

콘크리트 하수관거를 대상으로 한 비굴착공법의 현황과 유지관리기술

The Current Technical States and the Maintenance Techniques of Trenchless Process for Concrete Sewer Pipe



민병헌*
Byeong-Heon Min

1. 서 론

우리나라에는 현재 약 7만Km의 공공 하수관거가 부설되어 있다. 그 상태는 대부분의 관거가 기능 또는 구조상 문제가 있는 것으로 나타나 있다. 한편 그동안 건설된 관거는 노후화가 계속적으로 진행되고 있어 교체와 보수가 불가피하게 되었다. 우리나라 하수처리의 실정은 다년간 하수처리장의 신설 및 증설 중심의 하수도 사업을 추진하였으나 유입하수관거의 부설로 인하여 지하수유입 및 하수의 유출로 하수처리장의 처리능력이 30 ~ 50% 감소되며 오염된 하수의 유출로 지하수를 오염시키고 있다.

과거에는 이러한 문제를 해결하기 위해 지하관로의 설치, 교체, 보수 시 도로 전체를 굴착하여 지하시설물을 해체하고 동종의 새로운 시설물을 매설한 후 굴착된 도로를 제포장하는 방식의 굴착 교체 방법이 시행되어왔다. 산업규모가 크지 않고 교통량이 많지 않던 과거에는 크게 문제되지 않았으나, 오늘날 산업규모가 커지고 교통량이 증가함에 따라 굴착공사 시 야기 되는 공사비, 사회손실비용, 안전사고, 환경문제 등의 관심이 커지면서 미국, 일본, 유럽 등 선진 외국의 경우 비굴착 기술을 새로이 개발 보급하기에 이르렀다.

본 연구에서는 현재 우리나라에 도입되어 적용하고 있는 하수관거 비굴착 보수 보강 공법에 대하여 비굴착(CIPP: cured in place pipes)공법의 기술 특성과 비굴착공법의 선정 방법 및 제한 사항을 검토하고 하수관거의 지속적인 유지관리방안을 제시하여 향후 보수 공법의 적용과 하수관거의 유지관리에 도움을 주고자 하였다.

2 비굴착(CIPP)공법의 기술 특성

* 호서대학교 토목공학과 교수
bhmin@office.hoseo.ac.kr

2.1 비굴착공법과 굴착공법의 비교

굴착공법과 비굴착공법을 종합적으로 비교한 결과를 <표 1>에 나타내었다.

비굴착공법은 도로를 굴착하지 않고 신관수준 또는 그 이상으로 기존 관을 갱생하는 공법으로써, 내구성에 있어서 50년을 수명으로 하고 있다. 또한 시공시 1차선 정도의 도로 점유 폭을 가지며 약 24시간 정도의 공기가 소요되므로 도로 통제로 인한 교통체증을 해소 할 수 있다. 그 외에도 환경문제 저감과 사업추진상의 행정문제가 탁월함은 물론 경제성 및 도심환경과 안전상의 문제를 최소화 시킬 수 있다는 장점이 있다.

그러나 굴착공법에 비하여 고도의 기술이 필요하므로 이에 적합한 기술력이 사전 배양되어야한다는 전제 조건이 단점으로 부각될 수 있다.

2.2 적용범위 및 방법

2.2.1 파손정도에 따른 적용 범위

기존 하수관거의 파손 상태에 따라 적합한 전체보수공법을 선정하여야 하는데, 다음과 같이 부분파손의 경우와 전체파손의 경우로 구분하여 적용하여야 한다.

(1) 부분 파손

부분파손관의 적용 및 설계방법은 <표 2>와 같이 기존관이 구조적으로 잔여수명이 있을 경우에 해당된다. 즉 표면부식 또는 균열이 있다 하여도 변형이 없거나, 관경축소를 또는 내하력 감소 비율이 10%이하인 경우에 적용할 수 있는 방법이다.

한편 서울시에서 적용하고 있는 불명수 방지를 주요 목적으로 하여 설계하는 방식은 부분파손의 일부조건에 해당하는데, 기존관이 모든 외력에 내하력을 가지는 조건에서 CIPP는 외부수압만을 설계하중으로 계산하는 방식에 해당된다.

표 1. 굴착보수공법과 비굴착보수공법의 비교

비교 분류	굴착공법	비굴착공법
개 요	· 도로굴착 후 관 교체	· 도로굴착 없이 신관수준 이상으로 관 갱생
교통문제	· 시공 전구간의 교통차단 · 장기간 도로 통제로 교통체증 유발	· 시공 일부구간의 1차선정도 교통문제 · 단기간 도로 통제로 교통체증 해소
공사기간	· 15 ~ 30일	· 2 ~ 3일
환경 문제	· 관 파손 및 이음부 불량에 의한 하수 유출로 토양 및 지하수 오염 · 지하수 유입으로 하수처리장 효율 감소 · 건설 폐자재 상당량 발생	· 이음부 없이 시공되므로 하수유출 및 지하수 유입 완전차단 · 지하수 및 토양오염 방지 · 하수처리장 처리효율 증대 · 건설 폐자재 발생억제
행정 문제	· 간헐적 보수공사로 인한 민원발생 및 행정 불신 초래 · 예측불허의 긴급보수로 장기적 계획의 차질 초래 · 도로굴착에 따른 법적 규제	· 단 1회 시공으로 민원발생 해소 및 행정신뢰감 구축 · 계획적인 불량 하수관거 정비사업 추진가능
경제성	· 일반굴착공사시 단순비교 다소저렴 · 가시성 공사비 감안시 비경제적 · 내화확성이 취약하여 부식, 파손으로 인한 노후도 진행	· 도로수명 단축, 교통장애, 환경오염 등 사회간접손실을 감안시 경제성 탁월 · 내화확성 및 내구성이 강하여 50년 이상 반영구적 수명보장
도심 환경	· 도로굴착으로 인한 소음 및 분진, 악취등 대기오염 초래 · 장기간 공사로 주민의 주거환경악화	· 분진 및 소음을 최소화한 환경 친화적 공법 · 단기간 공사로 쾌적한 도심환경 창출
안전	· 굴착으로 인한 주변 침하현상 야기 · 굴착시 가스관등 타 매설관과 저촉으로 위험 상존 · 작업인원 및 주민의 안전사고 우려	· 주변 침하현상과 무관 · 타 매설관과 저촉성 전무 · 안전을 최우선시하는 공법

표 2. 부분파손관의 설계 방법

조건	설계 하중	보수후의 수명
관경 변형이 없을 경우 (부식 등 내부 단면 손실)	수압만 고려	50년+기존관의 잔존수명
크랙이 있을 때	기존관의 내하력 부족량을 CIPP가 분담	50년+기존관의 잔존수명
관경변형이 심할 때 (10%미만)	기존관의 내하력 부족량을 CIPP가 분담	50년+기존관의 잔존수명

표 3. 전체 파손관의 설계 방법

조건	설계 하중	보수후의 수명
관경변형이 심할 때 (10%이상)	- 기존관의 내하력을 완전무시 - CIPP가 모든 하중 부담	50년

진 중인 공법에 대한 전체적인 개요는 <표 4>와 같다.

(2) 전체 파손

전체 파손관의 적용 및 설계 방법은 <표 3>과 같이 기존관의 구조적인 잔여수명이 부족한 경우에 해당되며, 기능적으로는 CIPP 정비 후 통수능력상의 문제가 없는 경우이다. 즉 크랙이 진행되어 관경축소율이 10%이상인 경우에 적용할 수 있는 방법이다. 한편 서울시에서는 현재 본 방법을 적용하지 않고 있다.

3. 비굴착(CIPP)공법의 선정 방법 및 제한 사항

CIPP를 포함한 다양한 비굴착 공법의 선정 과정은 각 공법의 기술적 제약 요소들을 고려하여 한다. 따라서 본 절에서는 비굴착 공법별 각각의 특성과 선정과정 및 선정 시 고려사항을 고찰하였다.

3.1 비굴착 공법의 현황

세계적으로 지금까지 개발되어 상용화되어 있는 공법은 매우 다양한데, 현재까지 국내에 기술 도입된 공법 또는 도입을 추

3.2 비굴착공법의 선정 과정

비굴착공법의 선정과정은 <그림 1>과 같이 관거의 정비 목적 및 부설 상태와 정비공법의 기술적인 특성을 고려하여 진행된다.

3.3 CIPP의 기술적 제한 사항

일반적으로 국내에 도입되어 활용중인 비굴착 보수 공법의 기술적인 제한조건은 다음의 <표 5>에 나타내었다. 사전작업에 의하여 관내에 침전된 모르타르나 연결관을 제거할 경우 관의 단차 정도와 이음부 어긋남 등 몇 가지 인자만이 제한 요소로 작용함을 알 수 있다.

4. 하수관거의 지속적인 유지관리

시간이 지나면 모든 구조물은 노후되고 하수도 역시 예외는 아니다. 따라서 하수관거시스템은 지속적으로 유지 관리해야 한다. 하수관들은 지하에 매설되기 때문에 문제가 발생할 때까지 마모상태를 알 수 없다.

표 4. 국내에 도입되었거나 도입추진중인 비굴착 보수·보강공법의 개요

구 분	시공 방법	시공 방법		보강재 재질	적용가능	보강재의 물리특성(kgf/cm ²)		개발 국	시공 실적	비 고		
		삽 입	경화		관경 (mm)	(강화, 안정된 후) 인장강도	휨강도				탄성계수	
부분 보수	지수제 충전공법	Ka-Te 공법	Robot 충전	자연 경화	고강도에폭시수지	Φ200 ~Φ800	200 이상	17,300 이상	스 위 스	국내315개소 (유럽,미국,호주 등에서 다수 있음)	· 서울시 시범지역 (용산구원효 배수분구)시공중	
			Point-Liner 공법	공기주입봉 또는 Winch견인 압축공기밀착	자연 경화	유리섬유펠트 폴리우레탄수지	Φ200 ~Φ700	600 이상	-	독 일	국내 51개소 (독일에 다수 있음)	
	ASS 공법 (FRP)	Winch견인 압축공기밀착	전열 히터 열경화	나일론필름 유리섬유펠트 비닐에스테르수지	Φ150 ~Φ600	1,000 이상	-	112,900 이상	일 본	2,940개소 (일본, '90년 이후)	Affix support system	
	Ins Patch 공법	Winch견인 압축공기밀착	자연 경화	폴리우레탄필름 폴리에스터펠트 폴리에스터수지	Φ200 ~Φ800	200 이상	320 이상	22,400 이상	영 국	유럽, 미국 등에서 다수 있음		
	Swed Patch 공법	Winch견인 압축공기밀착	자연 경화 or 열경화	폴리우레탄필름 폴리에스터펠트 에폭시수지	Φ200 ~Φ700	360 이상	-	20,700 이상	스 웨 덴	유럽에 다수 있음		
	Liner-Point 공법	Winch견인 압축공기밀착	자연 경화	유리섬유펠트 폴리에스테르수지	Φ100 ~Φ800	280 이상	350 이상	21,000 이상	독 일	미국에 다수 있음		
	Combo-Liner 공법	Winch견인, 압축공기밀착	전열 히터 열경화	유리섬유펠트 폴리에스테르수지	Φ200 ~Φ600	650 이상	2,100 이상	119,500 이상	미 국	미국에 다수 있음		
보 강 튜브 공 법	In-situ-form 공법	수압반전	온수 열경화	폴리우레탄필름 폴리에스터펠트 에폭시수지	Φ200 ~Φ2,400	200 이상	320 이상	22,400 이상	영 국	12,000 km (미국, 유럽 등)	· 보강튜브 두께: ASTM F1216 · 서울시 시범지역 시공중	
				In-Liner 공법	수압반전	온수 열경화	폴리우레탄필름 폴리에스터펠트 에폭시수지	Φ70 ~Φ800	280이상	21,000 이상	21,000이상	독 일
	Swed 공법	수압 반전	온수 열경화	폴리우레탄필름 폴리에스터펠트 에폭시 or 폴리에스터	Φ50~ Φ1,500	360 이상	-	20,700 이상	스 웨 덴	650 km (스웨덴, '91년 이후)	· 보강튜브 두께: ASTM F1216	
				Hose-Lining 공법	압축 공기 반전	증기 열경화	중합체필름 폴리에스터 자켓 폴리에스터 부직포 에폭시수지	Φ100~ Φ1,500	230 이상	700 이상	23,000 이상	일 본
	반 전 공 법	ICP 공법	압축 공기 반전	온수 분사 방식	폴리에스테르 펠트 폴리에틸렌 나일론 적층필름 폴리에스테르 수지	Φ100~ Φ1,500	311 이상	690 이상	39,300 이상	일 본	36,680 km (일본, '96년 현재)	· HL과 동일
					Phoenix 공법	압축 공기 반전	증기 열경화	중합체필름 폴리에스터 자켓 폴리에스터 부직포 에폭시수지	Φ200~ Φ1,350	600 이상	1,200 이상	17,500 이상
	전 체 보 강	K-Super Liner 공법	Winch 견인 압축 공기 밀착	증기 열경화	나일론필름 유리섬유 및 폴리에스테르펠트 폴리에스테르 (or비닐에스테르)	Φ100~ Φ1,350	650 이상	2,100 이상	119,500 이상	미 국	37.5 km (미국)	· 보강튜브 두께: (ASTM F1216에 준함)
EX 공법					Winch 견인	증기 밀착	경질플라스틱	Φ100~ Φ600	430 이상	650 이상	24,000 이상	일 본
K-Pipe 공법		Winch 견인	증기 밀착	폴리에틸렌	Φ50~ Φ600	320 이상	-	8,400 이상	미 국	(자료없음)	· 보강튜브 두께: 4 ~ 40 mm	
제 관 공 법	SPR 공법	제관기 이용	자연 경화	경질염화비닐 프로파일 특수충진모르타르	Φ200~ Φ1,500	-	-	-	일 본	40 km (일본, '86년 까지)	· 보강튜브 두께: 8.0 ~ 21.5 mm	

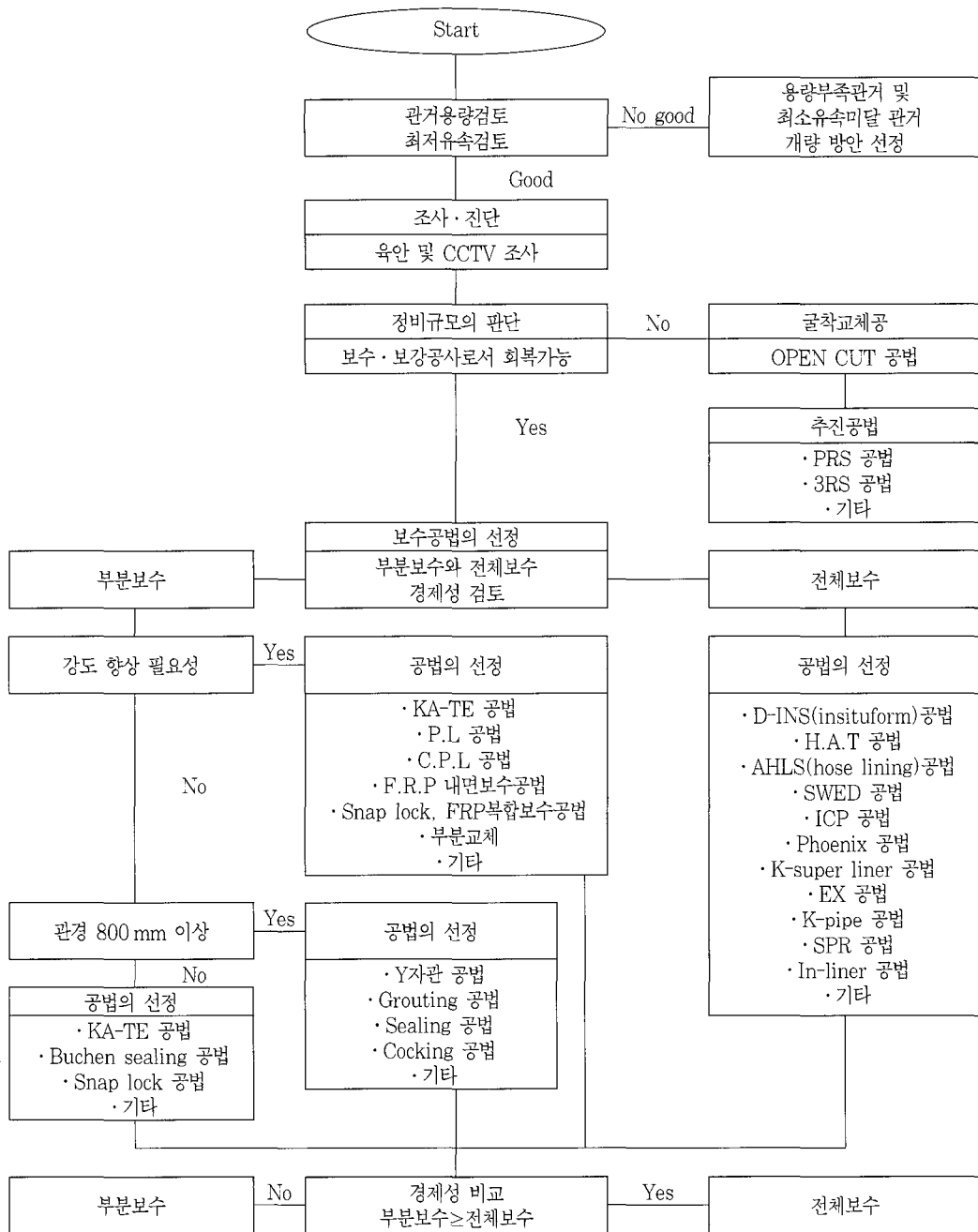


그림 1. 불량관거 보수·보강공법 선정 흐름도

하수관거에서 발생하는 문제는 흔히 크랙의 발생, 가지관의 휨, 접합부위의 급격한 만곡, 접합재의 손상 및 콘크리트의 스펀링(spalling)과 강관의 부식 등이다.

일반적으로 지역사회의 주민은 침수, 홍수, 갈라진 포장도로 및 심한 경우는 붕괴된 도로와 같이 하수관거의 문제점을 오랫동안 방치해 일어난 결과만을 보게 된다.

일상적으로 적절하게 유지관리하거나 감시하지 않으면 침입수와 침투수의 문제는 계속 증가할 것이고 구조적인 문제도 더욱 빈번히 발생하게 될 것이다. 따라서 운영중인 가지관의 누

수가 침입수와 침투수 침투량의 75% 이상을 차지한다는 것을 인식하여 초기 공사를 실시할 때 엄격한 관리와 시험이 이루어지도록 해야 할 것이다. 정기적인 시험을 용이하게 할 수 있도록 건물주변과 재산 소유권에 따라 관거세정을 수행할 수 있도록 하고, 관리자가 기준에 부합되는 보수에 책임을 다할 수 있도록 책임소재의 한계를 분명히 밝혀야 한다. 또한 하수관거는 CCTV로 감시하고 시험을 실시하며, 지자체의 하수도과에 인계하기 전에 시험을 수행해야 한다.

시스템이 새로운 것이거나 최근 보수되었다면 구조적 완전성

표 5. 전제보수공법의 기술적 제한 조건

손상 항목	공 법 손상 정도	등급	반전공법				견인공법			
			Insituform 공법	SWED 공법	IN-LINER 공법	PHOENIX 공법	Hose Lining공법	ICP공법	K-Super lining공법	HAT 공법
파손	부분적인검락(관의 폐쇄)	A	○	○	○	○	○	○	○	○
균열	균열폭 5mm이상(관의단면유지)	A	○	○	○	○	○	○	○	○
	45° 이상 꺾임	A	○	○	○	○	○	○	△	△
곡관	45°~30°	B	○	○	○	○	○	○	○	○
	10°~30°	C	○	○	○	○	○	○	○	○
이음부 어긋남	관경의 1/3이상	A	△	△	△	△	△	△	×	×
	관 두께 이상	B	○	○	○	○	○	○	△	△
	틈새, 철근보임	C	○	○	○	○	○	○	○	○
모르터 부착	관경의 1/2 이상	A	×	×	×	×	×	×	×	×
	관경의 1/3 정도	B	△	△	△	△	△	△	×	×
	관경의 1/4 이하	C	○	○	○	○	○	○	△	△
침입수	숫구치는 정도	A	△	△	△	△	△	△	×	×
	흐르는 정도	B	○	○	○	○	○	○	△	△
	스미는 정도	C	○	○	○	○	○	○	○	○
지관 들출	관경의 1/2 이상	A	×	×	×	×	×	×	×	×
	본관 관경의 1/10 이상	B	△	△	△	△	△	△	×	×
	본관 관경의 1/10 미만	C	○	○	○	○	○	○	○	○
기타	단차	-	관경의 1/40이하	관경의 1/40이하	관경의 1/40이하	관경의 1/40이하	관경의 1/40이하	관경의 1/40이하	△	△
	역단차	-	△	△	△	△	△	△	×	×
	관경사 10° 이상	-	×	×	×	○	○	○	○	○
	시공면적(m ²)	-	45	45	45	75	75	75	33	33
	시공시간	-	24	24	24	12	12	24	10	10
	적용관경	-	Ø200~ Ø2,400	Ø50~ Ø1,500	Ø70~ Ø2,400	Ø200~ Ø1,350	Ø100~ Ø1,500	Ø100~ Ø1,500	Ø100~ Ø1,350	Ø200~ Ø2,400
	적용단가(낮은순)	-	4	3	-	5	2	-	1	-
물리특성(kg/cm ²)	탄성 계수	22,400 이상	20,700 이상		17,500이상	23,000이상	39,300 이상	119,500 이상	21,300이 상	

○ : 적용가능(시공가능), △ : 적용에 있어 검토를 필요로 함, × : 적용불가(시공불능)

을 유지하고 침투수와 침입수가 점차적으로 증가되는 것을 방지할 수 있도록 지속적인 유지관리가 필요하다. 하수관거의 많은 문제점들이 관거의 유지관리를 규칙적으로 수행한다면 더욱 경제적으로 해결될 수 있을 것이다. 하수관거 시스템의 유지를 위한 예산안은 하수종말처리장이나 다른 지역 사회 현안 문제들에 대한 자본 투자에 비해 투자우선순위가 낮다. 또한 행정기관과 하수도 관련부서들이 하수관거 정비와 건설사업을 지원하기 위한 예방차원의 유지관리 프로그램을 위해 투자하는 것이 더욱 중요시되고 있다.

현장 운영자들과 정부기관 관련자들 간의 대화 부족과 지자체의 협의 기회가 없어서 적절한 예산금을 마련하는데 어려움을 주고 있다. 다음에는 예방차원의 유지관리를 위해 예산을 수립할 수 있는 적절한 상황을 확인하는 방법, 관로상태의 평가와

하수관거의 청소 및 유지활동에 대한 반응, 공무원들에게 보내는 연간보고서 사용 등에 관한 몇 가지의 방법들을 제시하였다.

4.1 예방차원의 유지관리를 위한 예산 수립시 자료의 필요성

시설의 유지관리를 위해 적절한 예산을 집행하기 위해서는 장기적인 하수관거 시스템의 보수 필요성을 예측하고, 시스템의 구조 및 수리적 완전성을 유지하기 위해 예산을 마련하는 효율적인 방법이 수립되어야 한다.

따라서 각 예측 방법에 영향을 주는 인자, 즉 조건 평가, 부식성 평가, 중요한 부분과 중요하지 않은 부분에 대한 구분, 또한 개별시스템의 구성요소별로 정리된 하수도 대장 뿐 아니라 내구연한에 대한 기록 등을 조사, 정리해야 한다.

시에틀에서 보수·보강 예산과 미래의 정비사업을 예측하기 위한 많은 방법들을 평가했다. 이 도시는 중요한 구성요소와 중요하지 않은 구성요소의 내구연한에 대한 물리적 평가 기록을 위해 통계적 분석법을 사용했다. 개별적 하수관거 시스템의 요소들에 대해 연간비율(annual rate)과 개별단위(individual unit)를 이용해 내구연한곡선을 제시하였다. 두 가지 방법 모두 요소별 또는 단위별로 기존시스템의 하수도 대장을 필요로 하고 매년 노후로 교체되거나 보수된 부분의 수와 운영중인 부분의 수와 이들 각각의 설치 후 사용연한을 필요로 한다.

시에틀의 경우 하수관거 시스템의 평균 수명은 약 200년으로 평가되었는데, 관거를 모두 교체하는 비용의 약 0.5%를 매년 관거의 정비예산으로 책정할 필요가 있다고 보고되었다. 시에틀의 하수도의 비교적 높은 평균수명은 부식이 매우 적게 발생하였고, 초기의 시공 상태 및 유지관리가 적절히 수행되었다는 것을 반영하고 있다. 어떤 하수관거 평가 기술을 사용하든지 간에 쉽게 확보할 수 있는 구성요소별 하수도 대장이 완벽하게 갖추어져야 하며, 이것과 관련하여 하수도시스템의 정보관리를 위한 적절한 소프트웨어들을 적재적소에 사용할 수 있어야 하겠다.

4.2 하수관거의 유지관리 활동

하수도 유지관리 요원이 관례를 따라 수행해온 유지관리 활동은 세척(flushing)과 세정작업(cleaning)이다. CCTV의 광범위한 이용으로 현재 많은 장비들은 하수관거 시스템을 검사하고, 기록을 관리하며, 부식 제어 방법의 효율성을 평가하고 시험, 그라우팅, 기타 누수 제어 보수를 수행할 수 있다. 하수관거를 유지하는 현장요원들의 축적된 경험은 외부관리인에 의해 수행되는 간헐적인 평가보다 하수관거 시스템을 더 잘 이해하는데 도움을 줄 수 있다.

4.3 연간 보고

오래된 배수체계일수록 정기적 관리사항에 대한 예방대책을 포함시켜야 불명수량을 더욱 저감시킬 수 있다. 따라서 시설의 연간보고를 통해서 침투와 침투의 경향을 효과적으로 관리할 수 있어야 한다. 어떤 하수도시설의 경우에는 하수종말처리시설을 운전함에 있어서, 전국오염배출저감체계(national pollutant discharge elimination system)의 요구사항에 따라 연간보고 체계를 갖추고 있는 곳도 있다. 하수도시설 운영의 정책결정자는 관거 정비의 노력에 따른 장기적 경향과 그 효과 및 지속적인 노후 결과를 더 잘 이해하기 위해, 최대유량, 하수관거가 있는 지역의 계절적 침투수와 침입수 및 연간 침투수와 침입수, 하수관거의 길이, 처리수량의 비율(%) 및 인구 등을 체계적으로 정리해 두어야 한다.

5. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 기존의 하수관거는 설치, 교체, 보수 시 도로 전체를 굴착하는 방법이 사용되어 왔다. 이에 많은 문제점들이 발생하였으며 이를 보완하기 위하여 여러 종류의 도입된 기술 중 하나인 비굴착 보수 공법은 도로를 굴착하지 않고 신관 수준 또는 그 이상으로 기존 관을 갱생하는 공법으로서 굴착공사로 인한 교통체증 해소, 공기 단축, 환경문제, 내구성, 경제성 및 안전성면에서 굴착 공법에 비교해 탁월한 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 앞에서 고찰한 바와 같이 유지 관리를 하지 않고서는 시간이 지나면 노후화를 막을 수는 없다.

따라서 노후화를 막기 위해서는 하수관거 시스템의 지속적인 유지 관리가 이뤄져야 한다. 시설의 유지 관리를 위해 적절한 예산을 집행하고, 이를 위해 장기적인 하수관거 시스템의 보수 필요성을 예측하고, 시스템의 구조 및 수리적 완전성을 유지하기 위해 예산을 마련하는 효율적인 방법이 수립되어야 한다. 또한, 하수도 유지 관리 요원이 관례를 따라 수행해온 유지 관리 활동 즉, 세척과 세정작업, CCTV를 이용 하수관거 시스템을 검사하고, 기록을 관리하며, 부식 제어 방법의 효율성을 평가하고 시험, 그라우팅, 기타 누수 제어 보수를 수행하는 등의 유지 관리 활동도 계속해서 이뤄져야만 한다. 시설의 연간보고를 통해서 침투와 침투의 경향을 효과적으로 관리한다면 하수관의 내구연한을 증대시킬 수 있으리라고 판단된다. ■

참고문헌

1. 민병헌 외, "하수관거의 조사·평가와 정비", 한국비굴착기술연구회, 2000, pp.1~41.
2. 이영호, "하수처리 효율개선을 위한 하수관거 비굴착부분 보수공법에 관한 연구", 연세대학교, 2002, pp.24~46.
3. 송호면 외, "하수관 비굴착 정비공법의 특성 연구", 하수관거 연구팀 수행 실적 요약집, 1999.
4. 정철권 외, "하수관거 정비의 필요성 및 추진방법", 대한토목학회지, 47권, 11호, 1999, pp.5~11.
5. 민병헌 외, "하수관거 보수·보강공법", 대한토목학회지, 47권, 11호, 1999, pp.22~33.
6. ASTM F1216, "Standard practice for rehabilitation of existing pipeline and conduit by the inversion and curing of a Resin-Impregnated tube", 1997.
7. G. E. Kurz, D. J. Anderson, and M. A. Burgett, "SSO and I/I Reduction Using Sewer Rehabilitation", *Proceedings of the Construction Congress V-Managing Engineered Construction in Expanding Global Markets*, Vol.1, 1998.