

— 기술정보 —

상수관로 유지관리 기술 활용실태 조사

— Technical Information —

Application of rehabilitation technologies of water mains in Korea

배철호¹ · 김주환^{1*} · 이경재^{1*} · 홍성호²

Chul-Ho-Bae¹ · Ju-Hwan Kim^{1*} · Kyung-Jae Lee^{1*} · Seong-Ho Hong²

1 한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소

2 숭실대학교 환경화학공학과

1. 서 론

상수관로는 시간이 경과함에 따라 부식 또는 노후화 되어 전체적인 기능이 약화되며, 누수, 파손, 부식 생성물로 인한 적수발생 등 운영 및 유지관리상의 어려움을 초래한다(Hadzilacos et al., 2000). 따라서 이러한 상태에 도달한 관로에 대해서는 그 기능을 복원하기 위한 개량사업이 필요하게 된다.

현재 상수도 통계에 따르면 2004년 12월을 기준으로 우리나라 상수도관 총연장은 127,027km에 이르고 있다. 이중 15년 이상 노후관은 약 41,871km로 전체 32.9%를 차지하는 것으로 알려져 있다('04년말 기준, 2005 상수도통계).

그리고 이러한 개량사업에는 막대한 비용이 소요된다. 따라서 개량사업에 있어서 중요한 것은 관의 현재 상태를 정확하게 평가하고, 경제성을 고려하여 우선순위를 결정한 후 사업을 실시하여야 한다.

그러나 국내의 노후관 개량사업은 근무자들의 경험적 판단에 근거하여 사업을 실시하므로 인적 및 경제적인 손실을 초래하고 있는 실정이며(정 등, 2003), 관 노후상태를 평가하는 노후도 모델도 현재 국내에서는 수공의 점수평가법이 널리 알려졌으며,

최근 한국건설기술연구원에서도 D도시를 대상으로 하여 수정된 점수평가모델이 개발된 바 있을 뿐이다(이 등, 2001).

이와는 반대로 미국에서는 Colorado주 Denver시 수도국, Kentucky주 Louisville시 수도국, Iowa주 Des Moines시 수도국 등 대부분 해당 주 또는 시의 특성을 반영한 다양한 자체 모델 등을 개발하여 적용하고 있다(정 등, 2003). 또한, 미국 또는 캐나다 등 최근 개발되고 있는 의사결정을 위한 시스템으로 관 자체의 물리적인 특성 평가와 안전계수를 고려한 평가방법(Mechanical 모델 또는 Physical 모델 등)이 개발되고 있으며, 이러한 모델들을 통하여 관의 구조적인 안전성을 평가하여 개량우선순위를 결정하거나 또는 개량공법의 선정에도 활용하는 추세이다(Rajani et al., 2002; Det et al., 2002).

현재 미국의 경우에는 향후 25년간 상수관로의 개량에 요구되는 비용은 \$77에서 \$325 billion로 추정되고 있다(AWWA, 1999). 따라서 많은 수도사업자들의 현안도 다양한 관 상태와 매설특성에서, 관로를 어떤 방식, 공법으로 개량할 것인가에 있는 것으로 보고한 바 있다. 이는 상수관로 교체 또는 세관 또는 라이닝을 위한 갱생공법 등 개량공법이 매우 다양하게 개발되어 실용화되므로 선택의 폭이 매우 넓어졌

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0387, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: juhwan@kwater.or.kr (Kim, J.H.)

기 때문이다. 즉 교체공법만 하더라도 과거 땅을 굴착(Open cut)하는 교체방식에서 이제는 Pipe bursting과 Pipe splitting 등 비굴착(Trenchless) 교체방식 또는 Micro-tunneling과 Horizontal directional drill 등 비굴착 신관매설 방법들이 일부 적용되고 있으며 점차 확대되고 있는 실정이다.

또한, 이러한 개량이 있어도 합리적이고 경제적인 개량공법의 선정을 유도하기 위한 의사결정체계(CDSS, Comprehensive Decision Support System)에 관한 연구가 진행된 바 있다(Det et al., 2002).

그러나 국내에는 많은 수도사업자가 있으나 상수관로에 대한 실제 자료 수집체계가 어느 수준이며, 특히 개량사업을 위한 의사결정 방법, 그리고 개량공법의 적용 등이 어떻게 이루어지고 있는가에 대한 현황 자료조차 없거나 파악이 되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 노후 상수관로에 대한 효율적인 개량우선순위결정, 그리고 관 상태에 따른 적절한 개량공법의 선정을 위한 의사결정시스템 구축을 위해 필요한 기초 현황자료를 확보하기 위하여 국내 수도사업자를 대상으로 설문조사를 수행하였고, 기존 상수관로에 대한 자료수집 방법, 개량우선순위에 대한 의사결정, 개량공법의 선정과 활용에 이르는 실태분석을 하였다.

2. 조사방법과 내용

2.1. 설문내용

본 조사에서는 수도사업자의 상수관망에 대한 자료수집 체계, 개량의사결정방법, 그리고 개량공법의 적용실태, 비용 등에 대한 실태를 파악하여, 장래의 상수관로에 대한 효율적인 개량계획수립을 위한 개량우선순위결정과 경제적인 개량체계 구축을 위하여 국내 수도사업자를 대상으로 설문조사를 수행하였다.

설문은 2005년 2월과 4월사이에 진행되었으며, 주요 설문내용으로는 상수관로에 대한 자료 수집과 수집된 자료를 어떻게, 어디에 활용하고 있는가를 파악하기 위하여 상수관로 자료수집 방법과 활용도 등을 조사하였고, 개량을 위한 자체적인 의사결정 방법을 가지고 있는지 여부를 평가하기 위하여 개량계획수립을 위한 방법에 관하여 조사하였다. 또한 상수관로

Table 1. Water offices replied on questionnaire

Division	Water offices (45)
Kowaco(1) and five metropolitan (16 water office)	Seoul-jingu, Kangnam, Yeongdeungpo, Bukbu, Eunyeong Busan-Namgu, Kangseo, Saha, Bukbu2, Busan waterworks headquarters Incheon-Kyeyang, Dongbu, Incheon waterworks headquarters Daejeon-Bonbu, Jungbu Gwangju-Nambu KOWACO
Local cities (16 water office)	Gyeonggi-Kimpo, Gwangmyeong, Seongnam, Suwon, Anseong, Bucheon, hanam, yangju Gyeongsangdo-Sangju, Gimhae, Geoje, Sacheon, Youngju, Gyeongsan, Gyeongju, mungyeong, Andong Gangwondo-Wonju, Sokcho, Gangneong, Samcheok, Donghae, Geonnam-Iksan, Gwangyang, Gwangsan, Gunsan Chungnam-Nonsan Jeju-do

Table 2. characteristics of officers responded on questionnaire

Division	Responder	Ratio	
Sex distinction	Male	45	100
	Female	0	0
Service career (years)	< 5	12	26.7%
	5~10	7	15.6%
	10 <	26	57.8%

개량 공법의 적용실태와 적용 이유, 그리고 개량공법 적용에 소요되는 비용은 어느 정도인지 등을 각각 조사하였다.

2.2. 설문대상

설문대상 수도사업소는 Table 1과 같이 광역시, 중·소도시 수도사업소, 그리고 한국수자원공사 등에 상수관로를 관리하는 시설관리과에 총 158개의 설문을 발송하였고, 회신율은 30.5%(총 45개 사업소)이었다.

수도사업소에서 설문에 대한 정확성을 높이기 위하여 해당 수도사업소에서 상수관로 관리업무를 장기간 담당해 온 담당자에게 작성을 요청하였다. Table 2에는 각 수도사업소에서 설문에 응한 담당자의 해당

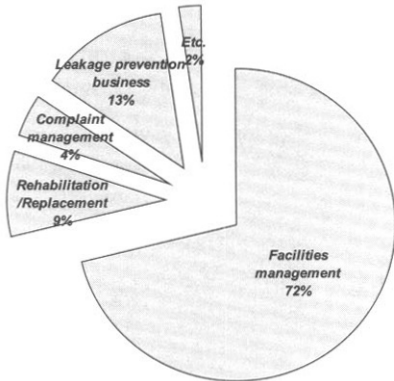


Fig. 1. Objectives of data collection.

업무 근무경력은 평균적으로 12.9년이였다.

3. 조사결과

3.1. 자료수집 목적, 방법, 활용도

설문조사에서 상수관로 자료수집 방법과 활용도 등을 파악하기 위하여 상수관망에 대한 자료 수집여부, 자료 수집목적, 수집방법, 주요 수집항목, 자료의 사용용도 등을 설문하였다.

Fig. 1에서 설문조사에 따르면 대부분 조사대상 수도사업소에서 상수관로에 대한 자료는 수집하고 있으나, 수집하는 주요 목적은 각 수도사업소에 따라 다른 것으로 나타났다. Fig. 1에서 보면 조사된 수도사업소 32개소 약 72% 정도가 상수관로 시설에 대한 현황 및 유지관리 차원으로 자료를 수집하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 6개소가 누수방지사업을 위하여 자료를 수집하고 있는 것으로 나타났다. 개량/교체(Rehabilitation/replacement)를 목적으로 자료를 수집하고 있는 수도사업소 비율은 상대적으로 매우 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 2에서 수집된 자료에 대한 관리방법으로는 컴퓨터를 이용한 관로정보시스템(GIS)을 구축해 나가고 있는 수도사업소가 조사대상 수도사업소중 29개소, 약 64%로 과거 수기로 작성 기록에서 매우 진보된 체제를 점진적으로 구축해 나가고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이는 주로 수공 또는 광역시내 수도사업소들로 지자체의 경우에는 아직까지 미흡할 것으로 판단된다. 특히 GIS의 구축을 위해서는 필수적으로 구역분리 또는 블록화 등이 요구되므로 먼저는 관

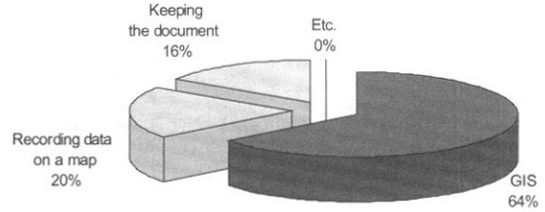


Fig. 2. Data management methods.

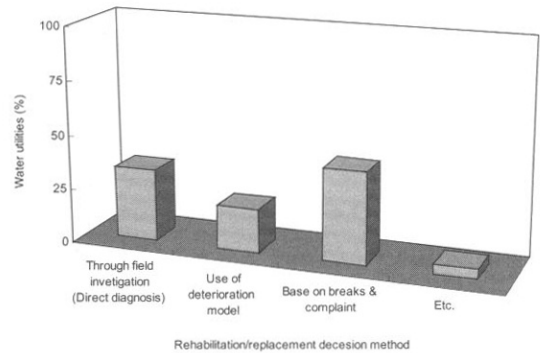


Fig. 3. Rehabilitation/replacement decision method.

망정비를 통한 상수관망의 개선, 그리고 GIS와 연계된 다양한 수리, 수질 및 시설적 평가기법의 개발도 시급할 것으로 판단된다. 그리고 GIS 등을 이용한 정보관리시스템의 구축에 있어 가장 중요한 것은 바로 수집되는 자료의 질, 양, 그리고 범위 등이며 활용방안이 매우 중요할 것으로 판단된다.

3.2. 개량계획수립 방법

본 설문조사에서는 개량계획수립과 관련하여 수도관 개량을 위한 자체적인 의사결정 방법의 보유와 의사결정 방법이 없는 경우 개량 여부 결정을 위한 판단기준은 무엇인가 등을 조사하였다.

Fig. 3에서 조사대상 수도사업소중 일부 수도사업소에서는 상수관로 개량을 위한 자체적인 의사결정 방법은 각각 가지고 있는 것으로 판단된다. 그러나 이들 수도사업소에서 의사결정 방법은 가지고 있다는 하지만 주로 단편적인 파손과 민원을 통하여 결정하는 비율이 아직까지 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 판단된다. 일부 수도사업소에서는 굴착 후 관상태를 확인(직접진단)하거나 또는 점수평가방식 등을 이용한 노후도 평가를 통하여 의사결정을 한 경험이 있는 것으로 나타났다.

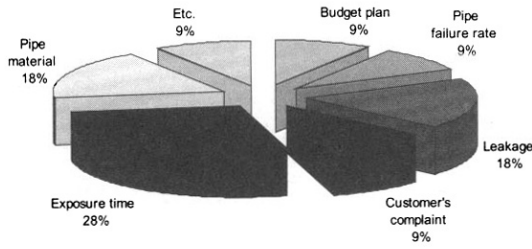


Fig. 4. Rehabilitation/replacement decision criteria of water utilities without decision support system.

조사대상 수도사업소중 의사결정 방법이 없는 수도사업소 11개소에서는 개량을 위한 주요 판단기준이 주로 매설년수로 나타났으며, 그 다음으로는 누수, 관중, 그리고 관 파손율, 예산규모 그리고 수질 민원 등 순이었다(Fig. 4).

따라서 전반적으로 조사대상 수도사업소 대부분 개량을 위한 의사결정 체계가 현재까지는 다소 미흡한 실정인 것으로 판단된다. 이러한 이유는 장기간에 걸친 관 노후상태에 미치는 영향인자들에 대한 자료 부족이 가장 큰 원인인 것으로 판단된다. 정 등(2003)에 따르면, 관 노후상태에 미치는 영향인자는 매우 다양하고, 이들 인자의 노후상태에 미치는 영향력 등이 다르므로 관 노후상태를 평가하기 위해서는 지역적인 특성을 고려한 장기적인 자료의 수집이 필수적인 것으로 보고한 바 있다.

3.3. 개량공법 적용현황

상수관로 개량공법의 기술개발은 국내외적으로 활

발히 진행되고 있다. 따라서 수도사업자에게는 관 상태에 따라 적용 가능한 공법선정에 대한 선택의 폭이 넓어지고 있다. 현재 국내·외에서 개발되어 상용화된 개량공법 현황은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 갱생공법은 관내 이물질 또는 연질의 스케일 제거를 목적으로 하는 세척공법, 그리고 연질의 스케일보다는 경질의 스케일까지 제거 가능한 세관공법, 그리고 관내 녹과 스케일을 제거하여 통수단면적을 확보하고 부식방지 또는 구조보강까지 가능한 라이닝 공법들이 다양하게 개발되고 있다. 또한 교체공법도 굴착에서 비굴착 방식으로 변화되고 있는 추세이다. 더 나아가서는 갱생 후 관망의 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템 등 주변기술을 포함하여 확대 발전해 나가고 있는 추세이다(Det et al., 2002).

따라서 본 설문조사에서는 국내 수도사업소의 개량공법(세관, 라이닝, 교체 등)에 대한 상수관로 개량공법의 활용여부, 공법 선정의 이유 등 현장 적용 현황 등을 파악하기 위한 설문을 실시하였고, 그 결과는 다음과 같다.

3.3.1. 세척/세관 공법

본 세척/세관 공법에 대한 설문에서는 상수관망 수질관리를 위한 정기적인 세척 실시여부와 주기, 그리고 정기적인 세척을 실시하고 있지 않다면, 그 이유는 무엇인가와 국내에 정기적인 세척을 위하여 필요한 공법 등을 설문하였다.

Fig. 6에서 보면, 조사대상 45개 수도사업소중 14

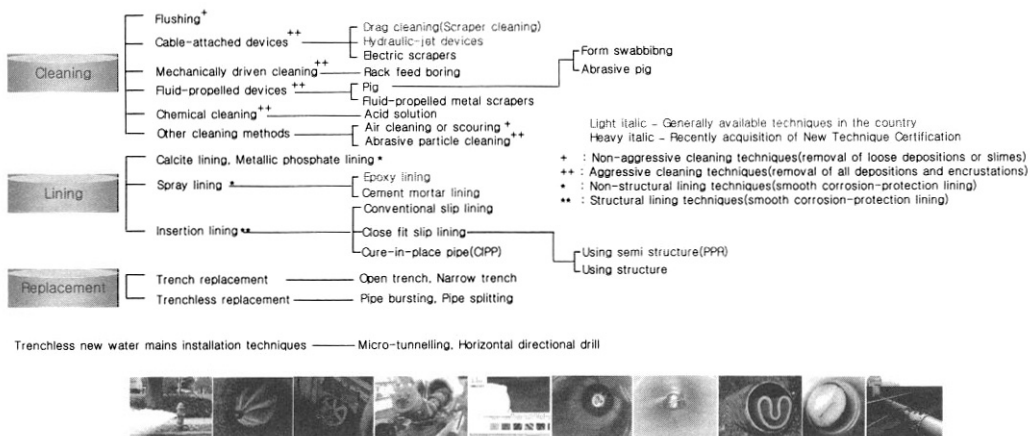


Fig. 5. Current states of rehabilitation/replacement techniques.

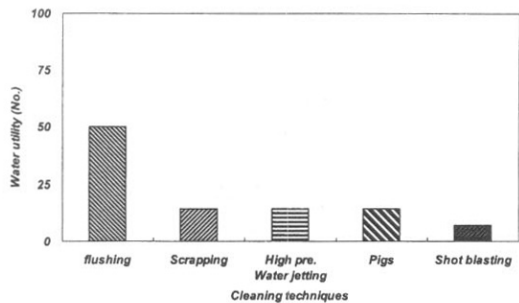


Fig. 6. Cleaning techniques applied in 14 water utilities replied to a questionnaire.

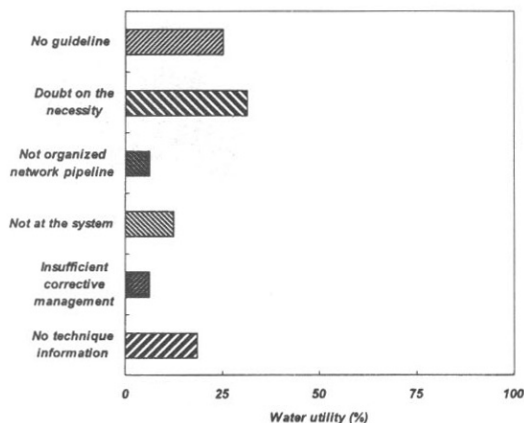


Fig. 7. Reasons of not implementing regular cleaning in 11 water utilities replied to a questionnaire.

개소에서 정기적인 세척을 실시한 적이 있는 것으로 나타났으며, 그 외 31개소 수도사업소에서는 정기적인 세척을 실시한 예가 없는 것으로 나타났다. 이들 수도사업소중 50%의 수도사업소가 플라싱(Flushing)을 실시한 경험이 있는 것으로 나타났으나, 이는 주로 수질민원으로 인해 일시적으로 실행되고 있는 것으로 판단된다. 그 다음으로는 피그공법, 스크레이퍼 공법, 고압수 세관(High pressure water jetting)과 같은 공법들이 현장에 적용된 사례가 있는 것으로 나타났으나, 세관 단독의 목적보다는 라이닝 전 공정으로 활용되고 있어 현재 정기적인 세척은 전혀 이루어지고 있지 않는 것으로 판단된다.

이는 국내에 아직까지 상수관망 수질관리를 위한 세척에 대한 지침 또는 가이드라인이 없기 때문이기도 하지만, 수도사업소 실무자들이 세척에 대한 필요성에 대한 인식도 부족하고(Fig. 7), 이는 세척에 따

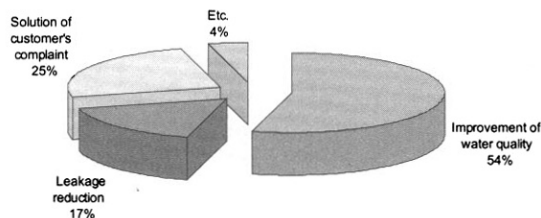


Fig. 8. Objectives of internal lining.

른 기대효과가 명확하지 않기 때문에 판단된다.

외국에서도 일부 선진국을 제외하고는 국내와 상황은 비슷한 실정이다. 따라서 외국의 많은 수도사업자들도 세척비용, 세척방법, 세척주기, 그리고 세척에 따른 결과 등을 어떻게 측정할 것인가 등을 도출하기 위하여 노력하고 있다(Det et al., 2003). 상수관망의 수질관리로서 세척공법이 활발히 적용되기 위해서는 국내의 경우에도 세척에 대한 지침 또는 가이드라인의 조속한 마련, 그리고 세척에 대한 효과 규명 등이 필요할 것으로 판단된다.

3.3.2. 라이닝 공법

라이닝 공법에 대해서는 라이닝 실시목적과 경험, 적용한 라이닝 공법 종류와 관중, 라이닝 재질, 그리고 라이닝 공법을 적용하지 않고 있다면, 그 이유는 무엇인가 등을 설문하였다.

이들 설문에 대하여 상수관로를 대상으로 한 라이닝 실시 경험에 대해서 전체 응답한 수도사업소중 53.5%인 24개소가 현장 적용 사례가 있는 것으로 나타났다. 이중 라이닝 실시는 수질향상을 목적으로 라이닝을 실시하는 사례가 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 누수저감으로 나타났다(Fig. 8).

Fig. 9에서 적용된 라이닝 공법으로는 에폭시 라이닝 공법이 58%이었으며, 1990년 말에 국내에 도입된 PE 라이닝 공법이 25%, 그리고 최근 2003년도에 국내에 적용되고 있는 시멘트모르타 라이닝 공법의 개선공법인 세라믹모르타 라이닝(Modified Cement Mortar Lining, MCML)공법이 17% 등으로 나타나 최근 개발된 PE(Polyethylene) 또는 MCML 공법 등의 적용 사례가 차츰 증가되고 있는 것으로 판단된다

이들 라이닝을 적용한 대상 관중으로는 CIP(Cast Iron pipe) 73%로 가장 높았으며, 닥타일주철관은 22% 그리고 기타(강관)에 응답한 경우는 5% 등으로

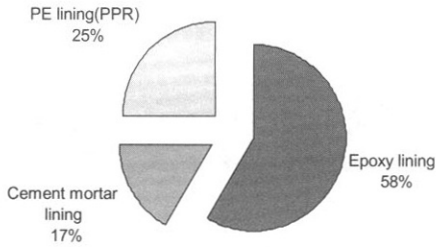


Fig. 9. Internal lining techniques applied in water utilities replied to a questionnaire.

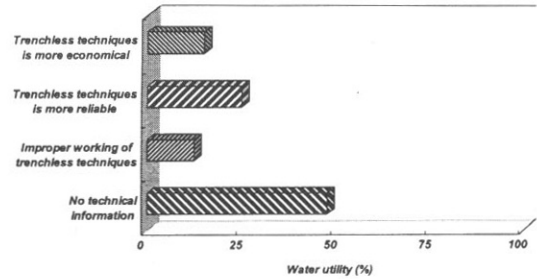


Fig. 11. Reasons not to replace water mains with trenchless.

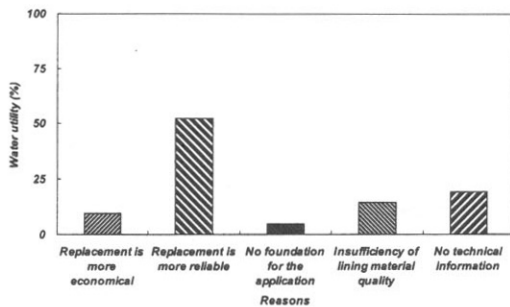


Fig. 10. Reasons of not applying lining techniques.

나타났다. Fig. 10에서 라이닝을 실시하고 있지 않는 이유로는 라이닝을 통한 갱생보다는 교체가 더 신뢰성이 높다고 인식하고 있기 때문으로 판단된다. 이는 주로 이들 공법에 대한 정보 부재가 원인이기도 하지만, 과거 국내에서 주를 이루었던 에폭시 라이닝 공법의 부실 시공사례로 인한 불신이 현재까지도 매우 높기 때문으로 판단된다.

3.3.3. 교체공법

관 교체공법은 크게 굴착(Trench) 또는 비굴착(Trenchless) 공법으로 구분할 수 있다. 국내에서는 아직 비굴착에 의한 교체는 매우 미흡한 실정이다. 반면, 미국에서도 대부분 굴착에 의해서 관 교체가 이루어지고 있기는 하지만, Pipe bursting 또는 Pipe splitting 등도 적용 사례가 높다(Det et al., 2002). 특히 국내에서 이러한 비굴착에 의한 교체공법이 대도시 밀집지역 또는 교통체증유발, 그리고 교량횡단 등 굴착 또는 교체에 따르는 많은 문제점들을 해결할 수 있는 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

본 설문에서는 교체공법에 대해서는 비굴착 공법에 의하여 신관을 교체한 경험, 교체공법의 종류, 비

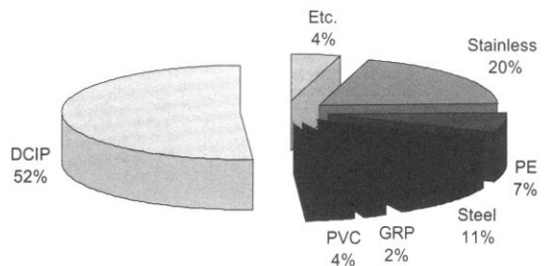


Fig. 12. Preferable pipe material.

굴착에 의한 신관교체를 적용하지 않고 있다면, 그 이유는 무엇인가, 신관을 교체(배·급수관)할 때 선호하는 관 재질(옥내급수관은 제외), 그리고 교체 판단기준은 무엇인가 등을 조사하였다.

Fig. 11에서 신관 교체시 비굴착식 교체공법에 의한 방법이 전혀 적용되지 않고 있는 것으로 보인다. 이는 주로 공법에 대한 정보 부재로 인하여 비굴착 교체공법에 비해서 굴착에 따른 교체 공법이 신뢰성이 더 높다고 인식하고 있기 때문으로 판단된다. 또한 현실적으로 국내에서 이를 시공할 수 있는 업체 또는 연구개발이 전무하다라는 사실도 기술 개발을 제한하는 원인일 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 12에서 국내 수도사업소에서 배·급수관에서 신관을 교체할 경우 선호하는 관 재질로는 닥타일주철관을 가장 많이 사용하고 있는 것으로 판단되며, 그 다음으로는 스테인레스강관, 강관, PE 등 순으로 보인다.

Fig. 13에서 이러한 관 재질에 대한 판단 기준으로는 내식성을 가장 크게 고려하고 있는 것으로 판단된다. 이외에도 내구연수, 유지관리 편리성 및 시공성, 경제성 등이 주요 판단기준으로 나타났다. 북미(North America)지역의 경우에는 정책적으로 관종을

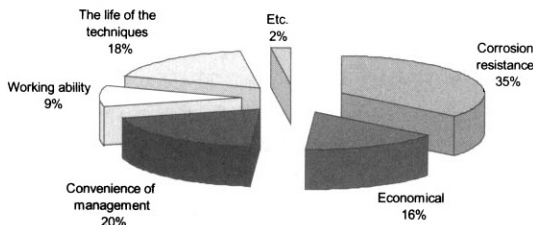


Fig. 13. The criteria for pipe material selection.

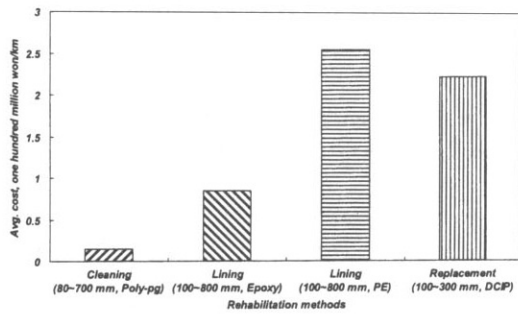


Fig. 14. Comparison of rehabilitation cost.

선택하는 경우가 많은데, 이는 환경에 따라 관종을 선택(12in 또는 그 이하일 경우에는 PVC, 아주 큰 환경이 요구 될 경우에는 닥타일주철관)하는 경우가 많으며 그 외의 경우에는 비용문제나 지역적인 특성에 따라 관 재질을 달리 선택하고 있는 것으로 알려져 있다(Det et al., 2002).

3.4. 개량비용

개량비용에 대한 설문에서는 세관, 라이닝, 그리고 교체비용 등에 대해서 적용공법 명, 관종, 관경, 적용구간(길이 등), 지역특성 등을 조사하였다.

개량비용에 대한 설문에 대해서 조사대상 수사업소중 세관 관련 항목에 응답한 사업소가 12.7%인 7개소, 라이닝공법은 21.8%인 12개소, 교체의 경우 43.6%인 24개소가 응답하였다.

Fig. 14에 조사된 각 개량방법에 따른 평균 비용을 나타내었다. 교체 비용은 현재 300mm까지 조사되어, 에폭시수지 라이닝 또는 PE 라이닝 비용과 상대적으로 비교하기는 어려우나, 관경이 크면 클수록 신관 자체 비용이 증가하므로, 교체비용이 라이닝을 통한 갱생비용보다는 매우 고가일 것으로 판단된다. 이 등(2001)에 따르면, 갱생비용은 교체비용에 비하여 약

50~70% 정도 더 경제적인 것으로 평가한 바 있다.

Fig. 14에서 라이닝 공법중 PE 라이닝은 에폭시 라이닝에 비하여 2.5배 정도 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 폴리피그에 의한 평균 세관비용(80~700 mm)은 라이닝 비용에 비해 상대적으로 낮아 갱생 비용 대부분은 주로 라이닝 갱생공(세관공정을 제외한 순수 라이닝 공정에 소요되는 비용)의 영향이 큰 것으로 판단된다.

또한 이들 갱생비용은 관경 뿐만 아니라 지역적 특성(도시지역 또는 비도시지역 등)에 의해 큰 영향을 받을 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내 45개소 수도사업소 설문조사를 통하여 현재의 자료구축 체계, 개량공법의 적용 현황, 그리고 개량을 위한 의사결정 방법 등을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 조사대상 수도사업소의 경우 주로 상수관로 시설 현황 위주의 자료 수집이 많으며, 유지관리 차원의 자료 수집은 더 필요한 것으로 판단된다.

(2) 개량 의사 결정은 민원, 파손 이력을 통한 의사 결정비율이 높은 상태이며, 지역적 특성을 고려한 관 노후상태 평가 또는 의사결정 시스템의 구축이 필요한 것으로 판단된다.

(3) 갱생공법에 대한 적용이 미흡한 것으로 나타났으며, 이는 주로 공법에 대한 정보 부재 또는 신뢰성 저하 원인인 것으로 판단된다. 향후 갱생공법들이 상수관로에 적극 활용되기 위해서는 이들 갱생공법에 대한 정보제공과 더불어 평가를 통한 신뢰성 회복이 필요할 것으로 판단된다.

(4) 관 교체 재질로는 내식성 재질을 선호하는 것으로 나타났으며, 이 중 DCIP의 선호도가 높은 것으로 판단된다.

(5) 개량비용에는 교체비용보다 라이닝 등 갱생비용이 더 경제적인 것으로 판단된다. 또한 이들 비용에는 주로 관경, 관종, 그리고 지역적 특성 등이 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project인 수처리선진화사업단(과제번호: I2WATERTECH 04-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정원식, 김이태, 이현동, 유명진 (2003) 상수도관의 노후도에 대한 환경영향인자의 상관성 분석, *상수도학회지*, 17(2), pp.242-249
2. 이현동 등 (2001) 송·배수시설의 기술진단 평가시스템 구축방안 연구, 한국건설기술연구원, pp.311-335 .
3. 이현동, 정원식, 배철호 (2001) 상수도시스템의 갱생공법별 특성 및 경제성 평가에 관한 연구, 2001년 회원학회 연구성과발표회, 한국물학술단체연합회, pp.121-151.
4. 환경부, *상수도통계*, 2005, pp.3-20.
5. Hadzilacos, T., Kalles, D. (2000) UtilNets:a water mains rehabilitation decision-support system, *Computers environment and urban systems*, 24, pp.215-232.
6. AWWA report (1999) \$325 billion for pipes. Mainstream, *AWWA Mainstream*, February: 3.
7. Det et al. (2002) Decision support system for distribution system piping renewal, *AWWARF*, pp.1-127.
8. Det et al. (2003) Investigation of pipe cleaning methods, *AWWARF*, pp.1-34.
9. Rajani, B.B, Kleiner, Y. (2001) Comprehensive review of structure deterioration of water mains: physically based models, *Urban water* 3 pp.151-164.