

# 화학적 부식을 고려한 하수시설 리뉴얼 공법의 현황 및 개선 방향

## Renewal Methods of Sewage Structures Considering Biological Corrosion



### 1. 서 언

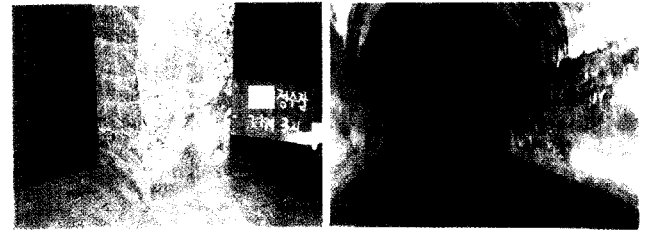
도시주민생활에 없어서는 안 될 주요한 사회간접자본시설인 하수도 및 하수처리시설의 콘크리트 구조물에 대한 부식열화는 현재 세계 각국에서 급속히 진행되고 있다. 콘크리트 구조물이 반영구적인 것으로 인식되고 있으나, <사진 1>에 나타낸 바와 같이 황화수소( $H_2S$ ) 등의 황산화합물이 다량으로 존재하고 있는 하수시설 및 복개 구조물 등의 환경에서는 사용수명이 급속히 단축되고, 콘크리트의 부식에 의해 도로가 함몰되는 사례도 보고되는 등 시민생활에 큰 위험성을 내재하고 있다. 또한, 이러한 구조물은 습윤상태가 대부분으로 보수공사를 실시하여도 <사진 2>에 나타낸 바와 같이 보수부분에 대한 재열화가 발생하는 사례가 많다<sup>1-3)</sup>.

1900년 미국의 로스앤젤레스시의 하수도 시설로부터 콘크리트의 부식 문제가 보고되어 미생물 원인으로 인한 콘크리트 부식이 보고된 최초의 예가 되었다. 그 후 하수시설물의 콘크리트 부식에 미생물이 관여하고 있다는 사례가 보고되면서 구미 등 각국에서 활발한 연구가 시작되었다. 1970년대에 들어서는 미생물의 증식에 의해 발생하는 황산이 콘크리트를 부식시키는 주원인으로 밝혀지게 되었다<sup>2)</sup>.

일본의 경우, 1982년 전후로 하수시설물이 부식되고 있다는 사실이 보고되기 시작하여 1987년 하수도사업단의 조사로 하수 시설물의 내용연수 감소와 파손의 우려를 인식하게 되었다. 콘크리트방식도장지침(안)의 개정을 시작으로 1991년에는 콘크리트방식지침(안)을 작성하였고, 그 후 시험 연구 및 시공 실적 등이 활발히 이루어져 1993년과 1998년에 개정되기에 이르렀다<sup>6)</sup>.

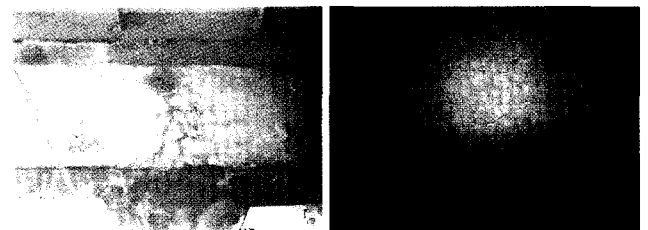


(a) 보강근의 부식 (b) 피복콘크리트의 박락

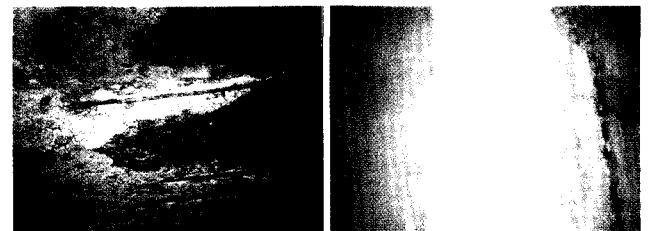


(c) 부식 및 스케일링 (d) 콘크리트 표면의 부식

사진 1. 하수시설 및 복개 구조물의 열화 실태



(a) 표면부의 부식 및 오염 (b) 표면피복재의 균열



(c) 단면복구부의 박락 (d) 보수부의 박락

사진 2. 습윤한 구조물의 보수 후 재열화 실태

\* 정희원, 호서대학교 소방방재학과 교수, 공학박사  
 jikwon@office.hoseo.ac.kr  
 \*\* 정희원, 경동대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
 \*\*\* 정희원, (주)AMS엔지니어링 기술이사, 공학박사  
 \*\*\*\* 리플래시기술(주) 기술팀장, 공학박사

국내의 경우는 약 20년 전인 1980년대부터 오수 처리 목적이 가미된 하수도의 현대화가 추진되어 왔으며, 오늘날은 맑은 물 공급대책 및 생활환경개선사업의 일환으로 국가적인 차원에서 대대적인 하수도정비사업이 추진되고 있다. 기 수행되어진 하수도사업은 처리장건설위주의 사업으로 진행됨으로서 하수관 거미정비에 의한 하수처리효과의 감소 등 여러 가지 면에서도 하수사업의 본래 목적을 달성하지 못하고 있는 실정이었으나, 최근 하수관거정비 5개년 계획이 추진되는 등 종합적인 하수관 거정비가 시행되고 있다<sup>3,7)</sup>.

1945년 Parker는 부식된 콘크리트에서 황산화세균을 발견, 분리 채취하여 Thiobacillus concretivour라 이름짓고 후에 Thiobacillus thiooxidans로 이름을 바꾸었다. 그 후 부식된 콘크리트로부터 Thiobacillus neapolitanus, Thiobacillus intermedius, Thiobacillus novellus 등 다종의 Thiobacillus 류 황산화세균이 발견되었으며, 이러한 세균들이 콘크리트의 부식에 관여하는 것으로 알려지게 되었다<sup>4,5)</sup>.

한편, 최근 국내에서도 노후된 철근콘크리트(RC) 구조물의 보수보강시장이 급격히 확대됨에 따라 RC 구조물의 유지보수 기술이 고도화되고 있으며, 더불어 다양한 종류의 보수·보강 재료 및 공법이 개발되어 각종 보수공사에 적용되고 있다. 그러나 보수·보강이 실시된 RC 구조물이 공용 후 수년 내에 보수부위의 재균열 또는 철근의 재부식 등 다양한 형태의 재열화 현상이 자주 발생되고 있어, 사회간접자본시설의 대부분을 차지하고 있는 RC 구조물의 유지관리비용 절감 및 장수명화를 도모하기 위해서는 보다 내구성 및 균열저항성이 우수한 새로운 보수재료 및 공법의 개발이 시급히 요구된다<sup>1)</sup>.

황산화세균이 번식하고 있는 하수도관 및 하수처리장의 콘크리트조에서 수면 또는 수면상부에 비교적 산소의 공급량이 많은 부분에 콘크리트의 부식이 현저하게 발생하는 것이 일반적이다. 그 이유는 하수로부터 발생하는 황화수소를 황산으로 산화시키는 원인 미생물인 황산화세균이 증식하여 산소를 필요로 하는 절대호기성세균이 이들 개소에 존재하기 때문이다.

따라서 본고에서는 하수시설 중 암거시설을 중심으로 열화메커니즘을 정리하고, 열화진단방법의 개선사항 및 진단단계별 보수보강대책을 정리하였으며, 실제 구조물에 적용하여 그 성능을 검토한 후 구조물의 열화원인 및 진단 상황별 유지보수 대응방안을 정리하여 향후 하수시설의 유지관리지침을 위한 참고자료를 제시하고자 한다.

## 2. 황산에 의한 콘크리트의 부식메커니즘 및 상태평가 방법

### 2.1 부식메커니즘

표 1. 하수도 콘크리트의 단계별 부식 상황

단계	현상 및 화학적 반응
1 단계 (嫌氣상태)	<ul style="list-style-type: none"> <li>산소가 공급되지 않거나 침전물과 콘크리트에 부착되는 경우 등에 의하여 혐기상태가 된다.</li> <li>하수중에 포함되어 있는 황산염의 대부분이 황산염환원세균에 의하여 황화수소를 발생시킨다.  <math>SO_4^{2-} + 2C + 2H_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3^-</math>                      黃酸鹽還元細菌</li> </ul>
2 단계 황화수소의 확산	<ul style="list-style-type: none"> <li>하수중에 생성된 황화수소는 산성영역에서 분자상태의 황화수소로 되어 하수의 흐름에 의하여 공기중에 확산된다.</li> </ul>
3 단계 황산의 생성	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기중에 확산된 황화수소는 콘크리트 상부에 결로 및 비밀수에 의해 용해된다.</li> <li>용해된 황화수소는 황산화세균의 작용에 의하여 황산을 생성한다.  <math>H_2S + 2O \rightarrow H_2SO_4</math> ; 黃酸化細菌</li> </ul>
4 단계 황산에 의한 콘크리트의 부식	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트표면에 생성된 황산은 콘크리트 수화물과 반응하여 황산칼슘을 생성한다.</li> <li>이수석고가 시멘트중의 <math>3CaO \cdot Al_2O_3</math>와 반응하면 에트린자이트가 생성되면서 콘크리트가 팽창, 균열, 박리 등의 부식현상을 일으킨다.</li> </ul>

표 2. 황산에 의한 콘크리트의 부식가능성이 높은 시설 및 부위

시 설	부식가능성이 높은 부위
관로 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>단차, 낙차가 큰 개소의 하수면 상부</li> <li>강제 압송관의 상류부, 하류 토출부의 하수면 상부</li> <li>파라펫 배수관 접합부의 하수면 상부</li> <li>압송관 토출부의 하수면 상부</li> </ul>
펌프장	<ul style="list-style-type: none"> <li>하수 유입부의 하수면 상부</li> <li>펌프 후 토출부의 하수면 상부</li> </ul>
처리장 특히 복개된 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>집수정과 연결수로의 하수면 상부</li> <li>분배조와 연결수로의 하수면 상부</li> <li>최초침전지 월류부와 유출수로의 하수면 사용</li> <li>반응탱크류입부의 하수면 상부</li> <li>오니농축조의 워류 피트의 하수면 상부</li> <li>협기성오니 소화조로부터 탈리액피트의 하수면 상부</li> <li>오니처리시설에의 역류관</li> </ul>

하수시설 내에서는 황산 이외에도 다양한 염류에 의하여 콘크리트 구조물이 부식될 가능성이 있지만 황산에 의한 부식이 가장 대상범위가 넓고 부식속도가 빠르기 때문에 부식현상이 발견되면 급속하고 적절한 대응조치가 필요하다.

황산에 의한 콘크리트의 부식은 밀폐된 관로시설을 대상으로 <표 1>과 같은 단계로 진행된다.

- (1) 혐기상태의 하수 및 오니 중에 황산염환원세균에 의한 황산염으로부터 황화수소가 생성
- (2) 액상으로부터 기체상태로의 황화수소가 확산
- (3) 콘크리트 표면의 결로수 중에 혐기성의 황산화세균 등에 의해 황화수소로부터 황산이 생성
- (4) 황산에 의한 콘크리트의 화학적 침식  
생물반응, 화학반응, 물리반응이 복합된 현상이다.

2.2 황산에 의한 콘크리트 부식이 발생되기 쉬운 시설

황산염환원세균과 황산화세균의 생물학적 작용에 의하여 황화가스 및 황산이 발생되어 콘크리트의 부식이 발생되기 쉬운 환경(콘크리트 부식환경)을 하수시설에서 가정한다면 <표 2>와 같이 정리할 수 있다. 부식환경이 심한 경우는 다음의 (1)~(3)의 조건을 전부 만족하는 하수 또는 오니가 존재하는 장소이나 콘크리트의 부식환경은 지역성과 일기후 조건, 계절적 변화의 영향이 크다.

- (1) 황산염환원세균의 활동에 의하여 하수 또는 오니 중에 황산이 생성되기 용이한 환경
  - ① 황산이온 농도가 높다.
  - ② 하수상부에 산소공급이 적어 혐기성조건이 되기 쉽고 하수의 정체시간이 길다.
  - ③ 수온이 황산염환원세균의 증식이 적합하다.
- (2) 하수 또는 오니의 흐름이 불규칙하고 교반되는 작용 등에 의하여 하수의 액상부로부터 황화수소가 하수상부공간에 방산되기 쉽고 하수상부공간이 밀폐되어 있는 구조
- (3) 가스농도, 기온, 습도, 영양염류의 공급 등의 조건이 황산화세균이 활동하기 용이한 환경

하수시설내의 환경이 이러한 환경조건이라면 대부분 콘크리트의 부식이 급속히 진행되지만, 기온, 하수중의 황산이온농도와 시설물의 구조 등과 같이 지역적인 특성에 크게 영향을 받아 황화수소가스농도, 습도 등의 부식환경에 의한 콘크리트의 부식속도가 크게 다르다.

한편, 하수시설내의 황화수소가스농도는 0 ~ 1,000 ppm 이상으로 범위가 넓고 부식환경의 인자중에서 조건의 변화가 매우 크다. 하수면 상부의 황화수소농도는 동일시설에서도 일간 변동의 차가 크고, 계절적 변화의 수온차이에 의하여도 변화가 크며, 밀폐된 시설내의 황화수소가스의 농도는 펌프에 의하여 하수의 흐름이 활발한 경우보다 단기간에 큰 폭으로 변화된다. 일반적으로 30 ~ 35 °C에서 황산염환원세균은 가장 활발하게 증식되고 15 °C 이하 45 °C 이상에서는 활성이 크게 저하된다. 또한, 황산화세균은 20 °C 이하에서 활동이 억제되고 30 °C 전후에서 세균활동이 활발하다. 따라서 하수시설내의 황산에 의한 콘크리트의 부식은 연간평균기온이 높은 지역에서 진행이 빠르고 동절기보다 하절기에 부식의 진행이 빠르다.

국내 복개 구조물 및 하수 박스 구조물에서 포집한 가스를 분석한 결과는 <표 3>에 나타낸 바와 같다. 즉, 대기중에서는 황화수소가스가 거의 검출되지 않고 있으나 복개 구조물 내의 H<sub>2</sub>S 가스농도는 평균 1.85 ppm, 하수 박스 내에서는 2.59 ppm 정도로 검출되었다. 이상의 특정 결과를 종합하여 보면,

표 3. 복개 구조물 및 하수박스의 가스농도(ppm)

항목	복개 구조물	하수 박스 <sup>3)</sup>	기준치 <sup>4)</sup>	서울 도심 <sup>5)</sup>
가스	1976년 <sup>1)</sup>	1999년 <sup>2)</sup>		
NH <sub>3</sub>	-	661	764	-
H <sub>2</sub> S	-	1.85	2.59	0.05~0.5
CH <sub>4</sub>	7,300	331	389	1.5
CO <sub>2</sub>	1,700	785	893	-
				320~350

- 1) 82년 토목학회 보고서
- 2) 복개 구조물 4개소에서 포집된 가스 실측값의 평균치
- 3) 서울 도심에 위치한 2개소의 하수박스 실측값의 평균치
- 4), 5) 98년 환경백서

RC 복개 구조물 내부의 환경은 하수박스 구조물과 크게 상이하지 않음을 알 수 있으며, 콘크리트 하수암거와 유사한 화학적 침식을 받을 것으로 평가된다.

2.3 열화 예측과 평가

화학적 침식의 정도는 전술한 바와 같이 열화요인의 종류, 농도, 온·습도 및 흐름의 유무에 의하여 크게 다르기 때문에 부식의 원인으로 부터 부식의 메커니즘을 명확하게 하겠다고 하더라도 열화진행을 예측한다는 것은 매우 어렵다.

상세한 조사 결과로부터 얻어진 수치를 기본으로 현장의 상황을 시뮬레이션한 부식 시험을 콘크리트 보호층과 콘크리트의 각각에 대하여 실시하여 얻어진 데이터를 기초로 하여 현재의 열화진행상황을 파악하여 향후의 진전을 예측하는 방법이 가장 바람직하다. 또한, 표면으로부터 침식이 서서히 진행되고 있는 화학적 부식의 경우에는 기본적으로는 콘크리트의 보호층과 콘크리트의 각각에 대하여  $\sqrt{t}$  측을 적용하여 침식깊이를 예측할 수 있다.

또한, 시기가 다른 2 또는 3의 조사 결과가 얻어진 경우에는 그 결과를 직선 또는 곡선회기시켜 예측식을 작성하는 것이 실용적인 대응책으로 판단된다.

열화 예측 결과 및 구조물의 공용연수를 감안하여 화학적 부식의 평가를 행하더라도 신뢰성이 높은 열화예측식은 지금까지 보고되어 있지 않다. 따라서 열화예측식에 기초하여 평가가 곤란한 경우에는 <표 4>에 나타내는 외관 관찰 및 상세한 조사 결과에 따라 등급을 평가할 수 있다.

3. 화학적 침식의 메커니즘을 고려한 진단 및 보수보강 공법의 선정

3.1 진단 방법

화학적 침식을 입은 열화의 정도를 파악하는 방법으로서 외

표 4. 외관관찰 및 상세조사에 따른 진전상황 평가표

등급	열화과정	변상
I	잠복기	외관상의 변상이 보이지 않음
II	진전기	콘크리트 보호층에 변상이 보임
III	진전기	콘크리트에 변상이 보이나 열화인자는 강재위치까지 도달되지 않음
IV	가속기	콘크리트의 변상이 현저하고 열화인자는 강재위치까지 도달하여 있고 강재에도 변상이 보임
V	열화기	콘크리트의 단면결손이 크고 강재의 부식량이 큼
VI	열화기	강재의 부식이 현저하고, 변위 및 변형이 큼

관찰과 상세조사가 있으나 화학적 부식의 경우에는 표면으로부터 열화진행이 일반적이기 때문에 외관관찰로부터 기본적인 열화상황을 조사할 수 있다. 화학적 부식이 예상되는 구조물에서는 표면이 강산 또는 강알칼리환경으로 된 사례가 많으므로 조사시에는 인체보호를 우선 고려하여야 한다.

산성열화의 경우, 내부의 물질이동에 의하여 열화부분이 다 갈색(FeO)으로 되어 있는 경우가 많고 부식성 가스 및 액체의 존재가 확인된 경우에는 종류와 농도를 명확하게 분석하여야 한다. 또한, 황화수소 및 황산 등의 존재가 확인되고 세균의 관여로 인정되는 경우에는 구조물 표면으로부터 시료를 채취하여 혐기환경 또는 호기환경에서 분리배양하여 세균의 종류를 명확히 분석하여야 한다.

황산염에 의해 열화된 콘크리트의 진단플로우를 <그림 1>에 나타내었으며, 특히 열화원인 파악 및 치핑깊이 등의 파악에 매우 유용한 데이터를 제공하는 EPMA 분석 사례를 <그림 2>에 나타내었다.

EPMA(전자선미크로분석장치)는 주사전자현미경과 같은 양상으로 가늘게 포커싱한 전자빔을 시료에 조사하고 그때 나오는 2차 전자, 반사전자를 이용해서 시료의 표면관찰을 행함과 동시에 발생하는 원소특유의 X선을 이용함으로써 미소부의 원소정보를 얻는 장치이다.

원소정보에는 ①어떠한 원소가 있는 것인가(정성분석), ②함유량은 어느 만큼인가(정성분석), ③어떻게 분석하고 있는가(선분석, 면분석), ④어떠한 화합물인가(상태분석) 등이 다각적으로 포함되어 있다.

<그림 2>는 전술한 <그림 1>에서 나타낸 플로우 중 황산염에 침식된 콘크리트의 상태에 대한 EPMA 분석 결과 일례를 나타낸 것이며, 손상조사와 코어조사의 실례를 도시하여 실제적으로 진단시 내구성 평가를 통하여 열화원인을 조사하고 치핑깊이와 아울러 복구재의 요구성능을 결정할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있는 관계를 도시하였다.

아직 국내에서는 화학적 침식에 대한 진단기법이 구축되지 않고 있으나 향후 이러한 기기분석 결과를 토대로 열화원인을 결정하고 보수설계 시 치핑깊이나 복구재의 요구성능 등을 결

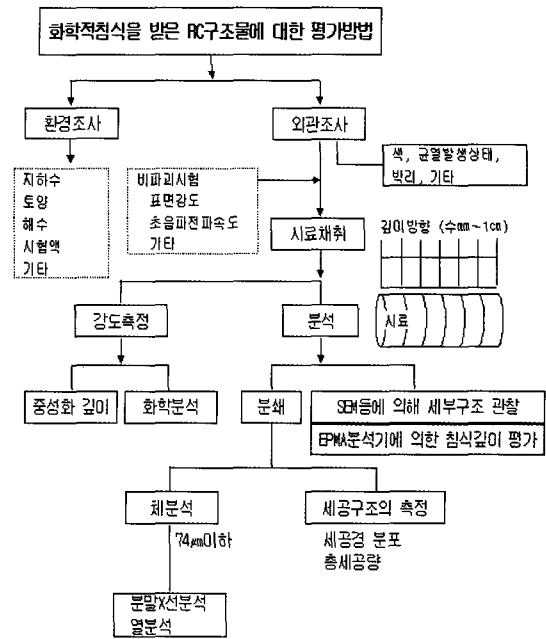


그림 1. 황산염에 침식된 RC구조물에 대한 진단플로우



(a) 황산염에 침식된 콘크리트의 외관 (b) EPMA 분석 결과

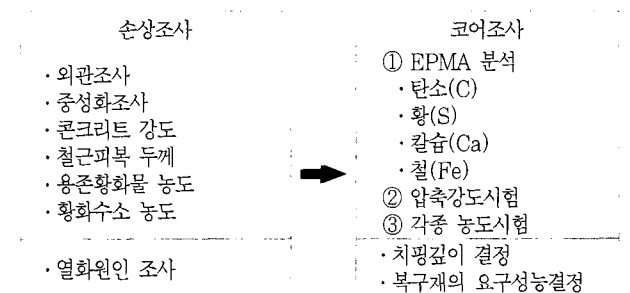


그림 2. EPMA 분석 결과와 보수설계의 관계

정할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있는 진단시스템의 정비가 절실한 것으로 평가된다.

### 3.2 열화진전단계별 유지보수시스템의 구축

전술한 바와 같은 화학적 부식의 진전단계를 잠복기, 진전기, 가속기, 열화기의 4등급으로 분류하였고, 각 등급별로 보수보

강공법의 목표를 설정하여 요구성능을 만족시킬 수 있는 소재와 공법 구성을 통한 유지보수시스템을 구축하였다. 일례로서 잠복기 및 진진기에는 열화위험억제를 목표로 하였고, 가속기에는 철근보호를 요구성능으로 설정하였으며, 열화기에는 부분적인 보강과 통수를 하면서의 재구축을 목표로 하여 하수암거 시설에 대한 유지보수시스템을 제안하였다. 또한, 소재의 요구성능으로 화학적 부식메커니즘을 고려하여 항균성 개질재의 적용을 토대로 습윤면 상태에서의 접착성을 품질확보상의 주요 특성으로 하여 본 시스템을 구축하여 현장에 적용하였다.

3.2.1 항균성 개질재, 내산 모르타르 및 무기질 단면 피복재를 복합화한 단면보수공법(건교부 신기술 제330호)

본 신기술은 하수도시설과 같은 화학적 침식의 열화와 아울러 습윤면에 대한 고품질 방식 및 보수공사를 위하여 습윤환경 하에서 장기부착강도가 우수한 무기질단면피복재(RH 방식피복재)를 개발하고, 항균성 개질재(RH프라임)와 복합하여 시공함으로써, 기존에 취약했던 화학적 부식에 대한 유지관리기술을 정립하여, 하수도시설 등에 중점적으로 사용될 수 있도록 개발된 공법이다. 무기질 단면피복재는 습윤면에서 방식층을 형성하기 위한 무용제형 친수성 폴리머와 고강도 실리카 및 미립분시멘트, 폴리아민계 경화제를 혼합하여 제조하며, 항균성 개질재는 화학적 침식을 유발하는 세균 발생을 억제하는 항균기능과 알칼리 환경부여, 표면강화기능 등의 기능을 가진 개질재이다. 본 공법은 <표 4>의 잠복기, 진진기 및 가속기 등의 해당 공정시 실시하며, 국내에서 실시했던 사례를 정리하면 <사진 3>에 나타낸 바와 같다.

3.2.2 고인성시멘트복합체(DFRCC)를 사용한 라이닝 보수공법

본 공법은 특수 배합된 프리믹스형 폴리머시멘트모르타르에 마이크로 단섬유를 다량( $V_f = 1.0 \sim 2.0 \text{ vol.}\%$  정도)으로 혼합한 고인성시멘트복합체(DU-모르타르)를 활용한 무기계 라이닝 보수공법으로, 하수로 및 농수로 등에 적용되고 있는 본 공법의 개요 및 시공 순서는 각각 <그림 3 및 4>에 나타낸 바와 같다<sup>9)</sup>.

본 공법에 사용되는 DU-모르타르는 휨/인장응력 하에서 변형경화거동 및 멀티플크랙(multiple cracking)특성을 발현함으로써 <사진 4>와 같이 변형성능이 매우 우수하며<sup>10)</sup>, 주요 특징은 다음과 같다.

(1) 다량의 마이크로 단섬유에 의해 박판(약 6 ~ 10 mm)으로 시공하여도 경화 과정에서 건조수축에 의한 균열발생이 대폭 저하



사진 3. 단면보수공법의 적용 사례

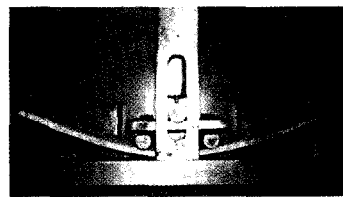


사진 4. DU-모르타르의 휨성능

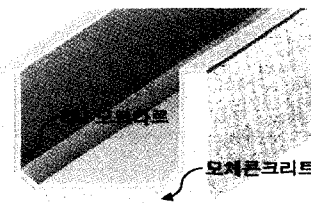


그림 3. 라이닝 보수공법의 개요

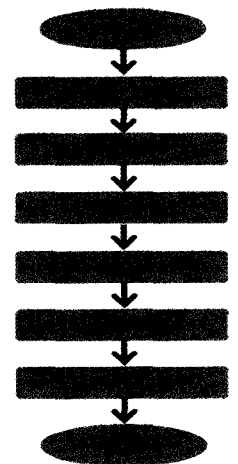


그림 4. 시공 순서

(2) 인성이 탁월하여 진동 등의 반복하중에 대한 저항성이 우수하며 균열이 발생하여도 균열폭이 일정(약 100 μm 이하)하게 제어되고 방수성능이 우수



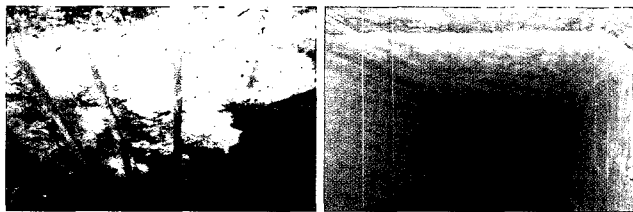
사진 5. DU-모르타르 라이닝 보수공법의 적용사례

표 5. 본 공법과 타공법의 비교 사례

구분	DU-모르타르 라이닝공법	기존 PCM	초고강도 PCM
시공 직후			
6개월 경과 후			
기초 물성	· $F_{c28}$ : 35 MPa · 부착강도 : 2.99 MPa (1개월)	· $F_{c28}$ : 28 MPa · 부착강도 : 2.00 MPa (1개월)	· $F_{c28}$ : 50 MPa · 부착강도 : 3.26 MPa (1개월)
검토 결과	· 균열발생 무	· 균열발생 (다수) - 0.5 M 간격	· 균열발생 (일부) - 2개소

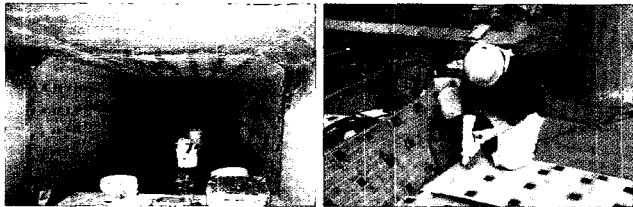
- (3) 습윤상태 및 복잡한 형상의 부재에서도 시공이 가능하고, 무기계이므로 자외선에 의한 열화의 우려가 없음
- (4) 마감시 특수 피막양생제를 사용하므로 표면에 수밀층을 형성하여 물질투과저항성 및 내마모성이 매우 우수하며, 폴리머계이므로 화학적 침식에 대한 저항성이 우수
- (5) 프라이머를 도포하지 않아도 우수한 부착성능을 발휘하여 공정의 단축이 가능하며, DU-모르타르 1층의 심플한 구조이므로 시공이 용이

본 공법은 잠복기, 진전기 및 가속기 등에 해당되는 경우에 실시하며, <사진 5>는 농수로의 라이닝 보수공사에 적용한 사례이고, <표 5>는 기존 타 공법과의 시공 결과를 모니터링한 것이다.



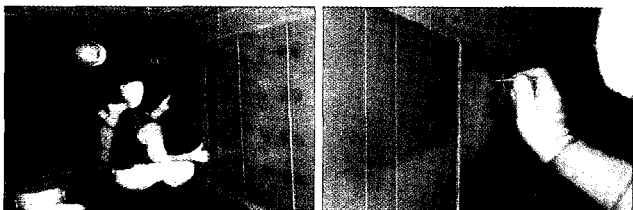
(a) 시공전 상황

(b) 단면복구



(c) 특수 파스너 부착

(d) PS시트 재단



(e) PS시트 부착

(f) PS시트 공기누출기 설치



(e) 에폭시수지 주입

(f) PS시트 시공완료후 전경

사진 6. 내하력 향상기술의 적용 사례

### 3.2.3 불포화 폴리에스테르판과 탄소섬유시트를 적용한 보강판에 의한 내하력 향상기술

본 공법은 환경조건이 매우 열악한 하수시설을 주 대상으로 화학적 부식메커니즘을 고려하여 개발된 하수시설 전용 방식보강공법이다. 재질은 유리섬유보강 불포화 폴리에스테르판으로 방식 타입과 탄소섬유시트를 적용하여 사용한 방식·보강 타입의 두 종류로 구성되며, 설치시에 앵커볼트를 사용하지 않은 새로운 발상으로 구축된 시스템으로 그 주요 특징은 다음과 같다.

- (1) 습윤면에서 부착성능이 우수하다.
- (2) 내약품성이 우수한 성형판이다
- (3) 하수시설에 대한 방식보수·보강을 통한 내용연수 증대가 가능하다.
- (4) 특수 파스너를 사용한 노 앵커접합방법이다.
- (5) L원형의 형상에 대해서도 시공이 가능하다.

본 공법은 화학적 침식의 진전단계 중 열화에 대응하는 기술을 소개한 것으로 국내에서 실시된 사례를 정리하면 <사진 6>에 나타난 바와 같다.

### 3.3.3 경질염화비닐재를 사용한 제관기술

본 공법은 <사진 7>에 나타낸 바와 같이 기존 관로내에서 경질염화비닐재를 스파이럴상으로 결합하면서 제관하고, 기설관로와 갱생관(제관한 관)의 간극에 특수충전재를 충전하여 기설관로와 일체화된 강고한 복합관으로서 갱생하는 공법으로 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) 통수하면서 시공이 가능하고 폐기물 발생이 없음
- (2) 자주식 제관기로 곡선부 및 급구배에도 적용 가능
- (3) 신관과 동등 이상의 관으로 복원되고 내수압 및 상재하중에 대하여도 충분한 강도 발휘
- (4) 기설관경 3,000 mm의 대구경관은 물론 원형, 마제형, 구형 등 모든 관의 갱생 가능
- (5) 장거리시공 및 부분시공 가능

## 4. 결론 및 향후 과제

최근, 콘크리트의 내구성이 사회적인 문제로 대두되면서 일반인들도 이에 대한 관심이 점차 증가되고 있는 실정이지만 화학적 침식에 따른 콘크리트의 열화 및 철근부식에 대한 기술자들의 문제의식은 크지 않는 것이 사실이다. 따라서 본고에서는 하수관거에서 발생되고 있는 화학적 침식에 관한 여러 연구자들의 연구 결과를 종합적으로 정리하였고, 실제 시공현장에서 시행되고 있는 신기술 공법과 아울러 화학적 침식의 진전단계별 유지관리 대책을 정리하였다.

### · 화학적 침식에 대한 진단 및 평가 기술의 정립

통상적인 진단 방법으로는 화학적 침식을 평가하는 것은 매우 어려운 것으로, EPMA 등의 기기분석을 스펙화한 종합적인 내구성 및 내하성에 대한 철저한 평가가 필수적이다.

### · 보수설계

화학적 침식에 대한 열화진전단계를 고려하여 진전단계별 유지보수대책을 제안하였고, 실제 하수시설에 적용한 후 그 적용성을 평가하였다.

### · 진전단계별 공법의 선정

습윤환경 및 황산화세균 등 하수시설의 특수 조건을 고려하여 잠복기, 진전기, 가속기, 열화기 등에 따른 시공환경을 고려하여 공법을 제안하였고, 재구축차원에서 제관하는 기술을 소개하였다.

### · 품질관리기준의 설정 필요

하수시설의 개보수에 사용되는 방식재료, 보수재료 및 보강재료 등에 대한 품질평가 기준에 대한 정립에 매우 필요한 것으로 판단된다. □

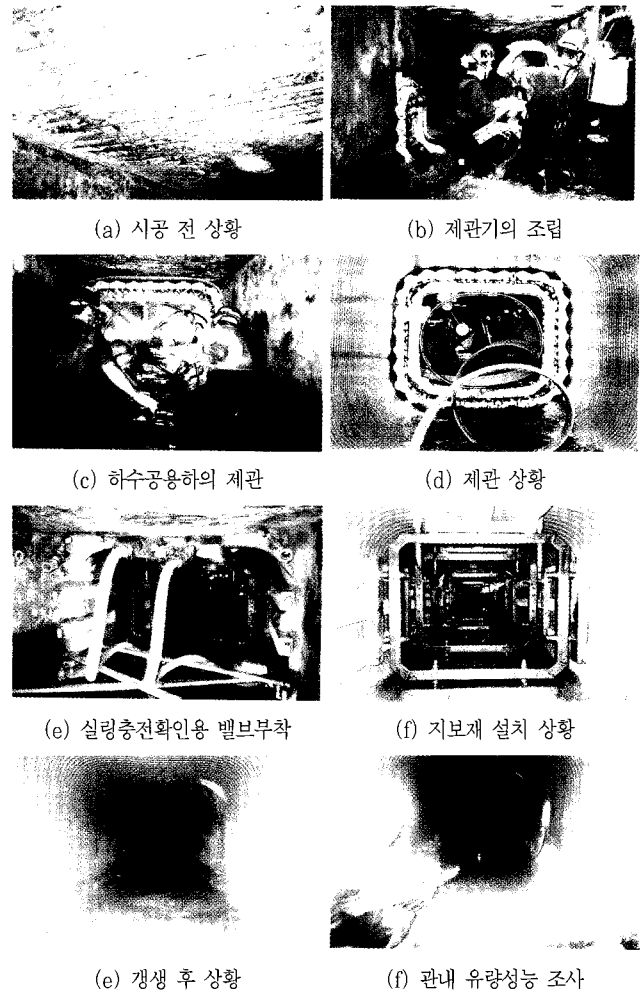


사진 7. 제관기술 적용 사례

## 참고문헌

1. 권영진의, "무기질개질제 및 무기질단면피복제의 활용에 의한 중성화된 구조물에 대한 내구성회복공법의 개요", 한국구조물진단학회지, 5권, 3호, 2001.
2. 한국건설기술연구원, 하수관거의 부식에 관한 연구, 1994.
3. 김학주, "하수관거정비 개선방안", 하수도연구회세미나발표자료, 2002.
4. 김성수 외, "화학작용에 의한 콘크리트의 침식 및 철근의 부식", 한국구조물진단학회지, 4권, 3호, 2000.
5. 길배수 외, "하수도시설 콘크리트와 방균대책", 콘크리트학회지, 14권 3호, 2002.
6. 일본콘크리트공학협회, 콘크리트진단기술, 2001.
7. 서울특별시, "하천복개구조물의 안전진단 및 정비사업종합보고서", 1994.
8. ACI committee 201, "Guide to Durable Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, 1997.
9. <http://www.eng-ams.com>
10. 複數微細ひび割れ型纖維補強モルタルの評価と利用, 土木學會, 2005, pp.32~38.