성의 향상이 뚜렷한 것으로 나타났다. 이는 시공적인 측면에서 항균제 도포횟수의 증가가 1회 도포량의 증가보다 시험체 표면공극 충전효과가 우수하기 때문인 것으로 사료된다.

4.2.3 내산성 (H₂SO₄)

그림 12는 각 실험요인 및 수준에 따른 5% H₂SO₄ 수용액 침지재령별 중량변화율을 나타낸 것으로, 도포방법 중 미장의 경우가 뿔칠에 비해 중량 증가 및 감소의 폭이 크게 나타나고 있다. 항균제 1회 도포량의 경우 도포량이 증가함에 따라 중량변화는 감소하는 것으로 나타났으나 염화물이온 침투깊이의 경우와 유사하게 도포량 증가에 의한 내산성의 향상은 미약한 것으로 나타났다. 항균제의 도포횟수가 증가함에 따라 중량변화는 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 침지재령 8주에 있어서 무도포의 경우 약 12%의 중량감소를 보이는데 반해 항균제 도포횟수의 2회의 경우는 5%의 중량감소를 보이고 있어 중량변화량이 무도포의 약 1/2 수준으로 나타났다. 이는 산에 강한 유기계 성분이 포함된 항균제가 도막을 형성하고 있으며, 항균제 도포횟수의 증가가 1회 도포량의 증가보다 시험체 표면공극 충전효과가 우수하기 때문인 것으로 사료된다.

5. 결 론

액상 유·무기 복합 항균제를 도포한 하수시설용 콘크리트의 물리적 성능 및 내구성능을 실험·실증적으로 평가한 결과 다음과 같은 결론은 얻었다.

- 1) 항균제 도포에 의한 압축강도의 변화는 유의할 만한 경향을 보이지 않았으며, 부착강도의 경우 다소 감소하는 경향을 보였으나 KS 기준은 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 항균제를 도포함에 따라 마모감소량, 흡수계수 및 투기계수 모두 감소하는 경향을 보이고 있어, 항균제 도포에 의해 하수시설용 콘크리트의 마모저항성 및 물질투과저항성이 향상되는 것으로 나타났다.
- 3) 항균제를 도포함에 따라 중성화깊이, 염화물이온 침

투깊이 및 중량변화율은 감소하는 것으로 나타나, 항균제 도포에 의해 하수시설용 콘크리트의 내구성능이 향상되는 것으로 나타났다.

- 4) 항균제의 도포방법에 의한 경향은 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 항균제 1회 도포량의 증가보다는 도포횟수의 증가가 하수시설용 콘크리트의 성능향에 유효할 것으로 사료된다.

향후 항균제를 도포한 콘크리트의 인공축진실험 및 현장폭로실험에 의해 정량적인 데이터를 추가적으로 확보함으로써 황산화세균에 의한 하수시설용 콘크리트의 부식방지시스템 구축을 위한 기초자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 차세대 핵심환경기술개발사업인도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템 및 실용화 기술 개발에 관한 일련의 연구결과로 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 하수관거의 부식에 관한 연구, 한국기술연구원, 1994.
2. 日本下水道事業團, 下水道コンクリト構造物の腐食制御技術及び防蝕技術指 針(谷郎飛岡椰), 한국건설기술연구원, 2002.
3. 송호면, 콘크리트 하수관의 생화학적 부식특성에 관한 연구, 전북대, 박사학위논문, 2000.
4. Elke Vincke etc, *Influence of ploymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete*, International biodeterioration & biodegradation, 2002, pp.1~10.
5. Moo-han Kim etc., "An Experimental Study on the Air Permeability Coefficient Influencing to the Carbonation of Mortar and Concrete", *Proceeding of Japan/Korea Joint Symposium*, 2000, pp.267~274.
6. 金武漢 外, "コクリトの透氣係數および中性化速度に及ぼす養生條件の影響, 第55回 セメント技術大會", 第55回セメント技術大會, 2001, pp.126~127.
7. 김무한 외, "뿔칠시공에 의한 단면복구재의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 24권 1호, 2004, pp.395~398.

요 약 현대사회에 있어 필수불가결한 사회기반시설인 하수시설은 대부분 주요 재질이 콘크리트이며, 이러한 콘크리트 하수시설은 최근 황산화세균에 기인한 생화학적 부식에 의해 심각하게 열화되고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 생화학적 부식을 방지하기 위한 기법으로서 황산화세균의 생장을 억제할 수 있는 항균제를 개발한 후 황산화세균에 대한 항균성능을 평가하였으며, 콘크리트에 대한 적용성을 검토하기 위해 항균제를 도포한 콘크리트의 각종 물리적 성능 및 내구성능을 실험적으로 검토하였다. 그 결과 항균제의 항균성능은 유효하였으며, 항균제 도포에 의한 압축강도 및 부착강도는 유의할 만한 경향을 보이지 않았고, 마모저항성, 흡수 및 투기 저항성, 중성화, 염해 및 화학저항성은 현저히 증가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 생화학적 부식, 항균제, 하수시설 콘크리트, 황산화세균, 부식방지