

황산침식을 받는 환경을 고려한 단면복구모르타르 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Mortar considering
Environment Corroded by Sulfuric Acid

강석표* · 노진호 · 홍성윤

<한일시멘트 중앙연구소>

1. 서 론 (Introduction)

국내에서는 1970년대에 들어서면서 하수도가 건설되기 시작하여, 1980년대 중반부터 본격적으로 하수도 건설이 추진되었다. 이와 같이 국내 대부분의 하수도 시설물이 20~30년이 경과됨에 따라 주요한 사회 간접자본 시설인 하수시설 및 복개구조물 등에서 열화현상이 진전되어 구조적인 문제를 야기하고 있을 뿐만 아니라 시민생활에도 큰 위험성을 내재하고 있기 때문에 최근 국가에서 추진하고 있는 종합적인 하수관거정비사업의 일환인 하수도시설의 보수·보강이 국가·사회적 관심사로 대두되고 있다.

하수도시설 철근콘크리트구조물에서는 밀폐된 공간에 있는 혐기성 상태의 하수 및 오니 중에서 황산염 환원세균에 의한 황산염(SO₄²⁻)으로부터 황화수소가 생성된다. 황화수소가스는 밀폐된 콘크리트 구조물 표면의 결로수 중에 있는 호기성의 황산화세균에 의하여 황화수소로부터 황산이 생성되고, 이 황산은 콘크리트중의 성분과 반응하여 콘크리트를 표면에서부터 열화시킨다.

이와 같이 열화된 콘크리트 구조물에 대한 보수 및 보강은 하수도라는 특수한 환경을 고려하여 열화원인에 적합하게 대응할 수 있는 보수재료 및 공법이 요구되어진다. 그러나 국내에서는 화학적부식을 고려한 콘크리트 및 모르타르의 실험실적 침지실험은 보고된 바 있으나 실제 하수도시설 콘크리트구조물에 대한 내구성 실태조사 자료가 미비하고, 하수도 시설 전용 보수재료의 개발이 이루어지지 못

하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문은 2개소 하수도시설 철근콘크리트구조물을 대상으로 내구성 실태조사를 실시하여 특수한 환경하에서 발생하는 콘크리트의 열화특성을 실험·실증적으로 검토하였다. 또한 실태조사 결과를 바탕으로 열화된 하수도시설 철근콘크리트구조물의 환경조건을 고려한 내황산성 단면복구 모르타르를 개발함으로써 최근 국가·사회적으로 관심이 모아지고 있는 하수도 시설 철근콘크리트구조물의 보수·보강 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 하수도시설 철근콘크리트 구조물의 열화실태조사

2.1 조사대상 및 측정항목

본 실태조사의 대상구조물은 Table 1에서 보는 바와 같이 서울에 위치하고 있으며 22~28년의 경과년수를 지닌 서울지역 2개 하수암거를 대상으로 실시하였다. 측정항목으로서는 외관조사, 코어 및 반발경도법에 의한 압축강도, 철근탐사기에 의한 피복두께, 1% 페놀프탈레인 용액분무에 의한 중성화깊이를 조사하였으며, 특히 하수암거의 특수한 환경을 고려하여 벽체 및 천정부위의 시료를 채취한 후, 깊이에 따라서 0~5mm 및 10mm로 구분하여 SEM 및 XRD 분석을 행함으로써 하수암거 콘크리트의 화학적 침식 여부를 확인하고자 하였다.

Table 1 실태조사 대상 구조물의 개요

대 상	경과년수(년)	단 면 (B×H, m)	연장 (m)	상부활용 형태	구조형식	측정항목
하수 암거 A	22	2.5×3.0@ 2런	62	도로	BOX 형	<ul style="list-style-type: none"> • 외관조사 • 압축강도(비파괴) • 피복두께 • 중성화깊이 • XRD
하수 암거 B	25	2.0×2.0@ 1런	250			

2.2 실태조사 결과 및 고찰

1) 외관조사

실태조사의 대상구조물들을 대상으로 한 외관 조사결과 정도의 차이는 있으나 일반적으로 벽체의 경우 백화, 철근노출 및 박락, 재료분리, 세굴들이 다수 관찰되었으며, 슬래브 하부의 경우 백화, 균열, 누수, 철근노출 및 박락현상들이 다수 관찰되었다.

2) 압축강도

실태조사의 대상구조물을 대상으로 한 압축강도 측정결과 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 하수암거 A가 하수암거 B보다 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 비파괴조사에 의한 추정 압축강도와 코어압축강도 차이가 크게 나타나고 있다. 특히 하수암거 B의 경우 정확한 설계기준강도를 파악할 수는 없었지만 일반적인

설계기준강도인 210kgf/cm^2 과 비교하였을 경우 코어 압축강도는 약 50% 수준인 것으로 나타났다.

3) 중성화깊이 및 피복두께

실태조사의 대상구조물을 대상으로 한 중성화깊이 및 피복두께 측정결과 하수암거 A의 경우 평균 중성화깊이 3.75cm, 평균 피복두께 3.24cm, 하수암거 B의 경우 평균 중성화깊이 5.13cm, 평균 피복두께 4.32cm로 조사되었다.

이를 각각의 경과년수를 고려한 중성화속도계수를 산출하여 일반적인 중성화속도식인 岸谷式과 비교하여 보면 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 실태조사 대상 하수암거에서의 중성화속도가 매우 빠르게 진행되고 있으며, 중성화깊이가 피복두께를 상회하고 있어 중성화로 인한 철근부식이 발생하였을 것으로 사료된다.

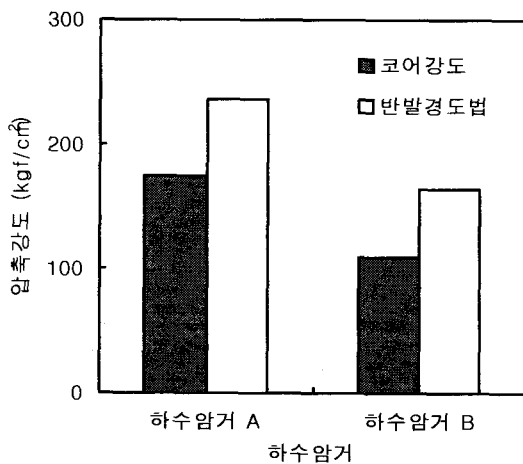


Fig. 1 하수암거 실태조사 압축강도 측정결과

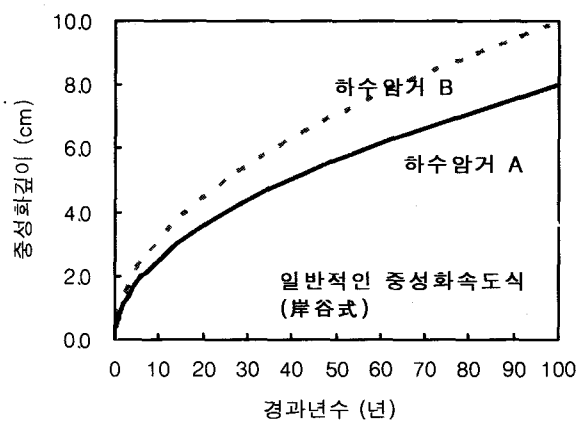


Fig. 2 하수암거 실태조사 중성화 속도 예측

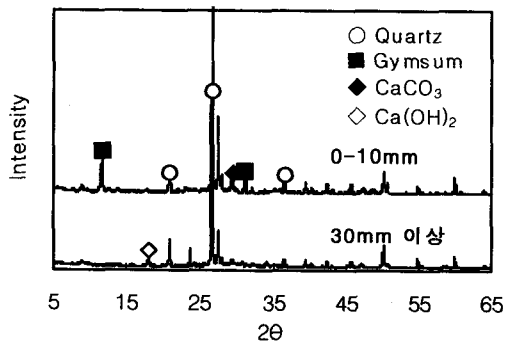


Fig. 3 하수암거 실태조사 XRD 분석결과

4) XRD

하수암거 B의 슬래브 하부에서 채취한 샘플 중에서 표면으로부터 깊이 0~10mm 및 30mm 이상에서의 시료로부터 측정된 XRD분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 황산과 직접 접촉되는 하수도시설 표면부(0~10mm)의 경우 석고와 CaCO₃의 생성이 관찰되어 화학부식과 더불어 pH를 저하시켜 탄산화 경향을 가속화 시키는 원인으로 판단된다. 그러나 황산의 침식이 미치지 못하는 부위(30mm이상)에서는 Ca(OH)₂의 존재가 확인되어 알칼리도가 유지되는 건전부의 경향을 나타내고 있다.

5) EPMA

Photo 1은 실태조사 대상 하수암거에서 채취한 건전 및 열화부위 시료의 EPMA 분석결과를 나타낸 것이다. 건전부위를 나타낸 Photo 1-(a)

Table 2 실험계획

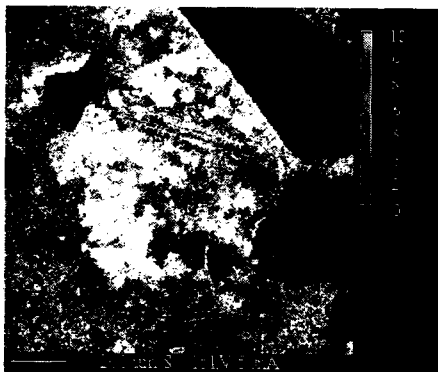
구 분	내 용
실험요인	<ul style="list-style-type: none"> • 내황산성 모르타르 • 일반용 모르타르
W/B (%)	36.2
S: C	1.13 : 1
측정항목	<ul style="list-style-type: none"> • 강도특성 - 압축강도, 휨강도, 부착강도 • 5% 황산침지실험 • XRD, SEM

의 경우 S의 분포가 표면으로부터(사진 상부) 깊이에 관계없이 고르게 나타나고 있는 반면 열화부위를 나타낸 Photo 1-(b)의 경우 표면(사진 상부)에 S의 분포가 집중되고 있어 표면으로부터 황산에 의한 침식을 받았을 것으로 사료된다.

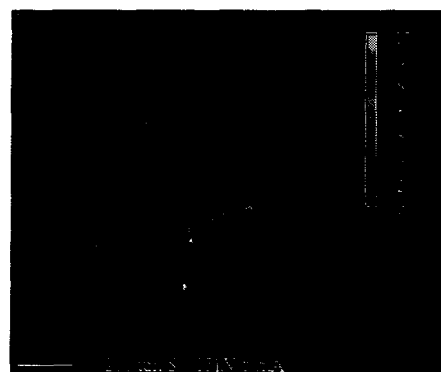
3. 내황산성 단면복구 모르타르 개발

3.1 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 Table 2에서 보는 바와 같이 내황산성 모르타르와 일반용 모르타르를 W/B=36.2%, 모래:결합재=1.13:1의 배합조건으로 동일하게 제작한 후 압축강도(KS F 2477), 휨강도(KS F 2477), 부착강도(KS F 4716) 등의 강



(a) 표면 부위



(b) 표면으로부터 5cm 부위

Photo 1. 열화부위 시료의 깊이별 EPMA 분석결과

Table 3 강도발현 특성

구 분	압축강도(kgf/cm ²)				휨강도 (kgf/cm ²)	부착강도 (kgf/cm ²)
	1일	3일	7일	28일		
일반용	42	379	463	556	99	28
내황산성	37	282	403	514	97	22
일본기준*	-	250	-	450	70	15

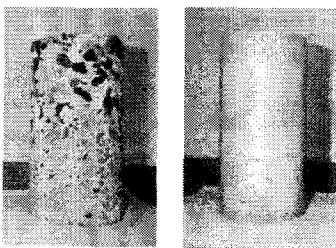
* 東京都下水道局施設管理部, コンクリート改修技術マニュアル-汚泥処理施設編-, 平成 12年10月

도특성을 각각의 KS 시험방법에 준하여 측정하였으며, 내황산성 실험은 50×50×50mm 시험체를 제작하여 28일 수중양생을 행한 후 5% 황산용액에 침지하고 침지재령별 중량변화율을 측정하였다. 또한 5% 황산용액 침지 재령 4주에 침식부 및 건전부의 시료를 채취하여 SEM 및 XRD 등의 화학분석을 통하여 시멘트 수화물 및 부식 생성물을 관찰하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

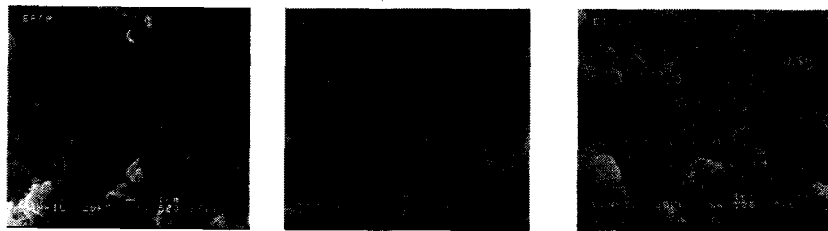
1) 강도발현 특성

일반용 및 내황산성 단면복구 모르타르의 강도특성을 Table 3에 나타내었다. 내황산성 단면복구 모르타르의 경우 28일 압축강도 514kgf/cm², 휨강도 83kgf/cm², 부착강도 25kgf/cm²를 발현하고 있어 일반용 단면복구 모르타르와 비교하여 강도발현특성이 상대적으로 작지만 일본 동경도 하수도 관리기준에는 만족하는 것으로 나타났다.



(a) 일반용 (b) 내황산성

Photo. 2 시험체 외관



(a) 일반용(침식부) (b) 내황산성(침식부) (c) 내황산성(건전부)

Photo. 3 5% 황산용액 침지 후 시험체별 SEM 측정결과

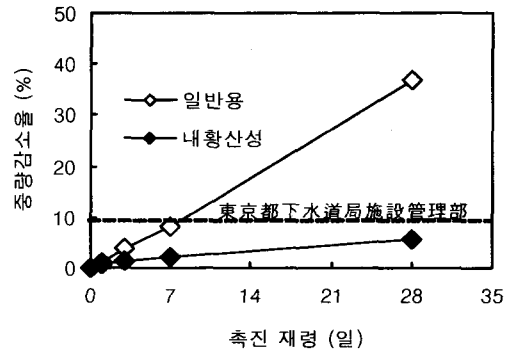


Fig. 4 5% 황산용액 침지 재령별 중량감소율

2) 내황산성

일반용 및 내황산성 단면복구 모르타르의 5% 황산용액 침지 재령별 중량감소율을 Fig. 4에 나타내었다. 내황산성 단면복구 모르타르의 경우 침지 재령 28일에서의 중량감소율은 5~6%로서 일반용 단면복구 모르타르와 비교하여 약 6배 이상의 중량감소율 저감효과가 있고, 일본 동경도 하수도 관리기준인 10%에 만족하는 것으로 나타났다.

Photo 2는 5% 황산용액 침지 재령 28일에서의 일반용 및 내황산성 단면복구 모르타르 시험체 외관을 나타낸 것으로 일반용의 경우 황산용액에 의한 화학적 침식을 받아 모르타르 표면이 탈락되어 있는 것을 볼 수 있으나 내황산성 모르타르의 경우 미세한 표면손상을 받았을 뿐 양호한 외관상태를 보이고 있다.

3) XRD 및 SEM분석

Fig. 5는 5% 황산용액 침지 재령 28일에 일반

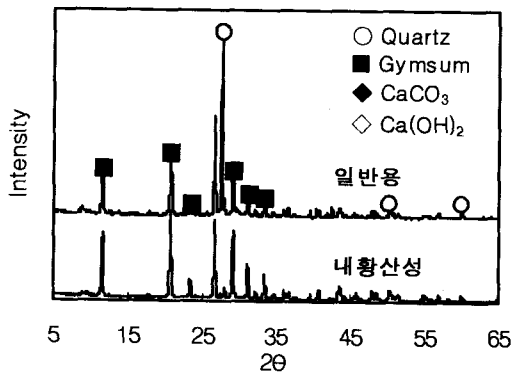


Fig. 6 5% 황산용액 침지 후 XRD 분석결과

용 및 내황산성 모르타르 표면에서 채취한 시료의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 내황산성 및 일반용 모르타르의 표면에는 동일하게 황산에 의한 침식의 영향으로 이수석고가 생성됨을 알 수 있으며 이는 일반용 및 내황산성 모르타르의 침식부 및 건전부 SEM 측정결과를 나타낸 Photo 3에서 육안으로 확인할 수 있었다.

4. 결 론

하수도시설 철근콘크리트구조물을 대상으로 내구성 실태조사를 실시한 후 내황산성 단면복구 모르타르를 개발하여 일반 단면복구모르타르와 강도특성 및 내화학성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내 경과년수 20~30년의 경과년수를 지닌 하수도시설 철근콘크리트구조물의 내구성 실태조사 결과 압축강도 저하 및 중성화속도가 매우 빠르게 진행하고 있는 것으로 나타났으며, XRD 분석결과 황산침식에 의한 것으로 보이는 이수석고 생성을 확인할 수 있었다.

2) 하수도시설 철근콘크리트구조물의 열화는 특수한 환경하에서 다양한 열화요인에 의하여 진행되지만, 이중에서도 화학침식 및 중성화의 복합열화에 의하여 콘크리트의 열화가 촉진되는 것으로 나타났다.

3) 하수도시설의 화학적 환경을 고려하여 개발된 내황산성 단면복구모르타르는 일반용 단면복구모르타르와 비교하여 일반적인 물리적 특성은 유사하게 나타내면서 내황산성이 현저히 개선되는 결과를 보였으며, 이는 내황산성 단면복구모르타르가 하수도시설의 보수보강에 있어서 황산에 의한 침식을 억제하고 보수보위의 장기적 건전성을 확보하는데 적합한 재료로서 평가된다.

< 참 고 문 헌 >

1. 이웅종 외, "황산에 의한 모르타르의 침식현상", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제14권2호, 2002, 10. pp.43~48
2. 淺上 修ほか, "各種セメントの耐硫酸性に關する研究, セメント・コンクリート論文集", No.50. 1996, pp.152~157
3. 喜多達夫ほか, "酸性水によるコンクリートの侵食に關する研究", 第6回コンクリート工學年次講演會論文集, 1984, pp.225~228
4. 水上國男ほか, "コンクリート構造物の耐久性シリーズ-化學的腐食-", 技報堂出版, 1986
5. 콘크리트診斷技術編輯委員會, "콘크리트診斷技術 '01[基礎編]", 日本콘크리트工學協會, 2001