

녹색공법을 이용한 대형 수도관 갱생 Rehabilitation with the Green Method for the Huge Pipeline Using a Dry-Type Equipment

김영주*, 최병섭**, 이상현***, 홍대성****, 안효원*****

YoungJu Kim, ByoungSeub Choi, SangHyun Lee, DaeSung Hong, HyoWon An

요 지

1979년 준공된 수도권 광역상수도 1단계 시설은 상당한 노후화가 진행되었을 것으로 예상되며, 또한 향후 한강하류권 용수공급계획이 예정되어 있어 내부부식 및 관로손상부 개량의 시급성이 제기되었다. 이에 따라 직경 2,800~800mm의 초대구경 도수관 53.9km의 개량을 위한 사업이 추진되었으며 시공성, 환경성, 경제성 등의 여러 항목에 대한 검토 결과 신개념 녹색공법인 비굴착식 건식일체형 공법이 최종 선정되었다.

그동안 기존관 개량공사에서 주로 사용되었던 굴착공법이 굴착에 따른 공기지연, 소음·분진·악취 등의 환경오염, 전구간 굴착에 따른 공사비 증가 등 많은 문제점을 안고 있는 것에 반해, 동사업에서 채택된 비굴착공법은 관로내에서 작업이 이루어지므로 공기단축, 환경오염 최소화에 따른 민원발생 최소화, 작업구만 굴착함에서 오는 공사비 절감 등 상대적으로 훨씬 우수한 것으로 평가된다. 동공법에 따르면 관내부 갱생공사는 ‘배수 및 잔류토사 제거’→‘관내 건조’→‘표면처리’→‘프라이머도장’→‘본도장’의 순으로 진행된다.

일체형 장비에 의한 이와 같은 초대형관의 자동화시공은 세계에서 처음 적용되는 것이다.

1)핵심용어 : 녹색공법, 건식일체형, 스크레이퍼, 브라스트, 도막제거, 표면처리

1. 서 론

상수도 관망시스템은 시간이 경과함에 따라 노후화되어 시스템의 기능이 악화된다. 이는 누수, 파손, 부식유발 물질에 의한 적수발생 등 운영 및 유지관리의 실패로 이어지게 되므로 관망시스템의 기능회복을 위해 갱생 또는 교체 등의 노후관 개량사업이 필요하다.(Hadzilacos, 2000) 여기서 갱생이란 관을 매설하지 않고 기존 관로의 구조상 기능을 활용, 보강공법으로 관로의 기능개선을 도모하는 것을 말한다. 우리나라의 경우 상수도 역사가 90년에 이르면서 노후관 개량에 대한 관심이 높아지고 있으나 대부분의 투자가 노후관 교체에 집중되고 있어 교통체증, 시민불편 유발, 내구성있는 관로의 폐기 등과 같은 사회·경제적 손실을 야기하고 있다.(주충남, 2005) 따라서 최근에

* 한국수자원공사·수도권시설처, E-mail : bbangju78@kwater.or.kr

** 정회원·한국수자원공사·수도권시설처, E-mail : bschoi@kwater.or.kr

*** 한국수자원공사·수도권시설처·E-mail : leeshyun@kwater.or.kr

**** 한국수자원공사·수도권시설처·E-mail : fulljip@kwater.or.kr

***** 한국수자원공사·수도관리처·E-mail : anwon@kwater.or.kr

는 노후관의 단순 교체보다 정밀진단 수행 후 관로의 수명을 연장시킬 수 있는 갱생공법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

2. 수도권광역상수도 1단계 노후관 개량

2.1 수도권광역상수도 1단계 갱생사업

수도권광역상수도 1단계 시설은 관경 D2,800mm~D800mm의 초대구경관으로 팔당1취수장에서 원수를 취수하여 부평정수장에 공급하는 시설로, 1979년 준공된 이래 현재 약 30년이 경과하여 사용연한 증가에 따른 노후화가 상당히 진행되었을 것으로 예측된다. 또한 향후 한강하류권 용수공급계획이 예정되어 있어 내부부식 및 관로손상부 개량의 시급성이 제기되어 그 결과 경기도 하남시, 서울특별시, 부천시, 인천광역시 일원에 대한 관로개량과 밸브교체가 계획되었다. 해당 사업지역은 하남시 1,2,3 터널구간을 제외한 대부분이 도심지를 통과하고 있다.

그 동안 수도관 갱생공법은 비약적 발전을 거듭하였으나 대부분 외국의 여건을 고려한 소·중구경관 위주의 공법들로, 수도권1단계와 같이 대형 관로가 주를 이루는 국내 현실에는 적용하기 힘든 기술들이 개발되어왔다. 따라서 이번 수도권광역상수도 1단계 갱생사업을 위해 자체적으로 교체와 갱생에 대한 사전 비교분석이 선행되었으며 그 결과 갱생공법이 경제성과 시공성 등 모든 측면에서 우위에 있다고 판단되어 갱생공법으로 사업이 확정되었다. 한편, 갱생공법에도 크게 관내 물을 모두 배제한 후 시공하는 건식공법과 물이 있는 상태로 시공하는 습식의 2가지 공법이 있으나 본 수도권1단계 사업에서는 건식공법이 적합한 것으로 평가되어 일체형 장비를 사용한 건식공법이 최종 작업공정으로 선택되었다. 그러나 앞서 이미 언급했듯이 1단계와 같은 초대구경관에 대한 갱생은 전세계적으로 시도된 바가 없어 이번 사업은 세계 최초의 사업이라는 의의와 함께 여러 가지 변수와 예기치 못한 상황발생에 대한 위험도 동시에 갖고 있다.

2.2 작업공정 흐름

건식일체형 장비를 사용한 본 사업의 전체적인 작업흐름은 아래 표 1과 같다. 먼저 장비를 투입하기 위해 작업구가 설치된다. 작업구는 2km의 장대화로 설치개소를 최소화하였고, 일체화된 장비는 작업구 전용면적을 최소화하였다. 이후 이토밸브실, 공기밸브실 등을 이용 관내 잔류수를 배수하게 되고 체트크리닝, 흡입준설과 인력보조를 병행하여 관내 잔류토사를 제거한다. 잔류토사가 제거되면 온도, 습도, 풍속 등을 센서에 의해 자동조절하며 관내 건조가 시작된다. 이처럼 건식 환경이 조성되면 도막제거와 표면처리가 시작되는데 이때 기존도막은 평균 3,000 μ m 제거, 표면처리는 SSPC-SP10을 준수하도록 설계되었다. 이 작업은 표면조도가 50 μ Rz 이상 확보되는지 확인되면 침식부 및 용접부 보수를 통해 본사업의 핵심과정이라 할 수 있는 프라이머 및 도장작업으로 이어진다. 이때 프라이머 도포는 표면처리 후 4시간 이내 실시하게 되며, 도막두께는 500 μ m 이상 확보되도록 도포제가 살포된다. 이후 최종적으로 도막두께 만족여부와 부착강도 80kgf/cm² 확보에 대한 도장검사로 공정이 마무리된다.

표 1. 관갱생 작업공정 흐름도

1	작업구 설치	<ul style="list-style-type: none"> • 관내 작업 장대화(2km)로 작업구 설치개소 최소화 • 관내 작업 장비 일체화로 작업구 점용면적 최소화
2	관내 잔류수 배수	<ul style="list-style-type: none"> • 이토밸브실, 공기밸브실등을 이용 배수 • 관내 사수(死水)부는 포터블펌프 이용 배수
3	관내 잔류토사 제거	<ul style="list-style-type: none"> • 제트크리닝+흡입준설+인력보조
	관내 환기를 통한 건조	<ul style="list-style-type: none"> • 센서에 의한 자동 제어 (온도, 습도, 풍속등)
4	도막제거 및 표면처리	<ul style="list-style-type: none"> • 기존도막 평균 3,000μm 제거 • SSPC-SP10준수 및 50μRz 이상 형성 • 밀폐형 건식 도막제거 및 표면처리공법 적용
	표면처리 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 표면조도 50μRz 이상 유지
5	침식부 및 용접부 보수	<ul style="list-style-type: none"> • 용접 균열부 보수·보강 • 부식부 보수·보강
6	프라이머 및 도장 작업	<ul style="list-style-type: none"> • 표면처리후 4시간이내 프라이머 도포 • 도막두께 500μm이상 형성
	도장 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 도막두께 500μm / 부착강도 80kgf/cm²


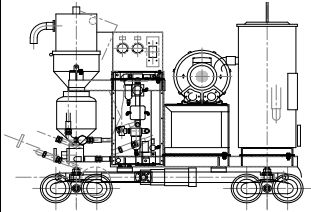
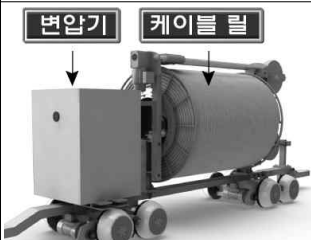

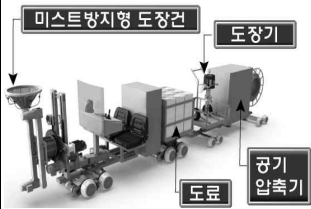

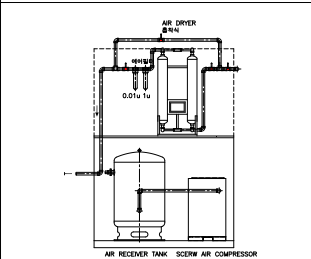
2.3 건식일체형 기계장비

도심구간의 지하관로 내에서 작업이 이루어지는 점을 감안, 기계장비는 일체형 시스템으로 구성되었다. 크게 도장작업 장비와 도막제거 및 표면처리 장비로 이루어진 본 장비의 시스템 구성과 주요재원은 그림 1, 표 2와 같다. 먼저, 도장작업 장비는 약 11m에 해당하는 전처리 및 미스트 확산 방지형 도장 차량이 에어리스 스프레이 도장을 실시하게 되며, 미스트 확산 방지를 위해 에어 커튼 커버가 적용된다. 이후 도막제거와 표면처리는 동시작업이 가능한 작업차량에 의해 수행되는 데 햄머식 스크레이퍼로 습도 최소화를 구현하고, 건식 브라스트로 50 μ Rz의 조도를 확보하게 된다. 이 장비는 후단에 건식형 브라스트 대차, 전력공급차량 등을 추가 구비하며 약 15m의 총길이를 보인다. 이들 장비는 작업구 중앙에서 후진하며 작업을 진행한다. 도막제거 및 표면처리 장비가 선도작업을 수행한 4시간 이내 도장작업 장비가 뒤따르며 작업이 진행되며 작업방향은 작업구 중앙에서 후진하며 진행된다.



Fig 1. 건식일체형 기계장비 현황

표 2. 건식일체형 장비 주요재원

구분	형상	제원 및 사양	특징
작업 차량		<ul style="list-style-type: none"> 구동방법 : 모터구동 0.55kW × 4대 이송속도 : 2~9 m/min 도막제거 : 스크레이퍼, 3kW × 2Set 표면처리 : 그리트 브라스트 × 2Set (진공흡입포함) 	<ul style="list-style-type: none"> 기존도막제거와 표면처리 동시 작업가능 기존도막제거 : 햄머식 스크레이퍼 표면처리 : 그리트를 이용한 브라스팅
블라스트 대차		<ul style="list-style-type: none"> 진공흡입식 그리트브라스트 : 4.2m³/min × 5.5kW × 2EA 그리트 저장탱크 Φ180mm: 100kg / Φ200mm~280mm: 200kg 조향(Steering)시스템 : 유압식 2EA 	<ul style="list-style-type: none"> 분사된 연마재를 진공흡입한후 사이클론으로 연마재와 폐기물을 분리하여 재활용 연마재 재사용 가능횟수는 약40회 정도
전력 공급 차량		<ul style="list-style-type: none"> 구동방법 : 모터구동 0.55kW × 4대 케이블종류 : 전원 및 광섬유 복합 케이블 케이블제원 : 55mm² × 4C, 4-optic fiber cables 케이블길이 : 1,050m 변압기 : 3,100V → 220V 	<ul style="list-style-type: none"> 이동형 릴로 외부 전력선 인입시 피복 손상 최소화 전력선간격 유지와 자동공급 신기술적용 1.0km 까지 전력선 공급
폐기물 저장 대차		<ul style="list-style-type: none"> 구조 : 강제 각형 컨테이너 저장용량: 1m(1.88m×0.88m×0.95m) × 1EA 진공흡입기: 30m³/min × 2kPa × 1.1kW × 4EA 	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물 저장조와 대차 분리 가능 작업시 배출 폐기물 저장후 장외배출
도장 차량		<ul style="list-style-type: none"> 구동방법 : 모터구동 0.55kW × 4대 이송속도 : 2~9m/min 도장기구 : 에어리스 도장 × 1EA 최대 토출량 : 32ℓ/min 최대 사용압력 : 50MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 도료 혼합탱크를 탑재한 대차 프라이어 : 에어리스 도장 도 장 : 에어리스 도장 도료 미스트 확산방지 ➡ 에어컷튼 적용
왕복 이동 차량		<ul style="list-style-type: none"> 구동방법 : 모터구동 × 4대 이송속도 : 0~30m/min 탑승인원 : 최대 6인 사용전원 : DC 48V(축전지) 축 전 지 : 밀폐형 납축전지 	<ul style="list-style-type: none"> 충전식 축전지 사용 작업자 진출입 이동용 도료 및 기타 부속장비류 운송 기타 부속류 등 운송 후진시 안내기능(필요시)
공기 압축기 유닛		<ul style="list-style-type: none"> 에어 액츄에이터와 브라스트 구동 제원 : 12.45m³/min × 1.05MPa × 75kW × 1EA 에어드라이어(흡착식) : 13.33m³/min 에어드라이어(냉동식) : 13.74m³/min 애프터쿨러 : 17.5m³/min 	<ul style="list-style-type: none"> 미세먼지를 제거하여 도장품질 향상에 기여 밀폐형으로 저소음의 정속운전

3. 결 론

광역상수도1단계 개량은 '08년 7월 착공되어 '11년 6월 준공을 목표로 하는 사업으로 4월초 현재 전체 사업물량의 약 3%에 해당하는 1.5km에 대한 갱생작업을 마무리하였다. 세계 최초로 시도 되는 대형관 개량 사업에 따른 경험과 정보부족, 자동화 장비의 현장적용 효율저하 등으로 사업초기 많은 시행착오와 어려움에 직면하였으나 그동안 장비개선을 위한 꾸준한 노력을 기울인 결과 현재는 설계시 계획한 수준의 안정화에 접근하였다.

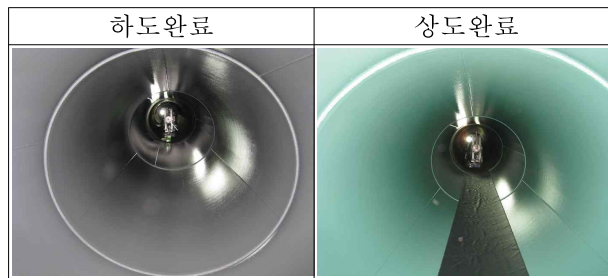


Fig 2. 도장 품질

갱생공사는 기존관 대체에 비해 도로의 비굴착에 따른 교통체증 완화, 소음·분진·악취 등 대기오염 저감, 공사기간 단축에 따른 주거환경 확보, 폐관처리비·신관구매비 등 자재비용 절감과 같은 많은 장점을 갖고 있어 저탄소 녹색성장사업이라 할 수 있다. 수자원을 종합적으로 개발, 관리하여 생활용수 등의 공급을 원활하게 하고 수질을 개선함으로써 국민 생활의 향상과 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 하는 수자원공사는 국민들께 신뢰를 얻고자 이러한 고도의 공법을 도입하여 사업을 수행하고 있다. 향후 본 사업이 성공적으로 마무리되면 수도관개량에 따라 양질의 수돗물을 더욱 풍부하게 국민들께 공급할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Hadzilacos, T. and Kalles, D.(2000). UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system, Computer Environment and Urban Systems, 24, pp. 215-232
2. 주충남 등(2005). 비굴착식 세라믹 모르타 라이닝공법에 의한 상수도 노후관의 갱생, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회논문집, pp. 1076-1080
3. 정원식 등(2003). 상수도관의 노후도에 대한 환경영향인자의 상관성 분석
4. AWWA Task Group 2850-D Replacement of water mains(1969). Committee Report, 61(9), 417-422.
5. 이현동(2007). 상수도관망의 유지관리를 위한 갱생기술, 대한환경공학회지 특집 pp. 1297-1309
6. 이현동, 배철호 등(2001). 상수도시스템의 갱생공법 특성 및 경제성 평가에 관한 연구, 한국물학술단체연합회 환경공-01-1