항균제를 도포한 하수시설용 단면복구 모르타르의 기초물성 및 내구특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fundamental Properties and Durability of Sewer Type Restorative Mortar Spread with Antibiotics

김 무 한* 김 규 용** 김 재 환*** 조 봉 석*** 이 동 혁****

Kim, Moo-Han Kim, Gyu-Yong Kim, Jae-Hwan Cho, Bong-Suk Lee, Dong-Heck

Abstract

Deterioration of sewer concrete is representative that biochemical corrosion according to the H_2S has growth by inhabit sulfur-oxidzing bacteria because of special environment in sewer. But in case of domestic, fundamentally, sulfur-oxidzing bacteria could moderate development of repair material·method is need because of corrosion prevent method is inconsideration with carry out to improve project. In this paper, after development of spread type antibiotic with antibio-metal, antibacterial performance about sulfur-oxidzing bacteria of antibiotic and tested to estimate fundamental properties of bonding strength, abrasion contents, contents of water absorption, contents of air permeability, carbonation depth, chloride ion penetration depth and chemical resistance of spread with antibiotic restorative mortar.

요 지

하수시설 콘크리트의 열화현상은 하수시설의 특수한 환경조건상 황산화세균 등의 서식에 의해 발생된 황화수소(H_2S)에 기인하는 생화학적 부식이 대표적인 것으로 알려져 있으나, 국내의 경우 근본적으로 방지대책이 전혀 고려되지 않은 채 정비사업이 수행되고 있어 근본적으로 황산화세균을 억제할 수 있는 보수재료·공법의 개발이 시급히 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 항균금속을 포함한 도포형 항균제를 개발한 후, 개발된 항균제의 황산화세균에 대한 항균성능과 항균제를 도포한 단면복구재의 부착강도, 흡수 및 투기저항성, 중성화 깊이, 염화물이온 침투깊이 및 화학저항성 등의 기초물성을 평가하였다.

Keywords : H_2S, Biochemical Corrosion, Restorative Mortar, Sewer Concrete, Antibiotics, Sulfur-Oxidzing Bacteria

핵심 용어 : 황화수소, 화학적 부식, 단면복구모르타르, 하수시설 콘크리트, 항균제

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 건축공학과 조교수

*** 학생회원, 충남대학교 박사과정

**** 학생회원, 충남대학교 석사과정

E-mail : fets-d@hanmail.net 016-786-4392

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

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

그러나 하수시설 콘크리트가 황산화세균에 의해 부식되는 현상을 감지하지 못하고 있으며 생화학적 부식의 방지대책이 전혀 고려되지 않은 채 정비사업이 수행되고 있으며, 이러한 하수시설 콘크리트의 손상형태를 살펴보면 파손, 관통 등 다양한 형태로 구분할 수 있다. 특히 Photo 1에서 보는 바와 같이 하수시설의 특수한 환경조건상 황산염 환원세균 및 황산화세균 등의 서식에 의해 발생된 황산수소(H_2S)에 기인하는 생화학적 부식이 대표적인 것으로 알려져 있다.[3]

또한, 최근 국내에서도 생화학적 부식 등에 의해 열화된 하수시설 콘크리트의 보수공법으로서 에폭시 도포공법, 각종 섬유패널 부착공법, 재알칼리 공법 등이 개발되어 적용되고 있으나, 보수공정의 복잡성, 고가의 원재료, 효과의 지속성등에 의문점이 지적되고 있으며, 최근 연구된 항균제를 혼입한 항균콘크리트의 경우 제조단가가 고가인 단점을 지니고 있다. 이에 기존 하수시 설콘크리트의 생화학적 부식에 대한 근본적이고 반영구적이며 경제성 및 공정을 단순화함으로서 기존 하수시설 보수공법을 개선하고 하수시설내에서의 황산화세균의 서식을 억제할 수 있는 보수재료·공법이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 항균금속을 포함한 도포형 항균제를 개발한 후, 개발된 항균제의 황산화세균에 대한 항균성능과 항균제를 도포한 단면복구재의 기초물성 및 내구특성을 실험·실증적으로 비교·분석하고자 하였으며, 이를 통해 황산화세균에 의해 열화된 하수시설 콘크리트의 보수공법과 부식방지시스템을 확립하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

Photo 1 Example of biochemical corrosion in sewer

2. 실험계획 및 방법

2.1 항균제를 사용한 보수공법시스템의 개요

Fig. 2는 본 연구의 열화된 하수시설 콘크리트용 보수공법 중 단면복구를 실시할 경우의 프로세스를 나타낸 것이다.

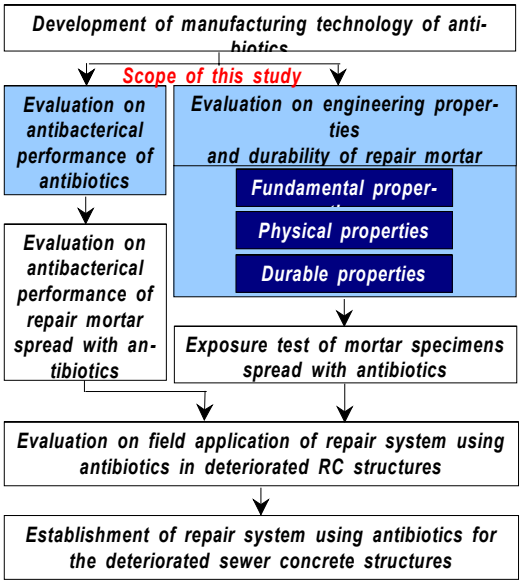


Fig. 1 Process and scope of this study

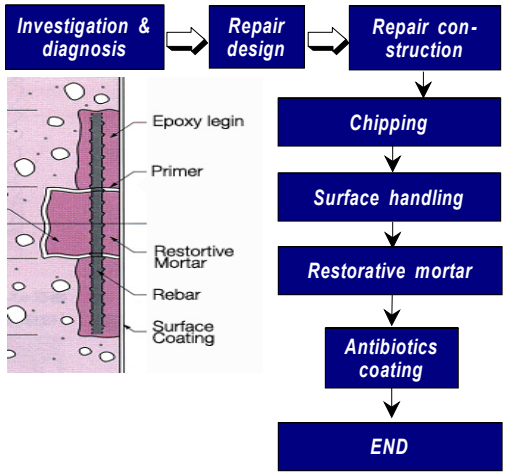


Fig. 2 Process of repair method for deteriorated sewer concrete in this study

본 연구에서는 함침재 도포, 표면피복 및 Top-coat로 구성된 기존 보수공법을 대신하여 본 연구에서 개발된 항균제 도포만으로 보수공사를 완료하며, 이를 통해 최종 표면에 항균제를 도포함으로서 하수시설에 항균성능을 부여하고, 보수공정의 단순화를 도모할 수 있는 공법이다.

2.2 실험계획

Table 1은 항균제를 도포한 하수시설 보수용 단면 복구재의 기초물성 및 내구특성 평가를 위한 실험요인 및 수준을 나타낸 것으로, 모체인 단면복구 모르타르의 함수상태를 기건상태(DA), 표건상태(SD) 및 습윤상태(MC)의 3수준, 항균제의 도포량을 10, 20 및 30g/cm^{2}의 3수준, 항균제 도포횟수를 1, 2 및 3의 3수준으로 설정하여 단면복구 모르타르의 함수상태, 항균제의 도포량 및 도포횟수가 항균제를 도포한 단면복구 모르타르의 부착강도, 흡수량 및 투기량, 중성화 깊이, 염화물이온 침투깊이, 화학저항성의 기초물성 및 내구특성에 미치는 영향을 실험·실증적으로 검토하고자 하였다.

2.3 사용재료

본 연구에서 사용된 항균제는 콘크리트 모세관 공극에 깊숙이 침투하여 모세관 공극에 존재하는 $Ca(OH)_2$와 반응하여 액상이 고상으로 변하는 메커니즘을 가지고 있다.

또한 항균제의 항균성능을 검증하기 위해 Photo 2에서 보는 바와 같이 항균제를 첨가하기 전 노벨러스균이 서식하고 있으나, 항균제를 첨가한 1개월 후에는 더 이상 서식하지 않아 항균성능을 검증할 수 있었다. 한편, 단면복구재는 국내 H사의 하수시설 보수용 내황산모르타르를 사용하였으며, 물모르타르비는 제조사 시방서에 따라 16.4%로 설정하여 사용하였다.

Table 1 Experimental factors and levels in this study

Series	Symbol[1]	Absorbed condition of mortar	Antibiotics		Measurement items[5]
			Coating contents (g/cm^2)	Number of coating times	
I	DA_10_1	DA[2]	10	1	▪ Bonding strength (MPa) ▪ Abrasion contents (g) ▪ Contents of water absorption ⇒ 10, 30, 60, 360, 1440 min ▪ Contents of air permeability ⇒ 10, 30, 60, 120, 240 min ▪ Carbonation depth (mm) ▪ Chloride ion Penetration depth (mm) ▪ Chemical resistance
	SD_10_1	SD[3]			
	MC_10_1	MC[4]			
II	SD_10_1	SD	10	1	
	SD_20_1		20		
	SD_30_1		30		
III	SD_10_1		10	1	
	SD_10_2			2	
	SD_10_3			3	
Plain		DA	-	-	

Note
1) DA 10_1 → The Number of Coating times / Coating Contents / Surface Condition of Mortar
2) DA : Dry Air
3) SD : Surface Dried
4) MC : Moisture Condition
5) Age : 28days

2.4 비빔방법 및 시험체 제작방법

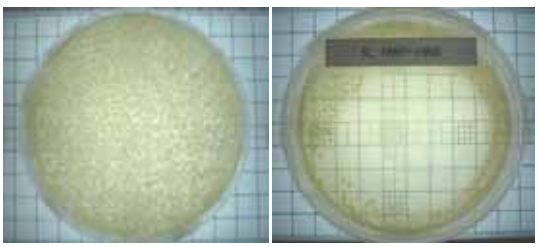
단면복구 모르타르의 비빔은 벤취형 모르타르 믹서를 사용하였으며, 물을 투입한 후 60초간 저속으로, 30초간 고속으로 비빔하여 제조하였다.

또한, 시험체는 단면복구 모르타르를 비빔 완료한 후 각각의 몰드에 타설하였으며, 24시간동안 20±3℃, RH 60±5%의 실내에 존치시킨 후 탈형하였다. 탈형된 시험체는 함수상태를 조절하기 위해 48시간동안 20±3℃의 수중에 침적하여 시험체 내부에 충분한 수분을 공급한 후 항균제 도포 2시간 전 단면복구 모르타르의 함수상태를 표건 및 습윤상태로 조절한 후 항균제를 도포하였으며, 도포후 습윤양생기(온도 20±3℃, RH 80±5%)에서 재령 28일까지 양생을 실시하여 시험체를 제작하였다.

2.5 시험방법

본 연구에서는 단면복구모르타르의 함수상태, 항균제의 도포량 및 도포횟수가 단면복구모르타르의 기초물성, 즉, 부착강도, 마모량, 흡수량 및 투기량에 미치는 영향을 평가하고자 하였으며, 내구특성을 평가하기 위해 중성화 깊이, 염화물이온 침투깊이 및 화학저항성을 측정하였다.

시험방법 및 시험체 크기는 각각의 KS에 준하여 실시하였다. 이때 투기량은 내부직경 7㎝의 실린더에 시험체를 고정하여 실리콘으로 실링한 후 0.2㎫의 압축공기를 주입하여 통과된 투기량을 메스실린더를 이용하여 측정하는 수중치환법을 사용하였다.



(a) Before spread (b) After spread (1 month)

Photo 2 Testing of antibacterial performance

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단면복구모르타르의 함수상태

Fig. 3은 단면복구모르타르의 함수상태에 따라 항균제를 도포한 단면복구 모르타르의 재령 28일에서의 부착강도의 변화를 나타낸 것으로서, 항균제 도포시 단면복구 모르타르의 함수상태가 기건, 표건 및 습윤인 경우 각각 1.1, 1.4, 및 1.3㎫로 도포면의 표면이 기건상태인 경우에는 부착강도가 다소 저하하는 것으로 나타났다.

한편, 항균제를 도포한 시험체의 부착강도는 1.1~1.7㎫로 Plain에 비하여 모두 낮은 수준을 보이고

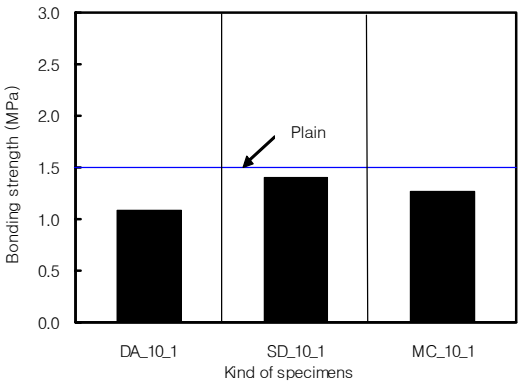


Fig. 3 Variation of bonding strength with absorbed state of mortar

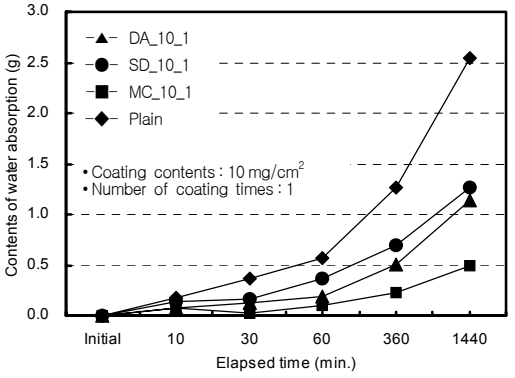


Fig. 4 Variation of contents of water absorption with absorbed state of mortar

있으며, 이는 연질층인 중간층이 경화되지 않고 표면 피복층이 형성되어 부착에 방해되었기 때문인 것으로 사료된다. 이는 침투 후 남은 항균제의 성분이 원인인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 항균제 도포시 단면복구 모르타르의 함수상태별 경과시간에 따른 흡수량의 변화를 나타낸 것으로, 항균제를 도포한 모든 시험체는 Plain에 비하여 낮은 흡수량을 보이고 있으며, 단면복구모르타르의 함수상태가 습윤상태인 경우가 기건 및 표건상태의 경우보다 다소 낮은 흡수량을 보이고 있다.

Fig. 5는 항균제 도포시 단면복구 모르타르의 함수상태별 경과시간에 따른 투기량의 변화를 나타낸 것으로, 항균제를 도포한 모든 시험체는 Plain에 비하여 낮은 투기량을 보이고 있어 항균제의 도포에 의해 단면복구 모르타르의 투기저항성이 향상되는 것을 확인할 수 있었으며, 모르타르의 함수상태에 따라서는 표건, 습윤, 기건의 순으로 투기저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 기건상태에서 훨씬 도포성능이 우월함을 알 수 있다.

이는 모르타르의 함수상태에 따라 모세관 공극으로 침투하는 항균제의 침투성능이 다르기 때문인 것으로 사료되며, 보수시공시 표면의 함수상태 조절이 중요하다는 것을 시사하고 있다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 항균제를 도포한 단면복구재의 표면함수상태에 따른 단면복구모르타르의 촉진재령별 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸

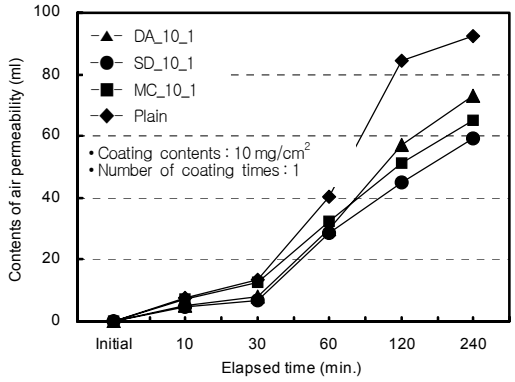


Fig. 5 Variation of contents of air permeability with absorbed state of mortar

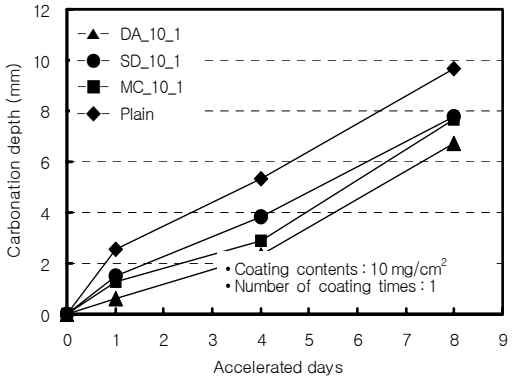


Fig. 6 Variation of carbonation depth with absorbed state of mortar

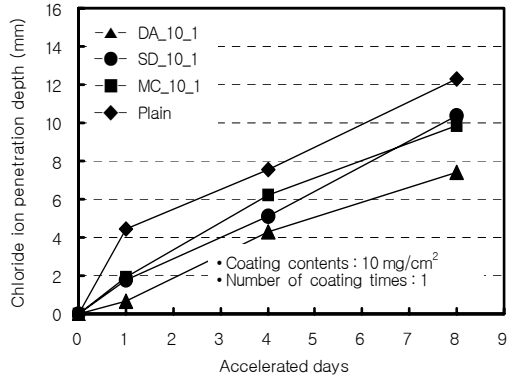


Fig. 7 Variation of chloride ion penetration depth with absorbed state of mortar

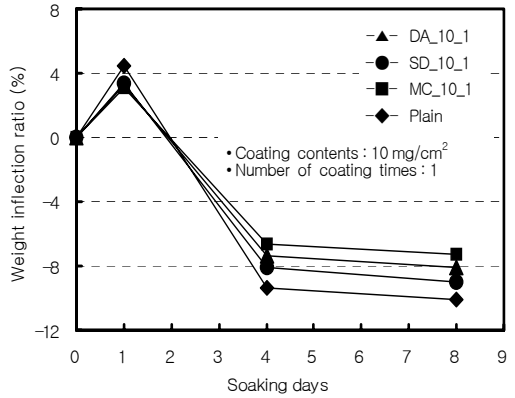


Fig. 8 Variation of weight inflection ratio with absorbed state of mortar

것으로 Plain에 비해 기건, 표건 및 습윤 모두 중성화 깊이가 저하하였으며, 또한 기존 하수시설에 사용되는 표면피복재는 일정두께 이상 도포시 뛰어난 성능을 발휘하는 반면 습윤면에 도포하기 어려운 점이 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 항균제는 습윤면에서도 표면건조상태와 동등한 결과를 나타내어 습윤면에서도 시공이 가능할 것으로 판단된다. 또한 연질층으로 인해 열화인자의 침투가 용이할 것으로 추측될 수 있으나 연질층도 열화인자의 침투억제성능이 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 단면복구모르타르의 표면함수상태별 황산수용액침지시험에 의한 침지재령에 따른 중량변화율을 나타낸 것으로, 침지재령 4주에 있어서 중량변화는 항균제를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우에 비해 낮은 값을 보이고 있어 본 연구에서 개발한 항균제의 도포에 의해 황산에 대한 화학저항성이 향상되는 것을 확인하였다.

3.2 항균제 1회 도포량

Fig. 9는 단면복구 모르타르의 도포량에 따른 부착강도의 변화를 나타낸 것으로, 항균제 도포량이 10, 20 및 30 g일 때의 부착강도는 각각 1.5, 1.3 및 1.2 MPa로 항균제의 도포량이 증가할수록 부착강도는 다소 저하하고 있으며, 이는 도포량 및 도포횟수의 증가에 의해 연질층인 표면피복층이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다. 이는 침투되고 남은 잔여성분으로 판단되며 향후 항균제의 고정화를 위한 재료개발이 요망될 것으로 예상된다.

Fig. 10 및 11은 항균제 1회 도포량을 변화시킨 경우 경과시간에 따른 흡수량 및 투기량의 변화를 나타낸 것으로, 도포량이 증가할수록 흡수량 및 투기량은 감소하는 경향을 보이고 있으며, 항균제 1회 도포량이 20 및 30g/cm^{2}의 경우 유사한 수준을 보이고 있다. Fig. 12 및 Fig. 13은 항균제의 1회 도포량에 따른 단면복구모르타르의 중성화 깊이 및 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로 항균제를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우에 비해 모든 수준에서 낮은 값을 보이고 있어, 항균제의 도포만으로 내구성능이

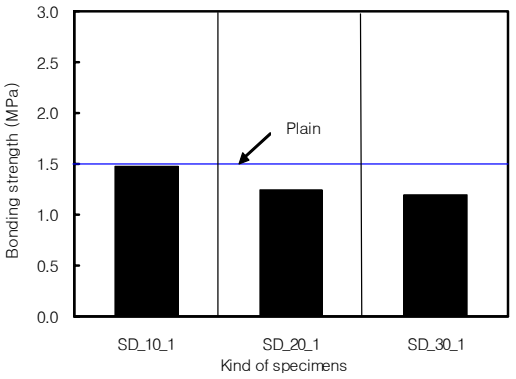


Fig. 9 Variation of bonding strength with coating contents

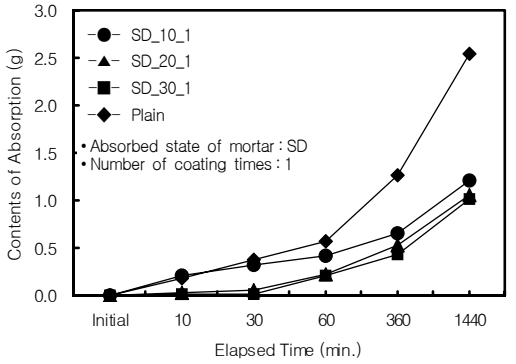


Fig. 10 Variation of contents of water absorption with coating contents

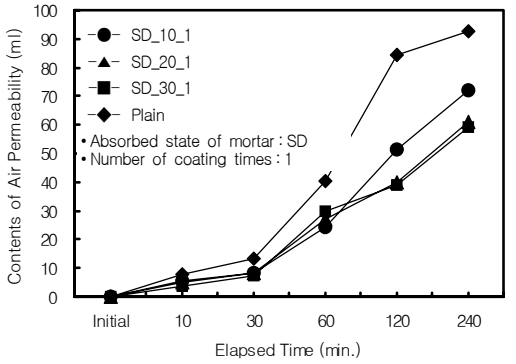


Fig. 11 Variation of contents of air permeability with coating contents

향상됨을 확인할 수 있었다.

또한 항균제의 도포량이 증가할수록 중성화 저항성 및 염해 저항성은 향상되는 것으로 나타났으며, 도포

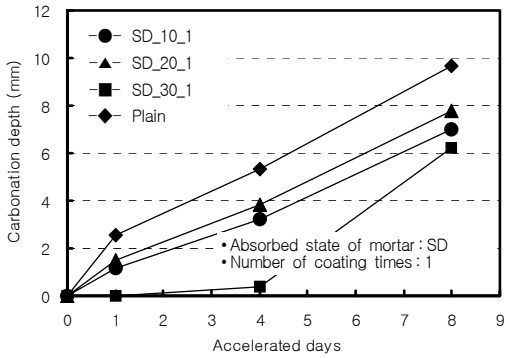


Fig. 12 Variation of carbonation depth with coating contents

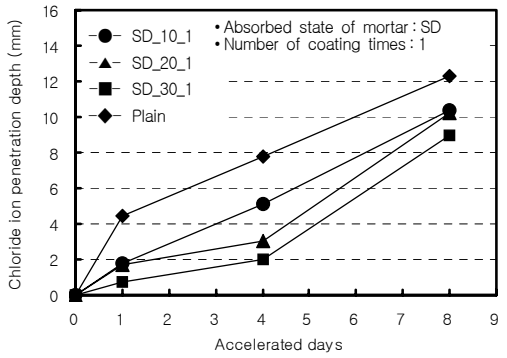


Fig. 13 Variation of chloride ion penetration depth with coating contents

량 10, 20 mg/cm^{2}의 경우 유사한 경향을 보이고 있다. 이에 항균제 1회 도포량이 20mg/cm^{2}의 경우가 내구적인 면에서 유효할 것으로 판단된다.

3.3 항균제의 도포횟수

Fig. 14는 1회 도포량을 10g/cm^{2}로 고정하여 도포횟수를 변화시킨 경우 각각 1.7, 1.5 및 1.3 MPa로 항균제의 도포횟수가 증가할수록 부착강도는 다소 저하하고 있으며, 이는 3.2절에서 전술한 바와 같은 이유에 기인하는 것으로 사료된다. Fig. 15는 항균제 도포횟수가 1, 2 및 3회인 경우 경과시간에 따른 흡수량의 변화를 나타낸 것으로, 도포횟수가 증가할수록 흡수량은 감소하는 경향을 보이고 있으며, 항균제를 2 및 3회 도포한 경우에는 유사한 수준을 보이고 있다.

Fig. 16은 1회 도포량을 10g/cm^{2}로 고정하여 도

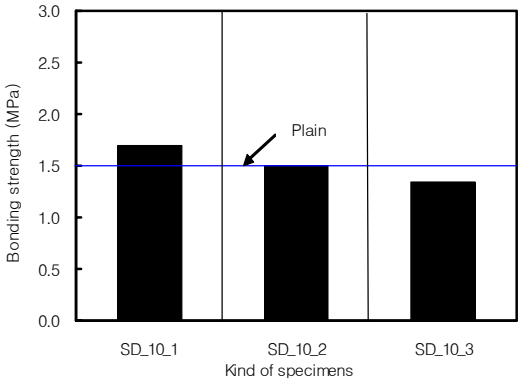


Fig. 14 Variation of bonding strength with coating times

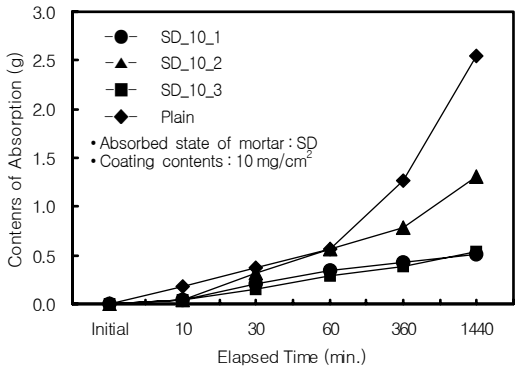


Fig. 15 Variation of contents of water absorption with coating times

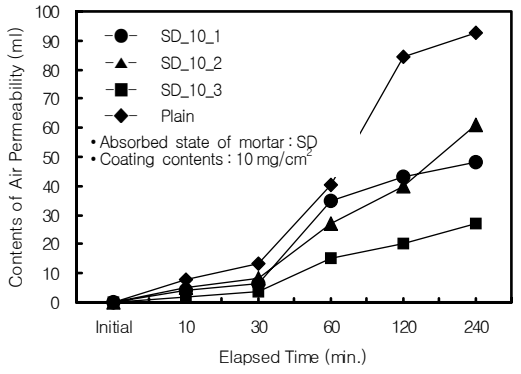


Fig. 16 Variation of contents of air permeability with coating times

포횟수를 변화시킨 경우 경과시간에 따른 투기량의 변화를나타낸 것으로, 도포횟수가 증가할수록 투기량은

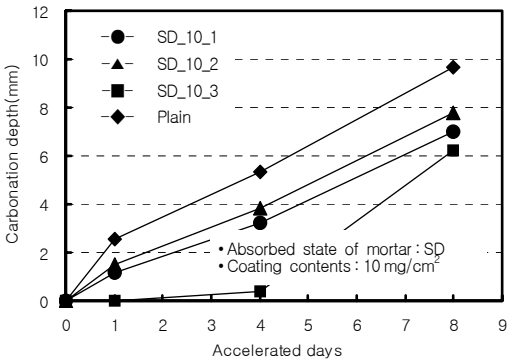


Fig. 17 Variation of carbonation depth with coating times

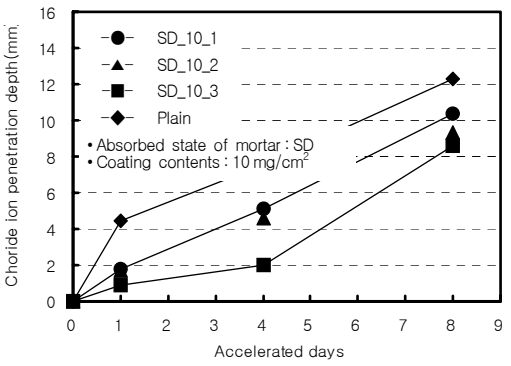


Fig. 18 Variation of chloride ion penetration depth with coating times

감소 하는 경향을 보이고 있으며, 항균제를 1 및 2회 도포한 경우에 비해 3회 도포한 경우의 투기량이 다소 크게 저하하고 있다.

Fig. 17 및 Fig. 18은 항균제의 도포횟수에 따른 단면복구모르타르의 촉진재령별 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로, 단면복구모르타르의 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이는 항균제를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우에 비해 모든 수준에서 낮은 값을 보이고 있으며, 본 연구에서 개발한 항균제의 도포에 의해 단면복구재의 중성화 저항성 및 염해 저항성을 향상시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

한편, 항균제를 도포한 단면복구모르타르의 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이는 항균제의 도포횟수가 증가함에 따라 침투깊이는 감소하는 것으로 나타나, 항균제의 도포횟수가 증가할수록 중성화 저항성 및 염해 저항성은 향상되는 것으로 나타나 경제성을 고려할 경우 2회도포가 유효할 것으로 판단된다.

4. 결 론

항균제를 도포한 하수시설 콘크리트용 단면복구 모르타르의 기초물성에 미치는 단면복구 모르타르의 함수상태, 항균제의 도포량 및 도포횟수의 영향을 실험·실증적으로 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 기존 하수시설에 사용되는 표면피복재는 습윤면에 도포하기 어려운 점이 있는 반면 본 연구에서 개발한 항균제는 습윤면에서도 표면건조상태와 동등한 결과를 나타내어 습윤면에서도 시공이 가능할 것으로 판단된다.
2) 단면복구모르타르의 표면함수상태별 황산수용액 침지시험에 의한 중량변화율은 침지재령 4주에 있어서 항균제를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우에 비해 낮은 값을 보이고 있어 황산에 대한 화학저항성이 향상되는 것을 확인하였다.
3) 경제성 및 시공성을 고려할 경우 1회 도포량은 20 g/cm^2, 1회 도포량이 10 g/cm^{2}일 때의 도포횟수는 2회 이상이 유효할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 차세대 핵심환경 기술개발사업인「도포형 액상 무기질 항균제에 의한 하수시설 콘크리트의 부식방지 시스템 및 실용화 기술 개발」에 관한 일련의 연구결과로 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "하수관거의 부식에 관한 연구", 건설교통부보고서, 1994
2. 홍성윤 외, 하수도시설물의 열화환경을 고려한 내황산성 단면복구모르타르 개발에 관한 연구, 한국구조물진단학회 춘계학술발표회논문집 제7권 1호(통권11집), 2003. p.331-334.
3. 三品文雄, "下水道施設におけるコンクリートの微生物腐食とその對策に關する報告書", 2003

(접수일자 : 2005년 10월 13일)