

상수도관 자재성능검토 및 자재선정 기준

A study of capacity and selection standards on materials of water supply pipes

정승권*·김영진**·이정민***·김만식****

Seung Kwon, Jung-Jung Min, Lee-Young Jin, Kim-Man Sik, Kim

요 지

상수도시설은 준공후 관련지자체에 이관 관리하는 시설로서 사용관종이 현재 다양하게 생산 보급되고 있어 관종 선정시 다각적인 측면에서 검토하여 채택하여야 한다. 최근 한국토지공사에서 사용하고 있는 상수도 관종은 대부분 택지개발계획 등 인허가 당시부터 관리주체인 지자체 등과의 협의과정을 거쳐 선정되는 경우가 많아 자재선택에 한계성이 있다. 이를 극복하기 위해서는 자재 성능에 대한 공사내 명확한 기준이 제시되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 배수관과 급수관용으로 최근 사용되고 있는 관종에 대한 특성을 분석하고, 각각의 관종에 대하여 기본통수성, 내구성, 시공성, 경제성, 외부환경인자로 구분하여 성능평가근거를 제시하였다. 제시된 평가근거를 바탕으로 각 관종의 항목별 평가등급을 부여하고, 이를 통해 좀 더 구체적인 상수도관 자재선정 기준을 제시하고자 하였다. 이러한 작업을 뒷받침하기 위한 과정으로 전국 주요 상수도 제조업체를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 다양한 관종에 대한 평가자료를 분석하였다. 본 연구는 상수도관 다양한 성능평가항목 및 기준을 통해 자재성능검토를 수행하였고, 상수도관 자재선정기준 제시를 위한 기초자료를 구축하였다.

핵심용어 : 상수도관, 자재성능, 자재선정기준

1. 서 론

상수도시설은 준공 후 관련지자체에 이관 관리하는 시설로서 사용관종이 현재 다양하게 생산 보급되고 있으므로 관종 선정시 다각도로 검토 채택함이 요구된다. 상수도 관종에 대한 용도별 사용현황, 변형특성 거동 분석 및 내구수명의 결정 등으로 인하여 발생하는 사회적인 관심과 경제적인 문제를 동시에 해결할 수 있는 자료로 활용하고자 하며, 이를 바탕으로 공사의 장기적이고도 미래지향적인 관종의 품질확보에 그 목적을 둔다.

공사에서 사용하고 있는 상수도 관종은 대부분 택지개발계획 등 인허가 당시부터 관리주체인 지자체 등과의 협의과정을 거쳐 선정되는 경우가 많아 자재선택에 한계성이 있어 공사내의 자재성능에 대한 명확한 기준이 요구된다. 이에 공사가 시공하여 준공한 사업지구내 매설된 상수도 자재에 대한 샘플링조사를 통하여 적정한 관의 선정과 년도별, 관종별, 용도별 사용 현황을 파악하여 향후 대응방안을 마련하는 것이 중요하다.

* 정회원·창대종합기술단 한국수자원건설링센터 책임연구원·E-mail : jsk@hecorea.co.kr
** 정회원·한국토지공사 토지기술연구소 책임연구원 ·E-mail : yjkim@lplus.or.kr
*** 정회원·한국토지공사 토지기술연구소 책임연구원 ·E-mail : andrew4502@lplus.or.kr
**** 정회원·신성대학 도시건설과 교수·E-mail : kmspj@shinsung.ac.kr

2. 연구 내용

2.1 상수도관 사용현황

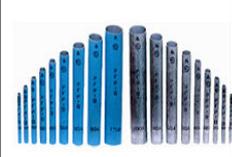
2.1.1 국내 관종현황

현재 우리나라에서 생산되어 상수도용으로 사용되고 있는 관으로는 <표 1>에서 보는바와 같이 주철관, 닥타일주철관, 아연도강관, 스테인레스관, 폴리에틸렌 피복강관, 동관, 수도용PVC관, 수도용 폴리에틸렌관 등이 있다. 과거에는 석면시멘트관도 사용되었으나 석면이 수질에 미치는 영향 때문에 현재에는 거의 사용되고 있지 않다. 70년대~90년대를 걸쳐 시간이 지나면서 새로운 기술개발을 통한 신제품 출시와 함께 수돗물 오염에 따른 사회적 요구로 인해 시기별로 주종을 이루는 관종이 변경되는 등 다양한 종류의 관종이 사용되고 있다.

현재까지 국내에서 사용되고 있는 관종의 시대적 변천은 다음과 같이 진행되었다.

- 1960년대 : 회주철관, PVC관, 도복장강관 보급
- 1970년대 : 닥타일주철관, 아연도강관 보급
- 1980년(초) : 동관, 스테인레스관, 폴리에틸렌관(PE관) 보급
- 1980년(후) : 폴리에틸렌분체라이닝강관(PFP관) 보급
- 1990년(후) : 내충격성경질염화비닐관(Hi-VP) 보급

<표 1> 국내사용 상수도관종

관종	형태	접합방식	관종	형태	접합방식
닥타일주철관 (DCIP)		 조인트접합(메카니컬)	벨크릴 내충격염화비닐관(Hi-CL)		 고무링 및 벨크립접합 T.S접합(본드접합)
도복장강관		 용접접합 플랜지접합	3중벽 내충격염화비닐관(Hi-3P)		 고무링접합 나사접합(이형관)
폴리에틸렌 분체도장 강관		 나사조임식접합 소켓조인트접합	고밀도 폴리에틸렌 수도관 (PE관)		 용착 접합 나사조임식접합

2.1.2 재질별 사용현황

본 연구는 한국토지공사에서 시공되는 상수도관종에 대한 자재성능을 평가하고, 자재성능평가인자를 중심으로 상수관 선정기준을 제시하는 것으로 배수관과 급수관을 중심으로 평가대상을 제한하였다. 본 절에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 상수도관 중 배수관과 급수관의 재질별 사용현황을 분석, 제시하였다.

가. 배수관

배수관은 최근 10년간 꾸준히 닥타일주철관을 사용하였으며, 10년간 평균 매설율은 35~50%를 보이고 있다. 2007년에는 최고 매설율 52.5%를 나타내고 있다. PVC 관은 전체 배수관 매설량 중 최저율(1.1%, 2007년)을 나타내고 있으며, 지난 10년간 0.1~1.1%의 낮은 매설율을 나타내고 있다. PE관은 2007년, 19.1%의 매

설을 나타내며, 지난 10년간의 점차적으로 매설율이 증가하고 있는 관종으로 분석되었다.

Hi-3P관은 2007년, 매설율: 17.1%을 보이고 있으며, 지난 10년간 지속적으로 매설율이 증가하여, 최대 5배의 매설율 증가를 나타내고 있다.

나. 급수관

급수관은 PE관과 스테인레스관, Hi-3P관이 전체 매설율의 98%이상을 차지하고 있는데, PE관의 경우 최근 10년간 평균 20% 이상의 매설율을 지속적으로 나타내고 있다. 2007년에는 재질별 매설율(33.8%)을 나타내었다. 스테인레스관은 2007년, 30.1%의 매설율을 나타내고 있으며, 지난 10년간 평균 30% 이상의 높은 매설율을 보이고 있다. Hi-3P관은 2007년, 매설율: 36.8%로 최고 높은 매설율을 보이고 있고, 지난 10년간 지속적인 매설율 증가추세이며, 과거 대비 3배이상의 매설율 증가를 나타내고 있다.

2.1.3 토지공사 상수도관 사용현황

가. 배수관

한국토지공사는 지금까지 내.외압 강도 및 경제성, 신소재개발 지연 등으로 비교적 중량이 무거우나 접합부 이탈이 적고 내식성이 강한 덕타일주철관(대략80m/m이상) 및 도복장강관(대략700m/m이상)을 대부분 사용하여 왔다. 그러나 최근에는 생활환경 제고를 위한 맑은물 공급 여론 확대와 석유화학 산업발달에 따른 화학재료 상수도관의 품질향상 및 생산환경 확대와 경제성 증진으로 인하여 지.자.체 및 관련기관에서는 화학재료 상수도관 사용이 확대되고 있는 추세이다.

서울시의 경우, 덕타일주철관 내장라이닝을 기존의 시멘트에서 역청제로 전환하는 추세에 있는데 이는 연수인 물이 시멘트내의 칼슘을 제거하여 내부 강관을 부식시키기 때문인 것으로 조사되었다. 따라서 한국토지공사도 덕타일주철관 사용시 내장라이닝 변경적용을 추진해야 할 것으로 판단된다.

나. 급수관

급수관의 경우에는 '70~'80년대에는 PVC관, 아연도강관을 많이 사용하였으나 PVC는 동결시 파열되는 등의 결함으로 거의 사용하지 않고 있다. 아연도강관은 내구성이 불량하여 부식에 의한 누수의 원인이 되며 적수가 발생하는 등 수질악화의 원인을 제공하고 있어 사용이 제한되고 있다. (건교부고시제1993-350호,93.9.20)

'80~'90년대에 들어 스테인레스강관과 부분적으로 동관을 사용하였으나 스테인레스강관은 염소이온 등에 취약하여 부식이 발생하는 사례가 있어 사용량이 크게 줄고 있다(산업과학기술연구소 :강관의 부식현황조사 및 방식대책 연구 보고서'94.1). 동관은 동이온(CU²⁺) 용출에 의한 청수의 문제가 발생하고 녹청현상은 식수 오염 등을 초래하여 대부분 일본에서는 수도설비에 동관 사용을 금지하고 있을 뿐 아니라 호주에서는 식수의 동오염 사례가 크게 보도된 사례가 있다(한국건설기술연구원: 상수관 부식방지 기법 연구보고서'90.12).

현재 도시 내 상수도 공급을 위한 관종은 깨끗한 물공급, 초기 투자비 및 유지관리에 따른 경제성 등을 감안하여 다양한 종류의 상수도관이 생산되고 있어 국내 생산되고 있는 각종 상수도관을 비교하여 설계하고자 한다. '90년대 후반 들어 석유화학공업 발달에 따른 화학재료를 이용한 상수도관의 개발 및 발전에 따라 폴리에틸렌분체라이닝강관(PFP) 및 내충격성 경질염화 비닐관(HI-VP), 폴리에틸렌관(PE)등 신개발 제품 사용이 확대되고 있다.

2.1.4 국외 상수도관 사용현황

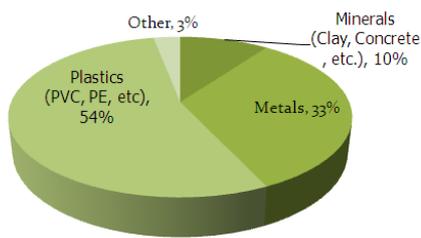
최근 화학재료 품질상승으로 인해 플라스틱관의 사용율이 증가하고 있는 추세이긴 하나 국내는 여전히 강관을 주로 사용하고 있다. 본 연구에서는 선진국의 상수관종 사용현황을 조사하여, 현 시점에서 상수관의 재질별 선정기준 및 평가에 대한 자료를 보완하고자 하였으며, 유럽과 북미의 사례를 중심으로 조사하였다.

가. 유럽 상수도관 사용현황

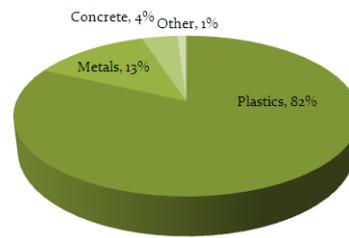
<그림 1>의 그래프를 통해 알 수 있는 바와 같이 유럽은 전체 상수도관 사용량 중 54%가 플라스틱관을 사용하고 있으며, 33% 강관을 사용하고, 나머지 13%가 콘크리트 등의 재질로 제작된 상수도관을 사용하는 것으로 조사되었다.

나. 북미 상수도관 사용현황

<그림 2>의 그래프를 통해 분석한 바와 같이 북미는 유럽보다 상수도관으로 플라스틱관을 많이 사용하고 있으며, 사용율은 82%에 해당된다. 강관은 13%를 사용하고 있으며, 7%만이 콘크리트 등의 재질을 사용하여 상수도관을 제작, 시공하는 것으로 조사되었다.



<그림 1> 유럽 상수도관 사용현황



<그림 2> 북미 상수도관 사용현황

2.2 상수도관 자재선정평가

2.2.1 관종선정시 기본적인 고려사항

상수도용으로 사용할 수 있는 관종으로는 강관, 닥타일주철관, PE관 등이 있으나 관을 사용함에 있어서는 최대정수압, 수충압, 부설심도, 안전율, 공사비 및 장래 유지관리 등을 고려하여 합리적으로 관종을 결정하여야 하므로, 관종선정시 1)관로부설의 연장 및 토질여건, 2)유지관리 및 보수의 용이성, 3)관경의 다양성 및 관부설 비용, 4)수량과 취급의 용이성, 5)내.외압 및 매설조건에 따른 관두께와 같은 사항을 고려하여 최적 관종을 선정한다.

2.2.2 자재선정 모델제안

자재선정기준을 객관적으로 제안하기 위해서는 자재성능평가모델을 구축하여야 하는데, 과거 한국수자원공사는 관종 선정 모델에서는 통수성을 기본으로 경제성, 시공성 및 제조 및 공급 측면에서 관종을 선정토록 하였으며, 한국건설기술연구원 및 영국 WRC의 관종선정 모델에서는 내구성 측면에서 관종을 선정토록 하였다. 또한 구체적인 평가 기준을 제시하지는 않았으나 한국수자원공사의 모델(2004년)과 영국 WRC의 모델에서 관종 선정시 제조 및 공급 관점의 고려 필요성을 언급하였으며 한국수자원공사의 모델(2000년)에서는 환경 영향 측면에서 관종간 비교 분석을 실시한 바 있다(그림 3 참조).

또한 본 연구에서는 이러한 자재선정모델을 바탕으로 한국토지공사의 특성을 고려한 관종 선정 모델을 <그림 3>에서 기존 자재선정모델과 비교하여 제시하였으며, 관자재비 및 유지관리비 등의 경제성 측면을 중심으로 외부 압력에 대한 내충격성, 부식을 방지하는 내식성, 내부수압의 저항성 등의 관점을 고려하였다.

모델별 분석을 바탕으로 기존 모델의 각 인자별 반영 여부를 <표 2>에 정리하였다. 기존 성능평가모델의 고려 인자에 대한 반영 정도를 바탕으로 본 연구에서 제시하고자 하는 관종 성능평가모델의 프로세스를 설정하였다. 인자별 반영 수준을 보면 '기본 기능(통수성) > 경제성 > 내구성 > 시공성 > 제조 및 공급 > 환경영향'의 순으로 고려되고 있다. 이와 같은 반영 정도는 실제 관종 선정 시 각 고려 인자별 중요도를 의미하는 것은 아니며 본 연구에서 제시하고자 하는 인자별 평가 프로세스에 이러한 순위를 고려하였다.

고려인자	한국수자원공사			한국건설기술연구원 (2000년)	WRC 매뉴얼 (1998년)	한국토지공사 ¹⁾ (2009)
	2000년 이전	2000년	2004년			
기본기능 (통수성)	설계수량 및 수압의 수용가능여부	설계수량 및 수압의 수용가능여부	설계수량 및 수압의 수용가능여부	설계수량 및 수압의 수용가능여부	설계수량 및 수압의 수용가능여부	설계수량 및 수압의 수용가능여부
내구성	-	개별성능의 관중별 개별성능평가, 종합 적 성능평가 미실시	최고품질관중검토 정량적 품질기준 미 수립	매설지역의 지역적 특성(토양 및 상부조 건)측면에서의 내구 성능검토	매설지역의 지역적 특성(토양 및 상부조 건)측면에서의 내구 성능검토	내부수압저항성 내충격성 유밀성 수밀성 내식성
경제성	초기비용(관중별 단 가 및 공사비)검토	초기비용(관중별 단 가 및 공사비)검토	초기비용(관중별 단 가 및 공사비)검토	초기건설비, 보수 수리비용, 운영 및 유지관리비 검토	설계, 시공 및 유지 관리비 검토	관자재비 공사비 유지관리비
환경영향	-	제조과정 및 매설현 장의 유해물질 배출 여부 검토	-	-	-	업트에 의한 영향 토압에 의한 영향 하중에 의한 영향
시공성	시공 및 사고복구의 난이도 검토	시공 및 사고복구의 난이도 검토	-	-	보수계획의 부합성 검토 기존 관망과의 부합 성 검토	기존공사용이성 자재용반용이성
제조 및 공급	-	제조환경 및 제조상 품질관리 검토	관로의 수급여건 관시장 안정화 측면 에서의 검토	-	-	-
주요고려인자	경제성	경제성, 시공성	경제성, 시공성, 제조 및 공급	내구성	내구성	경제성, 내구성

※ 출처: 상수도 관중 선정을 위한 가치평가 모델, 대한토목학회 제27권 제5D호, 2007년 9월

※ 주1) 금회 연구사업 결과

<그림 3> 자재선정모델 구축

<표 2> 기존 관중 선정 모델의 고려인자에 대한 반영정도

주요선정모델		각 인자별 선정 기준 반영 여부					
		기본기능 (통수성)	내구성	경제성	환경영향	시공성	제조 및 공급
한국수자원공사	2000년 이전	○	×	○	×	○	×
	2000년	○	△	○	△	○	×
	2004년	○	△	○	×	○	△
한국건설기술연구원(2000년)		○	○	△	×	×	×
WRC 매뉴얼(1998년)		○	○	△	×	△	△
한국토지공사(2009년) ¹⁾		○	○	○	○	○	△

※ ○: 선정기준에 직접반영, △: 검토는 하였으나 선정기준에 미반영, ×: 고려하지 않음

출처: 상수도 관중 선정을 위한 가치평가 모델, 대한토목학회 제27권 제5D호, 2007년 9월

주1) 금회 연구사업 결과

<그림 4>는 구축된 자재선정모델에 따라 자재선능평가를 위한 고려인자별 평가등급을 제시한 것이다.

구분	성능평가항목	평가방법	평가근거	평가등급	평가근거		경제성 연계성
					배수관	급수관	
기본기능 (통수성)	설계수량 및 수압의 수충	정성적평가 (3등급평가)	통수능	1등급	통수능 우수	통수능 우수	관두계에 따른 관자재비 상승
				2등급	통수능 보통	통수능 보통	
				3등급	통수능 불량	통수능 불량	
				4등급	통수능 불량	통수능 불량	
경제성	관자재비	정량적평가 (5등급평가)	m당 관자재비 (D100mm기준)	1등급	10,000원/m 이하	1,000원/m이하	관자재비
				2등급	10,000~15,000원/m	1,000~2,000원/m	
				3등급	15,000~20,000원/m	2,000~4,000원/m	
				4등급	20,000~25,000원/m	4,000~8,000원/m	
				5등급	25,000원/m 이상	8,000원/m이상	
	공사비	정량적평가 (5등급평가)	m당 공사비	1등급	1,000원/m 이하	1,000원/m 이하	현장공사비
				2등급	1,000~2,000원/m	1,000~3,000원/m	
				3등급	2,000~4,000원/m	2,000~4,000원/m	
				4등급	4,000~8,000원/m	4,000~8,000원/m	
				5등급	8,000원/m 이상	8,000원/m 이상	
유지관리	유지관리	정성적평가 (3등급평가)	유지보수규격화 수중용접가능여부 관로탐사가능여부	1등급	3개조건 수충	3개조건 수충	유지관리
				2등급	2개조건 수충	2개조건 수충	
				3등급	1개조건 수충	1개조건 수충	
				4등급	1개이하조건 수충	1개이하조건 수충	
시공성	공사의 용이성 운반 용이성(거치) 접합 용이성(접합) 시공시간 자재 중량	정성적평가 (5등급평가)	관중검토를 통한 각 관종의 장단점분석	1등급	5개조건 수충	5개조건 수충	공사의 난이도에 따른 노무비 등 공사비 관 중량에 의한 운반용이성, 노무비 관 접합기술에 따른 노무비 노무비 중장비 사용료
				2등급	4개조건 수충	4개조건 수충	
				3등급	3개조건 수충	3개조건 수충	
				4등급	2개조건 수충	2개조건 수충	
				5등급	1개이하조건 수충	1개이하조건 수충	
내구성	내부수압 저항성 내충격성 열성 수밀성 내식성 내약품성 전식발생여부 위생성	정량적평가 (5등급평가)	관중검토를 통한 각 관종의 장단점분석	1등급	8개 조건 수충	8개 조건 수충	
				2등급	6~7개조건 수충	6~7개조건 수충	
				3등급	4~5개조건 수충	4~5개조건 수충	
				4등급	2~3개조건 수충	2~3개조건 수충	
				5등급	1개 조건 수충	1개 조건 수충	
				5등급	1개 조건 수충	1개 조건 수충	

<그림 4> 자재성능평가를 위한 고려인자별 평가등급

3. 결론

본 연구는 상수도관의 설계단계에서 효과적인 관중선정 과정을 통해 시공 및 유지관리단계에서 유발되는 여러 문제점을 최소화하기 위해 자재성능평가를 객관적으로 수행할 수 있는 관중선정기준을 제안하는데 가장 큰 목적이 있다. 따라서 본 연구에서는 배수관과 급수관용으로 최근 사용되고 있는 관중에 대한 특성을 분석하고, 각각의 관중에 대하여 기본통수성, 내구성, 시공성, 경제성, 외부환경인자로 구분하여 성능평가근거를 제시하였다. 제시된 평가근거를 바탕으로 각 관종의 항목별 평가등급을 부여하고, 이를 통해 좀 더 구체적인 상수관 자재선정 기준을 제시하고자 하였다. 이러한 작업을 뒷받침하기 위한 과정으로 전국 주요 상수관 제조업체를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 다양한 관중에 대한 평가자료를 분석하였다. 본 연구는 상수도관 다양한 성능평가항목 및 기준을 통해 자재성능검토를 수행하였고, 상수관 자재선정기준 제시를 위한 기초자료로 자재성능평가를 위한 고려인자별 평가등급을 제시하였다.

4. 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “상수관 부식방지법 연구보고서 저감 방안 연구”, 1990
2. 산업기술연구소, “강관의 부식현황조사 및 방지대책 연구보고서”, 1994
3. 한국건설기술연구원, 한국수자원공사, “상수도관로의 부식 및 노후도 예측모델 개발 2차년도 보고서”, 2001
4. 대한토목학회 제27권 제5D호, “상수도 관중선정을 위한 가치평가모델”, 2007

감사의 글

본 연구는 한국토지공사 국토도시연구원의 연구비지원(과제명:상수도관의 자재성능 및 누수율 저감에 관한 조사분석 연구)에 의해 수행되었습니다.