

화학적 침식을 받은 콘크리트구조물의 보수기술 개발과 실용화연구

A Study on the Development and the Practical Approach for Repair Method
of RC Structures Subjected to the Chemical Attack

문 한 영*

Moon, Han-Young

신 동 구**

Shin, Dong-Gu

권 영 진***

Kwon, Young-Jin

Abstract

This paper presents an investigation into the cause of deterioration of wet surrounding RC structures subjected to chemical attacks such as sewage. The antibacterial-reforming agent is developed after determining the permeability of the RC structure. After application of the antibacterial-reforming agent through SEM, the permeability, compressive strength properties and the micro-structure of the concrete were evaluated for durability. In addition, the antibacterial-reforming agent was combined with a protective coating for the wet surrounding RC structure and evaluated for durability. The combined effect of the antibacterial-reforming agent and the protective coating were evaluated in field tests in both sewer system and tunnel sites.

요 지

본 연구는 하수시설과 같은 열악한 환경에서의 구조물의 열화원인에 대하여 분석한 후 내구성회복을 위하여 항균성개질제와 무기질단면피복제의 개발을 통한 보수공법을 구축하였다. 또한 항균성개질제와 무기질단면 피복제의 복합 사용할 경우에 있어서 이들의 특성평가를 위하여 항균시험, 침투성시험, 침투후의 강도특성 및 전자현미경(SEM)을 이용하여 항균성개질제의 작용에 의한 마이크로조직의 변화특성을 평가하였다.

또한 습윤면에 부착성이 우수한 방식피복제와 항균성개질제의 복합에 의한 내구특성시험을 실시한 후 공정별 상호 부착특성을 파악하기 위하여 현장시험시공과 더불어 실구조물(하수구조물, 지하철구조물)에 적용 후 부착특성을 평가하여 개발된 보수기술에 대한 현장 적용성을 분석하였다.

Keywords : Chemical-attack, Repair, Antibacteria-reforming agent, Protective-coating material

핵심 용어 : 화학적침식, 보수기술, 항균성개질제, 방식피복제

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수,

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수로 리플래시기술(주) 기술팀장

*** 정회원, 호서대학교 환경안전공학부 교수

E-mail : donggus@freechal.com 016-704-2810

•본 논문에 대한 토의를 2005년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2005년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

도시생활에서 없어서는 안 될 사회간접시설인 상하수도 처리시설 및 지하철 등의 콘크리트 구조물에 있어서, 부식에 의한 구조물의 성능저하 문제는 현재 세계 각국에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

콘크리트 구조물은 반영구적인 것으로 인식되어 왔으나, 현재 콘크리트 구조물은 다양한 성능저하 요인에 의해 사용수명이 급속히 단축되고 있다. 특히, 황화수소(H₂S)와 같은 황산화합물이 다량으로 존재하고 있는 하수시설 및 복개구조물 등의 환경에서는 콘크리트 부식에 의한 도로가 함몰되는 사례도 보고되는 등 시민생활에 큰 위협성을 내재하고 있다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾ 또한 이러한 구조물은 습윤 상태가 대부분으로 보수공사를 하여도 보수부분에 대한 재열화가 발생하는 사례가 많다⁽⁴⁾.

1900년 미국의 로스앤젤레스의 하수도시설로부터 미생물에 의한 콘크리트의 부식문제가 최초로 보고되었으며, 이후 구미 각국에서 이에 대한 연구가 활발히 진행되었다.⁽⁵⁾ 1970년대에 들어서서는 미생물의 증식에 의하여 발생하는 황산이 콘크리트를 부식시키는 주원인으로 밝혀지게 되었다.

일본의 경우 1980년대를 전후로 하수도시설물이 부식되어 있다는 사실이 보고되기 시작하였으며, 1987년 하수도사업단으로부터 하수도시설물의 내용연수가 짧아지고 파손의 우려를 인식하여 콘크리트 방식도장지침을 개정을 시작하였다.⁽⁶⁾ 1991년 「콘크리트 방식지침(안)」을 작성하였고, 그 후 시험연구 및 시공실적 등이 활발히 이루어져 1993년과 1998년에 개정되기에 이르렀다.

한편 국내의 경우는 약 20년 전인 1980년대부터 오수의 처리목적이 가미된 하수도의 현대화가 추진되어 왔으며, 현재는 “맑은 물 공급대책 및 생활환경개선사업”의 일환으로 국가적인 차원에서 대대적인 하수도사업이 추진되고 있다. 그러나 기 수행된 하수도사업은 처리장 건설위주의 사업으로 진행됨으로서 하수관거의 미정비에 의한 하수처리효과의 감소 등 여러 가지 면에서도 하수도사업의 본래 목적을 달성하지 못하고 있는 실정이었으나, 최근 하수관거정비 5개년 계획이 추진되는 등 종합적인 하수관거정비가 시행되고 있

다.⁽⁷⁾

따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 하수시설을 중심으로 성능저하 실태 및 메커니즘을 정리하고 이러한 성능저하 특성을 고려한 보수공법을 개발하여 그 보수재료 및 공법의 특성을 평가하고자 하였다.

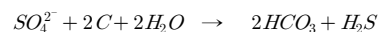
즉 화학적 부식의 주원인이 되는 균류 등을 처리하기 위한 방식 및 보수 재료인 항균성개질제를 개발하여, 이에 대한 항균시험, 침투시험, 침투시험 후의 강도시험 및 SEM분석을 통한 표면의 마이크로 공극 구조를 분석하였다. 또한 항균성개질제와 기 개발된 방식피복재⁽⁸⁾와의 복합 사용할 경우의 내구성평가를 평가하기 위하여 하수시설에 대응한 화학적저항성시험, 염화물침투저항성시험, 탄산화시험을 실시하였으며 최종적으로 현장적용특성을 위해 시험시공 및 본 시공을 통한 부착특성을 평가하였다.

2. 화학적 침식 메커니즘을 고려한 보수공법의 개발

하수시설 내에서는 황산이외에도 다양한 염류에 의하여 콘크리트 구조물이 부식될 가능성이 있지만 황산에 의한 부식이 그 대상범위가 가장 넓고, 부식속도 또한 빠르다. 이러한 생화학적 부식의 반응은 ①~④와 같다.⁽⁶⁾

- ① 혐기성 상태의 하수 및 오니 중에 황산염환원세균에 의한 황산염으로부터 황화수소의 생성
- ② 액상에서 기체 상태로의 황화수소의 확산
- ③ 콘크리트 표면의 결로수 중 혐기성의 황산화세균 등에 의해 황화수소로부터 황산의 생성
- ④ 황산에 의한 콘크리트의 생화학적 및 물리적인 복합 반응 현상

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 하수시설의 경우 황화수소의 생성은 하수 중에 존재하는 황화이온과 유기물이 산소가 없는 조건에서 황산염 환원세균에 의하여 아래 식에 따라 황화수소를 생성하는 것으로 알려지고 있다.



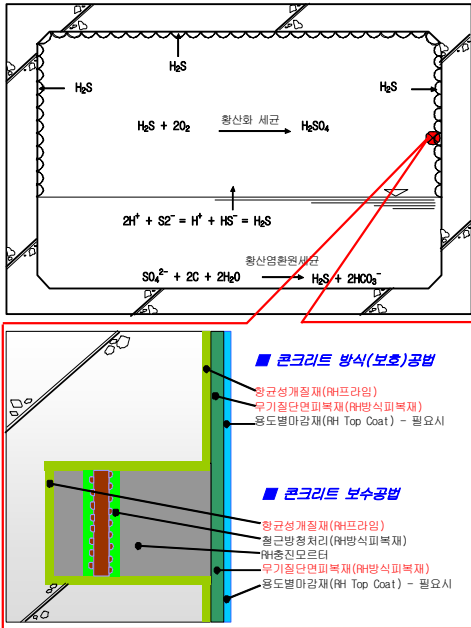


Fig. 1 화학적 침식메커니즘을 고려한 보수공법의 개념도

하수도시설 콘크리트의 부식은 기상부로 방출된 황화수소의 산화에 의한 중간생성물인 황산의 생성됨으로서 나타나게 된다. 이 반응으로는 호기성박테리아의 황산화세균(Thiobacillus)이 관여하고 있다.



이 황산에 의한 부식은 하수 온도와 하수도시설과의 온도차에 의한 수증기가 결로한 상태에서 농축되어 진행되는 것으로 알려지고 있으며, 황산의 농축에 의해 급격하게 부식된 콘크리트의 pH는 1~3으로서 강산성을 띠게 되며 이 결과 콘크리트구조물을 거의 분말상으로 변질된다. 이 과정의 기구를 살펴보면 콘크리트중의 유리성수산화칼슘은 황산과 반응하여 황산칼슘을 생성한다.



그리고 황산칼슘과 칼슘알루미늄에이트 수화물(3Ca

O₂Al₂O₃·12H₂O)이 화학반응하여 백색결정을 갖는 에트링가이트(3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O)가 생성된다. 이 에트링가이트는 31~32의 결합수를 가지고 있으며, 그 결과 3~4배로 팽창하여 서서히 콘크리트를 붕괴시키는 메커니즘을 띠게 된다.

따라서 이에 대한 보수방안으로 세균류의 증식을 억제시키고 더불어 알칼리 환경을 부여하고 강화기능을 갖는 환경성개질재와 수증기 등에 의한 결로가 발생하는 환경인 습윤면에서 부착특성이 우수한 방식피복재를 개발하여, 이 두 재료를 복합화하여 Fig. 1과 같이 화학적침식 단계별 방식 및 보수시스템을 개발한 결과 건설교통부 신기술 제 330호로 인증되었다.⁽⁹⁾

3. 실험방법

3.1 사용재료

3.1.1 환경성개질재

본 환경성개질재는 콘크리트의 성분과 동일한 무기계인 calcium-silicate계의 화합물과 티아졸유도체(C₁₁H₁₉NOS)의 복합성분으로 이루어져 있으며 그 기본특성은 Table 1과 같다.

Table 1 환경성개질재의 물리적 특성

고형분	pH	색상	비중	인화점	독성
25.5 % (200℃/ 90분)	12±0.1	무색투명	1.13	무연소성	없음

3.1.2 방식피복재

방식피복재⁽⁸⁾는 분말도 5,764 cm²/g의 미립시멘트와 평균입경 45μm의 실리카골재를 혼합한 파우더에, 친수성 폴리머인 BPA형 주재와 폴리아민계의 경화제를 혼합하여 제조한 것이다. 이 방식피복재의 제조에 사용된 재료의 물리적 특성은 Table 2와 같다.

3.2 시험방법

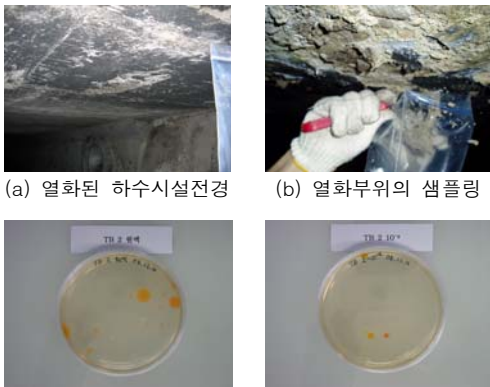
3.2.1 환경성시험

Fig. 2와 같이 화학적 침식을 받은 하수도시설 콘크

Table 2 방식피복재의 물리적 특성

종 류	과 우 더				친수성 폴리머		물 (재료중량비)	강도(MPa, 28 days)	
	시멘트		골 재		주재	경화제		압축강도	휨강도
	비중	분말도(cml/g)	비중	입경(μm)					
방식피복재	3.09	5,764	2.65	45	BPA형	폴리아민계	20%	17.8	2.4

리트구조물에서 콘크리트의 일부를 샘플링 후 35±1℃에서 24시간 세균을 배양한 후 항균성개질재를 첨가하여 균수를 측정하였다.



(a) 열화된 하수시설전경 (b) 열화부위의 샘플링
(c) 배양균의 일례

Fig. 2 열화된 콘크리트하수시설의 샘플링 및 배양

3.2.2 항균성개질재의 투수시험

설계기준강도 21MPa(Type I) 및 27MPa(Type II)의 콘크리트를 변수위 투수시험용 몰드 내에 타설하여 28일간 습윤 양생 후 건축공사표준시방서의 규산질계 도포방수재료의 품질시험방법에 따라 항균성개질재를 튜브관에 주입 후 몰드내로 시간별 침투량 및 침투깊이를 측정 후 그 시험체를 이용하여 압축강도를 평가하였으며 침투깊이는 아래의 식에 의해 계산하였다.

$$\text{침투깊이(cm/hr)} = \frac{Q \times t}{\pi d^2 / 4}$$

여기서 Q: 침투유량, t : 침투량 Q에서의 시간,
d: 시료직경

3.2.3 항균성개질재의 도포 전후의 기공분석

항균성개질재의 도포 전후의 기공분석을 위하여 모르타르를 시멘트:잔골재:물=1:2.45:0.485의 비율로 배합하여, 시험체 제작 후 표준양생조건에서 24시간 양생 후 탈형하였다. 또한 수증양생 28일 후 바탕면을 세정하여 항균성개질재를 스프레이 도포하여 도포 전후의 기공분석을 전자현미경(SEM)을 사용하여 분석하였다.

3.2.4 부착력 시험

항균성개질재를 도포함침 시킨 후 방식피복재를 도포한 시험체의 부착특성을 KS F 4918-98에 준하여 재령 28일에 부착강도를 측정하였다.

3.2.5 내구성 시험

본 항균성개질재와 방식피복재를 시공한 시험체에 대하여 다음과 같은 내구성시험을 실시하였다. 탄산화 시험은 콘크리트 밀판에 항균성개질재를 도포 후 방식피복재를 도포하여 14일간 양생 하였다. 그 후 온도 20℃, 습도 60%에서 CO₂농도 10%의 환경에서 4주간 촉진 시험 후 탄산화 깊이를 측정하였다. 화학적저항성시험은 ASTM C267-92에 준하여 균열이나 박리, 벗겨짐 등의 표면을 육안 관찰하였다. 또한 동결융해시험은 KS F 2456-97의 B-type에 의하여 100 cycle까지 측정하였고 염소이온의 침투저항성은 ASTM C 1202-97에 따라 총통과전하량으로 평가하였다.

3.2.6 현장 적용성 시험

작업공정에 따른 부착특성 평가를 위해 지하철 현장에 Table 3과 같은 조건을 기준으로 방식피복재와 항균성개질재의 부착특성을 평가하였다. 또한 현장 적용성시험을 위하여 00지하철 터널구조물과 하수복개구조물에 항균성개질재와 방식피복재를 현장 적용하여 재령 28일의 부착특성을 평가하였다.

Table 3 작업공정의 조건

구분	작업 공정의 조건
A	바탕면의 미처리 후 방식피복재 롤러시공
B	바탕면의 미처리 후 방식피복재 미장시공
C	바탕면의 전처리 후 방식피복재의 롤러시공
D	바탕면의 전처리 후 항균성개질재도포 (1일 양생)+ 방식피복재도포

4. 실험결과 및 고찰

4.1 항균성개질재의 특성

본 항균성개질재의 항균성능을 알아보기 위하여 전술한 3.2.1과 같이 샘플링된 시험편에서 배양된 균류를 대상으로 항균시험을 Fig. 2와 같이 수행한 결과 Table 4에 나타남과 같이 99.9%의 항균력을 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 3은 본 항균성개질재의 시간에 따른 침투깊이를 나타낸 것이고, Table 5는 항균성개질재의 침투 후 강도비와 투수비를 정리하여 나타내었다. 항균성개질재의 침투성능은 모체의 강도와 밀접한 관련이 있고 침투 후 압축강도비는 109~121%로 증대하고 있으며 침투 후 투수비는 0.45~0.61로 매우 저하하고 있는 것을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 본 항균성개질재는 강력한 항균 기능을 보유하고 있으며 모체에 대한 강화기능과 더불어 칼슘실리케이트계의 고알칼리 농도로 인하여 알칼리환경부여 기능이 있다는 것을 알 수 있다.

특히 이러한 강화기능 메커니즘을 알아보기 위하여 항균성개질재를 도포한 모르타르를 SEM 분석한 결과 Fig. 4와 같이 도포된 모르타르 표면이 더욱 치밀해져 있음을 확인 할 수 있었다.

이러한 결과는 본 항균성개질재가 시멘트와 유사하게 calcium silicate가 주성분이기 때문에, 무기질 도료는 수화를 진행하면서 모르타르의 표면 및 내부에 잔존하는 가용성의 Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} 이온과 무기질 도료에 함유되어 있는 SiO_4^{2-} 이온 등의 성분들과 반응 후 재용해 되지 않는 규산칼슘 및 복합 콜로이드 규산

Table 4 항균성개질재의 항균력

구분	조건	blank	sample
1	초기균수	1.6×10^5	1.6×10^5
	24시간 후	1.7×10^8	<10
	감소율 (%)	-	99.9
2	초기균수	1.3×10^5	1.3×10^5
	24시간 후	5.5×10^8	<10
	감소율 (%)	-	99.9

Table 5 항균성개질재의 투수 및 침투 후 강도특성

시험 항목		시험결과	시험방법
침투 후 압축강도비 (%)	시료 No. 1	Type I	112
		Type II	109
	시료 No. 2	Type I	121
		Type II	116
침투 후 투수비	시료 No. 1	Type I	0.56
		Type II	0.61
	시료 No. 2	Type I	0.45
		Type II	0.52

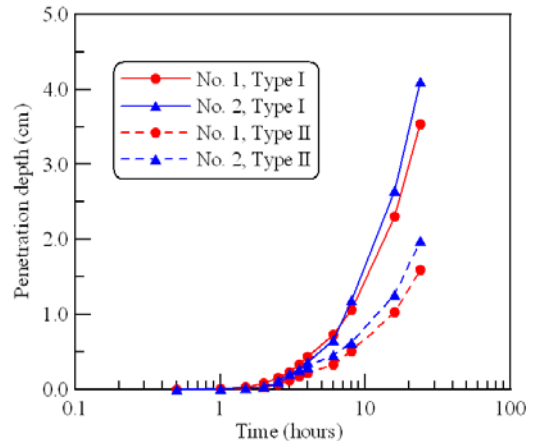
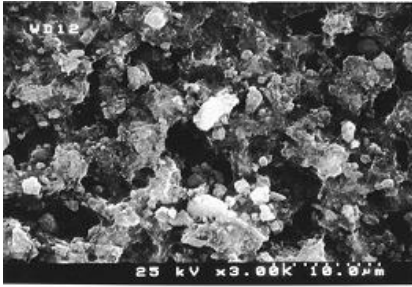


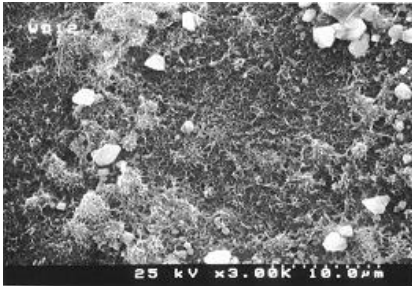
Fig. 3 항균성개질재의 시간에 따른 침투깊이

화합물 등 불용성의 silicate 화합물을 만들어 내기 때문으로 생각된다.

또한 불용성 silicate 화합물은 micro-filler작용을 하면서 세공안으로 초미립 colloid silicate가 세공을 메우면서 치밀한 미세구조를 형성하기 때문에 무기질 도료로 도포된 모르타르의 표면 및 내부가 치밀해지는 것으로 판단된다.⁽⁹⁾



a) 항균성개질재 도포전



b) 항균성개질재 도포후

Fig 4 항균성개질재 도포전, 후의 기공 상태

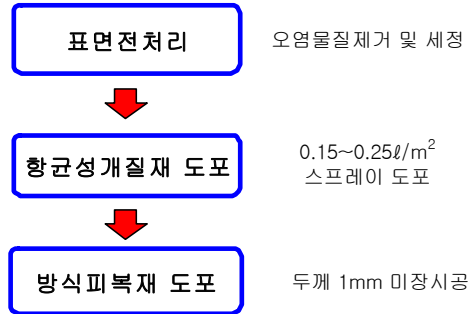


Fig. 5 항균성개질재와 방식피복재의 복합시공 방법

4.2 항균성개질재 및 방식피복재의 복합 사용에 따른 내구특성평가

항균성개질재와 방식피복재를 복합 시공한 시험체의 내구특성을 평가한 결과를 정리하여 나타낸 것이 Table 6이다.

항균성개질재와 방식피복재를 Fig 5와 같이 복합 시공하여 계면의 부착특성을 평가하기 위해서 KS F 4918-98에 준하여 부착강도를 시험한 결과 2.4MPa를 나타내었으며, 이는 부착강도기준인 1MPa보다 2 배 이상의 높은 부착강도를 확보하고 있다는 것을 알 수 있다.

또한 촉진 탄산화시험은 콘크리트 밀판에 프라임을 도포 1일 후 방식피복재를 도포하여 14일간 양생하여 20℃, 습도 60%, 10% CO₂의 환경에서 28일 경과

후 중성화 깊이를 측정한 결과 CO₂의 침투를 억제하였으며, 이러한 결과는 방식피복재의 방식기능과 항균성개질재의 기능에 의하여 기공이 치밀화된 것에 기인한 결과로 판단된다.

더 나아가 습윤면의 박리박락현상을 검토하기 위하여 ASTM C267-92에 준하여 25℃의 온도에서 수산화칼슘 5%에 30일간 침지시험 결과 균열이나 박리, 들뜸 벗겨짐 등의 이상 현상이 발생되지 않았고 동결융해에 대한 일체화 여부를 판단하기 위하여 KS F 2456-'97에 준하여 100cycle×B법에 의해 실시한 결과 들뜸과 같은 어떤 현상이 발견되지 않았다.

또한 항균성개질재와 방식피복재의 복합에 의한 방식에 대한 해양환경에서의 저항성을 평가하기 위해 염소이온 침투저항성시험을 ASTM C 1202-97을 준하여 실시한 결과 기준치 1,000 Coulomb 이하인 253 Coulomb을 나타내었으며 이 또한 해양환경에서의 사용역시 가능함을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 화학적 침식부위를 대상으로 내구성 향상을 위한 보수시스템의 구축을 위한 항균성개질재와 무기질단면피복재의 복합사용할 경우의 내구특성은 아래와 같이 요약할 수 있다.

항균성개질재와 무기질단면피복재의 복합사용은 항균성개질재의 항균기능, 강화기능 및 알칼리 환경부여 기능과 더불어 무기질단면피복재의 습윤면에 대한 무

Table 6. 항균성개질재와 방식피복재의 복합시공에 의한 내구특성

시험항목	중성화깊이 (mm)	화학적항성	부착강도 (MPa)	동결융해 저항성	염소이온 침투저항성 (coulomb)
결 과	0	이상 없음	2.4	이상 없음	253

기질단면피복재의 우수한 부착특성으로부터 탄산화저항성, 화학저항성, 동결융해저항성 및 염소이온 침투저항성을 대폭적으로 향상시킴으로써 구조물의 내용연수향상이 가능할 것으로 판단된다.

4.3 개발된 방식 및 보수공법의 현장적용성 평가

작업공정에 따른 부착특성을 파악하기 위하여 Fig. 6와 같이 00호선 지하철타널구조물에 Fig. 5의 방식공정인 항균성개질재와 방식피복재의 복합특성을 시험시공을 실시하였다.

시험시공 결과 바탕면의 전처리 없이 공정을 진행할 경우 물러나 미장을 사용한 보수면 모두 1MPa이하의 기준치 이하를 나타내고 있었다.

한편 바탕면의 전처리 후 방식피복재를 처리한 조건과 전처리 후 항균성개질재를 도포하여 방식피복재를 처리한 면을 비교하면 재령 28일에서 전자의 경우 2.8MPa를 나타낸 반면 후자의 경우는 3.8MPa으로 1.0MPa의 강도 증가가 있었다. 이는 항균성개질재로 인하여 강화됨으로서 방식피복재의 부착강도에 유리한 영향을 미친 것으로 판단된다.

따라서 전처리 후 본 항균성개질재와 방식피복재를 도포함에 따라 높은 내구성능이 확보된 것으로 판단된다. 이러한 특성을 실구조물에 적용하기 위하여 진동특성 및 유해한 미세 먼지 등의 영향이 극심한 지하철타널 00호선 구조물, 미생물부식에 의한 화학적침식이 극심

Table 7 현장 구조물의 부착력시험결과 (28일 양생)

구분	조사위치	부재	부착강도 (MPa)	비고	
복개 구조물 (하수암거)	1	00구 복개구조물	벽체	3.7	품질기준 1.5MPa
	2	00구 복개구조물	벽체	4.2	
	3	00구 복개구조물	벽체	4.0	
	평균			4.0	
지하철타널 구조물 (터널)	1	0호선 지하철타널	벽체	3.3	
	2	0호선 지하철타널	벽체	3.4	
	3	0호선 지하철타널	벽체	3.4	
	평균			3.4	

한 복개구조물(하수암거)에 대하여 본 시공 후 부착특성을 평가하였다. 그 결과 지하철타널(터널)의 경우 평균 3.36MPa를 나타내었으며 복개구조물(하수암거)의 경우 평균 3.97MPa를 나타내었다. 이는 품질기준인 1.5MPa의 2배 이상 나타났다.

이상에서 알 수 있는바와 같이 화학적부위를 대상으로 한 본 보수공법은 항균성개질재와 무기질단면피복재를 복합적으로 사용함으로써 열화된 구조체의 내구성 향상에 크게 기여하고 있다는 것을 현장시험을 통해 확인할 수 있었다.

5. 결론

콘크리트의 화학적 침식부위를 대상으로 한 방식 및 보수공법의 시스템구축을 위한 항균성개질재와 습윤면에서의 부착특성이 우수한 무기질단면피복재를 개발하여 그 현장 적용성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 항균성개질재의 항균특성은 약 99.9%의 항균효과를 보임으로 항산화세균과 같은 세균류에 의해 열화 받은 구조물에 존재하는 세균류를 완전 차단할 것으로 판단된다.
- 2) 항균성개질재를 모르타르에 도포 후 표면의 공극구조를 분석한 결과 항균성개질재를 도포하지 않은 경우에 비해 공극 내에 실리카이트수화물로 치밀하게 채워져 있었음을 알 수 있었다.
- 3) 항균성개질재와 방식피복재의 복합 사용된 시험체의 중성화, 염화물침투저항성, 통기성, 동결융해,



Fig. 6 작업공정에 따른 부착특성평가

부착특성 및 화학저항성 시험결과는 기준치를 모두 만족하였으며, 염화물침투저항성 또한 기준치 이하를 나타냄으로 해양환경구조물에서의 사용 또한 가능할 것으로 판단된다.

- 4) 항균성개질재와 방식피복재의 복합공정에 따른 부착특성시험을 시험 시공한 결과 전처리를 하지 않은 바탕면의 경우 전처리를 한 경우보다 약 2배 정도의 부착특성이 낮게 나타났으며, 항균성개질재의 도포 및 미도포의 강도차이는 미도포의 경우보다 약 30%높게 나타났다. 하수복개구조물과 지하터널구조물에 대한 시험시공결과 28일에서 모두 품질기준인 1.5MPa의 2배를 나타냈다.

참고문헌

1. 김홍삼, “電氣化學의 技法에 의한 콘크리트 중의 塩素이온 擴散評價 및 鐵筋腐蝕 開始時期 豫測”, 한양대학교 박사논문, 2001.2
2. 이승태, “海水浸蝕을 받은 시멘트 硬化體의 性能低下 및 耐久性 評價”, 한양대학교 박사논문, 2003. 2
3. 김성수 외, “화학작용에 의한 콘크리트의 침식 및 철근의 부

- 식”, 한국구조물진단학회, 제4권 제3호, 2000.7, PP.3-17.
4. 김용로 “염해 및 중성화에 의한 성능저하된 철근콘크리트구조물 보수공법의 성능평가 기법 개발에 관한 연구”, 충남대학교 박사논문, 2005.2.
5. 길배수 외 “하수도시설 콘크리트와 방균대책” 콘크리트학회지 제 14권, 제 3호
6. 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對策” 日本 コンクリート工學, Vol.41, No.10, 平成15年10月号, PP.8-14.
7. “차세대 하수관거정비 특별 심포지움“ 대한상하수도학회 하수도연구회, 2002.10, PP.1-15
8. 문한영 외, “콘크리트구조물 보수용 방식피복재의 특성”, 한국구조물진단학회, 2005.1
9. 리플래시기술(주), 건설교통부지정신기술 제 330호 “무기질단면피복재(RH 방식피복재) 및 항균성개질재(RH 프라임)와의 복합에 의한 RC 구조물의 방식보수공법”
10. Shique Li, D. M. Roy, “Investigation of Relations between Porosity, Pore Structure and Cl⁻ Diffusion of Fly Ash and Blended Cement Paste”, Cem. con. Res., V.16 1986, PP.749 ~ 759.

(접수일자 : 2004년 12월 30일)