

1 상수도 노후관 갱생 기술 (Water Pipe Rehabilitation Technology)

글 한완수 \ 토목기술팀 대리 \ 전화 02-3433-7764 \ E-mail hws74@ssyenc.com
 글 민형식 \ 토목기술팀 사원 \ 전화 02-3433-7886 \ E-mail minnlove@ssyenc.com

1. 머리말

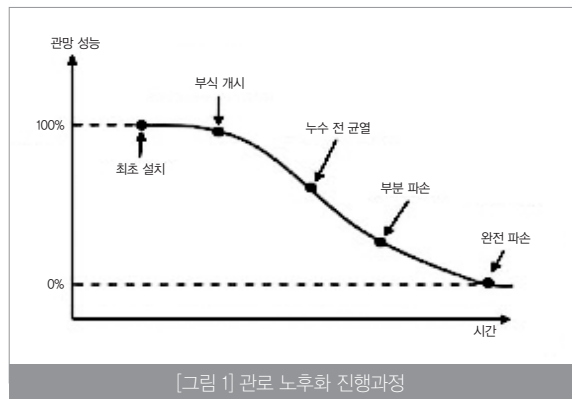
시간이 경과함에 따라 내·외부적인 원인에 의해 진행되는 상수도 관의 노후화는 수도물 품질의 신뢰성 저하 및 사고 발생 시 대규모 단수를 유발하기 때문에 사회적·경제적으로 큰 영향을 미친다. 우리나라의 경우 2012년 기준 상수도 관로의 총 연장은 179,160km이며, 이 중 매설연수가 16~20년 이상인 관은 27,193km(15.2%), 21년 이상인 관은 41,947km(23.4%)에 이른다. 광역상수도를 관리하는 한국수자원공사에서는 노후관 개량에 대한 관련 계획을 수립하고, 도수수관의 노후화 진행에 따른 개량공사를 발주하여 이미 수도권 광역상수도 1단계 도수시설 개량공사가 완료되었으며, 이후 현재 당사가 수행하고 있는 금강광역상수도 노후관 갱생공사 등 향후에도 지속적으로 상수도 노후관 개량사업이 발주될 예정이다. 본고에서는 이러한 상수도관 개량에 대한 개념과 정의 및 주요 갱생공법에 대해 소개하고, 당사가 준공 및 현재 진행 중인 사업에 적용된 갱생공법에 대해 소개하고자 한다.

2. 노후관 개량(Renewal)

2-1. 관로 노후화

일반적으로 지하에 매설된 관로는 시간이 경과하면서 관 내부에 도장재(라이닝)의 박리 또는 중성화 등이 진행되고, 관의 노후화로 인한 결절 등으로 부식생성물이 발생한다. 이로 인해 통수단면적이 감소되어 소요수량의 공급과 소요수압의 확보가 어렵게 되고, 부식생성물의 탈리로 인한 적수(赤水) 발생 등 다양한 수질

문제를 야기하여 관로 본래의 기능을 상실(Pipe Failure)하게 된다. 구조적으로는 부식으로 인해 관의 강도가 감소하여 내·외면 하중에 대한 저항력이 감소되므로 결국 다양한 구조적 파손상태에 도달하게 된다([그림 1] 참조).



2-2. 관 개량 개념 및 종류

노후화되어 본래 기능을 상실한 노후관에 대해 일련의 기술을 적용하여 그 기능을 복원하는 모든 행위를 개량(Renewal)이라고 한다. 이러한 개량을 위한 방법으로는 갱생(Rehabilitation), 보수(Repair) 및 교체(Replacement) 등이 포함된다(〈그림 3〉 참조). 갱생은 기존의 관로를 활용하여 내부에 라이닝(Lining) 등을 통해 그 기능을 복원하는 방법이고, 보수는 국부적인 손상을 복구하는 방법이며, 교체는 기존 관로를 제거하고 새로운 관을 매설하는 방법으로서 관 개량의 종류 및 주요 공법은 〈표 1〉과 같다.

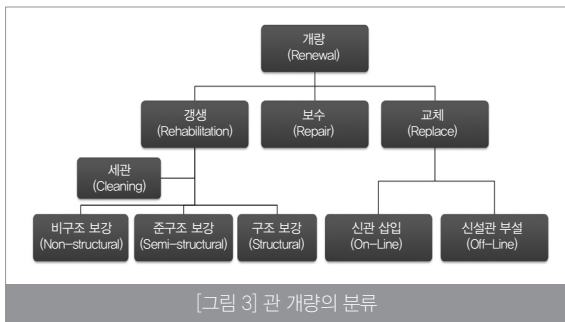


표 1 관 개량 종류 및 주요 공법

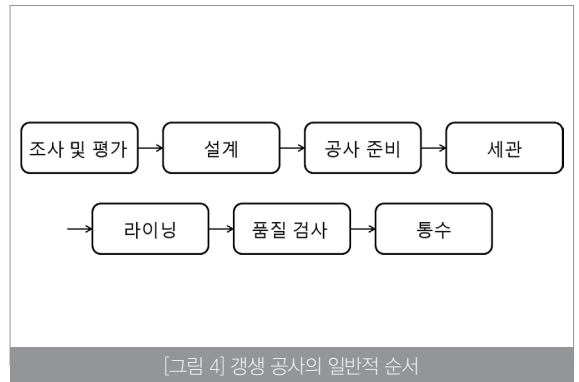
구분	공법	내용	사진
갱생	Sprayed In Place Pipe (SIPP)	라이너를 관 내부에 분사 후 자연 경화시켜 라이닝 형성	
	Cured In Place Pipe (CIPP)	함침 라이너를 관 내부로 팽창시킨 후 열 경화시켜 라이닝 형성	
	Close-Fit Lining	U자로 접힌 PE라이너를 관 내부로 인입 후 공기압으로 팽창	
보수	Spot Repair	관 내부 손상부위에 경화라이닝을 이용하여 부분 보수	
	Joint Repair	슬리브(Sleeve)를 이용하여 손상부위 보수	
교체	Open Cut	기존 관 굴착 제거 후 신관 매설	
	Slip Lining	기존 관보다 관경이 작은 관을 삽입 후 그라우팅하여 기존 관과 구조적으로 일체화	
	Pipe Bursting	파열·파쇄 헤드로 기존 관 파쇄 후 후미에 연결된 신관 삽입	

3. 관 갱생 공법(Pipe Rehabilitation)

관 개량을 위해 과거에는 굴착(Open Cut)을 통한 교체가 많이 수행되어 왔으나 이는 매설심도가 깊거나 교통량이 많은 지역에서는 교통체증 유발 등으로 시민의 불편과 함께 막대한 예산이 소요된다. 뿐만 아니라, 상수도관의 경우 내압을 받고 있기 때문에 구조적으로는 내구성을 가지고 있더라도 접합부의 누수, 소규모 균열, 핀홀, 스케일, 슬라임 등 부식생성물에 의해 기능적 문제를 발생하는 경우가 많기 때문에 교체에 의한 개량방법은 비효율인 방법으로 볼 수 있다. 이러한 문제점을 개선하고자 최근에는 관을 교체하지 않고 보강공법에 의해 기존 매설관의 구조상 기능을 활용함으로써 노후화된 관의 기능을 개선하고, 굴착공법에 비해 경제적인 시공비로 개량이 가능한 비굴착 관 갱생(Trenchless Pipe Rehabilitation)공법이 적용되고 있다.

3-1. 관 갱생을 위한 사전조사 및 공법 적용

일반적인 관 갱생공사의 순서는 우선 사전단계로서 노후관에 대한 정확한 조사(Inspection)와 그에 따른 관의 상태를 평가(Evaluation)하게 되며, 이를 통한 최적의 설계 및 시공으로 갱생 작업을 수행하게 된다.



관 상태에 대한 사전조사와 평가는 매우 중요한 요소로서 정확한 관의 상태 파악을 통한 노후관 개량 방안 수립 및 이를 통한 최적 설계 및 시공으로 관의 잔존가치를 극대화 할 수 있다. 관의 상태 평가에 대한 주요 내용으로는 관로 이력 및 매설환경 조사 등을 위한 기존 자료의 수집 및 분석, 관 상태의 간접평가, 직접조사 지점 선정·조사·평가(부식 깊이, 관 두께, 물리적 특성 등), 부속시설(밸브 및 밸브실 등) 조사 및 개량 대상구간 선정을 통해 구간별 개량방안 수립을 수행하게 된다. 관 상태의 평가 절차 및 방법에 대한 개략적인 내용을 〈표 2〉에 나타내었다.

표 2 관 상태 평가절차

구분	내용
① 관로정보 수집 및 관망도 작성	· 시설 제원, 운영관리 이력 등 자료 수집 · 관망도 작성 및 제원 입력
② 개별관로 정의	· 관로 제원, 운영관리 조건 등에 따른 최소단위 관로 설정
③ 평가그룹 설정	· 관중, 관경, 매설연수가 유사한 개별관로를 일정 범위 내 그룹 설정
④ 간접평가	· 관로 제원, 운영환경 등을 고려한 관로 노후상태 추정
⑤ 직접평가	· 노후 진행 및 개량 선정 구간의 현장조사 지점 선정 · 관체 내·외면 직접조사를 통한 정량적 평가
⑥ 관체 건전성 평가	· 직접조사 지점의 토양 부식성, 관체 강도, 화학적 조성 등의 조사를 통한 부식 원인 분석
⑦ 개량방안 수립	· 관체 상태 및 노후화 원인에 따른 개량방안 수립

관 갱생공법을 적용하기 위한 개량방안 수립 시 사전조사에 의해 파악된 기존 관의 구조적 상태에 따라 비구조 보강(Non-structural), 준구조 보강(Semi-structural), 구조 보강(Structural)으로 적용 등급을 구분할 수 있다. 기존 관의 구조적 결함은 미미하나 내부 부식과 결절로 수질악화와 유량의 제약이 발생 시 비구조 보강 공법을 적용하고, 기존 관의 내면부식이 심각하여 수질 악화 및 일부 누수와 구조적 파손이 발생하여 일부 구조적 보강이 필요한 경우 준구조 보강 공법을 적용하며, 기존 관의 외부 부식이 심각하여 전반적인 구조적 파손이 발생된 경우 기존 관의 구조적 기능없이 전체 내부압력을 견딜 수 있는 구조 보강 공법을 적용한다. <표 3>에 기존 관의 상태 평가에 따른 갱생등급과 일반적인 주요 공법을 나타내었다.

표 3 기존 관 상태에 따른 갱생 등급 및 주요 공법

기존 관 상태	갱생등급	주요 공법*
내부 부식 및 결절 생성	비구조 보강	SIPP
내면부식 심각, 누수 및 구조적 파손	준구조 보강	SIPP, CIPP, Close-Fit
전반적인 구조적 파손	구조 보강	CIPP, Close-Fit

*기타 제한조건을 고려하여 적용방법 선정

3-2. 주요 갱생공법

1) 세관공법(Cleaning)

세관공법은 관 내부에 부착된 녹이나 슬라임(Slime) 등을 제거하는 방법으로서, 그 목적에 따라 비연마 세관공법(Non-aggressive)과 연마 세관 공법(Aggressive)으로 구분된다. 비연마 세관공법은 물의 착색을 발생시키는 연질의 관내 침전물이나 슬라임을 제거함으로써, 주로 물의 심미적인 문제를 해결하기 위한 공법이며, 연마 세관공법은 녹이나 경질의 부식물질 등을 완전히 제거하여 수질 개선과 관의 통수능을 회복하기 위한 공법이다.

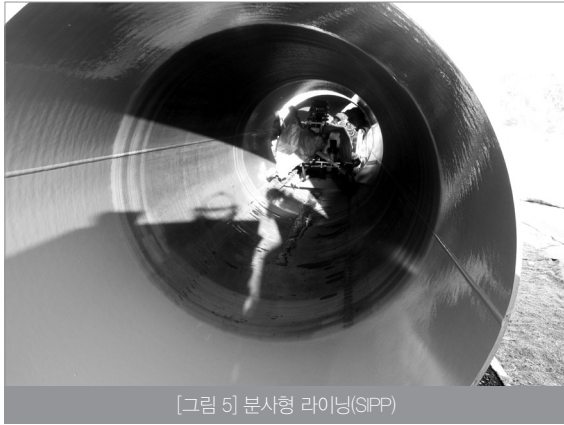
표 4 세관공법의 종류

구분	공법	개요
비연마	플러싱	다량의 물을 관 내에 빠른 속도로 흘려보내 내부 세척(D300 이하)
	맥동류 세척	관 내 흐르는 물에 압축공기를 일정간격으로 주입하여 생성된 Slug/Flow에 의해 내부 세척(모든 관경)
	피그	피그를 관 내에 삽입한 후 수압으로 통과시켜 내부 세척(모든 관경)
연마	고압수 세척	고압호스 선단의 분사헤드에서 초고압수(200kg/cm ²)를 분사시켜 내부 세척(D1,000 이하)
	스크레이퍼	강철날이 부착된 스크레이퍼를 윈치(Winch)로 견인하여 내부 세척(D1,000 이하)
	강철로드 회전	스틸로드를 관에 삽입한 후 회전시켜 내부 세척(D1,000 이하)
	블라스팅	모래, 강철그릿 등을 관 내부 표면에 분사하여 내부 세척(D350 이하)

2) 분사형 라이닝(Sprayed In Place Pipe, SIPP)

분사형 라이닝 공법은 관 내 모든 이물질을 제거한 후, 관 내벽이 더 이상 부식되지 않도록 도료를 관 내벽에 분사하여 라이닝하는 공법이다. 도료는 과거 시멘트 모르타가 주로 사용되었으나 재질 특성상 수질이 연수(Soft Water)인 물에서 중성화(모래화)가 촉진되는 경향을 가지고 있기 때문에 연수를 공급하는 영국 등의 선진국에서는 에폭시 도료로 대체되었으며, 현재는 에폭시보다 경화 속도가 빨라 시공시간을 단축시킬 수 있는 폴리우레아를 주요 도료로 사용하고 있다.

일반적인 관 갱생과정에서 관 내부의 라이닝 작업 전 기존 관에 대한 세관작업을 실시하게 되며, 특히 분사형 라이닝의 경우 분사되는 도료가 관 표면에 직접 부착되어야 하기 때문에 가장 철저하면서도 광범위한 세관작업이 필요하다.



[그림 5] 분사형 라이닝(SPP)

3) 현장경화 라이닝(Cured In Place Pipe, CIPP)

현장경화 라이닝 공법은 사전에 에폭시나 PE 등의 열경화성 수지를 함침시킨 연질의 함침튜브(필름+펠트)를 현장에서 반전시키면서 관 내에 삽입한 후 열경화 시키는 공법이다. 삽입된 함침튜브는 80℃ 이상의 온수 또는 증기 주입에 의해 팽창되어 기존 관 내벽에 압착되고, 함침된 수지는 열에 의해 경화되어 새로운 관을 형성하게 된다. 최근에는 온수 및 증기보다 경화시간이 짧은 UV 경화 공법이 개발되어 일부 적용되고 있다.

기존 관 내에 삽입된 함침튜브 라이닝은 수지에 의해 관 내벽에 접착되어 있으나 라이닝 자체는 기존 관과 독립되어 있기 때문에 지반의 활동에 의해 기존 관이 파손되는 경우 그 부위의 접착면만 떨어지고 라이닝은 파손되지 않는 특성으로 인해 기존 관에 대한 준구조 보강이 가능하다.



[그림 6] 현장경화 라이닝(CIPP)

4) 밀착형 라이닝(Close-Fit Lining)

밀착형 라이닝 공법은 사전에 U 또는 C자 형태로 접하도록 제작된 PE 재질의 변형 라이너(Fold and Form)를 현장에서 관 내부로 견인하여 인입한 후 공기압으로 라이너를 팽창시켜 관 내면에 밀착시키고 고온수 또는 증기로 경화시키는 공법이다.

밀착형 라이닝 공법에 주로 사용되는 라이너는 신관 수준의 상태이므로 기존 관에 대한 준구조 보강이 가능하다.



[그림 7] 밀착형 라이닝(PE 라이닝)

4. 당사 현장 적용기술

4-1. 수도권 광역상수도 개량공사

1) 공사개요

- ① 사업명 : 수도권 광역상수도 1단계 도수시설 개량공사
- ② 사업기간 : 2008년 7월 ~ 2012년 3월(32개월)
- ③ 사업위치 : 서울시, 하남시, 부천시 일원
- ④ 적용공법 : 분사형 라이닝(SPP)
- ⑤ 갱생공사(53,900m) : D2,200~D2,800



[그림 8] 수도권 광역상수도 1단계 도수시설 개량공사 현황도

2) 기존 관 현황

기존 관은 설치 후 28년 경과한 강관으로서 관 내부 조사결과, 대부분의 관로에서 가벼운 전면부식이 진행되고 있었다. 관로 내부 전반에서 도막 손상이 확인되었으며, 전체 이상면적 중 79.3%

2) 기존 관 현황

기존 관은 설치 후 30년 이상 경과된 강관으로, 기존 취수원 수질 악화 및 시설 노후화로 인해 2009년부터 전체 시설이 유훈 중이며, 관 내부 조사결과 2000년 이후에 매설된 일부 관로 구간을 제외한 전 구간에 걸쳐 도막달락 및 표면부식이 발생하였다. 최초 설치 당시 콜타르 에나멜로 내면 처리되어 매설된 강관 중 1,500mm 직관 구간의 도막두께는 2.85~3.00mm이고, 1,100mm 직관 구간은 2.00~3.30mm으로 전 구간에 걸쳐 다소 불규칙하게 측정 되었으나, 내부도막 시설규격 2.5mm±0.55의 조건을 대체로 만족하고 있었다. 그러나 장기간 사용으로 인하여 재질 자체가 심하게 경화되어 재료 자체의 인장력 및 전단력이 거의 상실됨에 따라 부식발생(인접) 구간에서는 작은 충격에도 쉽게 부서지는 특성을 나타냈다. 관체 변형율은 전 구간에 걸쳐 약 3~4% 정도로 측정되어 시설기준 5%를 만족하였으나, 관 변형의 가장 큰 원인은 관의 재료적 특성에 의한 변형 및 토압 등에 의한 고정하중인 것으로 판단되었다.

3) 적용공법

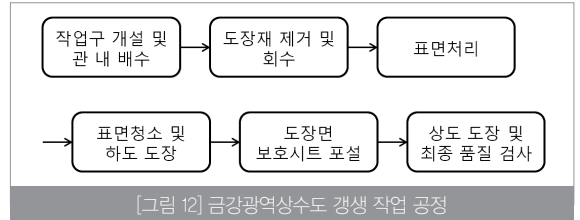
조사된 기존 관 상태를 고려하여 관 갱생공법 중 대구관경에 적용이 가능하고, 시공구간 장대화를 통해 작업구 개소를 최소화할 수 있는 분사형 라이닝 공법을 적용하였다. 라이닝 도료는 수도권 광역상수도 개량공사에 적용된 예폭시보다 작업성 및 품질이 우수하며 후막 시공을 통해 기존 관에 대한 준구조 보강이 가능한 폴리우레아 계열의 도료를 적용하였다.

표 6 도료 특성 비교

구분	폴리우레아 계열		예폭시 계열	
	실리콘 폴리우레아	폴리우레아	특수예폭시	금속혼합물
부착강도	17.4MPa	12.1MPa	15.4MPa	12.8MPa
내마모성	24mg	49mg	51mg	67mg
용출성	무용출	무용출	무용출	무용출
점도	500±150cps	400±100cps	90±100cps	600±135cps
표면 슬립성	유체마찰 저항 감소	유체마찰 저항 보통	유체마찰 저항 보통	유체마찰 저항 보통
신장율	402%	283%	24%	10%
경화시간	최소 0.5~1시간 내외		최소 8~24시간	
준구조 보강	가능 (후막 시공)		불가	

당 사업에서는 수도권 광역상수도 개량공사의 경험을 바탕으로 추가적인 공정 및 장비 개선을 수행하였다. 기존 도장재 제거 후 도막을 인력수거하면서 후속 공정이 지연되었던 점을 감안하여 도막회수 장비를 개발하여 적용하였고, 표면처리 과정에서 연마재 1회 사

용 후 폐기됨으로써 폐기물 과다 발생 및 자재비 손실 발생을 억제하기 위해 사용된 연마재를 회수하여 재사용이 가능한 장비를 개발하여 적용하였다. 또한, 관 내 표면처리 후 표면에 잔류된 분진에 의해 도장과정에서 도료의 견고한 부착을 방해하던 부분을 개선하고자 표면처리 후 표면청소 공정을 추가하였으며, 라이닝 작업 후 도장면을 보호하여 도장 품질을 보전하고자 도장면 보호시트 포설 공정을 추가하였다. 적용된 장비의 주요 특징을 <표 7>에 나타내었다.



[그림 12] 금강광역상수도 갱생 작업 공정

표 7 관 갱생 주요 장비의 주요 특징

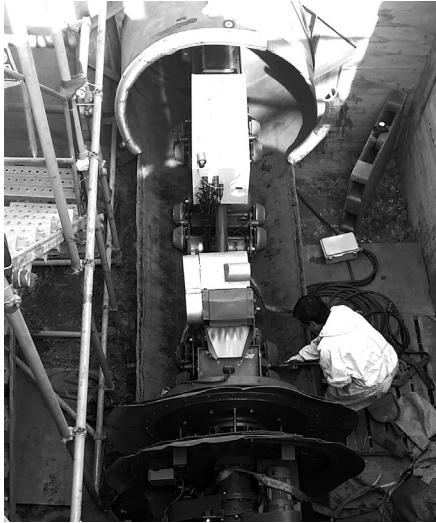
구분	장비	특징
S형 장비	 워터젯 장비	· 3축 회전 고압분사식 · 관 내면 상태에 따라 분사압력 조절 가능
	 도장재 제거 장비	· 유도전류 방식(도막 분리) + 스크레이퍼 방식(도막 제거) · 인덕션 유도가열 방식으로 소음·분진 최소화 · 유도전류를 이용한 도장재 제거로 관체 손상 방지
	 표면처리 장비	· 소형 임펠러 분사형 · 분진과 연마재 동시 흡입 처리로 오염물질 미배출 · 연마재 진공흡입 분리 재사용
	 도장 장비	· 2액형 에어 스프레이 · 유압리액터 방식 도료 공급 · 열선 처리된 노즐로 안정적인 분사 도장
W형 장비	 도장재 제거 장비	· 다관절 롤링커터 방식으로 관체변형에도 시공성 우수 · 커터날 진행 시 좌우 비틀림각 유지로 콜타르 부착없음
	 도막회수 장비	· 대형 파워브러쉬 회전 수거 · 장역방향 이동 가능 · 회수 도막을 지퍼백으로 포장배출 · 파워브러쉬 및 컨베이어 조합
	 표면처리 장비	· 중형임펠러 분사형 · 연마재 진공흡입 재사용 시스템 · 분진확산 방지 시스템
	 도장 장비	· 2액형 공급라인 교묘방지 시스템 · 유압실린더에 의한 정량, 정온 및 정압 공급 가능 · 속도 조절로 도막두께 조절

5. 결론

본고에서는 상수도 노후관에 대한 개량의 정의와 갱생공법을 적용하기 위한 과정 및 주요 공법을 소개하고, 당사 시공사례를 통해 현장여건 분석과 이를 고려하여 실제 적용된 갱생공법(SIPP)에 대해 간략히 소개하였다.

상수도 노후관에 대한 개량은 정확한 사전조사와 평가, 현장 여건 및 기존 사례 분석을 통한 최적의 장비 적용과 설계-시공 그리고 품질보증까지 토털 솔루션을 구축하는 것이 중요하다. 당사는 이미 과거 수도권 1단계 개량공사를 통해 얻은 경험을 토대로 현재를 고려하고, 미래 지향적인 VE 제안 및 검토로 이후 사업에 대한 최적의 설계를 수행한 바 있다.

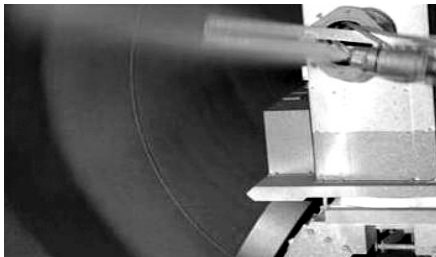
이와 같은 토털 솔루션 제공 능력을 바탕으로 국내 상수도 노후관 갱생사업의 지속적 추진 및 더 나아가 면밀한 분석과 검토 등 체계적인 전략 수립을 통해 해외시장의 문을 두드려야 할 것이다. **S**



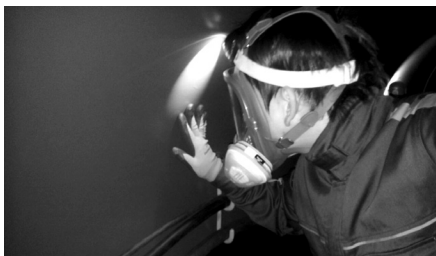
(a) 장비 투입



(b) 도장 장비



(c) 라이닝 공정



(d) 라이닝 품질검사

참고문헌

- 1 K-water(2012), "국내외 상수관로 개량기술 및 품질관리 동향"
- 2 쌍용건설 외(2008), "수도권 광역 상수도 1단계 도수시설 개량공사 실시설계보고서"
- 3 쌍용건설 외(2012), "수도권 광역 상수도 1단계 도수시설 개량공사 준공보고서"
- 4 쌍용건설 외(2013), "금강광역상수도 노후관 갱생공사 실시설계보고서"
- 5 서울시립대학교 산학협력단(2007), "환경경화관을 이용한 노후 상수도관 갱생공법의 개발"
- 6 USEPA(2010), "Global Review of Spray-On Structural Lining Technologies"
- 7 USEPA(2009), "State of Technology Review Report on Rehabilitation of Wastewater Collection and Water Distribution Systems"

[그림 13] 금강광역상수도 시공전경