

상수관로 갱생방법의 검토 및 대전시 적용방안

이 재 근 책임연구위원

상수관로 갱생방법의 검토 및 대전시 적용방안

이 재 근

연구진

연구책임

- 이재근 / 도시기반연구실 책임연구위원

- 목 차 -

| | |
|------------------------------------------|-----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제1절 연구의 배경 및 필요성 | 3 |
| 제2절 목적 및 연구방법 | 4 |
| 제2장 관련 현황 및 연구내용 | 5 |
| 제1절 노후관로의 문제점 | 7 |
| 제2절 대전시 상수관로 현황 | 22 |
| 제3절 상수관로 개선계획에 필요한 기술 및 검토 | 29 |
| 제4절 상수도관망 기술진단 방법 및 결과 | 32 |
| 제5절 관련 연구 및 사례 | 51 |
| 제3장 노후 상수관로 관리방법 검토 | 59 |
| 제1절 관로 교체 | 62 |
| 제2절 관로갱생 | 67 |
| 제3절 관로갱생 신기술 | 76 |
| 제4절 관로갱생 장단점 종합검토 | 88 |
| 제4장 관로갱생 방법에 따른 효과분석 및 적용방안 | 91 |
| 제1절 관로갱생 방법별 경제성분석 | 93 |
| 제2절 관로상황에 따른 갱생방법의 제시 | 100 |
| 제3절 노후도 조사방법 체계화 및 검토에 따른 대전시 갱생방안 | 103 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 제5장 결론 및 정책제언 | 111 |
| 제1절 결론 | 113 |
| 제2절 정책제언 | 120 |
| | |
| 부록1 - 대전시 노후관 갱생계획 | 121 |
| | |
| 부록2 - 외국의 상수도시설 관리방안 비교·분석 | 125 |
| | |
| 부록3 - 연구논문으로 본 노후관로 | 140 |
| | |
| 참고문헌 | 149 |

- 표 목 차 -

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| <표 2-1> 수도관 파손 원인 | 8 |
| <표 2-2> 관로 파손의 구조적 원인 | 10 |
| <표 2-3> 상수관로의 사고원인 분류 | 11 |
| <표 2-4> 대전시 수도관 부설 총괄 (단위 : km, %) | 22 |
| <표 2-5> 경년별 수도관 (단위 : km) | 23 |
| <표 2-6> 당해연도 기준 노후관 발생현황 (2009년 12월 기준) | 24 |
| <표 2-7> 매년 발생하는 노후관 현황 | 25 |
| <표 2-8> 매년 발생하는 노후관 현황 (관종별) | 25 |
| <표 2-9> 연차별 관망진단계획 | 26 |
| <표 2-10> 노후관 갱생계획 | 27 |
| <표 2-11> 대전시 수도시설 관련 사업시행계획 및 소요사업비 (단위 : 백만원) .. | 28 |
| <표 2-12> 소블록 평가 총괄표 (단위 : 블록) | 32 |
| <표 2-13> 소블록 평가기준 | 33 |
| <표 2-14> 관체수집 현황 | 35 |
| <표 2-15> 간접평가 인자 및 조건 값 | 36 |
| <표 2-16> 직접평가인자의 조건 값 | 37 |
| <표 2-17> 직접평가 기법의 적용결과 | 38 |
| <표 2-18> 간접평가법 영향인자별 자료 현황 - 1 | 40 |
| <표 2-19> 간접평가법 영향인자별 자료 현황 - 2 | 41 |
| <표 2-20> 간접, 직접평가 결과 | 42 |
| <표 2-21> 잔존수명 추정 | 43 |
| <표 2-22> 관로교체 개략 사업비 | 44 |
| <표 2-23> 누수탐사 결과 | 46 |
| <표 2-24> 수압측정 결과 및 수리계산과의 비교 | 46 |

| | |
|--------------------------------------------------|-----|
| <표 2-25> 관노후도 간접평가 | 48 |
| <표 2-26> 소제50-1블록 정비계획 | 48 |
| <표 2-27> 11개 불량 블록의 전문기술진단 | 49 |
| <표 3-1> 관세척 공법 비교 검토 | 70 |
| <표 3-2> 갱생 관종별 물리적 이온수처리기 적용 실적 | 84 |
| <표 3-3> 이온수기의 비교 - 스케일부스터 | 85 |
| <표 3-4> 이온수기의 비교 - 이오렉스 | 86 |
| <표 3-5> 이온수기의 비교 - 아쿠아액 | 87 |
| <표 3-6> 교체, 세척, 갱생에 따른 특징 비교 | 88 |
| <표 3-7> 교체, 세척, 갱생에 따른 특징 비교 - 계속 | 89 |
| <표 3-8> 비굴착 공법의 비교 | 90 |
| <표 4-1> 교체, 방청제, 라이닝, 자석식, 이온수처리기의 갱생방법 비교 | 91 |
| <표 4-2> 배관규격에 따른 갱생비용 비교 | 92 |
| <표 4-3> 상수관로 갱생 신기술의 경제성 비교 - 1 | 93 |
| <표 4-4> 상수관로 갱생 신기술의 경제성 비교 - 2 | 94 |
| <표 4-5> 노후도 조사를 위해 필요한 자료 및 세부인자 | 102 |
| <표 4-6> 국내 생산 상수도용 관종 | 105 |
| <표 부록-1> 대전시 관종별 관로부설 현황 | 121 |
| <표 부록-2> 당해연도 기준 노후관 발생현황 | 122 |
| <표 부록-3> 매년 발생하고 있는 노후관 발생현황 | 122 |
| <표 부록-4> 노후관 연도별, 관종별 발생현황 (단위 : km) | 123 |
| <표 부록-5> 노후관 갱생계획 | 124 |

- 그림 목 차 -

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <그림 2-1> 상수관의 파손 및 교체 | 9 |
| <그림 2-2> 관의 압력을 증가시킬 수 있는 녹의 발생 | 9 |
| <그림 2-3> 관의 구조적 조건의 개념 모델 | 12 |
| <그림 2-4> 대표적인 관로 파손의 형태 | 13 |
| <그림 2-5> 스케일 및 녹에 의한 통수면적의 감소 | 17 |
| <그림 2-6> 상수관로에서의 녹 발생 과정 | 18 |
| <그림 2-7> 상수관로에서의 녹 | 19 |
| <그림 2-8> 소재50-1블록 간접평가 | 47 |
| <그림 2-9> 갱생계획의 대응적 진단 | 54 |
| <그림 2-10> 갱생계획의 예측적 진단 | 55 |
| | |
| <그림 3-1> 상수관로 교체에 따른 교통혼잡(좌) 및 신규 상수관로(우) - 사례 : 대전시 중구 대흥동(2013년) | 63 |
| <그림 3-2> Drag Towel 라이닝 장치 (좌 : 세라믹모르터 분사헤드, 우 : 미장용 인도) | 72 |
| <그림 3-3> 이온수처리기의 주요 원리 | 76 |
| <그림 3-4> 이온수처리기 설치 전후의 관내 스케일 및 녹 변화 | 78 |
| <그림 3-5> 독일 건교부(BBS) 및 ThyssenKrupp의 이온수처리기 추천서 | 79 |
| <그림 3-6> 국내 이온수처리기 관련 신기술 K마크 인증 및 위생안전기준 인증서 | 79 |
| <그림 3-7> 상수관로에서의 이온수처리기 설치 | 83 |
| | |
| <그림 4-1> 관경별 유지보수이용 (물가상승 고려) | 95 |
| <그림 4-2> 유지보수비용 함수의 비교 | 96 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| <그림 부록-1> 부식된 관로 및 전처리 | 140 |
| <그림 부록-2> epoxy resin과 plastic cap을 이용한 부식관로 보수 | 140 |
| <그림 부록-3> 관로 입계치와 상황에 따른 관로갱생의 접근 | 141 |
| <그림 부록-4> 관로교체 시기에 따른 비용의 변화 | 142 |
| <그림 부록-5> 사용 중인 구리, 철 관로에서의 ClO ₂ 변화 | 143 |
| <그림 부록-6> 시간에 따른 철 이온의 농도 변화 | 144 |
| <그림 부록-7> Path dependence and related decision making | 145 |
| <그림 부록-8> Gothenburg에서 현존 상수관거 길이 및 survival curve | 145 |
| <그림 부록-9> 상수관로 조사, 수전 및 관리를 위한 구조도 | 146 |
| <그림 부록-10> 누수 발생 시뮬레이션 | 147 |

제 1 장

서 론

제1절 연구의 배경 및 필요성

제2절 목적 및 연구방법

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

우리나라의 수도시설은 역사가 약 100여년에 이르고 있으며, 특히 1960년을 중심으로 비약적으로 증가하여 1993년 말 81.8%, 2011년 말 현재 97.9%의 수도보급율을 보이고 있다. 그 결과 상수도가 국민생활에 미치는 역할은 점점 중요하게 되었고, 평상시보다 재해시나 낙동강 수돗물 오염사고, 상수도의 미생물(지아디아, 크립토스포리디움 등), 상수원수의 부족 등의 문제점들이 대두되기 시작하였다. 이러한 문제점들 중에서 상수원수 및 수질의 경우 풍부한 댐 자원 및 정수시설의 고도화로 많이 개선되었지만 노후화된 상수관로에 의하여 발생하는 문제점들은 앞으로 누적되어 발생할 사항이 될 것이다. 특히 스케일 및 녹에 의한 통수단면의 축소, 부식에 의한 균열 발생 및 누수, 관의 이물질 발생에 따른 수질저하를 막기 위해서 투입되는 비용은 이미 정수시설 개선, 펌프시설 교체 등을 포함한 전체 비용 중에서 절반을 넘어서고 있다.

상수도시설은 수원에서 소비자에 이르기까지 각종 시설로 구성되어 있지만, 특히 도·송·배·급수 시설은 그 중요성과 함께 시설규모의 면에서도 수도시설 전반에 차지하는 비율이 높아지고 있다. 2011년 말 우리나라 전체 관로연장은 173,014 km(도수 3,257 km, 송수 10,717 km, 배수 89,903 km, 급수 69,137 km)를 넘어서고 있고, 이러한 관로는 단순히 그 연장이 증가된 것만 아니라 그 대부분이 공공도로 아래에 매설되어 있어, 매설환경이나 관내의 기타 여건이 있기 때문에 그 유지관리에는 많은 어려움이 뒤따르고 있다. 특히, 노후관로가 계속 증가하고 있다는 것은 앞으로의 상수도시설 문제에 있어 가장 주요한 이슈로 남아있을 것으로 판단된다.

이와 같이 상수관로의 관리 및 갱생이 요구되는 시점에서 많은 비용이 요구되는 현재의 관로교체 위주의 갱생방법은 지자체의 재정상황을 고려할 경우 한계점에 도달한 상태이며, 관로의 노후도 상태에 맞는 갱생방법을 검토할 필요가 있다.

제2절 목적 및 연구방법

향후에도 안정적인 급수 및 수질의 안전을 확보하기 위해서는 상수관로 유지관리가 반드시 수반되어야 한다. 특히 이를 위해서는 과거 매설하여 그 기능이 약화된 노후 상수관로의 수집정리·분석 및 이를 위한 유지관리 효율화, 관로 노후도의 진단평가 및 현장조사, 국내의 관로 파손사고 특성 분석 그리고 마지막으로 이러한 특성에 따른 관로시설의 갱생계획을 수행하여야만 한다. 이러한 상황에서 본 연구는 우리나라에서 검토되고 있는 상수관로 노후화 정도를 통해 대전시에 적합한 갱생방법을 제시해보고자 한다.

본 보고서를 진행하는데 있어, 2장에서는 상수관로가 노후화되어 발생하는 문제점, 대전시 상수관로의 현황 및 관련사례를 제시할 것이며, 3장에서는 노수 상수관로를 관리하는 방법으로 관로교체, 관로갱생, 관로갱생의 신기술 및 이러한 관로갱생의 장단점을 종합하여 검토할 것이다. 4장에서는 현재까지 진행되었던 사례를 기초로 관로갱생 방법별 경제성 및 관로상황에 적절한 갱생방법을 검토함으로써 대전시에 적합한 갱생방안을 제시하고자 한다.

현재의 상수관로 갱생공법은 크게 세척·세관, 라이닝 등의 갱생 공법과 교체공법 등으로 구분할 수 있다¹⁾. 여기에 더불어 적용 대상 상수관로는 좁아지지만 시공이 간단하고 경제적인 물리적 이온수처리기와 같은 신공법이 등장하고 있다. 이에, 상수관로의 비용이 많이 소요되는 관로교체보다는 관로세척, 관로라이닝, 물리적 이온수처리기 등의 갱생방법의 특성, 장·단점, 적정관중 및 소요비용 등을 제시하여 노후 상수관로에 적용하기 위한 방법을 찾아보고자 한다.

1) NRC-CNRC, Selection of technologies for the rehabilitation or replacement of sections of a water distribution system, Issue No. 1.0, 2003

제 2 장

관련 현황 및 연구내용

-
- 제1절 노후관로의 문제점
 - 제2절 대전시 상수관로 현황
 - 제3절 상수관로 개선계획에 필요한 기술 및 검토
 - 제4절 상수도관망 기술진단 방법 및 결과
 - 제5절 관련 연구 및 사례
-

제2장 관련 현황 및 연구내용

제1절 노후관로의 문제점

2.1.1 노후관의 정의

노후관로란 낡아서 제 기능을 다하지 못하는 관로를 말한다. 즉, 관로의 재질, 제원, 유효두께와 같은 물리적인 강도 저하와 통수능력, 수압 및 펌프능력 감소, 에너지 소모량 증대와 같은 수리적인 조건, 내부부식, 기자재 용출에 의한 수질의 영향 및 누수와 균열에 의한 파손으로 민원이 자주 야기되는 등 원수나 정수를 안전하게 수송하려는 관로자체의 제 기능을 상실한 관이라고 할 수 있다.

관의 노후화는 수질과 관 매설 주변환경, 매설경년 등 복합적인 원인에 의해 진행된다므로 20~30여년이 지나도 노후화되지 않는 관이 있는 반면 매설한지 불과 수년만에도 누수와 출수불량의 문제를 일으키는 관도 있다. 이러한 기능적 열화의 정도를 일반적으로 사용하는 것이 “노후화”이며, 각 기관마다 노후도에 대한 잠정적인 정의를 내리고 있다.

- 환경부 : “상수도 유수율제고 업무처리 규정” (환경부 훈령 제486호, 2001.2)
 - 노후상수도관이라 함은 아연도 강관, 비내식성 금속관, 매설 후 16년 이상 경과한 수도관 중 관석(Scaling) 및 부식이 심한 수도관 등 교체 또는 갱생이 필요한 수도관을 말한다.
- 서울특별시 상수도사업본부 : “유수율 대책 백서” (서울특별시 상수도사업본부, 2000)
 - 노후상수도관이란 관의 내용 연수가 지나 내·외부가 부식하여 관 파손 사고와 빈번한 누수, 적수 등의 문제를 일으키는 상수도관과 내용연수가 경과하지 않은 관중에서도 비내식성 관의 내부 스케일로 적수를 일으키는 상수도관을 말한다.

2.1.2 수도관 파손 원인 및 파손 특성

1) 파손 원인

수도관의 파손사고는 일반적으로 복합적인 원인에 의해서 발생하는 경우가 흔하다. 일본의 경우 수도관의 파손원인은 주로 관의 노후, 교통하중의 증가에 의한 이유가 거론되고 있으며 일본 수도관로기술센터의 小林康彦에 의해 정리된 수도관의 파손원인을 다음의 <표 2-1>과 같이 제시하고 있다. 또한, 미국의 경우 미국환경청(EPA)과 미국수도협회 연구기금(AWWARF)이 공동으로 작성한 관로갱생을 위한 지침서에서는 관로 파손의 구조적인 원인으로서는 원주방향의 힘(Circumferencial Stress), 길이 방향의 힘(Longitudinal Stress), 접합부의 팽창 등을 들고 있다.

<표 2-1> 수도관 파손 원인²⁾

| 구 분 | 파 손 원 인 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 재 질 | 1) 관, 부대시설 재질의 불량 2) 부식에 의한 강도저하(관재질, 수질, 토질, 미주전류) 3) 재질의 악화 |
| 2. 관로매설 시공기술 | 4) 시공기술 5) 부적절한 매설 6) 다른 구조물과의 접촉 |
| 3. 급수의 상태 | 7) 수 압 8) Water Hammer 9) 수질(내부부식) 10) 온도변화 11) 누수방지에 의한 관로 주변의 공동화 |
| 4. 관로 매설장소의 환경 | 12) 교통하중의 증가 13) 관로 주변 토양의 움직임 14) 지진에 의한 응력변화 15) 토양의 침식 16) 온도변화 17) 설계시공시의 제반여건과 현재 여건의 차이 |
| 5. 다른 공사 및 화재에 의한 사고 | 18) 다른 공사에 의한 파손 및 환경의 변화 19) 재해에 의한 도로의 파손 |

2) 일본 수도관로기술센터, 수도관로의 파손과 기능 열화, 1995



<그림 2-1> 상수관의 파손 및 교체



<그림 2-2> 관의 압력을 증가시킬 수 있는 녹의 발생

우리나라의 경우 대도시의 수도사업체에서는 노후관 갱생사업을 경험적인 시행 기준을 가지고 실시하고 있으나, 대부분의 중소도시에서는 별다른 시행기준 없이 매설경과년수, 관종별 및 사고다발지역 또는 민원발생지역을 노후관 정비사업의 대상으로 삼고 있다.

반면, 미국과 일본의 경우에는 노후관 갱생사업을 수행하는데 매설경년의 비중은 크게 차지하지 않으며, 주로 관의 노후, 교통하중의 증가, 내·외면 부식, 접합부의 형식 및 관로 주변 토양 움직임을 강조하는 것으로 조사되었다.

<표 2-2> 관로 파손의 구조적 원인³⁾

| 파손의 형태 | 하중을 받는 축 | 구 조 적 원 인 |
|--------|----------|------------------|
| 길이방향 | 가 로 | 열적수축 힘파손 |
| 원주방향 | 세 로 | 내부압력 초과횡하중 |
| 접합부 이탈 | 가 로 | 내부압력 납대용 접합부의 팽창 |

현재 수자원공사가 보유하고 있는 수도시설물 정보 관리시스템의 데이터 베이스 (D/B)에 수록되어 있는 관로 파손 원인의 범주와 그 종류는 10가지로 크게 분류되어 있고, 세부적으로는 사고원인을 21가지로 분류하여 기록하고 있다.

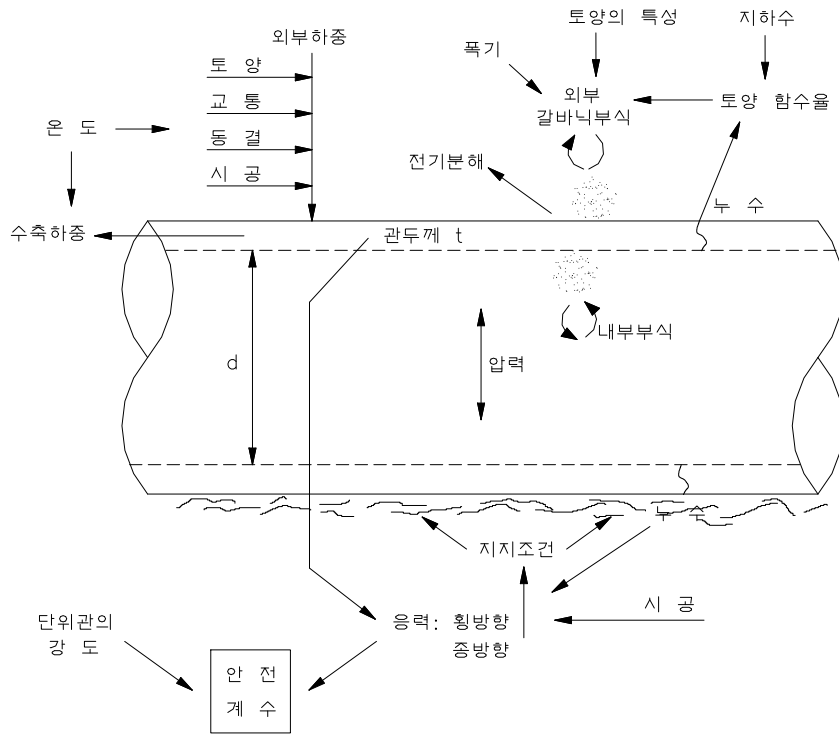
<표 2-3>에 나타난 바와 같이 상수관로의 구조적인 조건의 중요성은 부분에 따라 다르며, 또한 이들 원인이 복합적으로 작용하기 때문에 송·배수관의 파손 원인을 명확하게 결정하는 것이 매우 곤란하다. 또한 <그림 2-3>에서는 매설된 상수관로가 누수·파손될 수 있는 내·외부적 영향인자를 나타내고 있다. 이를 보면, 상수관로의 누수·파손이 매설년수 및 관종 뿐만이 아니라 다양한 환경조건에 의해서 영향을 받을 수 있다는 것을 볼 수 있다. 주요 인자를 보면 온도, 외부하중, 수축하중, 토양의 특성, 전기분해, 지지조건, 관 내부 압력 및 내부부식을 들 수 있다.

3) Water Main Evaluation for Rehabilitation / Replacement

<표 2-3> 상수관로의 사고원인 분류4)

| 사 고 원 인 | 분 류 코 드 |
|----------------------------|---------|
| 1. 시설의 부식 | A |
| ◦ 관부식 | A1 |
| ◦ 변류 플랜지 접합부 패킹부식 | A2 |
| ◦ 밸브류, 볼트, 너트 기타 부속물 부식 | A3 |
| 2. 전식 및 토양에 의한 핀홀 등 국부적 부식 | B |
| 3. 수충압에 의한 원인 | C |
| ◦ 관파열 | C1 |
| ◦ 접합부 이탈, 파열 | C2 |
| ◦ 밸브류 파손 | C3 |
| 4. 재질불량 | D |
| ◦ 관재질 불량 | D1 |
| ◦ 밸브류 재질 불량 | D2 |
| 5. 외적요인에 의한 원인 | E |
| ◦ 중차량 통행에 의한 관파열 | E1 |
| ◦ 온도변화에 의한 신축작용 불량 | E2 |
| ◦ 연약지반 침하에 의한 접합부 이격 | E3 |
| 6. 일상보수 시설갱생(계획보수) | F |
| ◦ 누수보수 | F1 |
| ◦ 노후시설 교체갱생 | F2 |
| ◦ 타공사에 지장되는 수도시설의 이설등 변경 | F3 |
| 7. 타공사등 외적요인에 의한 관파손 | G |
| 8. 부실시공에 의한 사고 | H |
| ◦ 관로 부실공사에 의한 사고 | H1 |
| ◦ 밸브류 부실공사에 의한 사고 | H2 |
| 9. 태풍 또는 홍수등에 의한 재해 | I |
| 10. 기타 원인에 의한 사고, 단수 | J |
| ◦ 관 원인에 의한 사고, 단수 | J1 |
| ◦ 밸브류 원인에 의한 사고, 단수 | J2 |

4) 한국수자원공사, 수도시설물 정보 관리시스템 - 데이터베이스 수록 하손원인의 범주와 종류



<그림 2-3> 관의 구조적 조건의 개념 모델

2) 파손 특성

수도관의 파손형태는 원주방향의 파손, 길이방향의 파손, 구멍(Hole), 그리고 접합부의 이탈(Split Bell)의 4가지가 있다. 원주방향의 파손은 소구경관에서, 길이방향의 파손과 구멍은 대구경관에서 발생하기 쉽다.

수도관의 관종별, 관경별, 매설년수별, 그리고 계절변동에 따른 파손 특성을 요약하면 다음과 같다.

가. 관종별

- 같은 관종이라도 지역에 따라, 그리고 같은 지역에서도 토양특성, 시공방법, 매설지역에 따라 파손율이 다양
- 주철관과 아연도강관은 오래된 재질이고 강관, 닥타일주철관, 콘크리트관

등은 새로운 재질이므로 오래된 재질로 된 관이 더 많은 보수기록을 가짐

나. 관경별

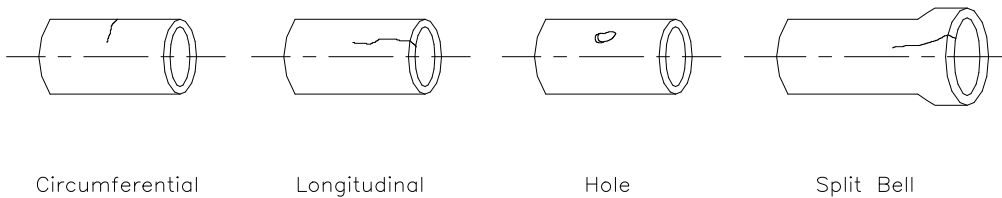
- 소구경관일수록 파손률이 높다.
- 그 이유는 작은 관이 힘에 의한 파손에 더 약하고, 관 두께가 얇기 때문에 부식되기가 쉽기 때문이라고 설명될 수 있음
- 반면 일본 토쿠시마시의 경우 석면시멘트관에서는 관경의 차이가 인정되지 않은 사례도 있음

다. 매설년수별

- 매설년수와 파손율과는 함수관계가 없으며, 금속관의 경우에서만 어느 정도 상관성이 있다고 할 수 있음

라. 계절적변동

- 수도관의 파손은 겨울철에 현저하게 증가하는 경향을 보이는데, 그 이유는 저온에 의한 수축으로 관의 인장력의 증가와 토양동결로 인한 토양수분의 팽창으로 외부압력의 증가 때문임



<그림 2-4> 대표적인 관로 파손의 형태

2.1.3 노후관이 수질에 미치는 영향

1) 건강에의 영향

부식에 의하여 용출된 물질이 수돗물에 혼입하여 인체에 위해를 주는 경우는 매우 흔한 현상으로 특히, 관 도료에서 납, 카드뮴, 아연, 구리 등의 중금속 용출이 전형적이다. 수중에 용출된 중금속중 납(Pb)은 신속하게 뼈에 축적되어 배출율이 점차 감소되고 뇌 장애현상을 일으키며, 카드뮴(Cd)은 신체의 간, 신장에 축적되어 농도가 증가하여 호흡기장애를 일으키며 신장에 독성 및 이따이이따이병을 유발한다. 또한, 아연(Zn), 구리(Cu)는 DO, 경도, 온도에 의해 수중동물에게 메스꺼운 증세 등 독성으로 변한다.

2) 수돗물 이용에의 영향

흔히 적수(Red water)라 부르는 녹물은 청수(Blue water), 착색수(Colored water), 탁수(Turbid water), 녹물(Rusty water) 등 다양하게 표현되고 있으며, 수요자에게 대단히 민감한 사항이 된다.

적수의 주된 원인은 관 부식이며 그 외에도 원수 중에 존재해 있는 철, 망간, 부식토질 등에 기인하기도 하는데, 일단 적수가 발생하면 물의 외관을 해치고 맛의 장애를 일으키며 스케일을 형성하여 관 내부 벽에 부착, 급수관의 통수능력 감소 및 계량기의 기능을 저해하기도 한다.

3) 누수 및 파손에의 영향

부식이 원인이 되어 누수나 파손사고가 발생하면 송·배수 불량은 물론이고 단수에 의한 급수 서비스의 저조뿐만 아니라 외부에 피해를 가져오기도 한다.

4) 경제적 영향

부식과 함께 관로에 스케일 침착이 일어나 관경이 점점 폐쇄되어 통수 능력 저하의 원인이 되며, 이를 해결키 위하여 가압 펌핑 비용의 증대를 초래하여 결국 누수방지, 관로의 사용연한의 단축으로 교체 비용 등 경제적 손실이 발생한다.

2.1.4 누수

1) 원인

누수의 발생원인은 관내수압, 토층운동, 관의 노화, 부식, 관재료의 문제 등 여러 원인으로 발생할 수 있다. 관이 부설된 후에는 수압을 제외한 다른 요소는 상수도를 관리하는 주체가 제어하기 어려우므로 설계 및 시공 중 이들 요소를 세밀히 고려하여 시공하여야 한다.

가. 관내수압

- 관내수압은 누수에 큰 영향을 미치며, 과다 수압이 작용하면 관의 균열이나 접속부분의 이완 등으로 누수발생 확률이 커짐
- 관로 계통 내의 수압이 높아지면 단기간에 많은 파열사고가 발생하며, 반면에 수압이 낮아지는 경우 잦은 파열이 발생하게 됨
- 가압펌프나 밸브개폐를 빠르게 하는 경우 관로 내에 서어징이 발생하여 균열, 충격 등이 발생함

나. 토층운동

- 토층운동의 원인은 점토의 함수량 변화, 온도변화, 침하 등이다. 이런 경우 관이 파열되거나 연결부가 움직여 응력의 집중현상이 발생하여 균열이 생김

다. 기타

- 상수관로의 노화, 관의 부식(토양부식, 전기부식) 및 저질의 관자재 사용 혹은 시공불량 등이 누수에 영향을 미칠 수 있음

2) 문제점

정수장에서 여러 과정을 거쳐 생산된 수돗물은 송수, 배수 및 급수과정을 거쳐 소비자에게로 공급되게 된다. 그러한 과정에서 상수관로 파손은 수돗물을 밖으로

유출되게 하는데, 이로 인한 깨끗한 상품(수돗물)을 땅속에 버리게 되는 형태가 된다. 대전시에서 329 L/인/일의 수돗물을 사용하는데 비하여 강원도에서는 463 L/인/일의 보다 많은 수돗물을 사용하는 것으로 나타났는데⁵⁾, 이는 167 L/인/일의 '유효무수수량+무효수량'으로 정의된 누수 및 불감지에 의한 것이다. 2011년 기준으로 누수율을 보면 전국평균 10.4%로 대전시 6.4%, 서울시 3.8%의 대도시 누수율은 낮게 나타났다. 반면 강원도 23.0%, 경상북도 22.2%, 전라남도 21.6%와 같이 인구 밀집이 되지 않아 상수관로 관리에 어려움을 겪고 있는 지역의 누수율은 높게 나타났다. 이와같이, 누수율이 높은 지역은 적절한 수돗물 보급량보다 많은 정수가 필요하며, 이에 따른 취수, 정수, 관로유지로 인한 비용이 증가하여 주민들에게 부과되는 수도요금이 상승하게 된다.

더불어 관의 파손으로 인하여 외부 오염물질이 상수관로의 수돗물에 혼입될 위험성도 누수의 문제점에 포함될 수 있다. 일반적인 상황에서는 상수관로 내의 압력으로 외부의 물질이 유입되는 가능성은 적겠지만, 관로의 압력이 충분히 확보되지 않고 외부의 압력이 큰 곳에서는 외부 물질이 침입할 가능성이 있는 것이다. 이에, 누수로 인한 경제적 손실 이외에도 오염물질의 침입에 따른 보건상의 문제점이 발생할 수도 있다.

2.1.5 스케일

1) 원인

일반적으로 스케일이란 물속에 무기물(Ca^{2+} , Mg^{2+} , SiO_2)이 배관에 달라붙어 형성되는 것을 말한다. 이러한 물속의 스케일 입자는 침상구조의 형태로 배관에 쉽게 달라붙게 된다.

유입수의 미생물이 가지고 있는 젤리상 물질에 부유물 또는 무기물이 흡착되거나 무기물의 화학적 반응에 의한 생성물이 배관과 정전기 인력에 의해 침착되어 스케일이 생성된다. 이러한 환경에서 미생물 번식에 의한 분비물로 물때가 생성되

5) 환경부, 2012 상수도통계, 2012

게 된다. 스케일 성분은 대부분 칼슘(Ca^{2+})과 마그네슘(Mg^{2+})로 이루어져 있으며, 이러한 물속의 무기물질들이 중탄산염(HCO_3^-)과 결합하여 탄산칼슘(CaCO_3)이 되며, 이것을 스케일이라고 한다.



2) 문제점

상수관로에 있어서 스케일의 가장 큰 문제점은 <그림 2-5>와 같이 통수면적이 감소된다는 것이다. 원수의 수질을 비롯한 여러 가지 원인으로 인하여 발생한 스케일은 시간이 지남에 따라 상수관로를 통해 수돗물이 지나야 하는 길을 좁게 만들게 된다.

배수관을 기준으로 최소동수압 1.5 kg/cm^2 및 최대동수압 4.0 kg/cm^2 의 기준을 만족하여야 하는데, 스케일에 의한 통수단면적의 감소는 배수관의 유속 및 동수압을 높아지게 한다. 이러한 문제는 누수의 주요 원인이 되는 관내수압을 증가시킴으로써 관을 파손시킬 수 있는 여지가 증가하는 것이다.

또한, 급격한 압력의 변화가 있을 때에는 스케일의 일부가 떨어져 나와 급수되는 수돗물의 질적 저하가 발생할 여지도 있다.



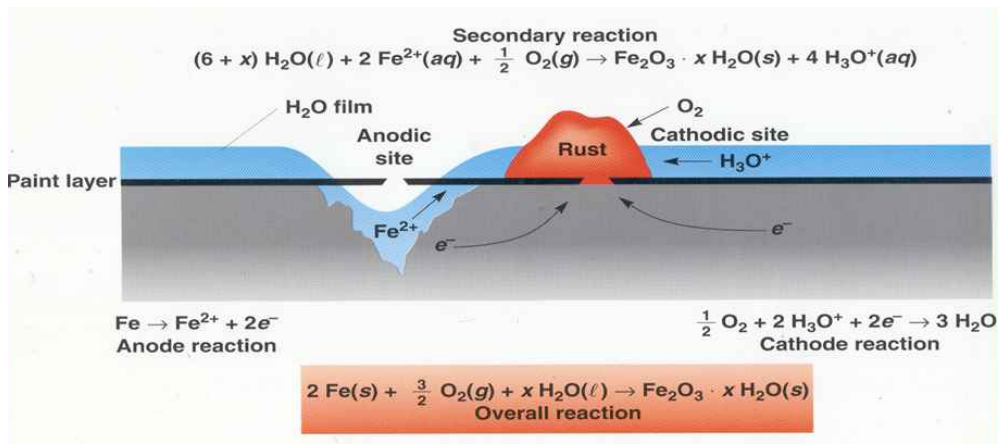
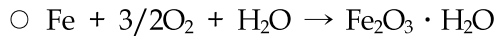
<그림 2-5> 스케일 및 녹에 의한 통수면적의 감소

2.1.6 녹

1) 원인

녹은 금속의 표면에 생기는 붉은색의 부식생성물을 총칭한다. 철로 된 배관은 전자기동에 의한 산화과정에 의하여 녹으로 변환된다. 일반적으로 금속은 공기 중에 있는 산소, 수분, 이산화탄소 등과 작용하여 그 금속의 산화물, 수산화물, 탄산염 등을 생성하여 변화되는데, 철의 경우 Fe_2O_3 가 주성분이다.

철(Fe)의 부식은 <그림 2-6>에 도시된 바와 같이 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ 로 되어 용출하고 H_2 가 발생하는데, 이것을 양극반응이라고 한다. 반대로 음극반응에서는 산성의 H^+ 이 전자 $2e^-$ 를 받아서 $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ 반응이 일어나게 된다. 이 결과 금속관을 통하여 전자 $2e^-$ 는 양극에서 음극으로 이동되고, 용출된 Fe^{2+} 는 물에 녹아들어 안정화된다. 용액의 pH는 산에서 염기성 쪽으로 바뀌면서 $Fe(OH)_2$ 및 용존산소의 산화작용을 받아 Fe_2O_3 의 형태로 변화하게 된다.



<그림 2-6> 상수관로에서의 녹 발생 과정

2) 문제점

녹은 PVC와 같은 재질이 아닌 금속재질의 상수관로에서 발생하며, 관로의 철 성분이 산소와 접촉하여 산화(부식)되는 것을 의미한다. 이와 같이 구조가 영성하게 되는 녹 발생이 지속되면 외부의 충격이나 내부 수압 등의 영향으로 인하여 상수관로의 파괴가 일어나기 쉬워진다.

특히 수돗물에서 철의 녹은 적색을 띠게 되는데 이를 적수(赤水, red water)라 한다. 음료수나 용수에 철분이 많이 포함되면 적갈색을 띠게 되고 금속 맛을 내는데, 몸에 해로우며 사용할 수 없다⁶⁾. 적수를 도금작업에 이용하면 도금불량의 원인이 되기도 한다. 더불어 녹은 <그림 2-7>과 같이 주철관은 물론 내부에 피복이 있는 관에서도 피복의 노후화와 더불어 발생이 되는 경우가 많아, 관중에 상관없이 모니터링이 수반되어야 할 것이다.



<그림 2-7> 상수관로에서의 녹

6) 수돗물의 철의 허용기준은 0.3 mg/L 이하임

2.1.7 노후관 관련 연구사례 및 연구목적

1) 연구사례

노후관의 갱생에 있어서 대전시를 비롯한 국내에서는 교체 및 갱생의 방법을 사용하고 있지만 교체시기 및 우선순위를 결정하는 것은 매우 복잡한 동시에, 이러한 문제를 논리적으로 해결하는 것은 매우 어려운 상황이다. 기초자료의 정확성 및 정밀성을 바탕으로 신뢰성 있는 결과를 도출하게 된다면, 대전시는 보다 높은 유수율과 비용효율적인 상수도 관리비용을 확보할 수 있을 것이다. 이에 따라 상수관로 교체 및 갱생에 대한 연구사례를 보면 다음과 같다.

- Shamir 등(1979) : 기존 관의 예측된 파손횟수, 신관에 예측되는 파손횟수, 단위 파손당 보수비용, 기존관 교체시 소요비용, 할인율을 변수로 두고 교체시기 결정방법 제시⁷⁾
- Walski 등(1982) : 현재 파손율이 한계파손율보다 높다면 교체해야 한다는 기준을 제시⁸⁾
- Walki 등(1985) : 관망 갱생에 대한 경제성 분석에서 관의 세척과 라이닝 등의 비용이 양수비용보다 저렴하다면 그러한 방법으로 진행할 필요가 있음을 제시⁹⁾
- Lansey 등(1992) : 교체비용, 라이닝비용, 보수비용을 상수관로 관리비용으로 두어 노후관의 우선 갱생시기 모델을 개발¹⁰⁾
- kleiner 등(1998) : 최소비용으로 수행 가능한 갱생대안의 선택과 시기 결정 방법을 제시¹¹⁾

7) Shamir, U., and Howard, C.D., An analytic approach to scheduling pipe replacement, JAWWA, 71, 1979

8) Walski, T.M. and Pelliccia, A., Economic analysis of water main breaks, JAWWA, 74(3), 1982

9) Walski, T.M., Assuring accurate model calibration, JAWWA, 77(12), 1985

10) Lansey, K.E. and Basnet, C., Optimal maintenances cheduling for water distribution systems, Civil Eng., 1992

11) Kleiner. Y., Barry J.A., and Rogers J.S., Long-term planning methodology for water distribution system rehabilitation, Water Resources Research, 34(8), 1998

- 김 (2005) : 급·배수관의 관 파손 및 누수자료로 파손에 대한 영향인자별 기여도를 분석하여, 주요 인자를 이용하여 관 파손에 대한 통계적 확률을 선정¹²⁾
- Cauffre (2007) : 비추이성, 모호성, 비교불가능성을 전제한 유럽식 다기준 의사결정 방법인 ELECTRE를 상수관로에 적용¹³⁾
- 최 (2009) : 퍼지기법과 마야코브 프로세스를 이용하여 노후상수관로의 갱새 및 교체를 위한 의사결정도구 예측모델을 제시¹⁴⁾

이외에 노후관로에 대한 여러 가지 연구가 부록3에서와 같이 이루어지고 있지만, 관로의 갱새에 대한 연구는 활발히 진행되고 있지는 않은 현실이다.

2) 연구목적

위와 같이, 국내외적으로 상수관로의 노후화의 정의 및 이를 갱생하기 위한 순서를 정하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 일부 선진국에서는 이를 적용하기 위한 노력이 진행 중에 있다.

더불어 상수관로 갱생방법에서 우리나라는 대부분 교체의 방법을 많이 사용하고 있지만, 앞으로 각 현장의 상황에 따라 세관, 라이닝, 관입보강 및 이온수처리 등의 신기술을 적극 활용하여 보다 비용효율적인 상수관로의 관리를 할 필요가 있다.

이에, 본 연구에서는 우리나라에서 현재 조사·검토되고 있는 상수관로 노후도 조사, 간접·직접 평가, 수압·수두 측정 등을 이용하여 교체 위주가 아닌 관 상황에 맞는 갱생방법을 검토할 수 있도록 제시하고자 한다.

12) 김민정, 통계적 기법을 이용한 상수도관의 파손확률 모델, 서울시립대학교, 2005

13) C. Martin, Y. Ruperd, M. Legret, Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices, European Journal of Operational Research, 181, 2007

14) 최태호, 퍼지기법을 이용한 상수관로의 노후도예측 모델연구, 서울시립대학교, 2009

제2절 대전시 상수관로 현황

2.2.1 대전시 상수관로 주요 통계

대전시에 매설된 상수관로는 <표 2-4>에서와 같이 도수관, 배수관, 급수관으로 나눌 수 있으며 동구, 중구, 서구, 유성구 및 대덕구에 총 4,308,721 m가 매설되어 있다. 매설길이는 “중구>동구>서구>대덕구>유성구”의 순이며, 관종별 분류를 보면 도수관에서는 도복장강관, 배수관에서는 시멘트라이닝주철관, 급수관에서는 PVC관 및 STS관이 주종을 이루고 있다¹⁵⁾.

<표 2-4> 대전시 수도관 부설 총괄 (단위 : km, %)

| 구 분 | 계 | | 동구 | 중구 | 서구 | 유성구 | 대덕구 |
|-----------|-----------|--------|------|-------|-----|-----|-----|
| | 길이 | 비율 | | | | | |
| 합 계 | 4,309 | 100.00 | 994 | 1,006 | 919 | 676 | 713 |
| 도수관 | 소 계 | 19 | - | - | 5 | - | 14 |
| | 시멘트라이닝주철관 | 1 | - | - | - | - | 1 |
| | 도복장강관 | 19 | - | - | 5 | - | 13 |
| | PEP관(PFP) | 0 | 0.00 | - | - | - | 0 |
| 배수관 | 소 계 | 2,250 | 429 | 436 | 476 | 506 | 404 |
| | 회주철관 | 15 | 3 | 8 | 4 | - | - |
| | 닥타일주철관 | 162 | 37 | 47 | 32 | 13 | 33 |
| | 시멘트라이닝주철관 | 1,352 | 247 | 256 | 302 | 328 | 218 |
| | 도복장강관 | 114 | 15 | 7 | 38 | 27 | 28 |
| | PVC관 | 41 | 6 | 12 | 4 | 1 | 17 |
| | PE관 | 333 | 81 | 92 | 65 | 23 | 72 |
| | PEP관(PFP) | 194 | 33 | 11 | 21 | 95 | 34 |
| 기타(HI-3P) | 39 | 6 | 4 | 10 | 19 | 0 | |
| 급수관 | 소 계 | 2,040 | 566 | 571 | 437 | 171 | 295 |
| | PVC관 | 919 | 283 | 329 | 180 | - | 127 |
| | PE관 | 183 | 57 | 35 | 33 | 21 | 38 |
| | STS관 | 929 | 227 | 207 | 219 | 149 | 127 |
| | PEP관(PFP) | 9 | - | - | 5 | 0 | 3 |
| | 기 타 | 0 | - | 0 | - | - | - |

15) 대전광역시, 2012 상수도통계, 2012

<표 2-5>에 나타난 바와 같이 대전시 수도관의 경년별 특징을 보면 총 4,309 km로 21~25년이 981 km(22.8%), 16~20년은 797 km(18.5%)로 16년 이상 경년의 상수관로가 55.9%를 차지하고 있다. 상수관로 관종별로 내구년한은 20~50년을 보이고 있지만, 관로 내·외부의 부식·파손 영향인자로 인하여 대전시 노후관로의 출현은 잦아지고 있다.

<표 2-5> 경년별 수도관 (단위 : km)

| 구 분 | 계 | 부 설 경 년 별 | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----|
| | | 1-5 년 | 6-10 년 | 11-15 년 | 16-20 년 | 21-25 년 | 26-30 년 | 31년 이상 | |
| 합 계 | 길이(km) | 4,309 | 491 | 691 | 719 | 797 | 981 | 528 | 101 |
| | 비율(%) | 100.0 | 11.4 | 16.0 | 16.7 | 18.5 | 22.8 | 12.3 | 2.4 |
| 도 수 관 | 소 계 | 19 | - | 1 | 1 | 7 | 6 | - | 5 |
| | 시멘트라이닝주철관 | 1 | - | - | 1 | - | - | - | - |
| | 도복장강관 | 19 | - | 1 | - | 7 | 6 | - | 5 |
| | PEP관(PFP) | 0 | - | 0 | - | - | - | - | - |
| 배 수 관 | 소 계 | 2,250 | 274 | 415 | 382 | 436 | 432 | 214 | 96 |
| | 회주철관 | 15 | - | - | - | 0 | - | - | 15 |
| | 닥타일주철관 | 162 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 98 | 59 |
| | 시멘트라이닝주철관 | 1,352 | 206 | 282 | 243 | 213 | 326 | 82 | 0 |
| | 도복장강관 | 114 | 21 | 6 | 14 | 31 | 22 | 10 | 9 |
| | PVC관 | 41 | - | 0 | 1 | 2 | 10 | 16 | 11 |
| | PE관 | 333 | - | 26 | 61 | 167 | 70 | 8 | 1 |
| | PEP관(PFP) | 194 | 32 | 88 | 54 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 기타(HI-3P) | 39 | 14 | 12 | 10 | 3 | - | - | - | |
| 급 수 관 | 소 계 | 2,040 | 217 | 275 | 336 | 354 | 544 | 314 | - |
| | PVC관 | 919 | - | - | - | 88 | 529 | 302 | - |
| | PE관 | 183 | 0 | 49 | 69 | 50 | 2 | 13 | - |
| | STS관 | 929 | 217 | 224 | 267 | 209 | 12 | - | - |
| | PEP관(PFP) | 9 | - | 2 | 0 | 7 | - | - | - |
| | 기 타 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - |

2.2.2 노후관로 현황 및 사업시행계획

1) 노후관 발생현황

대전시에서의 배수관 및 급수관에서의 노후관 발생현황 및 매년 발생하는 노후관 현황을 보면 다음의 <표 2-6> ~ <표 2-8>과 같다¹⁶⁾.

노후관의 발생현황을 나타내는 기준은 배수관의 경우 당해연도 기준 노후관 현황을 이용하였으며, 관망기술진단의 노후관 간접평가를 2009년 12월 기준으로 실시하였다. 급수관은 통계연보를 기준으로 합성수지관(PVC, PE)관은 20년 이상된 관을, 주철관(PFP)은 30년 이상된 관을 노후관의 기준으로 정하여 산정하였다.

그러나, 이러한 노후관 기준의 분류는 상수관로의 목적을 방해하는 노후도에 영향을 미치는 여러 가지 인자를 대표하지 못하고 있는 단점이 있다. 이에, 앞으로는 상수관로 목적을 유지하기 위한 다양한 갱생방법에 맞추어 노후관의 정의 및 조사방법을 재설정하는 방법이 필요할 것이다.

<표 2-6> 당해연도 기준 노후관 발생현황 (2009년 12월 기준)

| 구 분 | | 합계 | 회주철관 | 닥타일관 | 시멘트 라이닝 주철관 | 도복장강관 | PVC관 | PE관 | 기타 |
|--------------|-----|---------|-------|-------|-------------|-------|---------|-------|----|
| 노후관 (km) | 계 | 814.1 | 25.3 | 24.3 | 0.1 | 9.2 | 724.3 | 30.9 | |
| | 배수관 | 107.3 | 25.3 | 24.3 | 0.1 | 9.2 | 36.7 | 11.7 | - |
| | 급수관 | 706.8 | - | - | - | - | 687.6 | 19.2 | - |
| 사업비 (백만원) | 계 | 167,414 | 8,700 | 8,650 | 50 | 8,670 | 132,806 | 8,538 | |
| | 배수관 | 41,050 | 8,700 | 8,650 | 50 | 8,670 | 11,190 | 3,790 | |
| | 급수관 | 126,364 | - | - | - | - | 121,616 | 4,748 | - |

16) 대전광역시, 수도정비기본계획, 2012

<표 2-7> 매년 발생하는 노후관 현황

| 구 분 | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 -2020 | 2021 -2025 | |
|--------------------------|-----|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------|
| 노 후 관 (km) | 계 | 2,701.8 | 1,022.9 | 193.3 | 111 | 97.4 | 120.2 | 169.6 | 612.7 | 374.7 |
| | 배수관 | 1,483.3 | 214.1 | 53.8 | 46.1 | 52.8 | 107.2 | 154.4 | 549.6 | 305.3 |
| | 급수관 | 1,218.5 | 808.8 | 139.5 | 64.9 | 44.6 | 13.0 | 15.2 | 63.1 | 69.4 |
| 사 업 비 (백만 원) | 계 | 874,876 | 240,450 | 47,351 | 31,699 | 28,156 | 44,004 | 64,109 | 268,766 | 150,341 |
| | 배수관 | 647,422 | 95,735 | 22,342 | 20,055 | 20,088 | 40,949 | 60,500 | 253,790 | 133,963 |
| | 급수관 | 227,454 | 144,715 | 25,009 | 11,644 | 8,068 | 3,055 | 3,609 | 14,976 | 16,378 |

<표 2-8> 매년 발생하는 노후관 현황 (관종별)

| 구 분 | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 -2020 | 2021 -2025 | | |
|----------------------|-------------|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------|-------|
| 노 후 관 (km) | 계 | 2,701.8 | 55.5 | 59.3 | 290.4 | 277.9 | 300.7 | 342.8 | 1,000.5 | 374.7 | |
| | 배 수 관 | 소계 | 1,483.3 | 24.2 | 23.3 | 94.0 | 101.9 | 156.2 | 196.2 | 582.2 | 305.3 |
| | | 회주철관 | 25.3 | 5.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | - | - | - |
| | | 닥타일주철관 | 179.2 | 9.7 | 9.7 | 57.7 | 29.1 | 28.8 | 28.8 | 15.1 | 0.3 |
| | | 시멘트라이닝 주철관 | 771.6 | 0.5 | 0.4 | 0.9 | 27.2 | 66 | 101 | 346.1 | 229.5 |
| | | 도복장강관 | 89.2 | 2.6 | 2.2 | 8.2 | 6.5 | 4.5 | 10.5 | 36.8 | 17.9 |
| | | PVC관 | 49.2 | 4 | 4 | 6.2 | 6.3 | 5.5 | 5 | 18.1 | 0.1 |
| | | PE관 | 352.2 | 2.1 | 2 | 16 | 27.8 | 46.4 | 50.9 | 164.1 | 42.9 |
| | | PEP관 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | 3.7 |
| | | HI_3P관 | 12.9 | - | - | - | - | - | - | 2.0 | 10.9 |
| | 급 수 관 | 소계 | 1,218.5 | 31.3 | 36.0 | 196.4 | 176.0 | 144.5 | 146.6 | 418.3 | 69.4 |
| | | PVC관 | 1,016.2 | 30.4 | 35.0 | 183.4 | 163.5 | 129.2 | 129.1 | 345.6 | - |
| | | PE관 | 196.9 | 0.9 | 1.0 | 13.0 | 12.5 | 15.3 | 17.5 | 72.7 | 64.0 |
| | | PEP관 | 5.4 | - | - | - | - | - | - | - | 5.4 |
| 사 업 비 (백만원) | 계 | 874,876 | 17,258 | 15,832 | 77,363 | 73,674 | 89,523 | 107,846 | 343,039 | 150,341 | |
| | 배수관 | 647,422 | 11,670 | 9,397 | 42,170 | 42,061 | 62,922 | 80,694 | 264,545 | 133,963 | |
| | 급수관 | 227,454 | 5,588 | 6,435 | 35,193 | 31,613 | 26,601 | 27,152 | 78,494 | 16,378 | |

2) 노후관 진단 및 교체계획

대전시 노후관 갱생계획과 블록시스템 구축계획은 대전광역시 상수도사업본부의 중장기 재정계획 등을 고려할 경우 연도별 사업계획은 변경될 것으로 판단된다.

○ 배수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 매년 발생하는 노후관 : 2010년, 2011년 예산확정으로 2010년, 2011년 발생 노후관은 2012~2015년 까지 교체하는 것으로 계획

○ 급수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 매년 발생하는 노후관 : 2010년, 2011년 사업비 예산을 제외한 물량에 대해서는 2012~2015년 까지 교체하는 것으로 계획

<표 2-9> 연차별 관망진단계획

| 사업연도 | 블록수 | 노후관 갱생 (km) | 블록시스템 구축 | | | | 사업비 (백만원) | | | 비고 | |
|---------------------|-----------|-------------------|-------------|--------------|-----------|-------------|-----------|---------|---------|--------|--|
| | | | 유량계 (개소) | 제수밸브 (개소) | 관로 (m) | 수압계 (개소) | 계 | 노후관 | 블록시스템 | | |
| 계 | 213 | 2,701.8 | 118 | 1,136 | 65,375 | 3 | 909,744 | 874,876 | 34,868 | | |
| 2010년 ~ 2015년 | 소계 | 128 | 1,326.6 | 59 | 713 | 42,618 | 3 | 403,510 | 381,496 | 22,014 | |
| | 2010년 | 21 | 55.5 | 8 | 116 | 5,965 | - | 20,510 | 17,258 | 3,252 | |
| | 2011년 | 22 | 59.3 | 6 | 92 | 5,692 | 3 | 18,747 | 15,832 | 2,915 | |
| | 2012년 | 22 | 290.4 | 8 | 95 | 5,739 | - | 80,387 | 77,363 | 3,024 | |
| | 2013년 | 23 | 277.9 | 11 | 148 | 9,043 | - | 78,073 | 73,674 | 4,399 | |
| | 2014년 | 19 | 300.7 | 14 | 117 | 7,331 | - | 93,320 | 89,523 | 3,797 | |
| | 2015년 | 21 | 342.8 | 12 | 145 | 8,848 | - | 12,473 | 107,846 | 4,627 | |
| 2015년 이후 | 85 | 1,375.2 | 59 | 422 | 22,757 | - | 506,234 | 493,380 | 12,854 | | |

대전시 수도정비기본계획(2012년)의 노후관 갱생계획은 <표 2-7>의 노후관 발생 현황, 다양한 노후도 평가 및 대전광역시 상수도사업본부의 중장기 재정계획 등을

고려하여 그 중 노후관 갱생계획의 세부내용은 <표 2-10>과 같이 나타냈으며, 년도별 사업계획은 <표 2-11>과 같이 나타내었다.

- 배수관 : 2010년까지 발생하는 노후 회주철관, PVC관, PE관을 교체하는 것으로 계획
- 급수관 : 2010년까지 발생하는 노후 PVC관, PE관을 교체하는 것으로 계획

<표 2-10> 노후관 갱생계획

| 구 분 | | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 -2020 | 2021 -2025 | |
|--------------|-----|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|-------|
| 노후관 (km) | 계 | 897.8 | - | 83.3 | 109.2 | 109.2 | 109.2 | 109.2 | 188.8 | 188.9 | |
| | 배수관 | 소계 | 88.9 | - | 8.2 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 18.7 | 18.8 |
| | | 회주철관 | 25.3 | - | 2.3 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 5.1 | 5.1 |
| | | 닥타일주철관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 시멘트라이닝 주철관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 도복장강관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | PVC관 | 41.9 | - | 3.9 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 8.8 | 8.8 |
| | | PE관 | 21.7 | - | 2.0 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 4.6 | 4.7 |
| | | PEP관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | HI_3P관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 급수관 | 소계 | 808.9 | - | 75.1 | 98.4 | 98.4 | 98.4 | 98.4 | 170.1 | 170.1 |
| | | PVC관 | 789.0 | - | 73.2 | 96.0 | 96.0 | 96.0 | 96.0 | 165.9 | 165.9 |
| | | PE관 | 19.9 | - | 1.9 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 4.2 | 4.2 |
| | | PEP관 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 사업비 (백만원) | 계 | 205,420 | - | 19,052 | 25,000 | 25,000 | 25,000 | 25,000 | 43,184 | 43,184 | |
| | 배수관 | 60,707 | - | 5,630 | 7,388 | 7,388 | 7,388 | 7,388 | 12,762 | 12,763 | |
| | 급수관 | 144,713 | - | 13,422 | 17,612 | 17,612 | 17,612 | 17,612 | 30,422 | 30,421 | |

<표 2-11> 대전시 수도시설 관련 사업시행계획 및 소요사업비 (단위 : 백만원)

| 사업명 | | 사업기간 | 사업비 | 비율(%) | | |
|---------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|-------------|------|
| 합 계 | | | 617,030 | 100.0 | | |
| 시설 확충 계획 | 계 | | 270,116 | 43.9 | | |
| | 도수시설 | 송촌정수장 도수관로 | 2023~2025 | 3,695 | 0.6 | |
| | 정수시설 | 소 계 | | 181,367 | 29.5 | |
| | | 송촌정수장 1단계 | 고도정수처리시설 | 2011~2014 | 38,672 | 6.3 |
| | | 송촌정수장 2단계 | 고도정수처리시설 | 2021~2025 | 35,732 | 5.8 |
| | | 월평정수장 1단계 | 고도정수처리시설 | 2013~2016 | 35,732 | 5.8 |
| | | 월평정수장 2단계 | 고도정수처리시설 | 2021~2025 | 71,231 | 11.6 |
| | 송·배수 시설 | 소 계 | | 85,054 | 13.8 | |
| | | 세종시 2단계 | 용수공급관로 | 2013~2016 | 69,644 | 11.3 |
| | | 관망해석에 따른 배수관로 정비 | | 2015~2025 | 7,935 | 1.3 |
| | | 관망해석에 따른 가압장 정비 | | 2015~2025 | 1,996 | 0.3 |
| | | 가동중지 중인 배수지 활용 | | 2015~2016 | 1,879 | 0.3 |
| | | 관망해석에 따른 염소투입시설 설치 | | 2015~2025 | 3,600 | 0.6 |
| | 시설 갱생 계획 | 계 | | 288,902 | 47.0 | |
| 취수시설 | | 소 계 | | 4,854 | 0.8 | |
| | | 중리취수장 | 2013~2015 | 4,831 | 0.8 | |
| | | 삼정취수장 | 2013 | 23 | 0.0 | |
| 정수시설 | | 소 계 | | 40,561 | 6.6 | |
| | | 송촌정수장 1단계 | 2011~2014 | 2,305 | 0.4 | |
| | | 송촌정수장 2단계 | 2021~2025 | 22,257 | 3.6 | |
| | | 월평정수장 | 2015~2017 | 11,346 | 1.8 | |
| | | 신탄진정수장 | 2018~2019 | 1,090 | 0.2 | |
| | | 회덕정수장(필요시) | 2020~2021 | 3,563 | 0.6 | |
| 송·배수 시설 | | 소 계 | | 1,585 | 0.3 | |
| | | 가압장 갱생 | 2016~2018 | 1,370 | 0.2 | |
| | | 배수지 갱생 | 2016~2018 | 215 | 0.0 | |
| 노후관 교체 | | 소 계 | | 205,420 | 33.4 | |
| | | 배수관 교체 | 2010~2025 | 60,707 | 9.9 | |
| | | 급수관 교체 | 2010~2025 | 144,713 | 23.5 | |
| 공업용수 전환계획(회덕정수장 → 신탄진정수장) | | 2013 | 1,614 | 0.3 | | |
| 블록시스템 구축 | | 2011~2020 | 34,868 | 5.7 | | |
| 마을상수도 전환계획 | 계 | 2010~2025 | 19,788 | 3.2 | | |
| 운영관리개선계획 | 계 | 2013~2023 | 36,184 | 5.9 | | |

제3절 상수관로 개선계획에 필요한 기술 및 검토

2.3.1 개요

많은 지역에서 누수량이 과다하고 관 내부의 부식문제가 심각하여 녹물 또는 이물질에 대한 소비자의 불평이 증가하고 있다.

누수는 경제적 손실뿐만 아니라 수압의 저하로 인한 급수불량 지역의 발생을 야기할 수 있고, 누수지점에서는 부압시 외부로부터 오수 또는 지하수가 유입될 가능성이 있기 때문에 중요하며, 관 부식은 누수의 원인이 될 뿐만 아니라 녹물문제, 통수불량 문제 등을 유발시키는바 이의 개선을 위한 대책이 시급하며, 이에 따른 관련 기술의 연구 문제도 우선적으로 수행되어야 한다.

2.3.2 상수도관로의 유지관리 시스템 개발

상수도관로의 통수단면적의 축소와 적수문제, 교차연결, 역류 그리고 관로파손 등에 따른 용수공급의 불균형과 수돗물에 대한 국민적인 불신감은 사회 전반적인 위기의식의 초래와 공공서비스의 목적인 상수도시설의 의미를 상실하게 된다. 다음의 4가지 목표계획을 갖고 상수도관로의 유지관리 시스템을 적용·개발하여야 한다.

- 지역별, 인자별로 관로 파손특성 분석
- 관로의 상태진단 및 평가방법 개발
- 관로의 진단시 경제성 평가방법 및 모델 개발
- 각종 관중에 따른 노후도 예측모델의 개발 및 현장적용

2.3.3 상수도관로의 정보관리시스템 개발

수돗물의 안전 및 안정급수의 확보측면에서 상수도관로 시설의 최적 유지관리 시스템의 도입이 불가피하며, 이를 위해서는 관로정보의 수집정리 및 분석, 이를 위한 유지관리 효율화 측면에서 D/B화 및 Computer Mapping System도입, 각종

관종별 노후도의 진단 평가방법 확립과 현장조사방법, 그리고 국내 관로 파손사고의 특성분석, 종합적이고 체계적인 관로갱생계획 등 다양한 고도기술을 도입한 관로시설의 최적 유지관리기법 및 정보관리시스템의 도입을 위한 여러 가지 연구개발이 필요하다.

2.3.4 수돗물의 2차 오염 방지기술

국민들의 생활수준 향상에 따른 건강 관심도가 공공서비스 차원에서 충족되지 못했을 경우 발생될 수 있는 불안감과 먹는 샘물의 상업화에 따른 계층간 위화감을 불러일으키는 등 사회·문화적 악영향을 초래할 수 있다. 따라서 심미적이고 균형적 사회·문화적 구조를 갖추기 위해서는 수량과 수질을 동시에 만족시킬 수 있는 위생적으로 안전한 수돗물을 안정되게 공급할 수 있는 상수도관로의 2차 오염방지가 필수적이며, 다음의 3가지 사항을 유념하여야 한다.

- 2차 오염 방지기술 효율평가 및 표준화 연구
- 수돗물의 2차 오염 방지기술을 위한 소재 및 장치 개발연구
- 상수도 관망 내 수질관로 및 수질개선 기술개발 연구

2.3.5 수도관로의 특성해석

관로의 특성해석으로서는 관망에서의 유량, 수압의 최적운용을 목표로 할 수리해석, 관망에서의 수질유지를 위한 수질해석 및 해석결과에 기초한 관망의 최적개선 방법 등의 연구개발이 필요하다.

1) 관망의 수리해석

관망중의 유량, 압력의 현상을 파악해 그 결과에 따른 최적설계, 최적운용을 가능하도록 하기 위한 실제 관망모델링과 수리해석법 연구가 필요하다.

2) 관망의 수질해석

관망은 유량, 압력뿐만 아니라 수질에 따라서도 영향을 받으므로 관로의 특성해석으로서 수리해석과 함께 수질해석이 중요하므로 급·배수 수질이 모델링, 분석방법 및 관내 수질악화 원인의 해석에 관한 연구가 필요하다.

3) 관망의 최적개선방법

관망의 수리해석, 수질해석을 기초해 양질의 적정압력으로 필요량만큼 공급 가능하도록 관망을 개선하기 위한 정체수 방지대책과 관로 내 염소주입방법에 관한 연구가 필요하다.

제4절 상수도관망 기술진단 방법 및 결과

2.4.1 일반관망 진단

1) 소블록 진단기준

소블록 평가기준은 수도법 제55조의2 및 동법 시행규칙 제12조의3제3항에 따라 상수도관망 기술진단의 범위 및 시행방법 등에 관한 사항을 제정·고시(제 2007-11호)에 따라 평가한다.

2) 소블록 평가결과

소블록 평가에 앞서 녹물발생 부분과 스케일 형성 부분은 기준이 모호하여 환경부에 질의한 후 평가를 하였다. 녹물발생 부분은 환경부 답변을 참고로 평가하였으며, 스케일 부분은 명확한 기준이 되지 않아 평가에서 제외하고 소블록 평가를 하였으며 평가 총괄표는 아래의 <표 2-12>와 같다. 대전광역시 유수율 향상을 위해 구도심권 위주로 구역관리를 추진하고 있으나 소블록 평가는 블록내 시설물로 평가를 하므로 현실과 다소 차이가 있을 수 있다. 평가항목 중 블록내의 누수량 측정 시설 및 누수량 측정관리, 누수발생 항목에서 낮은 점수로 평가되었으며 누수발생 및 누수량 관리는 측정시설이 없는 불가능한 부분으로 누수량 측정시설 설치가 조속히 이루어져야 할 것이다.

<표 2-12> 소블록 평가 총괄표 (단위 : 블록)

| 구 분 | 계 | 동구 | 중구 | 서구 | 유성구 | 대덕구 |
|-------------|-------------|----|----|----|-----|-----|
| 계 | 251 | 60 | 51 | 63 | 37 | 40 |
| 우수 (90점이상) | 8 (3.2%) | 4 | 1 | 1 | 2 | - |
| 양호 (80-89점) | 112 (44.6%) | 34 | 27 | 27 | 5 | 19 |
| 보통 (70-79점) | 120 (47.0%) | 20 | 21 | 32 | 27 | 18 |
| 불량 (60-69점) | 11 (5.2%) | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| 심각 (59점이하) | - | - | - | - | - | - |

<표 2-13> 소블록 평가기준

| 평가 항목 | 배점 | 평가세부기준(지표) | 점수 |
|------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 블록의 크기 (배수관 연장 2.5~3.0km 또는 500~700개 수도계량기) | 5점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 기준 이내 ● (기준±20)% 이내 ● (기준±50)% 이내 ● (기준±50)% 초과 | 5 4 3 2 |
| 블록의 구성상태 (망목상 관망) | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 망목상으로 구성 ● 수지상(블록유량계설치블록 포함)으로 구성 | 10 8 |
| 블록 내의 수압 (수압편차의 균등) | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 수압편차가 200kPa 이내 ● 수압편차가 300kPa 이내 ● 수압편차가 300kPa 초과 | 10 9 8 |
| 블록 내외의 정체부 | 5점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 정체부가 없음 ● 정체부가 1개소 ● 정체부가 3개소 이내 ● 정체부가 5개소 이내 ● 정체부가 5개소 초과 | 5 4 3 2 1 |
| 블록내의 누수량 측정시설 | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 야간최소유량을 측정할 수 있도록 분기관을 설치 ● 소화전 등을 이용하여 야간최소유량을 측정할 수 있음. ● 블록유량계로 측정 ● 측정시설 없음 | 10 9 8 6 |
| 누수량 측정관리 | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 정기적으로 누수량을 측정 ● 계획적으로 누수다발지역 누수탐사 ● 누수신고 또는 출수불량 신고시에만 누수탐사 ● 블록유량계의 상태로 누수판단과 누수탐사 ● 누수탐사를 시행하지 않음 | 10 9 8 7 5 |
| 누수 발생 | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 년 8회/10km 이하 ● 년 10회/10km 이하 ● 년 12회/10km 이하 ● 년 15회/10km 이하 ● 년 15회/10km 이상 | 10 9 8 7 5 |
| 녹물 발생 | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 녹물 발생이 없음 ● 녹물발생이 거의 없음 ● 녹물발생이 약간 있음 ● 녹물 자주 발생 ● 녹물이 많이 발생 | 10 9 8 6 4 |
| 관의 스케일 부착 | 10점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 스케일 부착이 없음 ● 스케일 부착이 거의 없음 ● 스케일 부착이 약간 있음 ● 통수 단면적 30% 감소 ● 통수 단면적 50% 감소 | 10 9 8 6 5 |
| 유수율 실적 | 20점 | <ul style="list-style-type: none"> ● 90% 이상 ● 85% 이상 ● 80% 이상 ● 70% 이상 ● 70% 이하 | 20 17 15 12 10 |
| 계 | 100점 | | |

2.4.2 관체의 노후도

관체의 노후도의 평가인자는 상수도관망 진단 매뉴얼¹⁷⁾의 평가기법을 적용하였으며 내용은 다음과 같다.

1) 관체의 노후도 평가를 위한 조건

관체의 노후도를 평가하기 위하여 <표 2-14>와 같이 관체수집을 하였는데 총 37개의 관체를 대상으로 하였으며, 관경은 80~400 mm, 관종은 DTC, DCIP, PVC, PE, CIP였다. 하지만 대전시를 대표하는 관체를 선정하는 기준에 있어서는 적합하였는지를 정확히 판단하는데 어려움이 있었다.

관체를 평가하는데 있어 <표 2-15> 및 <표 2-16>에서 간접·직접평가에 대한 조건값을 제시하였다. 간접평가 기법은 상수관로에 대한 대부분의 데이터를 매설할 당시의 자료 및 유지관로 자료를 이용해 평가를 하게 된다. 이에 기타 외부환경 및 시간경과에 따른 상수관로의 현장특성을 적용하기에 어려움이 따를 수 있다. 직접평가 기법에서도 많은 인자에 대해 조건값을 제시하였지만, 각 세부인자에 의한 평가결과가 상수관로 갱생방법을 선택하는데 도움을 제시할 수 있을 만큼 풍부하지는 않는 것으로 판단된다.

2) 노후도의 직접평가¹⁸⁾

채취한 관체 시료는 37개이며 관경은 80~400 mm이고 PVC, PE, CIP, DCIP, DTC 등의 관종을 채취하였다. 또한, 채취 시료 37개소에 대하여 직접평가법에 의해 노후도를 <표 2-17>과 같이 분석하였다. 직접평가인자의 노후도가 0.75이하 일 때 해당관로의 교체 및 갱생, 0.8이상일 경우 해당관로 상태는 양호, 0.75~0.8일 때는 해당 관로의 관체 상태에 따라 관로의 교체 및 갱생을 검토한다. 직접평가 기법의 적용결과를 보면 대상관로가 합성수지 계열일 경우 비대상인 인자가 많아, 3개(실측내경, 관두께, 수압)의 인자로 평가를 해야 하는 어려움도 있다.

17) 환경부, 상수도진단 매뉴얼, 2007

18) 대전광역시, 대전광역시 수도정비 기본계획(변경) 보고서, 2011

<표 2-14> 관체수집 현황

| 번호 | 조사일 | 위 치 | 관로구분 | 관종 | 관경 | 매설년도 | 비고 |
|----|------|----------------|------|------|------|-------|----|
| 1 | 5.1 | 선화동104-6번지 | 배수관 | DTC | Ø150 | 1989년 | |
| 2 | 5.6 | 덕암동108-2번지 | 배수관 | PVC | Ø75 | 1988년 | |
| 3 | 5.7 | 송강동 199“송강그린A” | 배수관 | DTC | Ø250 | 1992년 | |
| 4 | 5.13 | 문평동48-9번지 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1997년 | |
| 5 | 5.13 | 문평동 8-9번지 | 배수관 | PFP | Ø150 | 1992년 | |
| 6 | 5.13 | 선화동88-1번지 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1987년 | |
| 7 | 5.14 | 용문동277-13번지 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1984년 | |
| 8 | 5.18 | 봉산동206-14번지 | 배수관 | DTC | Ø80 | 2001년 | |
| 9 | 6.2 | 송강동274-14 | 배수관 | DTC | Ø80 | 1992년 | |
| 10 | 6.11 | 대흥동910-10 | 배수관 | DCIP | Ø100 | 1983년 | |
| 11 | 6.9 | 산성동121-26 | 배수관 | DTC | Ø400 | 1995년 | |
| 12 | 6.16 | 송강동8-2“청송APT” | 배수관 | DTC | Ø150 | 1992년 | |
| 13 | 6.18 | 와동240-4 | 배수관 | DTC | Ø300 | 1990년 | |
| 14 | 6.18 | 산성동325-30 | 배수관 | DTC | Ø350 | 1992년 | |
| 15 | 6.17 | 목상동156-8 | 배수관 | DTC | Ø150 | 2004년 | |
| 16 | 6.24 | 송강동24-10 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1992년 | |
| 17 | 6.18 | 목상동148-8 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1992년 | |
| 18 | 6.24 | 신탄진동130-12 | 배수관 | DCIP | Ø100 | 1982년 | |
| 19 | 6.24 | 신탄진동129-5 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1990년 | |
| 20 | 6.24 | 신탄진동128-7 | 배수관 | PE | Ø100 | 1994년 | |
| 21 | 6.24 | 목상동185-3 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1992년 | |
| 22 | 6.18 | 목상동864-12 | 배수관 | DTC | Ø80 | 1992년 | |
| 23 | 6.19 | 목상동145-5 | 배수관 | DTC | Ø80 | 1992년 | |
| 24 | 6.19 | 목상동867-1 | 배수관 | DTC | Ø80 | 1992년 | |
| 25 | 6.25 | 신탄진동159-28 | 배수관 | PE | Ø100 | 1994년 | |
| 26 | 6.25 | 신탄진동161-10 | 배수관 | PE | Ø100 | 1994년 | |
| 27 | 6.25 | 신탄진동136-32 | 배수관 | DCIP | Ø100 | 1982년 | |
| 28 | 6.24 | 선화동84 | 배수관 | CIP | Ø300 | 1962년 | |
| 29 | 6.23 | 연축동산36 | 배수관 | DTC | Ø300 | 1995년 | |
| 30 | 7.2 | 덕암동 186-45 | 배수관 | PVC | Ø150 | 1982년 | |
| 31 | 7.2 | 용문동 276-3 | 배수관 | PE | Ø75 | 1995년 | |
| 32 | 7.2 | 용문동 276-3 | 배수관 | DTC | Ø300 | 1995년 | |
| 33 | 7.8 | 신탄진동 124-11 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1994년 | |
| 34 | 9.2 | 봉명동 550-2 | 배수관 | DTC | Ø100 | 1988년 | |
| 35 | 9.2 | 봉명동551-9 | 배수관 | DTC | Ø80 | 1990년 | |
| 36 | 9.4 | 용전동 66-3 | 배수관 | DTC | Ø150 | 1996년 | |
| 37 | 9.4 | 용전동 63-18 | 배수관 | PVC | Ø80 | 1984년 | |

<표 2-15> 간접평가 인자 및 조건 값

| 번호 | 세부인자 | 분류범위 | 조건값 | 번호 | 세부인자 | 분류범위 | 조건값 |
|----|------|-----------------|------|----|----------------------|------------------|------|
| 1 | 관중 | CIP, GSP | 0.00 | 6 | 토양종류 | 점토 | 0.00 |
| | | PVC, PE,HI-3P | 0.25 | | | 모래+자갈, Loam | 0.25 |
| | | SP, PC, PCC | 0.50 | | | 점토+자갈, Silt | 0.50 |
| | | DCIP | 0.75 | | | 모래질 | 1.00 |
| | | STS,PPF,PEP,PLP | 1.00 | | | | |
| 2 | 관경 | 150mm이하 | 0.00 | 7 | 주변도로 | 산업도로, 고속도로 | 0.00 |
| | | 150-350mm | 0.20 | | | 4차선이상 도로 | 0.25 |
| | | 350-600mm | 0.40 | | | 2차선 도로 | 0.50 |
| | | 600-1,000mm | 0.60 | | | 이면도로 | 0.75 |
| | | 1,000-2,000mm | 0.80 | | | 보도 및 노지 | 1.00 |
| | | 2,000mm초과 | 1.00 | | | | |
| 3 | 내면피복 | 없음 | 0.00 | 8 | 접속방식 | 용접후 도장 | 1.00 |
| | | 에폭시,PE | 0.50 | | | 메카니칼, Push-on j. | 1.00 |
| | | 콜타르에나멜 | 0.75 | | | 열융착 | 0.50 |
| | | 아스팔트도복장 | 0.75 | | | 플랜지, 소켓식, 슬리브 | 0.25 |
| | | 시멘트몰타르 | 1.00 | | | 커플링 | 0.25 |
| 4 | 외면피복 | 없음 | 0.00 | 9 | 누수, 파손 밸브교체 기록 | 5회/5년 50km초과 | 0.00 |
| | | 콜타르에나멜 | 0.75 | | | 3-5회/5년 -50km | 0.25 |
| | | 아스팔트도복장 | 1.00 | | | 1-3회/5년-50km | 0.50 |
| | | | | | | 없음 | 1.00 |
| 5 | 매설년도 | 25년초과 | 0.00 | 10 | 수 질, 수압 등 민원발생 | 5회/5년 초과 | 0.00 |
| | | 20-25년 | 0.25 | | | 3-5년/5년 | 0.25 |
| | | 15-20년 | 0.50 | | | 1-3회/5년 | 0.50 |
| | | 10-15년 | 0.75 | | | 없음 | 1.00 |
| | | 10년이하 | 1.00 | | | | |

<표 2-16> 직접평가인자의 조건 값

| 번호 | 세부인자 | 분류범위 | 조건값 | 번호 | 세부인자 | 분류범위 | 조건값 |
|----|------------|---------|------|----|-------------|---------------------------|------|
| 1 | 실측내경 | 4%초과 | 0.00 | 7 | 관내침전 물두께 | 20mm초과 | 0.00 |
| | | 4-3% | 0.25 | | | 20-15mm | 0.25 |
| | | 3-2% | 0.50 | | | 15-10mm | 0.50 |
| | | 2-1% | 0.75 | | | 10-5mm | 0.75 |
| | | 1%이하 | 1.00 | | | 5mm이하 | 1.00 |
| 2 | 관두께 | 10%초과 | 0.00 | 8 | 내면부식 깊이 | 20mm초과 | 0.00 |
| | | 10-7.5% | 0.25 | | | 20-15mm | 0.25 |
| | | 7.5-5% | 0.50 | | | 15-10mm | 0.50 |
| | | 5-2.5% | 0.75 | | | 10-5mm | 0.75 |
| | | 2.5%이하 | 1.00 | | | 5mm이하 | 1.00 |
| 3 | 도복장두 께 | 10%초과 | 0.00 | 9 | 내면부식 둘레 | 80%초과 | 0.00 |
| | | 10-7.5% | 0.25 | | | 80-60% | 0.25 |
| | | 7.5-5% | 0.50 | | | 60-40% | 0.50 |
| | | 5-2.5% | 0.75 | | | 40-20% | 0.75 |
| | | 2.5%이하 | 1.00 | | | 20%이하 | 1.00 |
| 4 | 외면부식 깊이 | 20%초과 | 0.00 | 10 | 내면피복 박리 | 80%초과 | 0.00 |
| | | 20-15% | 0.25 | | | 80-60% | 0.25 |
| | | 15-10% | 0.50 | | | 60-40% | 0.50 |
| | | 10-5% | 0.75 | | | 40-20% | 0.75 |
| | | 5%이하 | 1.00 | | | 20%이하 | 1.00 |
| 5 | 외면부식 둘레 | 80%초과 | 0.00 | 11 | 최대스케 일두께 | 20mm초과 | 0.00 |
| | | 80~60% | 0.25 | | | 20-15mm | 0.25 |
| | | 60~40% | 0.50 | | | 15-10mm | 0.50 |
| | | 40~20% | 0.75 | | | 10-5mm | 0.75 |
| | | 20%이하 | 1.00 | | | 5mm이하 | 1.00 |
| 6 | 외면피복 박리 | 80%초과 | 0.00 | 12 | 수압 | 7.0kg/cm ² 초과 | 0.00 |
| | | 80-60% | 0.25 | | | 7.0-6.0kg/cm ² | 0.25 |
| | | 60-40% | 0.50 | | | 6.0-5.0kg/cm ² | 0.50 |
| | | 40-20% | 0.75 | | | 5.0-4.0kg/cm ² | 0.75 |
| | | 20%이하 | 1.00 | | | 4.0kg/cm ² 이하 | 1.00 |

<표 2-17> 직접평가 기법의 적용결과

| 번호 | 점수 | 실측 내경 | 관 두께 | 도복장 두께 | 외면 부식 깊이 | 외면 부식 둘레 | 외면 피복 박리 | 관내 침전물 두께 | 내면 부식 깊이 | 내면 부식 둘레 | 내면 피복 박리 | 최대 스케일 두께 | 수압 |
|----|-------------|-------|-------|--------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| 1 | 0.97 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.011 |
| 2 | 0.79 | 0.089 | 0.054 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.011 |
| 3 | 0.96 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 4 | 0.89 | 0.119 | 0.054 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.011 |
| 5 | 0.95 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.011 |
| 6 | 0.82 | 0.060 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.007 | 0.025 | 0.032 | 0.017 |
| 7 | 0.99 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.017 |
| 8 | 0.76 | 0.030 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 9 | 0.74 | 0.060 | 0.054 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 10 | 0.41 | 0.089 | 0.027 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.017 |
| 11 | 0.73 | 0.060 | 0.000 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.017 |
| 12 | 0.90 | 0.119 | 0.027 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 13 | 0.59 | 0.030 | 0.014 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.011 |
| 14 | 0.72 | 0.030 | 0.027 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.017 |
| 15 | 0.86 | 0.089 | 0.041 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 16 | 0.96 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 17 | 0.96 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 18 | 0.92 | 0.119 | 0.054 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.022 |
| 19 | 1.00 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.022 |
| 20 | 0.57 | 0.089 | 0.000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.022 |
| 21 | 0.82 | 0.119 | 0.027 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 22 | 0.85 | 0.119 | 0.041 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 23 | 0.89 | 0.089 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 24 | 0.81 | 0.089 | 0.054 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.006 |
| 25 | 0.57 | 0.089 | 0.000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.022 |
| 26 | 0.72 | 0.119 | 0.000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.022 |
| 27 | 0.64 | 0.000 | 0.054 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.022 |
| 28 | 0.43 | 0.119 | 0.054 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.017 |
| 29 | 0.99 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.017 |
| 30 | 0.94 | 0.119 | 0.054 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.011 |
| 31 | 0.61 | 0.089 | 0.014 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.017 |
| 32 | 0.99 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.017 |
| 33 | 1.00 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.022 |
| 34 | 0.97 | 0.119 | 0.054 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.011 |
| 35 | 0.80 | 0.119 | 0.014 | 0.000 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.011 |
| 36 | 0.88 | 0.119 | 0.000 | 0.037 | 0.014 | 0.012 | 0.019 | 0.065 | 0.015 | 0.014 | 0.033 | 0.032 | 0.022 |
| 37 | 0.85 | 0.089 | 0.054 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.022 |

3) 노후도의 간접평가

점수평가법의 노후도 평가모델은 여러 관련인자들을 등급으로 분류한 후 중요도에 따라 각 점수를 배분하고 점수의 합계에 따라 노후도를 구하는 방법이다. 본 과업에서는 관망매뉴얼의 직접평가법 조건값과 가중치를 적용하여 노후도를 분석하였다. 점수평가법에 필요한 영향인자 및 구분과 조건값은 위의 표를 이용하여 분석하였다. 과업대상지역의 관로에 대한 간접평가법의 적용결과는 다음표와 같다. 간접평가인자의 노후도가 0.45미만일 때에는 해당 관로의 교체 및 갱생을 유도하고 0.6초과일 경우 해당 관로 상태는 양호하다. 0.45~0.6일 때에는 해당관로를 터파기 후 직접평가를 한 후 교체 및 갱생 등의 방법을 검토한다.

4) 관노후도에 대한 간접·직접 평가 결과

채취한 시료 총37개의 관노후도 분석은 간접평가와 직접평가를 비교 분석하여 개대체 우선순위를 결정하였다. 시료 중 합성수지관인 PVC, PE는 직접평가시 직접평가 인자 중에서 일부의 인자만을 채택하여 평가하므로 신뢰도가 떨어진다. 본 분석에서는 합성수지관은 간접평가를 적용하였다. 간접평가와 직접평가 결과의 비교표는 다음의 <표 2-20> 간접, 직접평가 결과와 같다.

간접평가 및 직접평가 결과 개대체 우선순위는 직접평가를 주로하여 선정하였으나, 이 중 직접평가가 어려워 간접평가의 평가결과가 주로 이용될 수 있다. 대전시 수도정비기본계획에서 합성수지관의 경우 특정 부분만을 제외하고 대부분의 구간에서 관체는 건전한 상태로 분석되기 때문에 간접평가를 이용한 분석이 합리적이라 평가를 하였지만, 이러한 가정을 두기에는 미흡한 면이 있었다.

최종적으로는 관체수집의 지정근거가 미흡하였으며, 실제로 상수관로가 파손·누수, 수질악화, 수돗물 통수능력의 저하 등과 같은 결과를 직접적으로 보여주지 못하였다. 더불어, 이어지는 <표 2-21>의 잔존수명이 존재함에도 이러한 자료들이 향후 상수관로의 양호·교체·갱생과 같은 갱생사업 방향을 결정하지 못하는 문제점도 나타났다.

<표 2-18> 간접평가법 영향인자별 자료 현황 - 1

| 관로 번호 | 관종 | 관경 | 내면피복 | 외면피복 | 매설 년도 | 토양 종류 | 주변 도로 | 접속 방식 | 누수, 파손 | 수질, 수압 |
|----------|------|-----|--------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1 | DTC | 150 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1989 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 1회 | 없음 |
| 2 | PVC | 80 | 없음 | 없음 | 1988 | 점토 | 이면도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 3 | DTC | 250 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 보도 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 4 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1997 | 점토+자갈 | 4차선이상 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 5 | PPF | 150 | PE | PE | 1992 | 점토+자갈 | 4차선이상 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 6 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1987 | 점토+자갈 | 2차선도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 7 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1984 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 8 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 2001 | 점토 | 보도 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 9 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 10 | CIP | 100 | 없음 | 없음 | 1983 | 점토 | 이면도로 | 메카니칼 | 1회 | 없음 |
| 11 | DTC | 400 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1995 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 12 | DTC | 150 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 2차선도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 13 | DTC | 300 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1990 | 점토+자갈 | 4차선이상 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 14 | DTC | 350 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1990 | 점토 | 보도 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 15 | DTC | 150 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 2004 | 점토+자갈 | 2차선도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 16 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 17 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 보도 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 18 | DCIP | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1982 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 19 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1990 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 20 | PE | 100 | 없음 | 없음 | 1994 | 점토+자갈 | 이면도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 21 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 22 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 23 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 24 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1992 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 25 | PE | 100 | 없음 | 없음 | 1994 | 점토+자갈 | 이면도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 26 | PE | 100 | 없음 | 없음 | 1994 | 점토+자갈 | 이면도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 27 | DCIP | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1982 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 28 | CIP | 300 | 없음 | 없음 | 1962 | 점토+자갈 | 2차선도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 29 | DTC | 300 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1995 | 점토+자갈 | 4차선이상 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 30 | PVC | 150 | 없음 | 없음 | 1982 | 점토+자갈 | 2차선도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 31 | PE | 80 | 없음 | 없음 | 1995 | 점토+자갈 | 보도 | 소켓식 | 없음 | 없음 |
| 32 | DTC | 300 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1995 | 점토+자갈 | 보도 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 33 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1994 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 34 | DTC | 100 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1988 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 35 | DTC | 80 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1990 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 36 | DTC | 150 | 시멘트몰타르 | 아스팔트도복장 | 1996 | 점토+자갈 | 이면도로 | 메카니칼 | 없음 | 없음 |
| 37 | PVC | 80 | 없음 | 없음 | 1984 | 점토+자갈 | 이면도로 | 소켓식 | 없음 | 없음 |

<표 2-19> 간접평가법 영향인자별 자료 현황 - 2

| 관로 번호 | 계 | 관중 | 관경 | 내면 피복 | 외면 피복 | 매설 년도 | 토양 종류 | 주변 도로 | 접속 방식 | 누수, 파손 | 수질, 수압 |
|----------|-------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 0.68 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 2 | 0.40 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.150 | 0.000 | 0.015 | 0.010 | 0.060 | 0.060 |
| 3 | 0.72 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 4 | 0.79 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.005 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 5 | 0.67 | 0.120 | 0.004 | 0.050 | 0.023 | 0.150 | 0.030 | 0.005 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 6 | 0.57 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.075 | 0.030 | 0.010 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 7 | 0.62 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.075 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 8 | 0.86 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.300 | 0.000 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 9 | 0.64 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.000 | 0.015 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 10 | 0.23 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.075 | 0.000 | 0.015 | 0.040 | 0.000 | 0.060 |
| 11 | 0.81 | 0.090 | 0.008 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 12 | 0.71 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.010 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 13 | 0.70 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.005 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 14 | 0.65 | 0.090 | 0.008 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.000 | 0.020 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 15 | 0.86 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.300 | 0.030 | 0.010 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 16 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 17 | 0.72 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 18 | 0.49 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.000 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 19 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 20 | 0.49 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.010 | 0.030 | 0.060 |
| 21 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 22 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 23 | 0.67 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 24 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 25 | 0.49 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.010 | 0.030 | 0.060 |
| 26 | 0.53 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.010 | 0.060 | 0.060 |
| 27 | 0.52 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.000 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 28 | 0.25 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.010 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 29 | 0.80 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.005 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 30 | 0.25 | 0.030 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.010 | 0.010 | 0.060 | 0.060 |
| 31 | 0.50 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.225 | 0.030 | 0.020 | 0.010 | 0.030 | 0.060 |
| 32 | 0.81 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 33 | 0.77 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.030 | 0.060 |
| 34 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 35 | 0.71 | 0.090 | 0.000 | 0.100 | 0.030 | 0.150 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 36 | 0.81 | 0.090 | 0.004 | 0.100 | 0.030 | 0.225 | 0.030 | 0.015 | 0.040 | 0.060 | 0.060 |
| 37 | 0.35 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.075 | 0.030 | 0.015 | 0.010 | 0.060 | 0.060 |

<표 2-20> 간접, 직접평가 결과

| 관로번호 | 직접평가 | 간접평가 | 직접평가에 의한 개대체우선순위 | 비 고 |
|------|------|------|---------------------|-------|
| 1 | 0.97 | 0.68 | 31 | 양호 |
| 2 | 0.79 | 0.40 | 13 | 교체 |
| 3 | 0.96 | 0.72 | 29 | 양호 |
| 4 | 0.89 | 0.79 | 23 | 양호 |
| 5 | 0.95 | 0.67 | 27 | 양호 |
| 6 | 0.82 | 0.57 | 16 | 양호 |
| 7 | 0.99 | 0.62 | 33 | 양호 |
| 8 | 0.76 | 0.86 | 12 | 갱생,교체 |
| 9 | 0.74 | 0.64 | 11 | 갱생,교체 |
| 10 | 0.41 | 0.23 | 1 | 교체 |
| 11 | 0.73 | 0.81 | 10 | 갱생,교체 |
| 12 | 0.90 | 0.71 | 24 | 양호 |
| 13 | 0.59 | 0.70 | 5 | 갱생,교체 |
| 14 | 0.72 | 0.65 | 8 | 갱생,교체 |
| 15 | 0.86 | 0.86 | 20 | 양호 |
| 16 | 0.96 | 0.71 | 28 | 양호 |
| 17 | 0.96 | 0.72 | 29 | 양호 |
| 18 | 0.92 | 0.49 | 25 | 양호 |
| 19 | 1.00 | 0.71 | 36 | 양호 |
| 20 | 0.57 | 0.49 | 3 | 교체 |
| 21 | 0.82 | 0.71 | 21 | 양호 |
| 22 | 0.85 | 0.71 | 18 | 양호 |
| 23 | 0.89 | 0.67 | 22 | 양호 |
| 24 | 0.81 | 0.71 | 15 | 양호 |
| 25 | 0.57 | 0.49 | 3 | 교체 |
| 26 | 0.72 | 0.53 | 9 | 교체 |
| 27 | 0.64 | 0.52 | 7 | 교체 |
| 28 | 0.43 | 0.25 | 2 | 교체 |
| 29 | 0.99 | 0.80 | 34 | 양호 |
| 30 | 0.94 | 0.25 | 26 | 교체 |
| 31 | 0.61 | 0.50 | 6 | 교체 |
| 32 | 0.99 | 0.81 | 35 | 양호 |
| 33 | 1.00 | 0.77 | 37 | 양호 |
| 34 | 0.97 | 0.71 | 32 | 양호 |
| 35 | 0.80 | 0.71 | 14 | 양호 |
| 36 | 0.88 | 0.81 | 21 | 양호 |
| 37 | 0.85 | 0.35 | 19 | 교체 |

5) 잔존수명 예측

채취한 시료의 측정된 잔존두께와 수집된 관로 정보 등을 이용하였으며, 관체의 부식이 예상되는 금속관(CIP, DCIP, DTC)을 대상으로 잔존수명을 예측하였으며, 이중 관 두께가 기준보다 초과되는 관체는 제외하고 잔존수명을 산정하였다.

잔존수명을 추정한 29개소의 시료 중 16개소는 관 두께의 기준보다 현재 관 두께가 두꺼웠기 때문에 부식속도를 산정할 수 없었다. 매설당시의 관체 정보를 정확히 알 수 없으며, 실질적으로 잔존수명을 예측하기 위해서는 매설년도 당시 관의 정확한 관련자료의 확보가 필요하다.

<표 2-21> 잔존수명 추정

| 구분 번호 | 관종 | 관경 | 매설 년도 | 기준 | 측정값 | 추정값 | 측정값 | 잔존수명 추정값 (mm/year) | 비고 |
|----------|------|-----|----------|-------------|----------------|---------------------|--------------|--------------------------|----|
| | | | | 관두께 (mm) | 관 두께 평균(mm) | 평균부식속도 (mm/year) | 최소두께 (mm) | | |
| 9 | DTC | 80 | 1992 | 7.4 | 6.5 | 0.053 | 6 | 113.333 | |
| 10 | CIP | 100 | 1983 | 8.3 | 7.1625 | 0.044 | 6.4 | 146.286 | |
| 11 | DTC | 400 | 1995 | 9.9 | 8.075 | 0.130 | 7.2 | 55.233 | |
| 13 | DTC | 300 | 1990 | 8.8 | 7.46 | 0.071 | 7.3 | 103.507 | |
| 14 | DTC | 350 | 1990 | 9.4 | 8.125 | 0.067 | 8 | 119.216 | |
| 18 | DCIP | 100 | 1982 | 7.5 | 7.35 | 0.006 | 6.8 | 1,224.000 | |
| 19 | DTC | 100 | 1990 | 7.5 | 7.075 | 0.022 | 6.9 | 308.471 | |
| 21 | DTC | 100 | 1992 | 7.5 | 7 | 0.029 | 6.3 | 214.200 | |
| 24 | DTC | 80 | 1992 | 7.4 | 6.9 | 0.029 | 6.6 | 224.400 | |
| 29 | DTC | 300 | 1995 | 8.8 | 8.3 | 0.036 | 8 | 224.000 | |
| 32 | DTC | 300 | 1995 | 8.8 | 8.1375 | 0.047 | 7.9 | 166.943 | |
| 34 | DTC | 100 | 1988 | 7.5 | 7.325 | 0.008 | 7.05 | 846.000 | |
| 36 | DTC | 150 | 1996 | 7.7 | 6.65 | 0.081 | 5.9 | 73.048 | |

6) 개략 사업비

직접평가와 간접평가 결과 갱생이 필요한 관로의 교체 개략사업비를 산정하였다. 순수한 관로 교체만을 사업비로 산정하였다.

<표 2-22> 관로교체 개략 사업비

| 관로 번호 | 위 치 | 현 재 | | | 사업비 (백만원) | 비고 |
|----------|-----------------------|------|------------|--------------|--------------|----|
| | | 관종 | 관경 (mm) | 연장 (m) | | |
| 계 | | | | 1,800 | 366.7 | |
| 2 | 덕암동108-1 ~ 108-2번지 | PVC | 80 | 190 | 45.6 | |
| 10 | 대흥동 910-23 ~ 910-4번지 | CIP | 100 | 400 | 76.1 | |
| 20 | 신탄진동 128-1 ~ 7번지 | PE | 100 | 121 | 16.9 | |
| 25 | 신탄진동 159-4 ~ 28번지 | PE | 100 | 114 | 15.9 | |
| 26 | 신탄진동 161-10 ~ 18번지 | PE | 100 | 110 | 15.4 | |
| 27 | 신탄진동 133-3 ~ 136-32번지 | DCIP | 100 | 62 | 8.7 | |
| 28 | 선화동83-11 ~ 은행동84번지 | CIP | 300 | 235 | 57.5 | |
| 30 | 석봉동 186-45 ~ 406-9번지 | PVC | 100,150 | 393 | 107.2 | |
| 31 | 용문동 276-1 ~ 3번지 | PE | 80 | 77 | 10.3 | |
| 37 | 용전동 63-13 ~ 18번지 | PVC | 80 | 98 | 13.1 | |

2.4.3 대전시 소블록 일반진단 및 전문기술진단 예시(소제50-1)

1) 진단대상 소블록

대전 수도정비기본계획(2012년)에서 전체 소블록 251블록에 대하여 일반기술진단을 한 결과 소블록 평가 총괄표와 같이 60~69점으로 평가된 '불량'인 소블록 11개 블록에 대하여 전문기술진단을 할 수 있었다.

전문기술진단 대상 소블록은 소제50-1블록, 신안51블록, 선화18블록, 보문가압블록, 변동43블록, 원내158블록, 지족163블록, 비래92블록, 중리94블록, 대화98블록이며, 소제50-1블록과 신안51블록은 진행과정 중 블록이 통합되었다. 원내158블록 및 지족163블록, 대화98블록은 우수율제고사업의 가장 중요한 유량분석을 할 수 있는 유량계가 설치되어 있지 않은 실정으로 우수율 분석 및 누수량 측정관리가 어려운 실정이다.

2) 진단결과 예시 (소제50-1)

전문기술진단 대상 소블록에서 소제50-1블록에 대한 누수탐사, 수압측정, 관노후도 간접평가 및 정비계획은 다음과 같다.

3) 누수탐사

본 블록의 누수탐사 결과는 다음의 <표 2-23>과 같다. 1차 유량측정 결과 야간최저유량이 높게 측정되어 1차 누수탐사를 한 결과 6개소의 누수를 발견하여 수선하였으며 시간을 두고 2차 유량측정에 앞서 누수탐사를 한 결과 1개소의 누수를 발견하였다. 2차 유량측정은 1차 유량보다 많이 낮아졌으나 대전광역시의 기준에 적합하지 않아 누수탐사를 다시 하여 2개소의 누수를 더 찾아 수선하였다. 이중 200mm의 공기밸브에서 발견된 누수의 양이 많았다.

<표 2-23> 누수탐사 결과

| 번호 | 일자 | 누수위치 | 누수관내역 | | | | | | 방지량 (m ³ /일) | 비고 |
|----|------|------------|-------|-----|-----|------|------|------|----------------------------|----|
| | | | 관종 | 관경 | 수압 | 누수부위 | 누수원인 | 파열정도 | | |
| 1 | 3.19 | 신안동222-19 | PVC | 32 | 4.0 | 소켓 | 노후 | 1/7 | 9.1 | |
| 2 | 3.19 | 소제동299-112 | 강관 | 32 | 4.0 | 지관 | 부식 | 1/5 | 12.5 | |
| 3 | 3.19 | 삼성동100-33 | PVC | 25 | 4.0 | 소켓 | 폐관미비 | 1/10 | 3.8 | |
| 4 | 3.19 | 삼성동132-12 | PE | 150 | 4.5 | 이음부 | 노후 | 1/10 | 305.5 | |
| 5 | 3.19 | 삼성동80-96 | PVC | 16 | 4.5 | 직관 | 폐관미비 | 1/5 | 26.0 | |
| 6 | 3.19 | 삼성동150-54 | PVC | 16 | 4.5 | 소켓 | 폐관미비 | 1/10 | 3.1 | |
| 7 | 5.21 | 정동1-22 | PVC | 50 | 4.3 | 소켓 | 노후 | 1/10 | 15.9 | |
| 8 | 6.5 | 신안동222-5 | PVC | 25 | 4.0 | 소켓 | 노후 | 1/5 | 10.6 | |
| 9 | 6.24 | 삼성동150-25 | CIP | 200 | 4.0 | 공기밸브 | 자재불량 | 1/10 | 1,598.4 | |

4) 수압측정

소제50-1블록의 수압측정을 시행하여 블록내의 급수상태를 수리계산 데이터와 비교 분석하여 관망의 적정성을 분석하였다. 수리계산 결과 유량계에서 측정지점까지 손실수두가 0.29~0.61 m가 예상되나 수압측정결과 손실수두가 10.01~12.64 m가 발생하였다. 이는 관노후가 원인이라 판단된다.

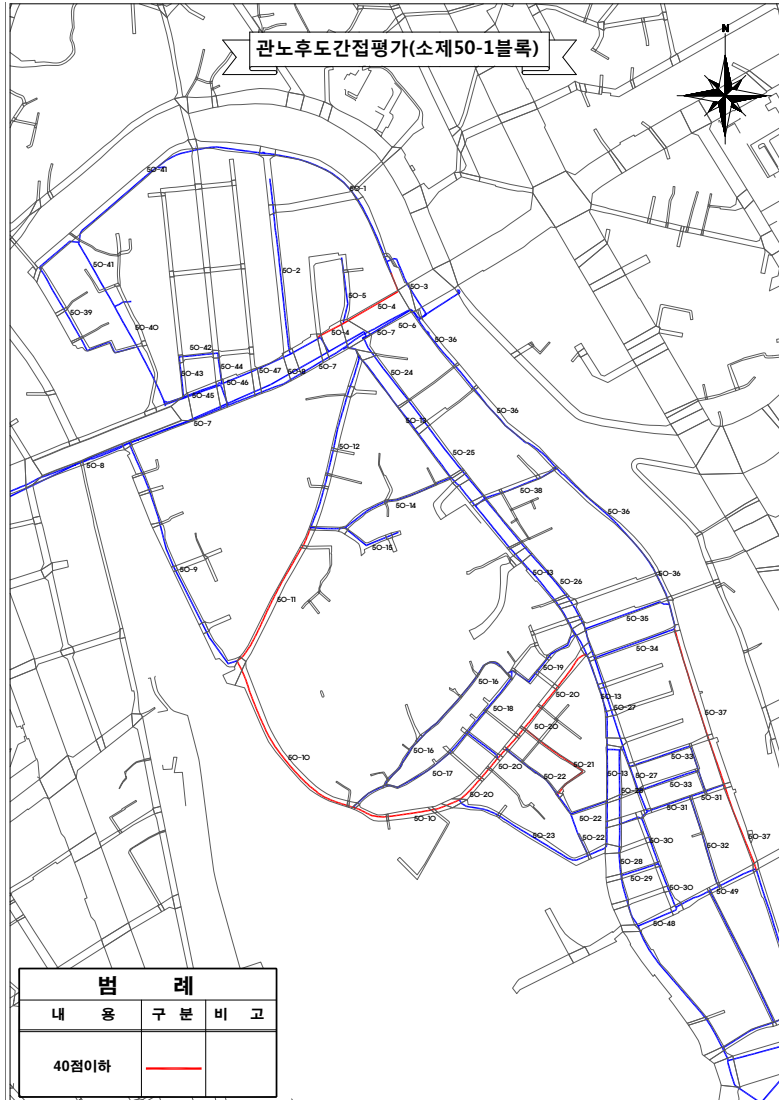
<표 2-24> 수압측정 결과 및 수리계산과의 비교

| 측정위치 | 지반고(m) | 수압(kgf/cm ²) | | 동수두(m) | | 비고 |
|------|--------|--------------------------|------|--------|-------|----|
| | | 최대 | 최소 | 최대 | 최소 | |
| 1 | 50.41 | 5.54 | 4.84 | 105.81 | 98.81 | |
| 2 | 50.48 | 5.27 | 4.57 | 103.18 | 96.18 | |

| 유량계지점 동수두(m) | 수리계산 | | | 실측수압 | | |
|-----------------|--------|---------|------|--------|---------|-------|
| | 동수두(m) | 손실수두(m) | | 동수두(m) | 손실수두(m) | |
| 108.82 | 1 | 108.21 | 0.61 | 1 | 98.81 | 10.01 |
| | 2 | 108.53 | 0.29 | 2 | 96.18 | 12.64 |

5) 관노후도 간접평가

관노후도 간접평가 결과 40점 이하로 평가된 관이 1,082.13 m로 분석되었으며 이 중 CIP가 871.65 m이며, PE관이 210.48 m를 차지하고 있다. CIP는 1965년과 1967년에 매설된 관으로 교체가 이루어져야 할 것이다.



<그림 2-8> 소제50-1블록 간접평가

<표 2-25> 관노후도 간접평가

| 점수 관경 | 계 | 40점이하 | 41-50점 | 51-60점 | 61-70점 | 71-80점 | 81점이상 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| 계 | 7,141.68 | 1,082.13 | 1,654.91 | 1,370.24 | 1,390.94 | 775.12 | 868.34 |
| 80mm | 266.00 | - | 86.27 | 106.00 | - | 73.73 | - |
| 100mm | 2,682.21 | 249.94 | 718.32 | 683.52 | 350.68 | 594.12 | 85.63 |
| 150mm | 2,157.71 | 832.19 | 424.62 | 0.00 | 450.65 | 37.01 | 413.24 |
| 200mm | 1,695.52 | - | 155.72 | 580.72 | 589.61 | - | 369.47 |
| 300mm | 70.26 | - | - | - | - | 70.26 | - |
| 600mm | 269.98 | - | 269.98 | - | - | - | - |

6) 소제50-1블록 정비계획

소제50-1블록의 기 설치된 터빈식유량계를 위치 이전하여 설치 계획하였으며, 블록내 1965년과 1967년 매설된 CIP의 교체 및 신안51블록과 연계하여 관말 지점 해소를 위해 순환관로 부설을 계획하였다. 또한 블록의 수압 분포를 상시 파악 할 수 있는 수압계 설치할 수 있도록 계획하였다. 정비계획은 다음과 같다.

<표 2-26> 소제50-1블록 정비계획

| 구분 번호 | 위치 | 정비내역 | | | 사업비 (백만원) | 비고 |
|----------|------------------------|------|-------|------|--------------|----|
| | | 내용 | 관경 | 수량 | | |
| 계 | | | | | 225.37 | |
| NO.1 | 삼성동 147-25번지 | 유량계 | 200mm | 1개소 | 44.16 | |
| NO.2 | 삼성동 131-7번지 | 제수밸브 | 200mm | 1개소 | 10.97 | |
| NO.3 | 삼성동 103-7 ~ 100-60번지 | 관로교체 | 150mm | 480m | 81.6 | |
| NO.3-1 | 삼성동 103-7번지앞 | 제수밸브 | 150mm | 1개소 | 10.56 | |
| | | 수압계 | - | 1개소 | 8.34 | |
| NO.3-2 | 삼성동 100-29번지 | 제수밸브 | 150mm | 1개소 | 10.56 | |
| NO.4 | 소제동 299-126 ~ 299-28번지 | 관로교체 | 150mm | 250m | 42.5 | |
| NO.4-1 | 소제동 299-139번지 | 수압계 | - | 1개소 | 8.34 | |
| NO.5 | 삼성동 80-170번지 | 수압계 | - | 1개소 | 8.34 | |

<표 2-27> 11개 불량 블록의 전문기술진단

| | 관로 | | 기타정비 | | 총사업비 (백만원) | 노후도 | 실측수두 (m) | 실측손실수두 (m) |
|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|---------------------|-------------|---------------|
| | 정비내역 | 사업비 (백만원) | 정비내역 | 사업비 (백만원) | | | | |
| 소제 50-1블록 | 관로교체 | 124.10 | 유량계, 제수밸브, 수압계 | 101.27 | 225.37 | CIP, PE관 노후도 높음 | 96.18 | 10.01 |
| 신안 51블록 | 관로신설, 교체 | 100.27 | 유량계, 제수밸브, 수압계 | 139.47 | 239.74 | CIP관 노후도 높음 | 93.86 | 4.47 |
| 선화 18블록 | 관로신설, 교체 | 14.87 | 제수밸브, 수압계 | 35.11 | 49.98 | PVC관 노후도 높음 | 92.85 | 15.19 |
| 보문 가압블록 | 관로신설, 연결, 폐쇄 | 105.29 | 제수밸브, 수압계 | 107.50 | 212.79 | CIP, PE관 노후도 높음 | 162.15 | 6.95 |
| 변동 43블록 | 관로교체, 폐쇄 | 49.91 | 제수밸브, 수압계 | 200.86 | 250.77 | CIP, PVC관 노후도 높음 | 100.27 | 1.01 |
| 도릉 128블록 | 관로신설 | 19.18 | 유량계, 제수밸브, 수압계 | 140.18 | 159.36 | PE관 노후도 높음 | 94.32 | 4.00 |
| 원내 158블록 | 관로신설 | 30.10 | 제수밸브, 수압계 | 73.70 | 103.8 | 노후도 양호 | 93.07 | 3.56 |
| 지족 163블록 | 관로신설, 폐쇄 | 128.36 | 유량계, 제수밸브, 수압계 | 100.94 | 229.3 | 노후도 양호 | 95.84 | 0.34 |
| 비래 92블록 | 관로폐쇄 | 0.97 | 수압계 | 8.34 | 9.31 | PE관 노후도 높음 | 102.14 | 1.53 |
| 중리 94블록 | 관로신설, 확장, 폐쇄 | 122.55 | 제수밸브, 수압계 | 107.52 | 230.07 | 관리대상 관로 있음 | 93.05 | 8.17 |
| 대화 98블록 | 관로신설, 교체 | 103.94 | 유량계, 제수밸브, 수압계 | 165.02 | 268.96 | PVC관 노후도 높음 | | |

대전시 소블록 일반기술진단 및 전문기술진단은 관노후도 간접·직접평가가 아닌, 누수탐사, 수압측정 등을 거쳤다. 그렇기 때문에 관로의 노후특성을 보다 정확하게 파악하여 갱생을 제시할 수 있는 자료로 활용이 가능하였다. 반면에 노후도에 대한 특성검토가 미흡한 면이 있어 관로의 갱생방법에 대한 선정이 교체위주로 계획이 되었다.

2.4.4 대전시 상수관로 갱생계획

상수도 관련 비용을 보면 전국적으로 관로교체에 많은 비용이 투입되고 있다. 정수장 신설의 완료 및 노후관로의 증가 현상을 비교해 보면 앞으로는 상수관로 갱생에 대한 보다 다양한 접근이 필요하다.

이에 대전시에서는 <표 2-12>의 소블록 평가, <표 2-17>의 점수평가, <표 2-20>의 간접, 직접평가, <표 2-21>의 잔존수명 추정, <표 2-23>의 누수탐사, <표 2-24>의 수압측정 및 수리계산, <표 2-25>의 관노후도 간접평가와 같이 다양한 형태의 상수관로 조사가 이루어졌다. 특히, 대전광역시 전체 소블록 251블록에 대한 일반 기술진단 결과 60~69점으로 평가된 '불량'의 11개 소블록에 대하여 <표 2-27>과 같이 전문기술진단을 하였다. 이와 같은 진단 및 검토결과 대전시는 배수관 및 급수관에 대하여 다음과 같은 갱생계획을 수립하였다.

○ 배수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 매년 발생하는 노후관 : 2010년 예산확정으로 2010년, 2011년 발생 노후관은 2012~2015년까지 교체하는 것으로 계획

○ 급수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 2010년, 2011년 사업비 예산을 제외한 물량에 대해서는 2012~2015년까지 교체하는 것으로 계획

그러나, 이러한 평가 및 조사가 이루어졌음에도 <표 2-22>의 관로교체 개략사업비 및 <표 2-26>의 정비계획과 같이 상수관로의 노후특성을 고려하지 못하고 교체위주의 갱생계획을 수립하고 있는 것은 문제점으로 지적할 수 있다¹⁹⁾.

19) <표 부록-5>의 노후관 갱생계획 사업에서도 교체위주의 사업만이 제시되어 있음

제5절 관련 연구 및 사례

2.5.1 세종시 수도정비기본계획

1) 계량기 불감수량

현재 전국 평균 무수율은 약 29% 정도이고 이중 가장 비중이 큰 항목은 누수율이 16%, 다음으로 계량기 불감율이 5~10% 정도인 것으로 알려져 있다. 본 행정중심복합도시의 경우 도시건설시 불감율이 적고 정도가 높은 계량기를 보급하여 계량기 불감수량을 최소화할 예정이며, 향후 블록화를 통해 계량기 불감수량에 대한 체계적인 장치를 마련하여 지속적인 교체를 진행할 예정이다.

2) 누수량 저감대책

무수율의 대부분이 누수에 의한 것으로 알려져 있으며, 누수발생의 원인 중 수도관 노후에 의한 누수가 가장 큰 비중을 차지한다.

정부는 현재 수돗물 누수로 인한 경제적 손실을 인식하여 누수율을 선진국 수준으로 감소시키고 유수율을 제고시키기 위해 누수탐사 및 노후수도관 교체 사업을 추진하고 있다. 1997년부터 2011년까지 총 3조 8,319억원을 투자하여 노후수도관 42,757 km 등을 교체 중에 있다.

행정중심복합도시의 경우에는 신설도시의 배수관망이므로 시공 시 품질기준과 관리, 감리를 강화하여 향후 누수율 감소를 이룰 수 있도록 고품질 시공 및 검사를 시행하여 맑고 깨끗한 수돗물을 공급함으로써 주민건강 증진 및 주거환경 개선에 기여하고 누수량을 저감하여 상수도 재정 건실화와 귀중한 수자원 낭비요소를 제거하기 위해 지속적으로 추진하도록 계획하였다. 내용에 따라 본 설계 신설관의 유효율은 95%로 정하고 시간이 경과한다고 하더라도 블록시스템의 도입, 원격감시시스템의 도입, GIS를 활용한 관망관리, 노후관 및 누수위험지역에 대한 지속적인 관리를 통해 유효율을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단하였다.

가. 노후 배·급수관 교체

향후 행정중심복합도시의 신설관이 연차적으로 시간이 경과하여 노후관으로 전환되는 경우 이에 대한 내용을 자세히 조사하여 이를 데이터베이스화하고 연차별 교체계획을 수립하여 진행하는 것이 바람직하다.

특히, 노후관 판정에 대한 특별한 기준이 없어 통상 지자체에서 20년을 기준으로 평가하고 있는데 관망진단 등을 통해 관의 성능을 다각도로 평가하고 통계적 기법을 이용한 관경별 노후관 자체 판정기준을 마련하여 이를 통해 노후관 교체계획을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

급수관의 교체 시에는 적정 급수관경을 산출하여 시행하고 계량기의 노후도를 평가하여 계량기 교체 필요시에는 함께 시행하도록 한다. 또한, 폐급수관은 제거하는 것을 원칙으로 하고 폐급수분기점은 반드시 적합한 방법으로 누수가 발생하지 않도록 마감 처리하는 것이 중요하다.

나. 수압균등화

노후관을 교체하고 수압이 과도하게 높아지는 지역을 배제함으로써 기존 누수량을 저감하고 누수발생확률 또한 감소시킬 수 있다. 이를 위해서는 적소에 감압밸브가 필요하며 이를 실시간으로 조절하기 위해서는 TM/TC의 적용이 불가피하다. 또한, 배수관망 계획 시부터 고수압 발생지역이 발생하지 않도록 계획하는 것이 바람직하다.

행정중심복합도시에는 수압 및 유량관리를 기초로 한 블록시스템을 도입하여 신설되는 도시로, 이러한 계획 수립에 있어서의 기초적 여건이 유리하다고 할 수 있다.

다. 관 내부 및 외부 부식

토양의 부식성을 평가하여 적합한 관종을 선정하도록 하고 수압을 모니터링하여 수압이 급격하게 저하된 지역을 평가하여 원인이 관내부 부식 및 단면감소로 의심될 경우 관체 sample을 채취하여 관 내부 상태를 점검할 수 있도록 한다. 또한, 관 내부 검사결과 내부 부식과 결절 및 스케일로 인한 단면감소가 심각할 경우에는 관로를 갱생할 수 있도록 이를 검토한다.

2.5.2 상수관로 갱생 사례 및 연구

1) 노후관의 갱생절차

가. 정보수집

- 관체정보 : 관경, 매설년도, 재질, 접합 등
- 매설환경 정보 : 포장종별, 토양, 교통량 등
- 수리·수질정보 : 수압, 유량, 잔류염소농도, pH 등
- 사고민원정보 : 사고이력, 원인, 상태, 형향, 적수 등
- 사회적 정보 : 관로의 중요도, 수도량, 수도지역의 특성 등

나. 정보관리

- 대장/도면/데이터베이스에 의한 관리
- Computer mapping System에 의한 관리

다. 관로진단

- 직접진단법 : 시험관을 직접 채취하고 관체의 부식상황, 녹덩어리 발생상황, 토양의 부식성 등을 조사
- 간접진단법 : 과거 사고이력이나 관로정보의 통계처리결과를 이용한 진단
- 관로진단은 우선 간접적 진단으로 대략적인 정보를 얻은 후 더욱 상세한 상황과악이 필요한 경우에는 직접진단법을 이용하는 것이 합리적임

라. 갱생의 우선순위 결정

- 관로진단결과, 관로의 중요도, 관로갱생효과, 시공조건 등을 종합적으로 평가하여 우선순위를 결정

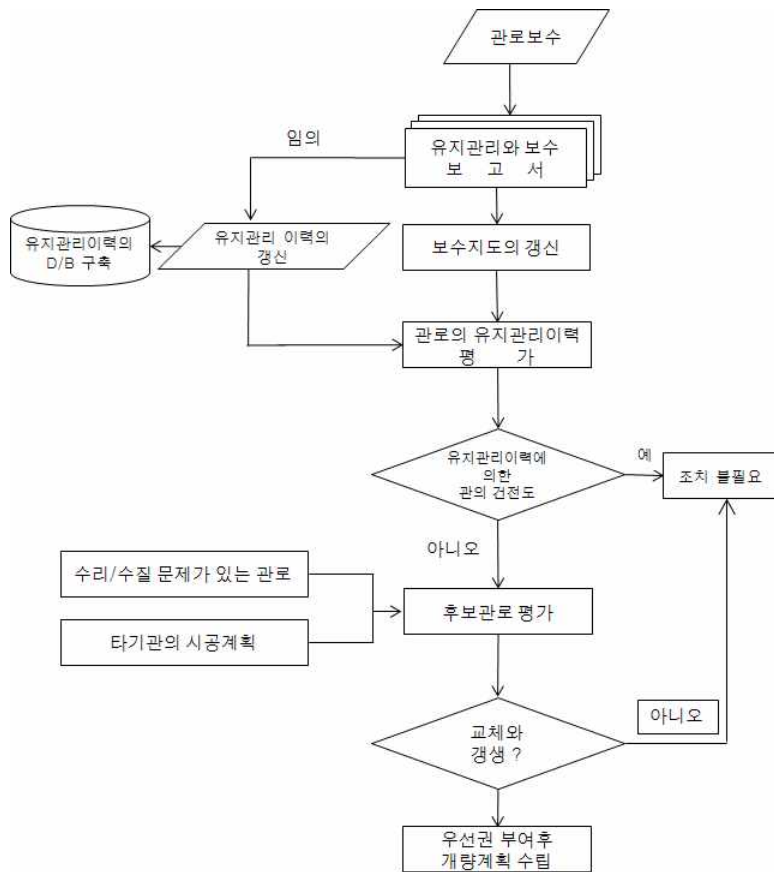
마. 갱생공법의 선정

- 갱생의 목적에 적합하며 가정 경제적인 방법을 선택

2) 갱생계획의 수립방법

가. 대응적 진단

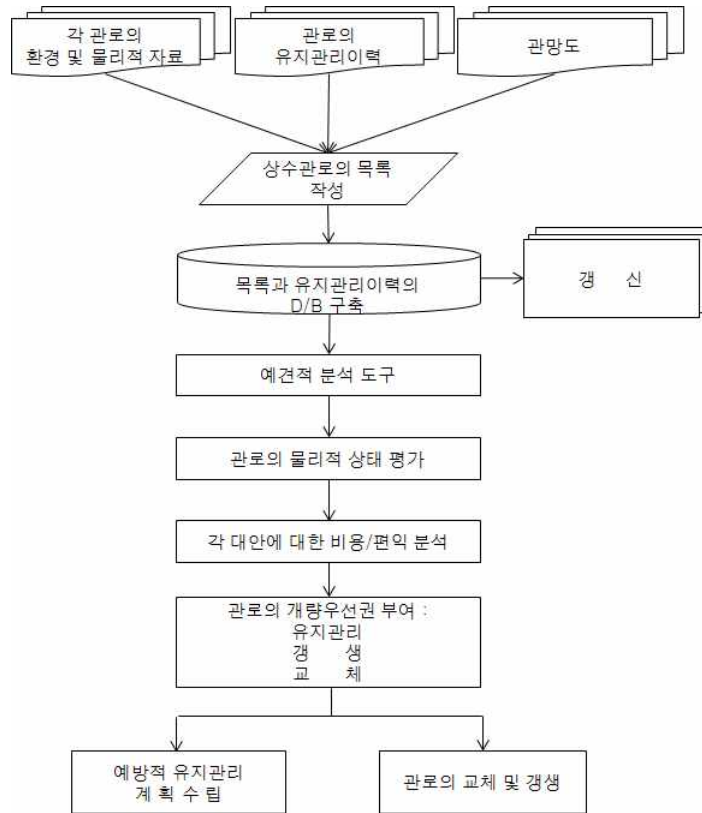
관이 노후화되어 누수나 파손이 발생한 관로를 보수한 직후에 작성되는 보고서와 누수지도 및 유지관리 기록을 이용하여 관로의 건전도를 평가하고 갱생계획을 세우는데 사용되는 방법이다. 이 방법에서는 갱생계획을 수립하는데 유지관리 보수 보고서, 유지관리 이력 D/B, 관로 유지관리이력의 평가 및 건전도, 타 기관의 시공 계획 등에 의하여 후보관로를 평가하고 교체와 갱생 중에서 선택을 하게 된다.



<그림 2-9> 갱생계획의 대응적 진단

나. 예측적 진단²⁰⁾

각 관로에 대한 종합적인 정보와 예측도구를 바탕으로 관로의 현재 및 물리적 상태를 평가하여 체계적인 갱생계획을 수립하는데 이용되는 방법이다. 예측적 진단을 위해서는 관로의 환경·물리적 자료, 관로의 유지관리이력, 관망도, 유지관리이력의 D/B, 관로의 물리적 상태 평가 및 대안에 대한 비용/편익 분석에 의하여 유지관리, 갱생, 교체 등의 갱생우선권을 부과하게 된다.



<그림 2-10> 갱생계획의 예측적 진단

20) 한국수자원공사, 수도관 갱생을 위한 의사결정 시스템 개발, 1995

3) 갱생계획의 사례연구

가. 大阪市

- 석면시멘트관로, 1954년 이전에 매설된 内面無라이닝의 관로, 부식성 토양에 매설되어 사고 우려가 있는 관로, 매설깊이나 위치가 부적당한 관로 등을 갱생의 대상으로 선발
- 갱생의 우선순위와 갱생공법은 적수 발생상황, 사고이력, 관로의 중요도, 시공조건 등에 관한 조사, 사내일원 관체조사, 지진시 관로의 위험도조사, 그리고 관로진단 모델의 진단결과 등을 종합적으로 고려하여 결정

나. Denver Water Department(DED, USA)

- DWD는 누수와 파손기록으로 교체의 필요성을 평가하고 배수관망의 수리 분석을 바탕으로 관망에 대한 수리개선의 필요성을 평가할 수 있는 교체와 수리개선의 통합계획법으로 관로를 갱생
- 갱생의 절차는 다음과 같음
 - 지난해까지 실시한 시공활동을 추천후보에서 삭제
 - 부식이나 관망의 수리개선을 위해 선별된 교체 후보관로를 검토
 - 교체대상 관로를 부식, 수리, 접합부 부식으로 분류하고 수리개선이 필요한 후보관로의 목록을 작성
 - 점수에 교체후보관로를 정렬
 - 수리적 교체는 10점, 접합부의 누수나 부식으로 인한 교체는 13점을 한계점으로 설정
 - 장래의 교체후보목록을 준비
 - 도로포장이나 다른 수도사업체의 시공이 요구되는 작업은 별도로 정돈
 - 예비적인 목록의 유지관리 검토
 - 시공지역별로 최종목록을 작성
 - 시공계획서 작성

다. Louisville Water Company (LWC, USA)

- 각 인자에 상대적인 가중치를 부과한 점수평가 시스템을 이용해 교체대상 관로에 대한 우선순위를 결정

라. East Bay Municipal Utility District (EBMUD, USA)

- EBMUD는 누수와 파손에 관한 보수비용 자료를 이용해 소구경 관로의 갱생시기를 결정하는 비용·편익분석법을 이용하고 있음
- 갱생에 대한 경제성 평가가 관로갱생 우선순위에 영향을 미치기는 하나, 관로의 갱생(갱생이나 교체)에 대한 우선순위는 EBMUD 내부의 위원회에서 결정됨
- 위원회는 공식화된 점수시스템(Point Score System)을 이용하기 보다는 갱생대상관로마다 각 평가인자가 미치는 상대적인 중요성에 고려해 우선순위를 결정

마. Philadelphia Water Department (PWD, USA)

- PWD는 현장의 수질과 수압의 불평정보를 이용하여 갱생 후보관로를 선별. 또한 하수도 재공사, 가스관 교체 또는 도로 재시공작업 등이 계획된 도로의 아래에 위치한 관로도 평가후보관로로 선별됨
- PWD는 1960년 초부터 관로의 매설년수, 파손건수 등의 5가지 주요기준을 사용해 보다 뛰어난 관로의 교체, 폐기, 갱생(세척, 라이닝)을 결정하는 Ten-point Scoring System을 개발. 이 시스템은 총점이 10점 이상인 관로는 획득된 수질, 수리, 누수정보 등으로 더욱 자세히 평가한 후 교체, 폐기, 갱생의 대상으로 선정
- 현재는 상수관로의 세부적인 목록과 데이터베이스, 각 관로의 평가, 계획과 예산에 대한 통합프로그램 등을 포함하는 수도관 의사결정계획시스템을 개발 중임

제 3 장

노후 상수관로 관리방법 검토

제1절 관로 교체

제2절 관로갱생

제3절 관로갱생 신기술

제4절 관로갱생 장단점 종합검토

제3장 노후 상수관로 관리방법 검토

상수관로의 매설년수가 경과하면 부식이나 노후화는 필연적으로 일어나게 되고, 노후도에 기인된 문제발생은 상수관망의 기능유지에 지장을 초래함은 물론 에너지 소비를 증가시키는 결과를 가져온다. 이에 스케일, 슬라임 등의 부식생성물, 파손 등의 문제해결을 위해 노후관에 대한 갱생공사를 실시하게 되는데, 상수관로의 갱생사업은 적정 수량 및 수압 확보, 수질측변의 안정성, 누수 등의 사고예방을 위해 필수적인 사업이다.

국내의 경우 상수관로는 최근 노후관의 급증에 따라 관로교체 및 갱생사업이 활발하게 추진되고 있다. 반면에 노후관로의 관리비용이 점차적으로 증가함에도 불구하고 상수도시설기준²¹⁾, 수도정비기본계획²²⁾ 및 상수도공사 설계지침²³⁾ 등에서의 관로교체, 관로갱생 등에 대한 기준 및 방법에 대해서는 미흡한 점이 많은 현실이다. 특히 “2.2.2 노후관로 현황 및 사업시행계획”을 보면 2010~2025년까지 상수도사업비용인 617,030백만원의 33.4%인 205,420백만원을 배수·급수관의 교체비용으로 책정한 상태이며, 일반적인 개념으로서의 노후관을 교체하기 위해서는 874,876백만원이 소요되어 전체 상수도사업비용을 초과하게 된다. 전국적으로 봐도 노후 상수도관 갱생사업에 대해서는 2000년부터 꾸준히 증가하고 있으며, 상수도 유지·관리비용이 신설비용보다 많아지고 있는 실정이다. 이러한 예산은 대부분 노후관의 교체사업에 투입되고 있으며 노후관 교체공사에 따른 교통체증, 시민의 불편, 내구성 있는 관로의 폐기와 같은 사회·경제적 손실 또한 일어나고 있다.

이에 노후관의 단순한 교체보다는 관로에 대한 다각적인 진단 수행 후 관로의 수명을 연장시킬 수 있는 갱생공법을 적용한다면 보다 효과적인 상수관망의 유지관리가 이루어질 수 있을 것이다.

21) 한국상하수도협회, 상수도시설기준, 2010

22) 대전광역시, 수도정비기본계획변경, 2012

23) K-water, 상수도공사 설계지침, 2012

제1절 관로 교체 (Replacement)

3.1.1 관로 교체의 필요성 및 장단점

노후화 및 강한 충격에 의하여 관이 파손이 되면, 관의 교체는 수돗물의 수요자에게 안정적으로 안전한 물을 안정적으로 공급하기 위하여 교체할 필요가 있다. 더불어 상수관의 구조적인 강도가 부족할 경우에도 파손이 될 것으로 판단될 때에도 충분한 검토를 거쳐 교체하여야 한다. 일반적으로 노후배관에 의해 나타나는 스케일, 녹물발생, 누수 등의 문제를 해결하기 위한 가장 확실한 방법이라 할 수 있다.

이러한 문제점을 원천적으로 해결하기 위한 전형적이고 최후의 방법으로 관로의 교체가 적용되고 있으며, 근래 들어서는 여러 가지 관로의 관리방법이 출현함에 따라 교체주기가 늘어나게 되었다. 교체공법은 굴착하여 시공하는 굴착공법(Trenched Construction)과 비굴착으로 시공하는 비굴착공법(Trenchless Construction)이 있다.

1) 관로 교체의 필요성

- 스케일 발생에 의하여 관로의 단면적이 줄어들게 되면 수돗물 소통 유량이 감소하게 됨
- 줄어든 단면적에 관로계획에 따른 수돗물을 공급하게 되면 높은 압력이 발생이 되며, 부식에 의하여 약해진 부분에서 누수가 발생하게 됨
- 전위차로 인한 부식으로 녹이 발생하게 되며, 이는 가정에서의 녹물 및 압력·충격 등에 의한 누수가 발생하게 됨

2) 비굴착 교체

- 목적 : 비굴착으로 기존관을 교체하거나 신관을 매설
- 방법 : 파쇄굴진공법(Pipe bursting), Pipe splitting / Micro-tunneling
HDD (Horizontal directional drilling)

3) 굴착교체

- 목적 : 전통적인 방법으로, 굴착하여 관을 매설
- 방법 : Open trench, Narrow trench

4) 장단점

○ 장점

- 새로운 관은 물 수요량에 따라 관경을 크게 할 수 있음
- 관이 교체된 이후, 보수비용은 감소함
- 더 높은 C값으로 유량이 증가하고 누수율이 감소함
- 일반적으로 더 나은 관종으로 교체를 할 수 있음

○ 단점

- 전체적인 관 교체는 기존 관의 파손에 대한 보수에 비하여 굴착과 인력 등의 공사규모가 크며 비용이 가장 많이 발생됨
- 관로교체를 위한 공공도로 등의 굴착으로 교통의 혼잡이 발생
- 관이 교체되는 동안에는 일시적으로 급수가 중단됨
- 관 교체는 일반적으로 보수 또는 갱생비용에 비하여 고가임



<그림 3-1> 상수관로 교체에 따른 교통혼잡(좌) 및 신규 상수관로(우)

- 사례 : 대전시 중구 대흥동(2013년)

3.1.2 교체 공법의 종류

1) 굴착 교체공법 (Trenched Replacement)

가. Open trenched

가장 많이 이용되는 방법으로 교체하고자 하는 급수관의 상부 토양을 전부 굴착하여 신관을 매설하는 방법으로 시공기간이 다른 공법들에 비하여 길고, 공사면적이 많이 소요되며 소음·분진과 같은 문제를 발생시킬 수 있으며, 교통량이 많거나 주거 밀집지역에서는 민원이 발생할 수 있고, 공사비가 큰 단점이 있는 공법이다.

나. Narrow trenched

Open trenched 공법의 단점들을 보완하기 위하여 개발된 공법으로 교체하고자 하는 관의 전·후단면을 굴착하여 신관을 교체하는 방법으로 일반적인 굴착에 비하여 시공기간 및 공사비용, 그리고 소음·분진과 같은 문제들을 일정 부분 절감시킬 수 있는 특징이 있다.

2) 비굴착 교체공법 (Trenchless Replacement)

관의 교체를 위한 부지의 소요가 적으며, 최소한의 급수구역에 대한 단수를 통하여 공사기간과 비용을 절감시킬 수 있는 장점 때문에 유럽에서 활발히 개발되어 현장에 적용되고 있다. 특히 주거 밀집지역, 상업지역, 교통량이 많은 지역에서 많이 적용되고 있으나 국내에의 적용사례는 많지 않다.

가. 파쇄굴진 공법 (Pipe Bursting)

파쇄굴진 공법은 파쇄헤드를 견인장치에 연결하여 파쇄헤드를 견인하면서 관을 파쇄하고, 후미에 신관을 연결하여 비굴착으로 관을 교체하는 방법이다. 이러한 공법은 굴착에 의한 단점들을 보완하기 위하여 비굴착에 의한 관 교체를 위해 근래

에 사용이 증가하고 있다.

파쇄굴진방법은 대부분의 관종에 적용할 수 있으며, 기존 관이 있던 공간을 얼마나 크게 확장하느냐에 따라 200 mm까지 적용 가능하고 도로상의 장애와 복구를 최소화하여 공사비를 줄일 수 있는 특징이 있다. 하지만 이 공법은 교체관의 재질을 연질의 관만 사용하여야 하며 지반이 교란되면서 인접한 타 매설물에 충격을 줄 수 있다. 파쇄헤드는 파쇄하는 기능을 가진 expander와 Rear expander로 구분되며, 갱생할 관의 종류에 따라 다양한 헤드가 사용된다.

나. Pipe Splitting

Pipe Splitting 공법은 Pipe bursting 공법과 유사하지만 강관, 덕타일 주철관 또는 폴리에틸렌관 같은 관에 적용할 수 있다. 이 공법은 일반적으로 원뿔의 파열헤드와 날 형식을 사용하는 대신에 관 벽, 결합부를 자르도록 고안된 전문적인 분열헤드를 사용하고 주위 환경으로 기존관을 확장시켜 신관을 삽입하는 형식이다.

3) 비굴착 신관 매설공법

가. Microtunnelling

MTB cutter의 회전력을 이용하여 전단면을 굴착하여 새로운 관을 설치하는 공법이다. 전통적인 tunnelling 공법과 유사하지만 microtunnelling은 사람이 안으로 들어가지 않고 중간 크기 관경의 관을 설치하는 방법이다. 원격 조정 굴착기를 사용하여 터널을 파고 동시에 새로운 관을 설치하는 것이 가능하며, 적용 관경은 450~1350 mm의 관에 대해서 적용 가능하다. 땅에서 파낸 물과 진흙을 분리하여 환경적인 오염의 위험을 감소시킬 수 있으므로 관이 지하수위 아래에 있거나, 여러 가지 토양으로 둘러 쌓여 있거나, 여러 방해물이 있을 때 효과적이다.

나. Horizontal Directional Drilling

수평방향의 천공은 굴착 없이 가스, 전기, 수도, 통신 또는 토양 개선 등 관의 지하 설치에 이상적인 방법으로 환경 파괴가 거의 없다. 다양한 암석과 토양 조건에

서 설치시 효과적인 공법으로 도로, 조정, 강 교차가 이루어지는 형태에서 이용될 수 있다.

3.1.3 관의 종류 선정

급수관은 원칙적으로 수도법 제18조 제2항 및 .수도법시행령 제30조의 기준에 적합한 규격품을 사용하고, 관종을 선정할 때에는 수질, 부설장소의 지질, 관이 받는 내·외압, 기후, 관의 특성, 통수 후의 유지관리 등을 고려하여 가장 적절한 관종을 선정한다

급수관으로는 시멘트라이닝 덕타일주철관, 경질 폴리염화비닐관, 폴리에틸렌관 등이며 이외에도 스테인리스강관과 동관 등이 있다. 급수관은 내구성과 강도가 우수하고 또한 수질에 나쁜 영향을 미치지 않는 것을 사용한다. 특히 급수관의 접합부는 취약하므로 접합부는 간단하고 확실한 구조와 기능을 갖는 것이어야 한다.

제2절 관로갱생

상수관로 갱생공법의 기술은 노후된 관로의 새로운 활용을 위해 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 기술의 발달로 수도사업자는 관 상태에 따라 적용 가능한 공법이 넓어지고 있지만, 상용화된 공법은 한정되어 있는 상황이다. 갱생공법은 관내 이물질 또는 연질의 스케일 제거를 목적으로 하는 세척공법, 연질의 스케일보다는 경질의 스케일까지 제거 가능한 세관공법, 관내 녹과 스케일을 제거하여 통수단면적을 확보하고 부식방지 또는 구조보강까지 가능한 라이닝공법 등이 개발되고 있다.

3.2.1 세척, 세관 (Cleaning, Flushing)

1) 정의

세척, 세관공법은 주로상수관로 내부에 침전물(Deposits), 슬라임(Slime or Soft scale), 녹(Rust) 또는 경질(Hard scale)의 부식생성물 등을 완전 제거하여 수질개선과 함께 상수관로 원래의 통수능을 회복시키는데 주목적을 두고 있으며, 방수(플러싱, Flushing), 세관장치에 견인줄을 연결하여 세관하는 방식(Cable-Attached Devices), 기계적인 원동력을 이용하여 세관하는 방식(Mechanically driven cleaning), 유체의 힘(수압)을 이용하여 세관하는 방식(Flipped-propelled Devices), 화학적세관(Chemical cleaning), 기타 세관공법 등으로 구분할 수 있다.

가. 세척

- 목적 : 관로 내의 이물질, 침전물, 미생물 막 등을 제거하는 공법
- 방법 : 플러싱(단방향플러싱), Form swabbing(피그), 공기주입 세척(Air seouring) → Non-aggressive cleaning

나. 세관

- 목적 : 하드스케일 또는 결절 제거
- 방법 : 고압수(Water Jet), Rack feed boring, Abrassive 피그, 스크레이퍼(Scraper), 화학적 세관(Chemical cleanging), 연마세관(공기+모래 등) → Aggressive cleaning

2) 세관의 유형

가. 재래식 플러싱(Con. flushing) 또는 대응적 플러싱(Reactive flusing)

- 배/급수 계통의 특정 지역에서 수질기준에 만족할 때까지 소화전을 개방하는 방법
- 배수관에 잔류하는 느린 유속의 물이 소화전을 통해 유출되기 때문에 플러싱 유속을 최대로 발생시키지 못함
- 플러싱이 완료되지 않은 배수관으로부터 플러싱 용수가 유입될 수 있기 때문에 플러싱의 효과를 극대화시킬 수 없으며, 오염물질이 한 배수관에서 다른 배수관으로 이동할 위험성이 존재
- 플러싱 사용수량이 높으며, 수질개선 효과가 나타나는 기간이 짧음

나. 일방향 플러싱(Unidirectional flushing)

- 주위의 밸브를 적절히 조정하고 특정관로 구간을 분리하여 한 방향으로 물을 보내어 높은 유속을 발생시키는 방법
- 재래식 플러싱에 비해 소요되는 수량이 적음(40% 이상 절약)
- 관 내부에 부착된 생물막, 부식산물, 침전물 등을 제거하기 위해서는 최소 1.5 m/sec 이상의 유속이 필요
- 대상지역에 대하여 사전에 밸브에 대한 진단을 통해 수리할 필요가 있음
- 정확한 관망도(Water map)와 수리모델(Water model)이 필요

다. 연속퇴수(Continious blowoff)

- 관말지역이나 수리적으로 제약이 있는 지역(0.3 m/sec 이하)에서 물을 저 유속으로 연속 퇴수하는 방법
- 잔류염소농도를 회복하거나 체류시간을 단축시킬 수 있음
- 많은 양의 물이 소비됨

3) 세척·세관의 장단점

세척·세관에 대한 장점과 단점은 다음의 <표 3-1>과 같은데, 세관에 의한 상수관로의 수명연장은 관체의 상태에 따라 매우 다양하며, 기대수명(Expected life) 동안 관로 사용을 보충할 수 있다. 일반적으로 필요 세관의 빈도에 대해서는 적정 가이드라인이 없다. 세척·세관빈도와 수명 연장과의 관계는 수돗물의 수화학(Water chemistry)적 특성, 수리적 특성, 관종, 유량패턴 등에 영향을 받는다.

가. 장점

- 침전물 또는 슬라임, 스케일 등 부식생성물 등이 제거됨.
- 수요가에게 공급되는 동안 수돗물의 수질을 보전할 수 있음
- 상수관로의 수리적 통수능이 향상됨
- 밸브조작 프로그램과의 연계를 통한 유지관리 기술이 향상됨
- 수도사업자의 가시적인 수질관리 노력에 따른 수돗물 신뢰성이 증진됨

나. 단점(한계)

- 세관으로 인하여 상수관로 내 침전물 등이 일시적인 수돗물 수질의 저하가 발생할 수 있음
- 일시적인 급수 중단이 발생함
- 세관으로 발생하는 폐수, 고형물 등을 처리해야 함
- 세관의 효과가 일시적일 수 있음
- 라이닝이 안 된 관로일 경우, 내부부식 또는 적수발생 등의 증가 가능성이 있음

<표 3-1> 관세척 공법 비교 검토

| 구 분 | 폴리피그 공법 (Polly-pig) | 스크레이퍼 공법 (Scraper) | 젯트 공법 (Jet) | 에어샌드 공법 (Air-sand) |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 시공 방법 | <ul style="list-style-type: none"> • 폴리우레탄 Pig를 관 세척 장치 구에 투입 주행 • 굴곡, 횡단부 일시 세척시공 • 관내 수압을 이용 제거 | <ul style="list-style-type: none"> • 가동축 주위에 강선 스크레이퍼 구조로서 피아노 강선에 의한 견인식으로 제거 | <ul style="list-style-type: none"> • 특수 고압 펌프로 물을 가압 노즐에 젯트류 반동을 이용 진진시켜 스케일을 제거 | <ul style="list-style-type: none"> • 선회 압축공기와 연마재 이용 관내 풍속으로 스케일 제거 |
| 적용 사례 | <ul style="list-style-type: none"> • 상수도관로 세척에 가장 많이 사용 | <ul style="list-style-type: none"> • 관 갱생공사 (소구경에 적용) | <ul style="list-style-type: none"> • 하수관 준설에 적용 | <ul style="list-style-type: none"> • 관 갱생공사 (옥내급수관에 적용) |
| 시공 실적 | <ul style="list-style-type: none"> • 대전광역시 노은지구 • 토지공사, 주택공사 | <ul style="list-style-type: none"> • 갱생공사 | <ul style="list-style-type: none"> • 준설공사 • 흙관에 적용 | <ul style="list-style-type: none"> • 아파트, 주택 • 소규모 APT단지 |
| 특허 및 신기술 | 특허 | - | - | - |

3.2.2 라이닝 (Lining)

1) 정의

가장 일반적이고 효과적인 개발방법으로 상수관로 내부방식 또는 보호를 위한 라이닝이 있다. 효과적인 라이닝을 위해서는 내부 세관을 완벽하게 하는 것이 중요하다. 배관 내면에 부착된 녹과 스케일을 세관작업을 통해 제거한 후 에폭시수지와 경화제를 혼합시켜 관 표면으로 분사하여 라이닝을 형성하는 공법으로 노후관의 단순한 교체보다는 50~70% 정도의 시공비로 관로의 수명을 연장시킬 수 있다.

라이닝 방법은 관 내부에 부식진행 또는 산화 등을 방지하는 보호도막(Protective coating)을 형성하지만, 관로의 구조적인 보강역할을 포함하는 것은 아니다.

가. 부식방지 라이닝

- 목적 : 내면부식 방지
- 방법 : 액상에폭시라이닝(Epoxy), 시멘트모르타라이닝(Cement mortar), 폴리우레탄라이닝(Polyurethane), Calcite라이닝 등 → Non-structure lining

나. 구조보강 라이닝

- 목적 : 내면부식 방지 + 구조보강
- 방법 : PE라이닝(견인방식), ERS(반전삽입), PNI(반전삽입), Slip 라이닝 등 → Structure lining

3) 라이닝 공법의 종류

가. 시멘트모르타 라이닝 공법

세관작업 후 미리 반죽된 시멘트모르타를 라이닝 장치의 호수 끝단에 정착된 분사기에 의하여 4~12 mm의 두께로 분사하고, 후미의 미장용 인두로 표면을 매끈하게 마무리하여 관 내부에 도막을 형성, 하나의 강도 높은 시멘트모르타 라이닝을 관 내부에 형성시키는 공법이다. 이 공법은 미국, 영국, 일본 등 선진외국에 보편화된 갱생공법으로 주로 주철관중에 사용되어 관의 기능을 복원시키고 누수방지, 녹 등의 재발을 방지할 수 있다. 이러한 시멘트모르타라이닝 공법은 시공시간이 5~8일 이상으로 길어 단수시간의 최소화를 목표로 하는 국내 공사여건에 적합하지 않으며, 특히 국내 수돗물 수질이 강부식성 수질로서 시멘트모르타라이닝이 빠르게 부식되어 분해되는 단점이 있다.

나. Drag Trowel 라이닝 공법

세라믹모르타 라이닝 공법에서 갱생관 구경이 Φ 100~500 mm인 경우, 고압의 공기에 의해 작동되는 세라믹모르타 분사헤드와 미장처리를 위한 미장용 인두로 Drag Trowel을 사용한다.

고압의 공기에 의해 작동되는 세라믹모르타 분사헤드는 에어호스에 의해 7

kgf/cm² 이상의 고압공기를 공급받아서 작동되며, 세라믹모르터의 지속적인 공급과 이를 방사상으로 분사시키기 위한 분사헤드를 작동시키는 동력원으로 작용한다. 이때 컴프레셔에서 고압 공기가 일정한 압력으로 분사헤드로 공급되고 분사헤드를 일정한 속도로 추진시키면서 분사헤드를 통해 세라믹모르터를 방사상으로 분사하기 때문에 분사된 세라믹모르터 층의 두께는 일정하지만 표면은 고르지 못하고 거친 상태로 존재하게 된다.

그러나 공기에 의해 작동되는 세라믹모르터 분사헤드 후미에 미장용 인두인 Drag Trowel가 연결되어 바로 고르지 못하고 거친 상태로 세라믹모르터 라이닝을 갱생관 내면에 형성한다.



<그림 3-2> Drag Trowel 라이닝 장치
(좌 : 세라믹모르터 분사헤드, 우 : 미장용 인두)

다. 액상에폭시 라이닝 공법 (Epoxy lining)

액상에폭시수지 라이닝 공법은 세관작업 후 주체와 경화제를 혼합시켜 이를 액상에폭시수지 분사헤드를 통하여 관 표면에 분사하여 라이닝하는 공법이다. 라이닝에 사용되는 재료는 주체와 경화제를 혼합하여 사용하는 2액형 도료가 주로 사용되며, 최근에는 주체에 세라믹을 혼합한 도료 등도 사용되고 있다.

라이닝은 주로 라이닝 분사헤드를 통해서 분사형태로 이루어지며, 회전속도는 4000~5000 rpm 정도이다. 라이닝 호스는 경화제를 공급하는 라인과 도료의 적정 온도를 유지하기 위한 온수라인 또는 열선 등이 포함되어 있으며, 분사헤드로부터

도료를 분사하기 위한 압축공기 공급호스도 포함되어 있다. 액상에폭시 라이닝 공법의 시공절차는 세관 후 관내 건조를 하고, 라이닝이 이루어진다. 라이닝 후에는 16시간 이상 양생을 해야 하며, 통수이전 염소소독과 플러싱을 해야 한다. 시공관경은 500 mm 이하이며, 시공고간은 100~120 m 정도이다. 라이닝 두께는 1 mm 이상을 권고하고 있다.

라. 폴리우레탄 라이닝 (Polyurethane lining)

폴리우레탄 라이닝 공법은 액상에폭시수지 라이닝 공법과 시공방법은 유사하다. 폴리우레탄을 분사헤드를 통하여 관 내부표면으로 분사하여 라이닝을 형성하는 공법이다. 단지 도료의 특성상 도료 경화시간이 30분 이내(초경화)로 통수시간을 획기적으로 단축할 수 있다는 장점이 있으며, 최대 5 mm 이상의 두께로 라이닝이 가능하다.

마. Spiral lining

나선형 라이닝은 ribbed plastic strip을 이용하여 strip을 나선형으로 관 표면에 부착하여 라이닝을 형성하는 공법이다. 본 공법은 상수관로보다는 압력이 없는 하수관로에 주로 사용되고 있다. Spiral lining은 시공관경이 약 150~2500 mm까지 가능하며, 주요 라이닝 재료는 PVC이다. 긴 구간에 걸쳐 라이닝일 가능하며, 구조적인 보강이 가능한 공법으로 대구경에도 적합하다.

바. Calcite lining

화학적 라이닝으로 과포화된 탄산칼슘용액(Supersaturated calcite solution)을 루프(Loop)를 이용해서 순환시켜서 내부표면에 탄산칼슘 층을 형성시키는 것으로 온도, pH, 포화정동 등이 매우 중요한 변수가 된다. 본 공법은 1930년대 개발되었으며, 미국내 여러 주요 수도시설에서 성공적으로 활용되고 있다. 최대 시공구간 길이는 약 300 m이며, 시공 관경은 200 mm로 제한을 받는다.

사. Metallic phosphorus lining

화학적 라이닝으로 Metallic phosphate를 주입하여 부식성 수질을 가지고 있는 관에 적용할 경우 큰 효과를 얻을 수 있는 공법으로 금속관·비금속관 모두에 적용이 가능하여 비용을 절감시킬 수 있으나, 구조적인 문제해결을 위한 라이닝 방법이 아니라 부시방지를 위한 방법이므로 연속적인 Metallic phosphate를 주입해야 하고, 주입되지 않을 경우 관의 부식이 재발할 위험이 발생된다. 저장 탱크에서의 미생물 재성장과 같은 문제를 유발시킬 수 있으므로 지속적인 모니터링과 관리가 필요하다.

3.2.3 관 삽입공법 (Pipe Insertion)

1) 정의

관 삽입공법은 비굴착에 의한 관 갱생기술에 해당한다. 이 공법은 기존 관(Host pipe) 내에 새로운 관(New pipe)을 교체하는 것도 포함한다. 일반적으로 관 삽입공법은 분기관이 매우 적고, 건물 또는 지하매설물과 같은 장애물이 있는 상황, 그리고 굴착하기 힘든 도로에 위치한 오래된 관 등에 적합한 공법이다. 이러한 공법은 가스배관에서 효율적으로 적용되고 있으며 수도업계에서의 활용은 아직 미흡한 상황이다. 따라서 라이닝 공법에 대한 이들 공법의 도입에 따른 장기간의 축적 자료는 없는 상태이다. 이러한 관 삽입공법은 상수관로의 구조적인 보강을 하기 위한 기술로서, 기존 관의 물리적인 조건과 크기 등에 영향을 받는다.

2) 관 삽입 공법의 종류

가. 기존 관 삽입공법 (Conventional Slip lining)

Slip lining 공법은 MDPE(Medium Density Polyethylene)을 노후된 상수도관 내부로 라이닝 관에 미리 연결된 견인줄을 잡아당겨 삽입시키는 공법으로 노후관 내면과 PE 라이닝 관의 외면 사이에는 공간이 발생하며, 이러한 공간을 그라우팅 함으로써 PE관과 그라우팅으로 인한 구조적 일체화로 강보가 확보된다. 즉, 삽입 후

내부에 압력을 가하여 노후관 외벽과 강하게 밀착시켜 새로운 관 내부에 라이닝을 형성시키는 방법이다.

나. 관 삽입 밀착공법 (Close-fit slip lining-Modified slip lining)

기존 관에 교체되는 관을 완전 밀착시키는 공법으로 기존 Slip lining 공법을 향상시킨 공법들이다. 교체 관 내 공간을 최대한 활용할 수 있도록 개발되었다. 교체 관은 가능한 설치에 앞서 그 크기가 감소되나, 설치하면서 원래의 관은 기존 관에 완전 밀착하게 되면서 복원된다. 관삽입 밀착공법은 규격이 아직 표준화되어 있지 않지만 구조보강 또는 부식방지를 위한 도막형성을 위한 라이닝으로 적용 가능하다. 밀착공법의 종류에는 시공형태에 따라 Swage lining Method, Roll-down Method, Deformed Method 등이 있다.

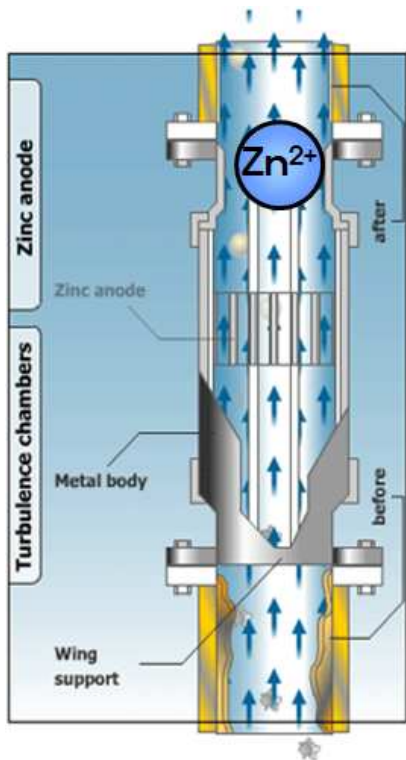
다. 반전삽입공법 (Cured-in-place pipe: CIPP)

반전삽입공법은 연성 라이닝 관을 노후관 내면과 접촉하는 라이닝 관외면에는 액상에폭시수지(Epoxy resin) 또는 폴리에스터(Poluester) 등으로 도장되어 있어 라이닝 관리 설치된 후에는 내부에 대기온도 또는 열(스팀 또는 고온수를 사용)을 공급하여 노후관 내면과 라이닝 관 외면이 강하게 밀착되도록 양생시켜야 한다.

제3절 관로갱생 신기술

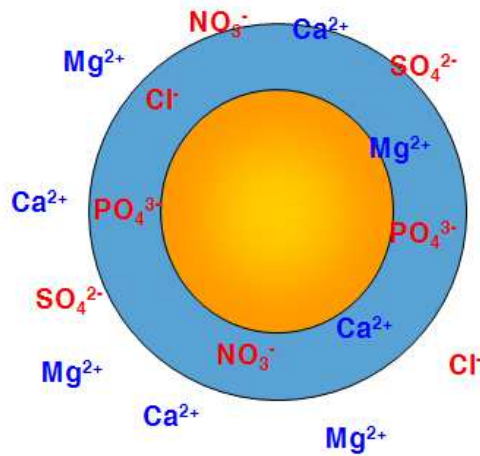
3.3.1 물리적 이온수처리

1) 구조 및 원리



<이온수처리기의 주요 원리>

- 아연이온(Zn^{2+})이 물속에 용해
- 아연이온 주위로 음전하의 이온구름 형성
- 정전수출으로 양이온 및 음이온을 응집



<그림 3-3> 이온수처리기의 주요 원리

가. 배관 내 부식생성 방지 원리

배관부식을 발생시키는 염소, 황산 등 각종 이온을 정전수축 현상을 통하여 억제시켜 붉은 색의 녹이 생성되는 것을 방지하게 된다.

이온수처리기 내부의 특수아연(Zn)은 철(Fe)보다 이온화 경향이 크기 때문에 철이 이온화하기 전에 아연이 먼저 이온화된다. 이에 철을 음극보호하여 부식이 매우 느려지거나 거의 일어나지 않는다(희생양극법). 선박, 아연도강관, 함석 등이 대표적 사례로 볼 수 있다.

- $Fe \rightarrow 2e^- + Fe^{2+} \Rightarrow Fe(OH)_2$: 붉은색 녹 생성
- $O_2 + 2H_2O + [2e^- + Zn^{2+}] \rightarrow OH^- \Rightarrow Zn(OH)_2$: 부식 방지

나. 배관 내 부식 변환원리

- $Fe_2O_3 + [이온수처리기 : 2e^- + Zn^{2+}] \Rightarrow Fe_3O_4$: 마그네타이트 생성

다. 녹으로 인한 누수의 방지

배관 내부의 도포막이 소모될 경우 배관재질(Fe)이 직접 물관 접촉하게 된다. 부식이 진행되면 비교적 낮은 전위값을 가진 철배관이 전자(e^-)와 철이온(Fe^{2+})로 이온화되어 녹(Fe_2O_3)에 전자를 빼앗기고, 철이온은 물속에 녹아들게 된다.

이온수처리기에서 방출된 전자(e^-)가 배관이나 물을 통해 녹(Fe_2O_3)로 이동, 녹에 지속적으로 전자를 공급함으로써 마그네타이트 및 자철광(Fe_3O_4)로 변화되어 배관 내부를 코팅하여 관의 균열 및 누수를 막게 된다.

2) 장단점

가. 수질개선

- 배관 내 중금속 용출 방지
- 녹물 감소로 상수도의 신뢰도 향상

나. 배관수명 연장

- 신규, 노후관을 추가로 20여 년간 부식 없이 사용 가능

다. 경제성

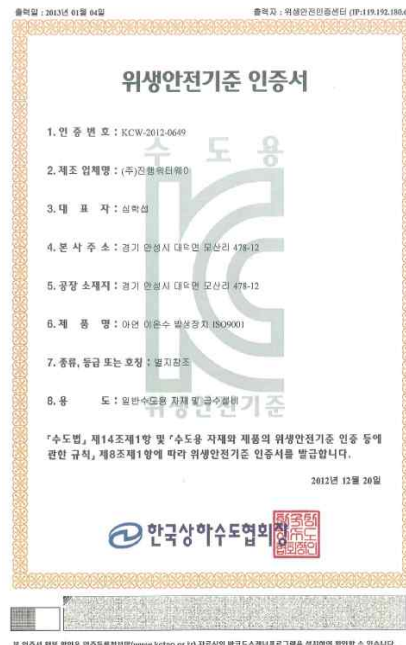
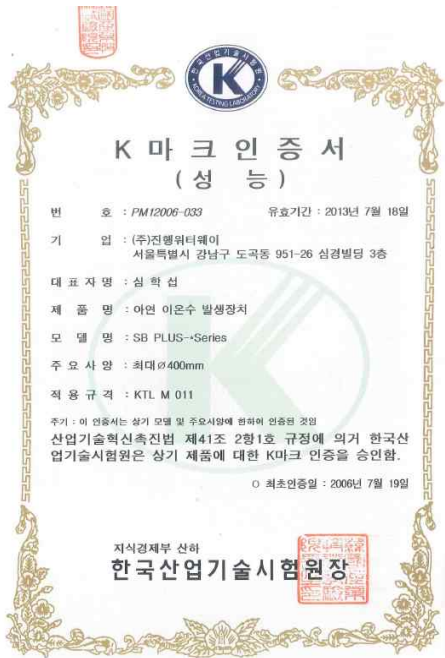
- 예산 절감 (사후관리비용 없음, 20여 년 동안 비용지출 없음)
- 상수도관부터 건물 내의 급수전까지 한꺼번에 관리가 가능



<그림 3-4> 이온수처리기 설치 전후의 관내 스케일 및 녹 변화



<그림 3-5> 독일 건교부(BBS) 및 ThyssenKrupp의 이온수처리기 추천서



<그림 3-6> 국내 이온수처리기 관련 신기술 K마크 인증 및 위생안전기준 인증서

3.3.2 이온수처리기 설치사례

1) 제천시

가. 설치내용

- 설치일 : 2005년 5월
- 위 치 :
 - 충북 제천시 청전동 두진아파트 놀이터 앞(주철관, 150 mm)
 - 충북 제천시 고암동 부강아파트(아연동강관, 40 mm)

나. 설치성능의 확인방법

- 이온수처리기(스케일부스터) 설치 후 후방지점에 확인점검구를 만들어 3, 6, 9, 12개월차에 확인

다. 설치에 의한 효과

- 산화철인 붉은색 녹은 검정색 마그네타이트로 변환
- 미세 스케일은 대부분 제거되었으며 이에 의한 수질 변화는 체감할 수 없었음
- 이온수기 유효거리 가정 변기 내 지역의 가정변기 물때가 줄어든 것을 확인
- 수도계량기를 확인한 결과 미설치지역보다 설치한 지역에서 깨끗한 상태를 비교할 수 있었음

2) 천안시

가. 설치내용

- 설치일 : 2004년 12월 10일 ~ 20일
- 위 치 :
 - 천안시 신당동 세일주유소 앞(제1공구), 천안시 성거읍 신월리 71-7번지(제2공구), 천안시 직산읍 삼은 3리(제3공구)

나. 설치성능의 확인방법

- 이온수기 설치 후 확인점검구를 각 공구마다 설치하여 6, 12개월 차에 확인

다. 설치에 의한 효과

- 스케일이 약 70% 제거됨
- 붉은색 녹(Fe_2O_3)이 검은색 마그네타이트(Fe_3O_4)로 바뀌어 배관을 보존

3) 경산시

가. 설치내용

○ 설치일 : 2004년 10월 14일 / 2006년 11, 12월 / 2007년 3, 4, 5월

○ 위 치 :

- 경상북도 경산시 중앙시장

나. 설치성능의 확인방법

- 후방 지점에 효과 확인을 위한 확인 점검구를 만들어 확인

다. 설치에 의한 효과

- 3개월 : 약 30% 정도의 스케일 감소, 그 동안 수질상태는 양호
- 6개월 : 약 60%의 스케일 감소, 녹은 검정색 마그네타이트로 변환
- 9개월 : 약 80%의 스테일 감소, 녹은 마그네타이트로 변환되어 단단한 구조로 변환됨, 유효거리 내에 있는 배관을 확인한 결과 기존 점검구와 마찬가지로의 결과 확인

4) 대전 둔산경찰서 (공공시설)

가. 설치내용

○ 설치일 : 2003년 7월

○ 위 치 :

- 대전광역시 둔산경찰서

나. 설치성능의 확인방법

- 급수와 온수 라인에 이온수기를 설치하고 후방지점에 효과 확인을 위한 확인점검구에서 2004년에 확인

다. 설치에 의한 효과

- 동관에 생성되었던 청녹과 스케일이 대부분 제거되고 바닥면에 일부분 존재함을 확인

5) 대전 은아아파트 (공공주택)

가. 설치내용

- 설치일 : 2001년 5월 8일
- 위 치 :
 - 대전광역시 가수원동 은아아파트 기계실 급수펌프

나. 설치성능의 확인방법

- 확인점검구의 육안검사를 통해 실시

다. 설치에 의한 효과

- 내부에 형성되었던 스케일 성분 대부분 제거
- 녹물 발생이 중단되고 누수가 거의 발생하지 않음

6) 현대 HYSCO (공장)

가. 설치목적

- 관로내 Roll 보호용 냉각수 coil에 스케일로 인한 불통현상 발생
- 잦은 불통 현상으로 인한 정비비 증가

나. 설치성능의 확인방법

- 매월 Hose 확인을 통한 스케일 제거상태 확인

다. 설치에 의한 효과

- 이온수기 설치한 곳에 스케일 제거
- 통수 작업으로 인한 정비비 절감

7) 삼성전자 (공장)

가. 설치내용

- 설치일 : 2004년 4월 4일

나. 설치성능의 확인방법

- 이온수기 설치 후 후방지점에 확인점검구로 2, 8개월 경과 후 확인

다. 설치에 의한 효과

- 8개월 경과 후 스케일 성분은 90%이상 제거
- 녹은 마그네타이트로 변환되어 배관 내벽에 검은색으로 변환
- 찌꺼기, 유기물 등은 바닥면에 소량의 녹과 혼합된 상태로 일부 잔존

8) 공사방법

물리적 이온수처리기는 일반적인 관의 교체 방법에 비교하여 비교적 소규모의 공사가 시행된다. 관을 교체할 경우에는 관이 매설되어 있는 100% 구간을 굴착해야 하지만, 이온수처리기는 이온수처리기가 위치하는 맨홀 및 관의 개선정도를 볼 수 있는 확인점검구를 설치할 곳의 땅파기만이 요구된다.



<그림 3-7> 상수관로에서의 이온수처리기 설치

3.3.3 물리적 이온수처리기의 비교

물리적 이온수처리기는 Scale-Buster, Iorex, AquaMag 등이 국내에서 적용되어 왔으며 이에 대한 주요 특성을 <표 3-2> ~ <표 3-4>에 나타내었다. 또한 물리적 이온수처리의 실적이 가장 많았던 S사의 설치실적을 관종별로 나타내면 <표 3-2>와 같다. 설치실적을 보면 주로 덕타일주철관 및 주철관에서의 적용이 활발하지만, 다른 관종에도 적용실적이 있다.


<표 3-2> 갱생 관종별 물리적 이온수처리기 적용 실적

| 관 종 | 관로 블록에서 부수적으로 설치된 관종 | 적용실적 | 비 고 |
|-----------|-----------------------|------|-----|
| 강관 | - | 9 | |
| + 연결관 | 아연도강관, PE관 | 2 | |
| 덕타일주철관 | - | 94 | |
| + 연결관 | PVC관, PE관, 에폭시라이닝관, | 10 | |
| 스테인레스관 | - | 5 | |
| + 연결관 | PE관 | 1 | |
| 시멘트라이닝 계열 | -덕타일주철관, -관 | 7 | |
| + 연결관 | HI-3P관 | 2 | |
| 아연도강관 | - | 1 | |
| + 연결관 | 덕타일주철관 | 2 | |
| 에폭시 계열 | -도장강관, -라이닝피복관, -라이닝관 | 4 | |
| + 연결관 | 주철관 | 2 | |
| 주철관 | - | 37 | |
| + 연결관 | 아연도강관, 강관, PE관 | 8 | |
| 회주철관 | - | 2 | |
| HI-3P관 | - | 1 | |
| PE관 | - | 3 | |
| PFP-D관 | - | 1 | |
| PVC관 | - | 2 | |

<표 3-3> 이온수기의 비교 - 스케일부스터

| 구 분 | 스 케 일 부 스 터 |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개 요/원 리 | <ul style="list-style-type: none"> • 갈바닉효과(Cu:Zn)를 이용하여 아연의 이온화를 촉진시킴 • 철대신 아연이 희생하여 부식을 방지하는 희생양극법으로 배관부식을 억제함 • 아연의 전자는 녹을 조직이 단단한 마그네타이트(Fe3O4)로 환원시켜 배관수명을 연장함 • 물과 불소수지의 정전기효과에 의해 침상형 스케일을 구상형 스케일로 변화시켜 배관에 흡착되는 것을 방지 <p>※ 갈바닉 효과 : 이종의 금속이 전기적으로 접합되었을 때 그 금속들의 이온화 경향의 차이에 의해 전위차가 발생하는 현상</p> |
| 형 상 |  |
| 필 요 성 | <ul style="list-style-type: none"> • 녹의변환을 통한 부식방지, 스케일 제거 • 신설관에는 녹과 스케일을 장기간 예방 |
| 재 질/ 내 구 성 | <ul style="list-style-type: none"> • (재 질) 외부 : 황동, 내부 : 특수아연 및 불소수지 • (내구성) 내부의 특수아연을 20년마다 교체 해주면 반영구적으로 사용 가능. |
| 설계인자기준 | <ul style="list-style-type: none"> • 적정유속 : 2m/s |
| 유 효 거 리 | <ul style="list-style-type: none"> • (D300) 2.35 km / (D600) 4.2km / (D1000) 7.2 km |
| 유지관리비 | <ul style="list-style-type: none"> • 소요비용 없으며 내부에 있는 특수아연을 20년마다 교체 |
| 변실설치여부 | <ul style="list-style-type: none"> • 필요 없음 |
| 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 배관의 부식을 방지 및 수명을 연장 • 친환경적이며 반영구적인 수명 (20년 후 특수아연만 교체) • 모든 관 재질에 적용가능 • 수질개선 및 아연이온의 공급 효과 • 국내 적용실적이 많음(50여개 지자체 200개소) |
| 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 대구경 상수관로 적용 실적이 없음(현재 D600제품까지 생산) • 효과발생기간이 다소 장기간 (6~9개월) • 타제품에 비해 고가임 |
| 검증 및 인증 | <ul style="list-style-type: none"> • 한국,미국, 독일 영국 등 63국에 특허 등록 • 조달청 우수제품 인증 • K 마크 (산자부-산업기술시험원) • WRAS (영국 국영 음용수 검증기구) • GS/TUV (독일 품질 표준원의 기술검증기관) • ISO9001 (국제품질경영시스템) |

<표 3-4> 이온수기의 비교 - 이오렉스

| 구 분 | 이 오 렉 스 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개 요/원 리 | <ul style="list-style-type: none"> • 물이 제품을 통과 할 때 접촉면과의 마찰로 인하여 정전기가 발생함 • 발생하는 정전기를 흡수하여 전하가 높아지게 됨 • 맨 바깥쪽에서 핵 전자를 방출하면서 하전을 띠게 됨 • 따라서 전하의 이동에 의한 강한 정전기장이 형성되어 물이 정전기장을 통과하는 순간 활성화됨 • 이온화된 물이 배관내부의 녹, 스케일의 발생을 방지하고, 이미 생성되어있는 녹, 스케일을 제거 |
| 형 상 |  |
| 필 요 성 | <ul style="list-style-type: none"> • 녹, 스케일 제거효과 • 신설관에는 녹과 스케일을 장기간 예방 |
| 재 질 / 내 구 성 | <ul style="list-style-type: none"> • (재 질) 외부 : 스테인리스 커버 및 황동 내부 : 알루미늄, 카본, 기타 신소재 • (내구성) 15년 이상 사용 가능 |
| 설계인자기준 | <ul style="list-style-type: none"> • 적정유속 : 2m/s |
| 유 호 거 리 | <ul style="list-style-type: none"> • (D300) 7 km / D300 이상 관경에 대한 자료 없음 |
| 유지관리비 | <ul style="list-style-type: none"> • 소요비용 없으며 내부에 있는 알루미늄을 15년마다 교체 |
| 변실설치여부 | <ul style="list-style-type: none"> • 필요 없음 |
| 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 배관의 부식을 방지 및 수명을 연장 • 친환경적이며 반영구적인 수명 (15년 후 알루미늄만 교체) • 모든 관 재질에 적용가능 • 타안과 비교하여 저렴한 비용으로 시공 |
| 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 대구경 상수관로 적용 실적이 없음(D300제품까지 생산) • 상수도는 주로 가정용 제품(급수관로) 위주임 |
| 검증 및 인증 | <ul style="list-style-type: none"> • 한국, 미국, 중국 특허 등록 • 러시아 GOST 인증 • 미국 FDA 승인 |

<표 3-5> 이온수기의 비교 - 아쿠아액

| 구 분 | 아 쿠 아 액 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개 요/원 리 | <ul style="list-style-type: none"> • 마그네슘(Mg) 금속의 전위차, 즉 갈바닉 효과를 이용하여 관 내부의 스케일을 제거하고 부식을 방지함 • 철수화물(FeOOH)이 철산화물(Fe₃O₄)인 자철석으로 변화되어 수도관 내부를 피복함 • 철산화물을 단단하게 결합시켜주는 방해석이 용해되어 스케일의 결합력은 약해지며, 유속에 의해 서서히 제거함 |
| 형 상 |  |
| 필 요 성 | <ul style="list-style-type: none"> • 녹의변환을 통한 부식방지 • 스케일 제거효과 • 신설관에는 녹과 스케일을 장기간 예방 |
| 재 질 / 내 구 성 | <ul style="list-style-type: none"> • (재 질) • 외부: 황동, 내부 : 마그네슘합금 • (내구성) 내부에 있는 마그네슘합금을 20년마다 교체 해주면 반영구적으로 사용 가능 |
| 설계인자기준 | <ul style="list-style-type: none"> • 유속에 대한 특별한 조건 없음 |
| 유 효 거 리 | <ul style="list-style-type: none"> • (D300) 3 km / (D600) 3 km / D600 이상 관경에 대한 자료 없음 |
| 유지관리비 | <ul style="list-style-type: none"> • 소요비용 없으며 마그네슘합금 20년 주기로 교체 |
| 변실설치여부 | <ul style="list-style-type: none"> • 필요 없음 |
| 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 배관의 부식을 방지 및 수명을 연장 • 친환경적이며 반영구인 수명(20년 후 마그네슘합금만 교체) • 모든 관 재질에 적용가능 • 타안과 비교하여 가장 저렴한 비용으로 시공 |
| 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> • 대구경 상수관로 적용 실적이 없음(현재 D600제품까지 생산) • 수질상태 및 온도에 따라 마그네슘합금 소모가 틀림 |
| 검증 및 인증 | <ul style="list-style-type: none"> • 한국, 중국 특허 등록 • 신기술인증 • 중소기업 성능인증 • 조달청 우수제품 인증 • NET, 중소기업 우수제품, 조달청 우수제품 |

제4절 관로갱생 장단점 종합검토

국내에서 많이 생산되는 닥타일주철관은 1200 mm까지 생산되고 있으며 대부분 강관에 해당한다. 강관은 주로 내외면 도복장으로 생산이 되고, 특히 강관은 에폭 시로 도장된 관이 매설되고 있으나, 과거에 매설된 대구경관은 주로 내부에 콜타르 에나멜 혹은 아스팔트 등으로 도장되었다. 노후 강관은 도장재가 일부 박리되고 박리된 부위를 중심으로 부식이 진행되어 관리 파손되는 특징을 보이고 있다.

<표 3-6> 교체, 세척, 갱생에 따른 특징 비교²⁴⁾

| 갱생공법 | 공법명 | 주요공정 또는 원리 | 비 고 | |
|--------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 세척 (Washing) | 플러싱 | · 소화전 또는 이의 목적의 수도전에서의 수돗물을 빠르게 외부로 배출시키는 과정에서 내부에 약하게 부착된 침적물 또는 미생물 막 등을 배출하여 제거 · 적용가능 구경 : 300 mm이하 / 길이 : 수 km | - | |
| | 공기주입 세척 | · 상수도관 내부에 흐르는 수돗물에 압출공기를 일정 간격으로 주입하여 Water slug를 생성시켜 약하게 부착된 침적물 또는 미생물 막 등을 세척하여 제거 · 적용가능 구경 : 300 mm이하 / 길이 : 수 km | - | |
| 비굴착식 갱생 공법 | 세관공법 (Cleaning) | Polly-pig을 이용한 세관공법 | · 피그를 관내에 강제 삽입하여 물을 이용하여 주행 시켜 약하게 부착된 침적물, 미생물 막, 스케일 또는 결절 등을 세관하여 제거 · 적용가능 구경 : 3000 mm / 길이 수 km | · A업체 · A,P업체 |
| | | 고압수 세관공법 | · 초고압수(280 bar 이상)를 관내에 분사하여 관내 이물질 또는 녹과 스케일을 제거하는 공법 · 적용가능 구경 : 1000 mm / 길이 120 m 이상 | · 업체다수 |
| | | 스크레이퍼를 이용한 세관공법 | · 샷모양의 강철 스크레이퍼를 관 내에 삽입, 원치로 끌여 녹과 스케일을 긁어내는 공법으로 주로 라이닝 전처리 공정으로 사용 · 적용가능 구경 : 1000 mm / 길이 120 m 이상 | · 업체다수 |
| | | Rack feed boring 세관 | · 관내부로 Steel 갱을 삽입하고, 이를 관내에서 회전시켜 내부 녹과 스케일을 제거하는 공법 · 적용가능 구경 : 1000 mm / 길이 120 m 이상 | · 없음 |
| | | Shot blasting 세관 | · 모래 또는 Steel grit 등을 고압의 공기류 혼입으로 녹과 스케일을 제거하는 공법 · 적용가능 구경 : 300 mm / 길이 120 m 이상 | · 국내는 옥내배수관에 적용 |

24) 이현동, 상수도관망의 유지관리를 위한 갱생기술, 대한환경공학회지, 제29권12호, 2007

<표 3-7> 교체, 세척, 갱생에 따른 특징 비교 - 계속

| 갱생공법 | | 공법명 | 주요공정 또는 원리 | |
|---------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 비굴착식 갱생공법 | 라이닝 공법 (Lining) | 액상에폭시수지 라이닝 갱생공법 | ·액상에폭시수지를 관내면에 분사하여 라이닝하는 비굴착식 라이닝 갱생공법 ·적용가능 구경 : 500 mm / 길이 : 120 m 이상 | ·업체다수 C,D,J 등 |
| | | 분사형 (Spraying) 세라믹모르터 라이닝 갱생공법 | ·세라믹코르터를 관내면에 분사하고 미장을 통하여 라이닝하는 비굴착식 갱생공법으로 관경에 따라 Drag trowel, Rotatinf trowel 라이닝으로 구분 ·적용가능 구경 : 75~1800 mm / 길이 : 120 m 이상 | ·J업체 |
| | | 폴리우레탄 라이닝 | ·폴리우레탄을 관내면에 분사하여 라이닝하는 비굴착식 라이닝 갱생 공법 ·적용가능 구경 ? mm / 길이 : 120 m 이상 | ·없음 |
| | 라이너관 삽입형 | Slip lining 갱생공법 | ·노후 상수도관 내부로 기존관보다 관경이 작은 라이닝관(PE, PVC, PP, DIP, GRP 등)에 강철와이어를 연결하고, 이를 견인하여 관 내부로 삽입하여 라이닝을 형성하는 공법 ·적용가능 구경 : 모든관경 / 길이 : 120 m 이상 | ·없음 |
| | | PE라이닝 갱생공법 | ·U자형으로 제조된 PE 라이너를 관내부로 삽입, 증기압을 가하여 팽창, 관 표면에 부착시키는 공법 ·적용가능 구경 : 1200 mm 이하 / 길이 : 120 m 이상 | ·D업체 (신기술) |
| | | ERS 갱생공법 | ·PE 부직포에 액상에폭시를 함침하여 공기압을 이용하여 견인반전으로 라이너를 견인 후 증기로 팽창, 경화하여 라이닝을 형성하는 공법 ·적용가능 구경 : 1200 mm 이하 / 길이 : 120 m 이상 | ·C업체 (신기술) |
| | | SHL 갱생공법 | ·PE 부직포에 에폭시를 함침하여 견인반전으로 라이너를 견인 후 증기로 팽창, 경화하여 라이닝 형성 ·적용가능 구경 : 1200 mm 이하 / 길이 : 120 m 이상 | ·J업체 (신기술) |
| 비굴착식 교체공법 (Trenchless Replacement) | Pipe bursting | ·원뿔의 파열/파쇄헤드와 날을 이용하여, 기존관을 파쇄하고 후미에 연결된 신관으로 관을 교체 ·적용가능 구경 : 1200 mm 이하 / 길이 : 120 m 이상 | - | |
| 비굴착식 신관 매설공법 (Trenchless Replacement) | HDD | ·원격조정굴착기(회전굴착헤드-블레이드)를 이용하여 구멍을 파고, 신관을 설치하는 공법 | - | |
| | Micro tunneling | ·MTB cutter의 회전력을 이용하여 전단면을 굴착하고, 신관을 설치하는 공법 | - | |

강관과 같은 대구경관을 갱생하기 위해서는 관내면 도장재를 깨끗이 제거하고, 부분적으로 발생된 결절을 제거한 후, 갱생을 하여야 하는 어려움이 있다. 그러나, 국내 갱생공법은 대구경보다는 소·중구경관 위주로 개발되어 이들 대구경관에 대한 것은 어려운 실정이다.

국외에서는 국내와는 달리 대구경관으로 강관의 사용이 드물어, 노후된 대구경 강관을 위한 갱생공법의 사례가 매우 드물다. 그러나 국외에서 제시하는 갱생공법에 대한 적용범위는 시멘트모르터 라이닝공법, Conventional slip lining 공법, CIPP 공법, Sprial lining 공법 등이 대구경관 갱생(갱생 및 교체)에 적용이 되고 있다.

<표 3-8> 비굴착 공법의 비교²⁵⁾

| 공 법 | 장 점 | 단 점 |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cement mortar lining | <ul style="list-style-type: none"> - 검증된 방법임 - 교체비용의 25~50% 수준임 - 시공 가능한 업체가 다수임 | <ul style="list-style-type: none"> - 비구조보강 공법 - 연수에서 pH 상승하는 문제 - 우회관로 필요 - 관 수명연장의 불확실 |
| Epoxy lining | <ul style="list-style-type: none"> - 시멘트모르터 라이닝과 달리 연수에서도 적용 가능 - 소구경에서는 시멘트모르터 라이닝보다 비용 효과가 있을 수 있음 | <ul style="list-style-type: none"> - 비구조보강 공법 - 작은 결함에 의한 재부식 진행 가능성 - 대구경에서는 시멘트모르터보다 고가 - 우회관로 필요 - 관 수명연장 불확실 |
| Slip lining | <ul style="list-style-type: none"> - 전반적인 구조적 보강이 가능 - 특별한 장비 또는 전문적 기술 불필요 - 비용 효과가 높을 수 있음 | <ul style="list-style-type: none"> - 수리적 단면적 축소 - 우회관로 필요 - 시공시 관을 일렬로 배치하여 삽입할 수 있는 공간이 필요 |
| Close-fit lining | <ul style="list-style-type: none"> - 부분적인 구조적 보강이 가능함 - 비용 효과가 높을 수 있음 | <ul style="list-style-type: none"> - 특별한 장비와 라이선스 필요 - 우회관로 필요 - 시공시 관을 삽입할 수 있는 공간 필요 |
| Cured-in-place pipe lining | <ul style="list-style-type: none"> - 관로의 구조적 향상에 도움 - 시공 가능한 업체가 다수 - 소구경 bend에 대한 처리 가능 | <ul style="list-style-type: none"> - 업체 소유권 - 시멘트모르터, 에폭시라이닝 보다 고가 - 우회관로 필요 - 관 수명연장 불확실 |
| Pipe bursting | <ul style="list-style-type: none"> - 부분적인 구조적 보강이 가능함 - 관경의 확대가 가능 - 대다수 적용사례에서 기존 교체공법보다 경제적 | <ul style="list-style-type: none"> - 특별한 장비와 라이선스 필요 - 다른 매설물 또는 포장에 손상을 줄 가능성 존재 - 우회관로 필요 - 시공시 관을 삽입할 수 있는 공간 필요 |

25) Ellison et al., Investigation of pipe cleaning methods, AWWARF, 2003

제 4 장

관로갱생 방법에 따른 효과분석 및 적용방안

제1절 관로갱생 방법별 경제성 분석

제2절 관로상황에 따른 갱생방법의 제시

제3절 노후도 조사방법 체계화 및 검토에 따른 대전시 갱
생방안

제4장 관로갱생 방법에 따른 효과 분석 및 적용방안

제1절 관로갱생 방법별 경제성 분석

1) 공동주택에서의 갱생방법별 경제성 분석

관로교체, 에폭시라이닝, 세척, 물리적 이온수처리기의 이용 등에 대한 급·배수관로에 대한 경제성 분석은 갱생방법에 따라 대상 관로의 범위가 다르며, 특히 본 연구의 범위에서 다양한 변수에 따른 경제성을 언급하기에는 어려움이 있다. 이에, 비교적 소규모이고 수질에 대한 민감도가 큰 공동주택에서의 녹·스케일에 대한 경제성을 비교해 보면 다음 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 교체, 방청제, 라이닝, 자석식, 이온수처리기의 갱생방법 비교²⁶⁾

| 갱생방법 | 공정 | 비용 | 비고 | |
|--------|---------------|------------|--------------------------------|----------------|
| 교체 | 스테인레스(SS304) | 350만원/세대 | 고가, 크롬성분 유출우려 | 가장 확실 / 세대관 제외 |
| | 동관 | 250만원/세대 | 청녹발생 | |
| | PVC(PE, PP 등) | 120만원/세대 | 온수사용 부적절 | |
| 방청제 | 화학약품 투여 | 5만원(년간/세대) | 인체에 유해 / 15년 사용시 75만원 + 유지관리비 | |
| 에폭시라이닝 | 배관내부를 에폭시로 코팅 | 180만원/세대 | 코팅박리 및 녹물발생시 갱생불가 / 교체보다 저렴 | |
| 자석식 | 자석을 배관 외부에 부착 | 5-10만원/세대 | 효과 미비 | |
| 이온수처리기 | 배관 절단 후 기기 삽입 | 10-20만원/세대 | 녹, 스케일 제거 및 방지 / 다양한 조건의 적용 미흡 | |

26) 환경부, 2003

2) 일반 상수관로에서의 경제성 비교

공동주택 이외에 관로의 교체비용과 신기술공법 중 하나인 이온수처리기 설치비용을 비교하여 다음의 <표 4-2>에 나타내었다. 상수관로를 교체하는 여러 가지 변수가 있을 수 있는데 일반적인 상황으로 비교를 해 보았을 경우, 100 mm 관로에서는 교체에 17,500 만원/km가 소요되었으며 이온수처리기는 2,430 만원/km가 소요되어 86.1%의 비용절감 효과가 있었다.

<표 4-2> 배관규격에 따른 갱생비용 비교

| 배관규격 (mm) | 배관교체비용 (만원/km) | 이온수처리기 (만원/km) | 비용절감액 (만원/km) | 비용절감 (%) |
|-----------|----------------|----------------|---------------|----------|
| 100 | 17,500 | 2,430 | 15,070 | 86.1 |
| 150 | 18,900 | 2,854 | 16,046 | 84.9 |
| 200 | 21,400 | 3,081 | 18,319 | 85.6 |
| 250 | 23,400 | 3,345 | 20,055 | 85.7 |

3) 경제성 평가모델 (예시)

경제성 평가모델은 유지관리상의 대안(관 파손의 갱생과 교체, 세척과 라이닝, 누수탐지와 보수 등)을 평가하여 관망시스템의 관리계획에 도움을 제공하고 관의 지속적인 보수보다 교체가 효과적으로 되는 시점을 결정한다. 실질적 보수비용은 주로 관경과 파손형태에 의하여 결정되는데, 경제성 평가모델은 관의 지속적인 보수보다 교체가 비용 면에서 더욱 효과적으로 되는 때를 결정하기 위해 개발하였다. 즉, 갱생과 교체에 대한 경제성 분석은 수익분기점에 도달되기 전에 발생될 수 있는 관로파손건수/mile·yr을 결정하는 것이다.

이러한 분석을 위해서는 총 간접비뿐만 아니라 갱생과 교체의 직접노동비와 자재비를 고려하여야 한다. 갱또한 경제성 평가모델을 제시하기 위해서는 노후관의 유효수명을 연장하기 위한 기법으로, 세관과 도장의 비용과 편익을 평가하는데 이용된다. 각 수도사업자는 관 파손에 따른 비용뿐만 아니라, 누수탐지의 비용효과성도 조사해야 한다.

4) 상수관로 갱생의 신기술간의 경제성 비교

<표 4-3> 상수관로 갱생 신기술의 경제성 비교 - 1

| 구 분 | | PU스프레이 라이닝 공법 | 스프레이 라이닝 공법 | PE관 라이닝 공법 |
|---------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공법의 명칭 | | In-situ spray lining | Spray lining method using winches | Polyethylene pipe rehabilitation |
| 공법 개요 | 굴착방법 | 작업구만 굴착 | 좌동 | 좌동 |
| | 설치구간 | 150m | 150m | 180m |
| 경제성 | | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 80% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 60% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 65% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 |
| 장 단 점 | 천공 및 분기 | 불필요 | 불필요 | 필요 |
| | 경화시간 | 짧음 | 짧음 | 길다 |
| | 효과 발생시간 | 즉시 | 즉시 | 즉시 |
| | 공사비 | 고가 | 다소고가 | 다소고가 |
| | 공사기간 | 37일 | 37일 | 41일 |
| 공사비 | | 2,318백만원 (1,930,000원/m) | 1,896백만원 (1,580,000원/m) | 1,888백만원 (1,570,000원/m) |
| 검토의견 | | · 공사비는 고가이나 갱생공사에 대한 신기술 보유 | · ISL공법보다 공사비가 싸고 국내산, 영국산 자재를 사용 | · 안전성 우수하나 소구경 상수도관 시공 불가 |
| 녹제거 방식 | | · 작업구 통해 고압살수 스크래퍼로 관세정 | · 작업구 통해 고압살수 스크래퍼로 관세정 | · 작업구 통해 고압살수 스크래퍼로 관세정 |
| 제거장치 특성 | | · 관로에 스크래퍼를 이용하여 부식 및 이물질을 제거 · 스펀지를 이용하여 관내부의 물기제거 | · 고압살수 스크래퍼, 플랜저, CCTV카메라 장치를 원치로 동시에 견인하여 스케일 | · 고압세정기로 관로내부를 고압 분사하여 스케일 |
| 도막방식 | | 스프레이 라이닝 | 스프레이 라이닝 | PE 라이너 |
| 교통문제 | | · 작업장 외 교통원활 | · 작업장 외 교통원활 | · 작업장 외 교통원활 |
| 시공가능 구경 | | 80-1,500mm | 80-1,500mm | 300-1,000mm |

<표 4-4> 상수관로 갱생 신기술의 경제성 비교 - 2

| 구 분 | | Epoxy 라이닝 공법 | 세라믹 모르타 라이닝 공법 | 물리적 이온수처리기 |
|---------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공법의 명칭 | | Epoxy lining | Ceramic mortar lining | Scale buster |
| 공법 개요 | 굴착방법 | 좌동 | 좌동 | 좌동 |
| | 설치구간 | 100m | 100m | 관경150mm~1.5km 관경600mm~4.3km |
| 경제성 | | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 50% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 50% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 | <ul style="list-style-type: none"> · 단순공사비 : 신관 부설비의 약 15% · 장기경제성 : 교통/도로장애 등 손실을 감안시 경제성 우수 |
| 장 단 점 | 천공 및 분기 | 불필요 | 불필요 | 불필요 |
| | 경화시간 | 길다 | 길다 | 해당사항 없음 |
| | 효과 발생시간 | 즉시 | 즉시 | 최초 효과 발생에 3-6개월 소요 |
| | 공사비 | 저렴 | 저렴 | 가장 저렴 |
| | 공사기간 | 52일 | 74일 | 1일 |
| 공사비 | | 1,233백만원 (1,027,500원/m) | 1,543백만원 (1,290,000원/m) | 400 백만원/개소 |
| 검토의견 | | · 시공방법이 간단하고 공사비가 저렴함 | · 공사비는 경제적이지만 경화 시간이 비교적 김 | · 경제적이지만 갱생효과 발생기간이 장기간 소요 |
| 녹제거 방식 | | · 작업구 통해 고압살수 스크래퍼로 관세정 | · 작업구 통해 고압살수 스크래퍼로 관세정 | · 아연 황동의 이중금속간의 1.1V의 전위차를 발생하여 아연의 이온화 촉진 |
| 제거장치 특성 | | · 고압세정기로 관로내부를 고압 분사하여 스케일 | · 고압세정기로 관로내부를 고압 분사하여 스케일 | · 스케일 부스터 설치시 배관의 부식 방지, 수질개선 및 연수화 효과를 얻을 수 있음 |
| 도막방식 | | 스프레이 라이닝 | 스프레이 라이닝 | |
| 교통문제 | | · 작업장 외 교통원활 | · 작업장 외 교통원활 | · 작업장 외 교통원활 |
| 시공가능 구경 | | 80-1,500mm | 80-1,500mm | 80-1,500mm |

5) 상수관로 유지보수 비용 추정

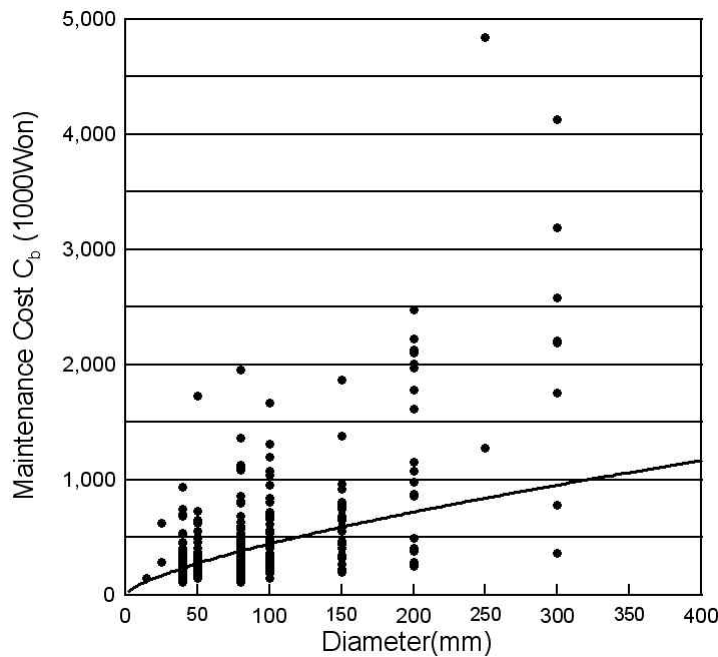
상수관로에 대한 유지보수 비용에 대하여 대구광역시를 대상으로 검토한 결과를 다음의 <그림 4-1> 및 <그림 4-2>에 나타내었다²⁷⁾.

대구광역시 290개 누수보수공사 비용자료 및 물가지수를 이용하여 환산한 관경별 누수공사비용을 <그림 4-1>에 나타내었다. 그림과 같이 동일 관경이어도 누수보수 비용의 차이가 컸는데, 이는 비용의 항목은 토공, 관공, 부대공, 자재대, 노무비, 공사현장 현황, 매설된 상태 등의 다양한 영향인자가 있기 때문이다. 이를 이용하여 회귀 분석한 결과 물가상승률이 고려된 다음의 <식 4-1>을 얻을 수 있었다.

$$C_b = 17,775 \times D^{0.69828}$$

여기서, C_b = 관 파열 한건 당 보수비용 (원/건)

D = 관경 (mm)

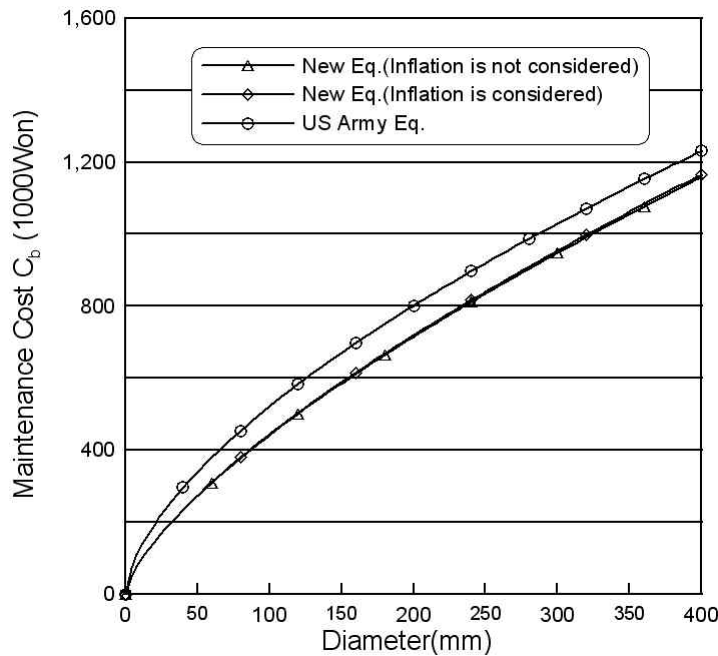


<그림 4-1> 관경별 유지보수비용 (물가상승 고려)

27) 백천우 등, 상수관망 유지보수 비용에 관한 연구(대구광역시를 중심으로)

<그림 4-2>에는 위의 <식 4-1>의 유지보수비용 값을 미육군공병단 식²⁸⁾과 비교해 나타낸 것이다. 대구광역시와 미육군공병단과는 차이를 보이고 있는데, 직경 300 mm 관의 파손 1개소 당 보수비용의 경우 <식 4-1>을 적용할 경우 953,950원으로 미육군공병단 식에 의한 1,029,820원보다 8% 가량 낮게 산정되고 있다.

이에, 상수관로 갱생 최적갱생계획 수립 시에 본 결과를 이용한다면 국내 유지보수비용 및 신기술을 적용시키기 위한 방안으로 이용할 수 있을 것이다.



<그림 4-2> 유지보수비용 함수의 비교

28) U.S. Army Corps of Engineering, Engineering and Design-Evaluation of Existing Water Distribution Systems, Engineer Technical Letter No.1110-2-278, 1983

제2절 관로상황에 따른 갱생방법의 제시

수돗물을 사용하는 곳에는 상수관로가 매설되어 있으며, 이러한 상수관로는 매설 연수, 토양성분, 충격부하 등의 원인으로 갱생을 하여야 할 곳이 많아지고 있다. 이에 관로 매설연수 및 관로상황에 따라 교체필요 관망, 라이닝필요 관망, 신기술 적용 관망 등을 적용하기 위한 분석 및 그의 기준이 필요하다.

1) 교체/갱생의 선택 기준

상수관로의 교체 및 갱생을 위한 기준은 관을 교체하기 위한 최종적인 결론에 영향을 미치므로 아래의 내용을 고려하여야 할 것이다.

- 상수관로를 보수하는 비용이 교체하는 비용을 초과하는지의 여부
- 현재 상수관로가 원래의 기능을 충분히 수용하고 있는가의 여부
- 상수관로를 통과하는 수돗물의 수질이 관의 조건에 의하여 악화되는지의 여부
- 현재 상수관로의 상태가 인근의 재산이나 안전에 위협을 주는가의 여부
- 수돗물을 공급함에 있어 민원이 발생하고 있는가의 여부
- 상수관로가 교체되지 않을 경우 향후에 관이 손상되거나 교통에 불편을 줄 수 있는지의 여부

또한, 교체/갱생을 결정하는데 있어서는 상수관로를 유지하고 보수하는 비용이 중요한데, 이를 산정하려면 아래와 같은 기록이 필요하다.

- 관의 위치, 깊이, 종류 및 관경
- 토양의 종류
- 누수의 종류 (부식, 미주전류, 하중 등)
- 내부부식 및 외부부식의 진행여부

- 인근의 재산에 대한 피해 여부
- 도로포장의 교체에 대한 정보
- 파손으로 인한 누수 추정량

더불어, 개별적인 관로의 누수정보가 기록되면 관로시스템의 라인에 대한 기록이 작성될 수 있다. 관로교체 여부를 결정하기 위한 기준, 누수에 영향을 미치는 인자, 그리고 주요 누수기록이 경제성평가를 위한 자료가 된다. 이 외에 고려해야 할 사항으로는 다음의 내용이 있다.

- 불충분한 통수능력
- 수질의 저하
- 인근 재산 및 안전에 위협을 주는지의 여부
- 부적절한 크기의 관로
- 지속적으로 수돗물을 공급할 수 있는지의 여부

2) 교체에 적합한 환경

- 관로가 파손된 경우
- 상수관로의 강성이 심하게 약화되어 파손의 우려가 높은 경우
- 균열이 심하게 진행되어 유수율이 많이 낮아진 경우
- 기존의 관로로 물을 급수하게 불충분한 통수능력을 가지고 있는 경우
- 지역의 물 수요에 비하여 지나치게 큰 관로가 설치된 경우
- 현재의 관종이 외부의 환경에 의하여 지속적으로 녹, 균열의 생성이 예상되는 경우

3) 세척(세관)에 적합한 환경

- 관로 교체시 교통의 장애, 인근 건축물로의 영향 등이 문제가 되는 경우
- 상수관로 자체의 강성이 유지되어 누수의 염려가 적은 관로가 대상인 경우
(누수 가능성이 큰 상수관로 : 주철관, 덕타일주철관, 아연도강관, 흑관, 동관, 스테인레스관 등)

- 스케일, 생물막, 침전물, 이물질에 의하여 상수관로 통수단면이 좁아진 경우 (녹의 제거를 위해서는 특별한 방법의 세척방법이 필요)
- 향후 녹 및 스케일 등의 생성 가능성이 비교적 적은 경우

4) 라이닝에 적합한 환경

- 관로 교체시 교통의 장애, 인근 건축물로의 영향 등이 문제가 되는 경우
- 자체의 강성이 유지되지만 균열에 의하여 약간의 누수의 염려되는 경우
- 스케일에 비하여 녹이 많이 생성되는 경우
- 세척에 의한 통수면적의 확대, 내부 코팅에 의한 녹 생성의 방지 및 미세한 균열의 보호 등을 한꺼번에 해결하고자 하는 경우
- 상수관로의 세척(세관) 후에도 지속적으로 녹 및 스케일 등의 생성 가능성이 높은 경우

5) 이온수처리기에 적합한 환경

- 관로 교체시 교통의 장애, 인근 건축물로의 영향 등이 문제가 되는 경우
- 자체의 강성이 유지되어 누수의 염려가 적은 상수관로가 대상인 경우
- 덕타일주철관, 아연도강관 등 녹 및 스케일 생성이 많은 관종이 대상인 경우 (시멘트라이닝, PVC, PE관들은 스케일 및 물 때 제거가 가능)
- 이온수처리에 의한 통수면적의 확대, 이온교환에 의한 녹 생성의 방지 및 균열의 강화 등을 한꺼번에 해결하고자 하는 경우
- 상수관로의 신규 설치시 스케일 생성 및 녹의 방지로 관로기능을 최대한 유지하고자 하는 경우

제3절 노후도 조사방법 체계화 및 검토에 따른 대전시 갱생방안

4.3.1 상수관로 노후화의 영향인자

기존 상수도의 노후도 조사방법은 대부분 관로의 내·외면 부식에 따른 노후도 상태와 영향인자와의 상관관계 규명의 연구가 진행되었다.

국내의 연구결과를 보면 이현동 등²⁹⁾은 관로의 내외부에 발생하는 각종 노후도 인자를 대상으로 수도관로 노후도 판정기법인 점수평가법을 제시하였다. 최연정 등³⁰⁾은 노후된 상수관을 관의 결석 두께 및 양과 증량손실변화의 물리적 특성과 수질 THMs의 화학적 특성을 분석하여 잔류염소농도의 변화에 따른 음용수 수질에 영향을 분석하였다. 안윤주 등³¹⁾은 국내 중소도시 수도관의 파손특성에 관한 연구에서 각 도시별 관종, 관경, 매설년수에 대한 파손 특성을 통해 대도시를 중심으로 파손원인 및 파손건수를 조사하여 수층압, 시설노후, 지반침하, 부식, 자연재해 순서로 관로의 노후도 인자 항목을 제시하였다. 서규태 등³²⁾은 상수관로의 부식에 미치는 수질인자의 복합적인 상호작용에 관한 연구에서 상수관로 내의 수질인자 중 부식에 영향을 미치는 수질인자의 복합적인 상호작용에 관한 연구에서 상수관로 내의 수질인자 중 부식에 영향을 미치는 주요인자인 용존산소, 수온, pH에 대하여 관종별로 인자별 영향 정도를 분석하였다.

외국의 경우 Clark 등³³⁾은 미국 주요도시에서 수도 D/B를 기초로 노후도에 영향을 미치는 항목별 인자를 이용하여 관 파손 사고의 발생을 설명하는 회귀식을 나타내었다. O'Day 등³⁴⁾은 뉴욕시에서 관의 크기에 따른 파손사고의 유형을 계절별

29) 이창용, 김웅석, 신현석, 김중훈, 확률적 신경망을 이용한 상수도 노후관 추정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제20권제2-B호, 1999

30) 최연정, 박종용, 옥치상, 노후 상수도관종 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지 논문집, 제14권제4호, 1992

31) 안윤주, 이현동, 국내 중·소도시 수도관의 파손특성에 관한 고찰, 대한상하수도학회지 논문집, 제10권제1호, 1996

32) 서규태, 이택순, 정해룡, 김운지, 이현동, 정원식, 상수도관 부식에 미치는 수질인자의 복합적 상호작용, 대한환경공학회지 추계학술발표회, 1997

33) Clark, R.M., C.L. Stafford and J.A. Goodrich, Water distribution systems: A spatial and cost evaluation. *J. Water Resour. Plann. Manage. Div.* ASCE Vol.108, 1982

34) O'Day, D. Kelly, *Guidance Manual: Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement*. AWWA Research Foundation, No. CR810988, 1986

로 분석하여 초과하중, 토양동결, 부식 등과 함께 매설년수의 영향은 크지 않다고 하였다. 일본의 林一平은 배수관 사고요인의 계층화 연구에서 수도기술자 대상 설문조사로 배수관 사고 요인을 선정하여 계층별로 분석한 결과, 총 35가지로 분류하여 배수관 사고의 주요 형태를 크게 관체 손상과 접합부 이탈의 2가지로 구분하고 각각에 대한 영향인자를 선정하였다.

기존 연구들은 상수관로의 노후화 조사방법에 있어 내부부식 혹은 외부부식과 같은 물리·화학적 인자 등 영향인자와의 상관관계를 통계적 기법을 이용하여 관의 파손영향을 분석하는데 집중되었다. 또한, 적용된 상수관로의 범위는 사고시 사회적, 경제적으로 커다란 영향을 미치는 송수관에 대한 연구가 주 대상으로 송수·배수·급수관의 종류를 구분하지 않아 포괄적 연구가 진행되었으며, 이는 관로정보의 정리방법, 조사방법, 평가방법, 판단기준 등이 불합리하거나 세부적인 영향을 파악하는 것이 곤란한 경우가 대부분이었다.

이에, 대전시에서는 수도관의 합리적 갱생에 도움이 될 수 있도록 조사방법을 수도관 갱생사업시 많은 부분에 해당하는 배수관을 중심으로 자료를 체계적으로 수집할 필요가 있을 것이다. 또한 이러한 조사체계 개선은 기존의 “3.4.2 관체의 노후도”에서 제시한 평가기법인 간접평가 및 직접평가의 평가인자에 더붙어서 보다 체계적인 결과가 나올 수 있도록 하여야 할 것이다.

4.3.2 노후도 조사방법의 체계화³⁵⁾

상수관로는 특별한 경우를 제외하고 대부분이 지하에 매설되어 있어 자료수집이 매우 어려운 실정이다. 이에 지방자치단체의 상수도사업본부에서 관리하는 상수도 관련 자료로 노후도를 평가하기에는 한계가 있는 상황이다.

이에, 전국의 수도사업소에서 동일하게 적용할 수 있으며, 통일된 서식의 자료수집 및 정리방법으로 구축할 필요가 있다. 또한, 이러한 조사에 있어서는 다음과 같은 접근방법이 필요하다.

35) 김응석, 김중훈, 박무중, 김정환, 상수관로의 노후도 조사 방법 개발, 대한토목학회논문집, 제22권, 제 5-B호, 2002

1) 수집자료 항목

기존 관로의 노후도와 관련된 수질 및 외부 환경변화에 따른 내·외부 부식에 많은 연구가 진행되었으나, 이러한 노후도는 부식 이외에 많은 변수에 따라 진행되므로 평가를 위한 자료의 수집은 다음의 <표 4-5>와 같이 다양하고 폭넓게 조사되어야 한다. 이에 기존의 문헌조사 및 국내 현황을 고려하여 새로운 항목을 제시하였으며, 이는 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 설문조사의 5개 큰 항목으로 나누어 나타내었다.

<표 4-5> 노후도 조사를 위해 필요한 자료 및 세부인자

| 매설환경 | 육안분석 | 토양분석 | 관체분석 | 설문조사 |
|-----------|--------------|----------|----------|-----------|
| - 관중 | - 내면부식 | - 함수량 | - 물성시험 | - 관체정보 |
| - 관경 | · 부식형태 | - 토양 pH | · 인장강도 | · 관중 |
| - 매설년도 | · 부식생성물의 | - 알카리도 | · 연신율 | · 매설년도 |
| - 최대수압 | 축적비율 | - 염소이온 | · 경도 | · 접합부 형식 |
| - 매설년수 | · 최대부식 생성 | - 황산이온 | - 화학조성시험 | · 방식도장 유무 |
| - 매설지역 | 물의 크기 | - 산도 | · C | · 갱생공법유무 |
| - 도로폭 | · 통수단면적 감 | - 산화환원전위 | · Si | - 매설환경 |
| - 누수·파손기록 | 소율 | - 입도분석 | · Mn | · 교통량 |
| - 기초공사 | - 외면부식 | | · P | · 매설지역 |
| - 되메움 토양 | · 녹 발생 정도 | | · S | · 매설주변토양 |
| - 접합부 형식 | · 부식생성물의 | | · Mg | · 매설심도 |
| | 축적비율 | | | - 수리 및 수질 |
| | · 점토부착 비율 | | | · 수압변동 |
| | | | | · 유량변동 |
| | | | | · 관내수질 |
| | | | | · 통수능(C값) |
| | | | | · 누수·파손기록 |

※ 상기 표에서 밑줄글씨 부분은 “3.4.2 관체의 노후도”에서 환경부의 간접평가인자에 해당하며, 굵은글씨는 직접평가인자에 해당함.

2) 수집 자료별 분석내용 및 방법

가. 매설환경

매설환경 자료는 매설시 주변 환경 및 관로대장에 기입된 자료로, 굴착 및 실험을 하지 않는 조건에서 수집할 수 있는 자료로 구성되며, 각 항목에 대한 세부기준을 마련하여 항목별 조건에 따라 수집 및 정리할 수 있다. 또한 자료로는 육안분석, 토양분석, 관체분석의 결과를 이용할 수 있으며, 추후에 매설환경 자료와의 상관관계를 노후도에 영향을 미치는 인자 산정에 적용 가능하다.

나. 육안분석

육안분석은 매설관의 주변환경 및 토양 등의 변화에 따른 외부부식, 파손정도 및 수질변화에 따른 내부부식 정도를 육안으로 분석하는 것으로 관의 상태를 정확히 파악할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 무엇보다 육안분석 세부인자 선정기준을 객관화하기 위한 노력이 필요하다. 이러한 결과는 사진촬영을 통하여 내·외면 부식의 유무 판단 및 외면 손상 상황 등을 자세히 기록하여 관종별, 매설년도별과 같은 여러 조건에서 실제 상수도 관로 노후화 평가 시에 검정자료로 활용할 수 있다.

다. 토양분석

토양분석은 매설된 관의 주변 토양에 따른 관의 외부부식 정도를 조사하는 것으로 미국 국가규격(ANSI) 평가법³⁶⁾ 및 DVGW 평가법³⁷⁾을 사용하여 토양에 따른 부식의 정도를 파악할 수 있다.

라. 관체분석

실제 샘플링 관을 통하여 관 초기 생산시의 물리·화학적 특성을 파악하는 것이

36) ANSI는 토양의 비저항, pH, Redox 전위, 수분, 산화물을 측정하여 부식성 정도를 판단하는 방법으로, 토양측정에 의해 얻어진 각 인자의 점수를 합하여 10점 이상이 되면 그 토양은 부식성이 있다고 판단하는 방법이다.

37) DVGW는 토질, 매설물의 깊이에 따른 지하수·토양의 저항률, 함수율, pH, 산도, 산화환원전위, 알칼리도, 염소이온, 황산이온을 측정하여 점수평가를 합하여 -10점 이하가 되면 매우 부식성이 있다고 판단하는 방법입니다.

다. 관체분석 항목 및 방법은 매설된 모든 관종을 대상으로 해야 하지만, 그렇지 않은 경우에는 많이 매설되어 있거나 문제점이 많이 생성될 가능성이 있는 관을 중심으로 분석하여야 할 것이다.

마. 설문조사

설문조사는 관로갱생 및 교체사업 등의 갱생사업 시에 각 수도사업소 실무자들을 대상으로, 그들의 노하우 및 경험을 이용하여 영향인자의 중요성에 대해 파악할 수 있다. 항목에 있어서는 관체정보, 매설환경, 수리·수질 등을 조사할 필요가 있다.

3) 노후도 조사의 개선방법 제시

상수관로에 있는 노후도에 영향을 미칠 수 있는 여러 항목들 중에서, 위에 제시한 바와 같이 상수관로 노후도에 영향을 미치는 인자를 고려할 필요가 있다. 이러한 항목에 대한 정확한 노후도의 가중치를 제시할 수는 없지만, 향후 다양한 자료의 취합으로 점차 값의 범위를 규정할 수 있을 것이다. 기존의 노후도 정도를 평가하는 방법들은 간의 노후도 영향의 특정한 일부분을 대상으로 하였지만, 본 연구에서 제시하는 방법은 보다 현장을 고려한 관의 노후도 정도를 평가하는 것이라 할 수 있다.

특히, 관 내부의 스케일 혹은 녹이 수도관로의 통수능력 및 수질에 미치는 영향의 파악 및 다양한 변수에 의한 누수원인 검토로 관의 교체, 세척, 라이닝, 이온수처리 등 상황에 맞는 노후관리를 할 수 있는 조사를 하여야 할 것이다.

4.3.3 교체 및 갱신을 위한 조건

1) 도·송수관

과거에 매설된 상수관로의 문제점을 해결하기 위해서는 내부압력, 외부충격, 위생 안전 및 녹·스케일의 문제점이 되도록 발생하지 않는 관종을 선택할 필요가 있다.

- 닥타일주철관, 도복장강관, 프리스트레스트콘크리트관, 프리스트레스트실린더콘크리트관, 원심력철근콘크리트관 등의 장단점을 고려하여야 함
- 닥타일주철관은 부식성과 스케일링 형성 등을 방지하기 위한 모르타라이닝의 실시가 필요

<표 4-6> 국내 생산 상수도용 관종

| 관 종 | 규 격 | 관 경(mm) |
|--------------------|-----------|----------|
| 수도용 원심력 닥타일주철관 | KS D 4311 | 80-1200 |
| 수도용 닥타일주철 이형관 | KS D 4308 | 80-1200 |
| 상수도용 도복장강관 | KS D 3565 | 80-3000 |
| 상수도용 도복장강관 이형관 | KS D 3578 | 80-3000 |
| 일반 배관용 스테인레스강관 | KS D 3595 | 8-300 |
| 수도용 에폭시수지분체내외면코팅강관 | KS D 3608 | 6-500 |
| 수도용 폴리에틸렌 분체라이닝 강관 | KS D 3619 | 15-100 |
| 프리스트레스트 실린더콘크리트관 | KS F 4405 | 500-2000 |
| 이음매 없는 동 및 동합금관 | KS D 5301 | 8-150 |
| 원심력 철근콘크리트관 | KS F 4403 | 150-3000 |
| 수도용 경질염화비닐관 | KS M 3401 | 13-300 |
| 수도용 경질염화비닐 이음관 | KS M 3402 | 13-300 |
| 새마을 간이상수도용 경질염화비닐관 | KS M 3403 | 13-100 |
| 수도용 폴리에틸렌관 | KS M 3408 | 10-150 |
| 수도용 폴리에틸렌 이음관 | KS M 3411 | 10-50 |

2) 배수관

배수관의 관종은 도·송수관의 관종에 준하며 더불어서 내압과 외압에 대하여 안전하며, 매설조건에 적합하고 매설환경에 적합한 시공성을 지녀야 할 것이다.

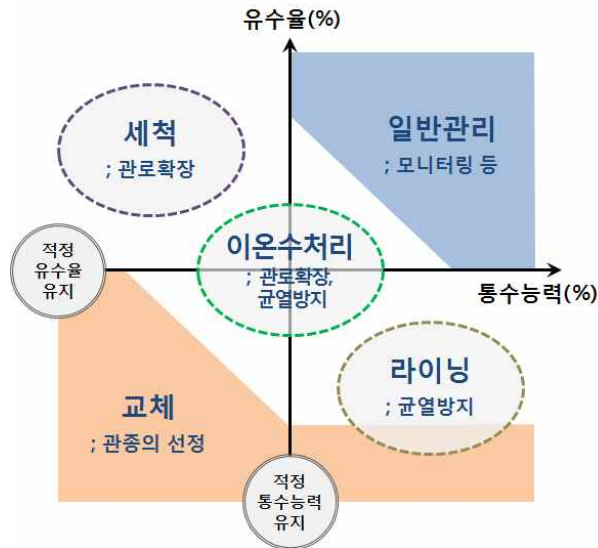
3) 급수관

한국산업규격(KS) 및 한국수도협회(KWWA) 규격품을 사용하고 관종 선정시 수질, 부설장소의 지질, 관이 받는 내외압, 관의 특성, 통수 후의 유지관리 등을 고려하여 선정하여야 한다.

4.3.4 대전시 상수관로의 노후도에 따른 적정 관리방안

1) 갱생방법의 조건

노후관로의 관리에 있어서 가장 중요한 것은 수돗물을 안전하고 안정적으로 공급받아야 하는 것이다. 그러기 위해서는 상수관로 파손에 의한 오염물질의 유입 및 수돗물의 누수가 없어야 하며, 녹·스케일 등에 의한 수돗물의 이물질 발생 및 공급 유량의 감소가 발생하지 않도록 하여야 한다.



<그림 4-3> 상수관로 노후도 평가인자 및 갱생방법

<그림 4-3>과 같이 관로의 파손정도를 대표하는 유수율과 더불어 관로내부의 오염발생 및 통수능력의 저하를 대표하는 통수능력을 노후된 상수관로의 주요 평가인자로써 제시할 수 있을 것이다.

높은 유수율을 유지하기 위해서는 상수관로의 균열상태를 파악하여 일정수준 이상의 많은 누수가 발생하거나 관로의 균열이 큰 곳은 교체를 하여야 할 것이고, 균열이 크지 않아 누수율이 크지 않다면 라이닝의 적용으로 갱생비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

통수능력 및 수질을 유지하기 위해서는 관로의 상황에 따라 정도가 심한 곳은 교체, 비교적 양호한 곳에서는 세척·세관을 시행하여야 한다. 하지만, 향후에도 관의 녹·스케일이 생성될 수 있는 문제점을 고려해야 할 것이다.

반면에 교체, 라이닝, 세척·세관을 진행하는데 있어 상수관로의 주변상황으로 미세한 균열의 발생, 녹·스케일의 생성 등이 발생하여 관로의 기능이 지속적으로 저하될 수도 있다. 이러한 경우에는 이온수처리를 복합적으로 수행하여 상수관로의 관리를 보다 용이하게 할 수 있다. 또한, 관의 파손이 크지 않으면서 통수능력을 개선시키고자 할 경우에는 매설년수, 관종 등의 조건에 따라 이온수처리기의 단독 적용을 고려할 필요가 있다.

2) 관로 노후화 조사의 특성화

대전시를 비롯한 전국 지자체는 수도정비기본계획에서 다양한 관점에서 노후관로를 조사하고 있다. 하지만, 이러한 조사에도 불구하고 상수관로의 갱생은 대부분 관로교체로 결론을 맺고 있는 실정이다. 이에, 향후 수도정비기본계획 등을 수립할 때에는 대전시 상수관로가 일반관리, 교체, 세척, 라이닝, 이온수처리 등에서 어떠한 갱생조건에 적합한지를 결정할 수 있도록 노력하여야 한다.

특히, 매설년도, 관종, 스케일, 녹, 누수율, 교통상황, 흙의 종류 등에 따른 관로 노후화를 특성화하여야 한다. 더불어 이를 종합한 해당 블록의 갱생방법을 연관시키는 모델링의 수립 또한 진행되어야 하는데, 이는 갱생의 방법에 따른 경제성과 연관시킬 수 있도록 하여야 한다.

제 5 장

결론 및 정책제언

제1절 결 론

제2절 정책제언

제5장 결론 및 정책제언

제1절 결론

근래의 도시 상수도는 보급률이 99%에 달하며, 노후화된 상수관로가 급증하고 있다. 현재까지는 관로의 급작스런 파손에 의한 갱생방법으로써 관의 교체가 주로 이루어졌지만, 이후로는 관의 노후특성에 따른 적합한 갱생방법을 선택하여야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 노후관 현황, 노후도 평가방법, 갱생의 다양한 방법 및 사례, 갱생방법별 시공조건을 아래와 같이 제시하고자 한다.

1. 대전시의 부설경년별 수도관의 길이를 보면 1~5년(201?년 기준) 491 km, 6~10년 691 km, 11~15년 719 km, 16~20년 797 km, 21~25년 981 km, 31년 이상 101 km로 나타났다. 이 중에서 노후관 발생현황(2009년 12월 기준)을 보면 PVC관 724.3 km, PE관 30.9 km, 회주철관 25.3 km, 닥타일관 24.3 km로 PVC관 및 PE관은 부설년수에 비하여 노후화가 빠른 것으로 나타났다. 또한 부설년수가 오래 된 회주철관 및 닥타일관에서도 노후관로의 발생이 나타났다.
2. 현재 발생하고 있는 노후관 및 향후 발생이 예상되는 노후관을 보면 2010년에 1,022.9 km를 갱생하여도, 2011년 193.3 km, 2012년 111.0 km, 2013년 97.4 km, 2014년 120.2 km, 2015년 169.6 km, 2015~2020년 612.7 km, 2021~2025년 374.7 km가 발생하여 매년 평균 169 km(평균사업비 54,680백만원/년)이 상수관로 갱생의 대상이 된다. 특히, 배수관에서는 시멘트라이닝 주철관의 노후관 발생이 급증할 것으로 예상되며, 급수관에서는 PVC관이 노후관로의 대부분을 차지할 것으로 나타났다.

3. 상수관로의 진단 및 평가를 하여 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 일반관망 진단으로 소블록을 평가한 결과 동구 2블록, 중구 2블록, 서구 1블록, 유성구 3블록, 대덕구 3블록에서 불량률의 평가를 받았다. 소블록 평가기준으로는 우수율, 블록의 형태, 블록 내 수압 편차, 블록 내 누수량 측정시설, 누수량 측정관리, 누수 발생 횟수, 녹물의 발생, 관의 스케일 부착, 블록의 크기, 블록 내외의 정체부로 지표를 만들어 평가를 하였다. 위와 같이 불량률으로 소블록은 전문기술진단을 수행하게 되는데, 그 결과로 불량관로에 대해서는 관로의 갱생 없이 모두 교체하는 것으로 나타났다.
- (2) 관체의 노후도를 평가하는 데에는 간접평가 인자 및 직접평가 인자를 고려하여 점수평가 기법을 적용하게 된다. 간접평가 인자로는 관종, 관경, 내면피복, 외면피복, 매설년도, 토양종류, 주변도로, 접속방식, 누수·파손·벨브교체 기록, 수질·수압 등 민원발생이 있다. 직접평가 인자로는 실측내경, 관 두께, 도복장 두께, 외면부식 깊이, 외면부식 둘레, 외면피복 박리, 관내침전물 두께, 내면부식 깊이, 내면부식 둘레, 내면피복 박리, 최대스케일 두께, 수압이 있다. 이러한 인자들을 고려한 직접·간접평가의 관체수집 결과를 보면 동구 1개소, 중구 4개소, 서구 1개소, 유성구 3개소 및 대덕구 7개에서 관체의 교체, 갱생 등의 결과가 나타났다. 로 나타났다.
- (3) 소블록 평가와 관체 노후도 평가의 대상이 정확히 일치하지는 않았지만 평가결과에 따른 구별 불량률 개소수가 다르게 나타났는데, 이는 평가의 대상 및 인자에 차이가 있었기 때문으로 판단된다.
- (4) 여러 가지 상수관로의 진단 및 검토를 한 결과, 대전시에서는 2010년 55.5 km, 2011년 59.3 km, 2012년 290.4 km, 2013년 277.9 km, 2014년 300.7 km, 2014년 300.7 km, 2015년 342.8 km, 2016~2020년 1005.5 km, 2021~2025년 374.7 km를 교체하는 것으로 나타났다. 이는 2025년까지의 총 노후관 발생과 같은 수치이지만, 갱생시기는 2016~2020년에 집중되어 있다. 반면, 노후관 특성에 대한 다양한 특성을 조사하였지만 관로세척, 관로라이닝 및 신기술 적용 등의 관로갱생 없이 관로교체 계획만 수립된 상황이다.

4. 상수도에 관련하여 우리나라보다 일찍이 설치·운영이 되었고, 갱생에 대한 다양한 경험이 있는 선진 국가에 대한 상수관로 관련 관리 및 갱생사업에 대한 내용은 다음과 같다.

(1) 일본 :

- 배수통제에 의한 균등배수 시도, TMS에 의한 유량, 수압, 수질 등의 파악, 수요예측에 근거한 시설의 종합감시 및 지시, 계량기 집중점검이나 자동원격점검 등이 행해지고 있음
- 1회/2~3년의 비율로 누수를 순회조사하며, 허용등급을 정하고, 60 L/min/km 이상이면 중점적으로 보수해가는 누수방지대책 사용
- 관로갱생에 있어서 ①우선순위는 매설순위, 누수 및 파손사고 다발장소, 수질악화장소 등의 관로와 관련된 직접정도 뿐만 아니라 해당노선의 도로개수 계획도 고려하여 결정 ②관로의 중요도, 매설환경의 악화 및 경제성 등의 고려는 아직 미흡한 상황임 ③관로갱생 연장은 1000~1200 km/년으로 거의 일정 ④19개 도시를 대상으로 조사한 결과 75% 교체, 20% 도장, 나머지 관 삽입으로 진행됨

(2) 미국 :

- AM/FM/GIS 기술 도입으로 꾸준히 자동화를 추진하며, 자동화와 원격 감시 범위가 한정되어, 숙련된 직원이 시스템의 운전 전문적으로 종사
- 유지관리에 감압밸브의 검사·보수, 밸브의 작동시험·보수, 관의 누수탐지, 보수 및 부식방지, 펌프장의 검사·보수, 침하·침출의 조사 등이 포함됨
- 관로의 유지관리는 누수탐비, 보수 및 부식방지로 구성
- 한정된 예산을 분배할 때 우선순위를 부여하여 효율적 관로갱생을 결정
- B/C분석, 점수평가시스템, 장애의 파손을 예측하여 사전에 갱생을 실시
- 관로갱생을 위한 ①중요인자 : 관로 과거상태 기록축적 및 관리, 무수수량 상태를 평가·감시 ②교체결정 요인은 보수기록과 매설년수 ③갱생은 주로 폴리피그법으로 세관 ④수도관로의 잔존수명을 결정하기 위한 물리적 상태 예측모델을 개발

(3) 영국 :

- 관망해석이나 관망시뮬레이션이 운전상의 일상적인 문제를 해결하거나 다른 기술과 방법을 검토하기 위해 사용
- 의사결정지원시스템 이용에 필요한 원격계측기 및 원격제어시스템의 개발을 추진
- 누수를 위한 대책강수 : 현재는 유량계 및 레이다기록 기술의 향상으로 보다 질 좋고 효율적인 누수관리방법 개발
- 수도업계는 민영화체제로 변화됨
- 10개의 수관리공사는 모두 관로갱생프로그램을 보유하고 있으며, 운영 및 유지관리업무에 GIS를 도입
- 수도관로 갱생에 있어서는 ①과거 본관의 교체와 갱생여부는 매설년수, 관의 상태, 높은 파손율과 적수발생 등으로 결정 ②현재 관로 개선을 위해서는 수압, 급수의 계속성, 수질문제 조사하는 계획방법 개발
- 주로 이용되는 갱생기술은 세척공법, 비구조적 라이닝공법, 구조적 라이닝공법 및 매설교체의 4가지로 구분됨

(4) 독일 :

- 배수시설에 대해 수밀성, 기능성, 상태 및 음용수의 수질을 정기적으로 실시
- 물의 손실 및 누수관리(야간유량의 측정, Zero 소비 측정)
- 관로갱생의 기준은 파손빈도, 압력손실, 탁도, 누수, 그리고 도로의 개수공사 등 외적인 요인 등이 있음
- 갱생의 주요 판단기준은 파손과 도로의 보수(70% 매설교체, 30% 시멘트 모르타르라이닝)
- 금속관의 갱생기술 ①세관 ②시멘트 모르타르라이닝 ③관삽입공법에 따른 매설교체 ④수평방향의 Flush Boring ⑤부설교체

5. 상수관로 갱생에는 교체 이외에도 세척, 라이닝, 물리적 이온수처리 등 다양한 방법이 있으며, 각 공법마다의 장·단점이 존재함

(1) 교체 :

- 장점 : ①물 수요량에 따라 관경을 크게 확장 가능 ②교체 후 보수비용 감소 ③더 높은 C값으로 통수유량 증가 ④선진화된 관중으로 교체 가능
- 단점 : ①기존 관의 갱생에 비하여 굴착과 인력 등의 공사규모가 큼 ②관이 교체되는 동안에는 일시적으로 급수가 중단 ③관교체는 일반적으로 보수 또는 갱생비용에 비하여 고가

(2) 세척 :

- 장점 : ①침전물, 슬라임, 스케일 등 부식생성물 등의 제거 ②수요지에 공급되는 동안 수돗물의 수질을 보전 ③상수관로의 수리적 통수능력이 향상 ④밸브조작 프로그램과의 연계를 통한 유지관리 기술이 향상됨 ⑤수도사업자의 가시적 수질관리 노력에 따른 수돗물의 신뢰성이 증진
- 단점 : ①세관으로 인한 상수관로 내 침전물 등의 일시적 수지저하가 발생할 수 있음 ②일시적인 급수 중단이 일어남 ③세관으로 발생하는 폐수·고형물을 처리해야 함 ④세관의 효과가 일시적임 ⑤라이닝이 안 된 관로의 경우, 내부부식 또는 적수발생 등의 증가 가능성이 있음

(3) 라이닝 :

- 장점 : ①세척과는 달리 관 내면의 도장으로 녹의 재발생을 억제할 수 있음 ②라이닝을 실시하면서 기 생성된 일부 균열을 메움으로써 누수를 방지할 수 있음 ③관로교체에 비하여 경제적임
- 단점 : ①라이닝에 대한 시공실적이 적은 편임 ②라이닝 이전의 세관으로 발생하는 폐수·고형물을 처리해야 함

(4) 물리적 이온수처리

- 장점 : ①스케일·녹의 감소로 인한 세관의 효과 ②균열의 마그네타이트화로 누수 방지의 효과 ③관중에 따라 신규·노후관을 추가 20여년은 부식 없이 사용 가능 ④가장 경제적인 갱생방법 중 하나로 상수도관부터 건물 내의 급수전까지 한꺼번에 관리가 가능

- 단점 : ①다른 관로에 비하여 그 기능을 회복하는데 시간이 많이 필요
②적합한 관중에 제한이 있을 있음 ③시공 실적이 다른 공법에 비하여 제한적임

6. 상수관로 갱생에 있어서는 위에서 기술된 내용을 바탕으로 대전시에 적합한 방법을 제시하여야 한다. 특히 대전시의 경우에는 관로교체를 위주로 갱생이 제시되어 왔지만 각 상황에 맞는 관체조건 혹은 소블록 조건을 찾아, 보다 효과적이고 경제적인 방법을 찾아야 한다.

(1) 교체에 적합한 조건

- 관로가 크게 파손되거나 강성이 심하게 약화되어 파손이 우려되는 경우
- 균열이 심하게 진행되어 유수율이 많이 낮아진 경우
- 수돗물의 수요를 충족하기에는 통수능력이 부족한 경우
- 현 관중이 외부환경에 의하여 지속적 녹, 균열의 생성이 예상되는 경우

(2) 세척

- 관로 교체 시 교통장애 및 건축물의 영향이 문제가 될 경우
- 상수관로 강성이 남아있지만 스케일, 생물막, 침전물 등으로 수질 및 통수능력에 문제가 있을 경우
- 세척 후 녹 및 스케일의 재생성 가능성이 비교적 적은 경우

(3) 라이닝

- 관로 교체 시 교통장애 및 건축물의 영향이 문제가 될 경우
- 세척에 의한 통수면적 확대, 내부코팅에 의한 녹 생성의 방지, 미세한 균열의 코팅을 한꺼번에 해결하고자 하는 경우
- 세척 후에도 지속적인 녹 및 스케일의 생성 가능성이 높은 경우

(4) 이온수처리기

- 관로 교체 시 교통장애 및 건축물의 영향이 문제가 될 경우
- 덕타일주철관, 아연도강관 등 녹 및 스케일 생성이 많은 관종인 경우
- 이온수처리에 의한 통수면적의 확대, 이온교환에 의한 녹 생성의 방지 및 균열의 강화 등을 한꺼번에 해결하고자 하는 경우

전국 대부분의 지자체에서는 수도정비기본계획에서 다양한 노후관의 조사를 진행하고 있지만, 최종 갱생방식을 보면 대부분 관로교체로 결론짓고 있는 실정이다. 이에, 향후 수도정비기본계획 등을 수립할 때에는 상수관로가 일반관리·모니터링, 교체, 세척, 라이닝, 이온수처리 등 다양한 갱생방법이 있다는 것을 염두에 둔 계획을 수립하여야 할 것이다.

- 이를 결정할 수 있도록 최적의 방법을 조사·적용할 수 있어야 하며, 이를 해당블록 및 관체에 연결시킬 수 있는 대전형 모델의 수립도 필요함
- 최적 모델을 수립할 때에는 경제성, 누수율, 통수능력이 주요 인자로 고려하여 수립해야 함
- 또한, 주요 인자들을 명확히 산정·평가하기 위해서는 세부적으로 매설년도, 상수관로 사고의 모니터링, 관중, 피복의 유무, 스케일, 부식특성, 수압, 토양의 종류, 수질, 주변도로, 신공법의 등장 등을 고려해야 함

제2절 정책제언

대전시는 교체위주의 상수관로 갱생에서 벗어나, 급증하는 노후 상수관로의 경제적인 갱생을 위한 정책을 수립할 필요가 있다.

1. 현재까지의 소블록 조사 및 한정된 관체의 분석에서 벗어나 보다 노후관로의 특성을 얻을 수 있는 광범위한 조사방법의 선택이 필요하다.
2. 관로교체는 상수관로 갱생의 가장 오래된 방법이며, 그 이후 세척 및 라이닝 공법이 일부 적용되어 왔다. 또한 과학기술의 발전과 더불어 이온수처리와 같은 신공법 등이 출현하고 있는바, 가능한 여러 가지 갱생공법을 신중히 비교·검토하여야 할 것이다.
3. 소구역 및 관체의 평가에 있어서는 지금까지의 자료조사 및 문헌에서의 기준에서 벗어나 최대한 현장조사 자료가 적용될 필요가 있다. 특히, 관로 노후도의 기준이라 할 수 있는 누수·파손, 통수율 저하, 수질 저하를 중점으로 관로 노후도를 평가할 수 있는 기준을 만들어야 할 것이다.
4. 노후화 조사방법 및 결과로써 대전시 노후관로 갱생방법의 선정에 적용할 수 있는 모델·시스템을 만들어야 할 것이며, 이는 노후관로를 적정시기에 갱생할 수 있도록 경제성이 큰 인자로 적용되어야 할 것이다.

부록1 - 대전시 노후관 갱생계획

1. 노후관 산출근거

- 배수관 : 관망기술진단에 의한 노후도 평가방식을 적용하여 산출
 - 「수도법 제74조(수도시설에 대한 기술진단 등)」
 - 「수도법시행규칙 제27조(수도시설에 대한 기술진단의 구분)」에 의하여 상수도관망의 기술진단을 의무화 함.
 - 「상수도 관망기단 매뉴얼(2008.2. 환경부)」
 - : 3.3.2 시설별 전문기술진단
 - 구조적 안전성에 대한 기술진단(관체의 노후도) 중 간접평가인자를 이용한 관체노후도 평가 방식을 적용하여 노후관을 산출함.
- 급수관 : 20년 이상 된 합성수관 (PE관, PVC관, PEP관)

2. 관로부설 현황

<표 부록-1> 대전시 관종별 관로부설 현황

(2009년 12월 31일 기준, 단위 : km)

| 구분 | 합계 | 회주철관 | 다타일관 | 시멘트라이닝주철관 | 도복장망관 | PVC관 | PE관 | STS관 | 기타 |
|-----|---------|------|-------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 계 | 4,271.7 | 25.3 | 189.2 | 1,245.5 | 132.6 | 1,040.7 | 571.9 | 834.5 | 232 |
| 도수관 | 19.3 | - | - | 0.5 | 18.6 | - | - | - | 0.2 |
| 배수관 | 2,219.4 | 25.3 | 189.2 | 1,245 | 114 | 52.1 | 372.5 | - | 221.3 |
| 급수관 | 2,033.0 | - | - | - | - | 988.6 | 199.4 | 834.5 | 10.5 |

3. 노후관 발생 현황

○ 배수관

- 당해연도 기준 노후관 현황 : 관망기술진단의 노후관 간접평가로 산정
- 매년 발생하는 노후관 현황 : 관망기술진단의 노후관 간접평가 인자 중 매설년도를 매년 변경하여 노후관 산정

○ 급수관

- 통계연보를 기준으로 합성수지관(PVC, PE)관은 20년 이상된 관을, 주철관(PFP)은 30년 이상된 관을 노후관으로 산정

<표 부록-2> 당해연도 기준 노후관 발생현황

| 구 분 | | 합계 | 회주철관 | 닥타일관 | 시멘트라 이닝 주철관 | 도복장 강 관 | PVC관 | PE관 | 기타 |
|--------------|-----|---------|-------|-------|-------------------|------------|---------|-------|----|
| 노후관 (km) | 계 | 814.1 | 25.3 | 24.3 | 0.1 | 9.2 | 724.3 | 30.9 | |
| | 배수관 | 107.3 | 25.3 | 24.3 | 0.1 | 9.2 | 36.7 | 11.7 | - |
| | 급수관 | 706.8 | - | - | - | - | 687.6 | 19.2 | - |
| 사업비 (백만원) | 계 | 167,414 | 8,700 | 8,650 | 50 | 8,670 | 132,806 | 8,538 | |
| | 배수관 | 41,050 | 8,700 | 8,650 | 50 | 8,670 | 11,190 | 3,790 | |
| | 급수관 | 126,364 | - | - | - | - | 121,616 | 4,748 | - |

<표 부록-3> 매년 발생하고 있는 노후관 발생현황

| 구 분 | | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 ~2020 | 2021 ~2025 |
|--------------|-----|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| 노후관 (km) | 계 | 2,701.8 | 1,022.9 | 193.3 | 111 | 97.4 | 120.2 | 169.6 | 612.7 | 374.7 |
| | 배수관 | 1,483.3 | 214.1 | 53.8 | 46.1 | 52.8 | 107.2 | 154.4 | 549.6 | 305.3 |
| | 급수관 | 1,218.5 | 808.8 | 139.5 | 64.9 | 44.6 | 13.0 | 15.2 | 63.1 | 69.4 |
| 사업비 (백만원) | 계 | 874,876 | 240,450 | 47,351 | 31,699 | 28,156 | 44,004 | 64,109 | 268,766 | 150,341 |
| | 배수관 | 647,422 | 95,735 | 22,342 | 20,055 | 20,088 | 40,949 | 60,500 | 253,790 | 133,963 |
| | 급수관 | 227,454 | 144,715 | 25,009 | 11,644 | 8,068 | 3,055 | 3,609 | 14,976 | 16,378 |

<표 부록-4> 노후관 연도별, 관종별 발생현황 (단위 : km)

| 구 분 | | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 ~2020 | 2021 ~2025 | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|-------|
| 노 후 관 (km) | 계 | | 1,022.9 | 193.3 | 111 | 97.4 | 120.2 | 169.6 | 612.7 | 374.7 | |
| | 배 수 관 | 소계 | 1,483.3 | 214.1 | 53.8 | 46.1 | 52.8 | 107.2 | 154.4 | 549.6 | 305.3 |
| | | 회주철관 | 25.3 | 25.3 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 닥타일주철관 | 179.2 | 107.0 | 38.2 | 28.9 | 0.3 | | 0.5 | 4.0 | 0.3 |
| | | 시멘트라이닝 주철관 | 771.6 | 0.9 | 0.4 | 0.5 | 27.2 | 66.0 | 101.0 | 346.1 | 229.5 |
| | | 도복장강관 | 89.2 | 17.3 | 2.8 | 5.1 | 2.3 | 0.3 | 6.6 | 36.9 | 17.9 |
| | | PVC관 | 49.2 | 41.9 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0.6 | 0.7 | 1.6 | 0.1 |
| | | PE관 | 352.2 | 21.7 | 11.1 | 9.9 | 21.7 | 40.3 | 45.6 | 159.0 | 42.9 |
| | | PEP관 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | 3.7 |
| | | HI_3P관 | 12.9 | - | - | - | - | - | - | 2 | 10.9 |
| | 급 수 관 | 소계 | 1,218.5 | 808.8 | 139.5 | 64.9 | 44.6 | 13.0 | 15.2 | 63.1 | 69.4 |
| | | PVC관 | 1,016.2 | 788.8 | 138.8 | 54.2 | 34.4 | - | - | - | - |
| | | PE관 | 196.9 | 20.0 | 0.7 | 10.7 | 10.2 | 13.0 | 15.2 | 63.1 | 64.0 |
| | | PFP관 | 5.4 | - | - | - | - | - | - | - | 5.4 |
| 사 업 비 (백만 원) | 계 | 874,876 | 240,450 | 47,351 | 31,699 | 28,156 | 44,004 | 64,109 | 268,766 | 150,341 | |
| | 배수관 | 647,422 | 95,735 | 22,342 | 20,055 | 20,088 | 40,949 | 60,500 | 253,790 | 133,963 | |
| | 급수관 | 227,454 | 144,715 | 25,009 | 11,644 | 8,068 | 3,055 | 3,609 | 14,976 | 16,378 | |

4. 노후관 갱생계획

○ 배수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 매년 발생하는 노후관 : 2010년, 2011년 예산확정으로 2010년, 2011년 발생 노후관은 2012~2015년 까지 교체하는 것으로 계획

○ 급수관

- 당해연도 기준 노후관 : 2010~2020년까지(11년간) 교체하는 것으로 계획
- 매년 발생하는 노후관 : 2010년, 2011년 사업비 예산을 제외한 물량에 대해서는 2012~2015년 까지 교체하는 것으로 계획

<표 부록-5> 노후관 갱생계획

(단위 : km, 백만원)

| 구 분 | | 계 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 ~2020 | 2021 ~2025 |
|------------------------------|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------------|---------------|
| 노 후 관 (km) | 계 | 2,701.8 | 55.5 | 59.3 | 290.4 | 277.9 | 300.7 | 342.8 | 1,000.5 | 374.7 |
| | 배수관 | 1,483.3 | 24.2 | 23.3 | 94.0 | 101.9 | 156.2 | 196.2 | 582.2 | 305.3 |
| | 회주철관 | 25.3 | 5.3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | - | - | - |
| | 덕타일주철관 | 179.2 | 9.7 | 9.7 | 57.7 | 29.1 | 28.8 | 28.8 | 15.1 | 0.3 |
| | 시멘트라이닝 주철관 | 771.6 | 0.5 | 0.4 | 0.9 | 27.2 | 66 | 101 | 346.1 | 229.5 |
| | 도복장강관 | 89.2 | 2.6 | 2.2 | 8.2 | 6.5 | 4.5 | 10.5 | 36.8 | 17.9 |
| | PVC관 | 49.2 | 4 | 4 | 6.2 | 6.3 | 5.5 | 5 | 18.1 | 0.1 |
| | PE관 | 352.2 | 2.1 | 2 | 16 | 27.8 | 46.4 | 50.9 | 164.1 | 42.9 |
| | PEP관 | 3.7 | - | - | - | - | - | - | - | 3.7 |
| | HI_3P관 | 12.9 | - | - | - | - | - | - | 2.0 | 10.9 |
| | 급수관 | 1,218.5 | 31.3 | 36.0 | 196.4 | 176.0 | 144.5 | 146.6 | 418.3 | 69.4 |
| | PVC관 | 1,016.2 | 30.4 | 35.0 | 183.4 | 163.5 | 129.2 | 129.1 | 345.6 | - |
| | PE관 | 196.9 | 0.9 | 1.0 | 13.0 | 12.5 | 15.3 | 17.5 | 72.7 | 64.0 |
| | PFP관 | 5.4 | - | - | - | - | - | - | - | 5.4 |
| 사 업 비 (백 만 원) | 계 | 874,876 | 17,258 | 15,832 | 77,363 | 73,674 | 89,523 | 107,846 | 343,039 | 150,341 |
| | 배수관 | 647,422 | 11,670 | 9,397 | 42,170 | 42,061 | 62,922 | 80,694 | 264,545 | 133,963 |
| | 급수관 | 227,454 | 5,588 | 6,435 | 35,193 | 31,613 | 26,601 | 27,152 | 78,494 | 16,378 |

부록2 - 외국의 상수도시설 관리방안 비교·분석

A. 일본

1. 수도시설의 개요

- 근대수도 역사 : 1887년 (요코하마市) 시작
- 총인구 : 124,570천인
- 급수인구 : 118,470천인 (수도보급율 : 95.1%)
- 총급수량 : 1674억 m³ / 유효율 : 89.6% / 유수율 : 86.4%(분수량제외)
- 수자원
 - 지표수 : 167억 m³/년 (71.3%)
 - 지하수 : 25.7억 m³/년 (25.7%)
 - 기 타 : 5억 m³/년 (3%)
- 관로연장 : 476,349 km(1992년말 기준)
 - 도수관 : 9,661 km
 - 송수관 : 22,080 km
 - 배수관 : 452,319 km
- 관종 : 주철관, 석면시멘트관(규제폐지), 강관, PVC관, PE관 등
- 급수관은 위의 관종외에 납관, 동관등이 있지만 SUS관의 사용이 점차 증가
- 관내·외면 방식재료 : 외면은 타르에폭시수지도장을 표준으로 하여 그 위에 폴리에틸렌슬리브를 하는 경우도 있음. 내면은 몰타르라이닝으로 Seal Coating. 이형관의 경우는 Epoxy수지분체도장함. 강관의 경우 외면은 비니론크로스에 아스팔트를 함께 적셔두는 것이고, 내면은 타르에폭시 수지도장에서 액상 Epoxy를 사용(위생적인 측면 고려)
- 관리주체 : 국가의 인가를 근거로 市町村이 관리
- 1970년대이후 대규모 광역화 추진

2. 수도관로의 계획, 설계 및 시공

- 계획면 : 관내·외면의 방식재료 검토, 관로의 Loop화, 이중화, 대체(Back Up) 기능의 강화, 지진대책, 그리고 배수관로에 대하여 관망의 Block화 등이 진행중
- 설계면 : 지반침하방지, 재해대책 및 구조물의 출구 등에 위치한 주철관접합부의 이탈방지를 위해 이탈방지접합부를 설치하거나, 소켓이 긴 접합관이나 신축성 강관을 많이 사용
- 설계시에 컴퓨터를 이용한 자동적산도 행하고 있음
- 시공면 : 대부분 야간에 시공, 주요노선에서는 추진공법이나 Shiled공법채택, 그리고 국도 등의 주요노선에서는 공동구 설치하고, 관로식별을 위한 Tape이나 Seal을 의무화

3. 수도관로의 운영

- 배수통제에 의한 균등배수 시도, Telemeter에 의한 관로정보(유량, 수압, 수질 등)의 파악, 무선에 의한 출장소 시설의 원격제어, 수요예측에 근거한 시설의 종합감시 및 지시, 계량기 집중점검이나 자동원격점검 등이 행해지고 있음
- Fuzzy이론에 의한 배수지와 펌프장의 효율적인 운영도 일부지역에서 행하고 있음
- 인공지능(Artificial Intelligence)이나 전문가시스템(Expert System)을 이용한 종합운영방안을 계획
- 사업자와 수요자의 책임분기점은 수도관 분기점이나 저수조의 직전이며, 1.0 m³ 이상의 저수조에 대한 유지관리기준은 법률로 정해져 있음
- 수도법에 급수전 출구의 유리잔류염소농도 0.1 ppm이상 규정
- 원수오염에 따른 철제거, 망간제거 대책으로 정수장에 채용된 전염소처리법에 의해 염소주입량이 증가추세
- 근래는 THM이나 염소냄새 대책으로 정수장에서 중간 염소주입이나 Chloramine 처리뿐만 아니라 배수관로나 배수지에서의 추가주입도 시도

4. 수도관로의 유지·관리

- 관로시설에 대한 기존자료들은 대부분 배관도집이나 마이크로필름으로 보존

- 1회/2-3년의 비율로 누수를 순회조사(지중레이다, 누수조사용 블록, 야간최소 유량법, 상관식누수탐지기 등 사용)
- 허용누수량에 대한 기준은 없지만 어떤 도시에서는 허용누수량을 A(20 L/min/km), B(20-60 L/min/km), C(60 L/min/km 이상)의 3등급으로 분류하고 C등급으로 조사된 지구는 중점적으로 보수해가는 누수방지대책을 사용
- Mapping System의 도입을 추진 중
 - 맵핑시스템 도입사례
 - 이 시스템은 지형D/B(도로, 대상물, 건물, 밸브栓등)와 속성D/B(가옥, 밸브해석, 사고이력 등)로 구성
 - 주요 기능으로 기본기능(보존, 검색, 집계, 출력), 해석기능(수리, 수질해석), 시뮬레이션 기능등을 보유
 - 또한 사고 시에는 단수건수의 집계, 예측, 블록内の 수리계산에 의한 감압장소의 예측, 연소소비량, 잔류연소량의 표시등도 가능. 장래에는 경영전략을 지원할 수 있는 시스템으로 활용할 계획

5. 수도관로의 갱생기준

- 관로의 갱생을 교체와 갱생으로 구분
 - 교체 : 관교체, PIP공법
 - 갱생 : Cleaning후 시멘트몰타르 또는 에폭수지, 호스라이닝 등으로 갱생
- 관로갱생의 우선순위
 - 관의 매설년수, 누수 및 파손사고 다발장소, 수질악화장소 등의 관로와 관련된 직접정도 뿐만 아니라 해당노선의 도로개수계획도 고려하여 결정
 - 그러나 관로의 중요도, 매설환경의 악화 및 경제성 등은 아직 고려되지 않고 있음
- 관로가 갱생되는 연장은 1,000 ~ 1,200 km/년으로 거의 일정
- 19개 도시를 대상으로 조사한 결과 교체 75%, 도장 약 20%, 나머지가 관삽입 공법(PIP)

6. 특이사항

- 석면시멘트관의 보급 : 2차대전 후 경제 부흥기 때 수도의 보급이 급선무가 되어, 값이 싸고 입수하기 쉬운 관으로 널리 보급. 그 결과 전국적으로 석면시멘트관이 많이 매설되어 있으며 중소도시는 아직 30~50%가 석면시멘트관인 곳도 있음 (1985년 규격 폐지)
- 일본 동경도의 긴급급수의 대책과 처리를 위해 수도특별작업대를 설치하여 운영(1979년 4월1일 설치)
 - 목적 : 급수상의 긴급사태에 즉각 대응하여 이에 기동적이고 효율적으로 대처함으로써 시민서비스에 기여하는 동시에 누수의 조기발견과 예방을 위해 순회지도, 특히 독극물 등의 사용에 따른 수질사고를 미연에 방지하는 것
 - 내용 :
 - 가) 돌발사고 발생 시 초기의 홍보, 긴급누수, 보안조치 등의 실시
 - 나) 누수의 조기발견과 예방을 위해 순회지도
 - 다) 독극물의 사용에 따른 수질사고 사전예방
 - 라) 누수보수 등의 긴급공사 실시
 - 마) 택지 내 누수보수 등의 긴급공사
 - 바) 급수장치의 검사
 - 사) 도로점용 공사에 수반되는 자주 감찰
 - 아) 지진 등 재해 발생 시의 초기정보 연락
 - 인원 : 130명(4대 편성): 24시간 2교대 근무
 - 장비 : 각종 차량 22대, 주요 기자재 1식, 그 외 긴급용 기자재 1식 배치

B. 미국

1. 수도시설의 개요

- 복잡하고 규모가 다양하므로, 미국전체를 대표하는 전형적인 수도시스템은 없음 (LA를 예로 설명)
- LA 수도시스템은 미국 내 가장 복잡한 수도시스템 중 하나이며, 대도시권의 수도시스템을 대표
 - LA 수도국은 120개의 지하우물, 187개 이상의 펌프장, 104개 배수지와 정수지가 있음
 - 68만 수요자에게 급수
 - 관경은 50 ~ 2,000 mm의 본관 11,263 km, 이중 CIP 및 DCIP가 75%, 강관 15%, ACP 10%차지

2. 수도관로의 계획, 설계 및 시공

- 관로의 관경은 관망시뮬레이션결과의 해석에 근거한 표준 Grid시스템에 의해 결정되는데 이는 시스템 내에서 과잉손실수두 없이 급수하기 위함.
- 수압관리 : 탱크와의 고도차가 100 ft(약 3 kg/cm²) 미만인 구릉위의 개발지역에 대해서는 수도국이 적절한 수압으로 공급할 책임이 있음.(수압-공기압 시스템 사용)
- 수도시스템의 설계는 가정의 수요보다 공공소방의 여건에 따라 결정
- 관종 : DCIP, 용접SP, ACP, 플라스틱관 등으로, 재료선택은 토양상태, 수압, 비용, 기술자의 개인 선택에 의해 결정
- 기록관리 : 수작업으로 지도를 정비하는 것에서 자동제도시스템(CAD :Computer Aided Drafting)그리고 자동 Mapping 및 시설관리(AM/FM: Automated Mapping and Facilities)시스템으로 이행
- 계획면 : 수도국의 기술자에 의해 심사 및 승인
- 설계면&시공면 : 건설업자에 의해 수행, 건설 중에도 계속적으로 수도국의 검

사관에 의해 검사가 행해짐. 그리고 수도국은 도자적인 사양에 따라 제조된 재료를 건설업자에게 지급, 나머지 재료는 건설업자가 조달

3. 수도관로의 운영

- 최초 Telemetry System을 1938년에 설치(주요지점의 수압감시)
- 최근 전화회선을 이용한 원격 수신용 신호(Pulse) 측정기기를 설치하여 자동 제어 가능 (수위, 유량, 수압감시)
- 집중감시제어와 염소의 감시 및 경보시스템 설치
- 15년 전부터 AM/FM/GIS 기술을 도입하여 꾸준히 자동화를 추진
- 1992년 AWWA의 자동화 실태조사
 - 총 570건 중 270건의 설문회수
 - 수요자수가 3만5천명 이상인 사업체의 74%가 CAD를 업무에 활용하고 있고 51% FM을 도입
 - 174개 사업체(64%)가 GIS의 도입을 계획 또는 사용 중
- 자동화와 원격감시의 범위는 한정되어 있으므로 숙련된 직원이 시스템의 운전 전문적으로 종사

4. 수도관로의 유지·관리

- 유지관리에는 감압밸브소의 검사와 보수, 밸브의 작동시험과 보수, 관의 누수 탐지, 보수 및 부식방지, 펌프장의 검사와 보수, 그리고 탬의 변위, 침하 및 침출의 조사 등이 포함됨
- 관로의 유지관리는 누수탐지, 보수 및 부식방지로 구성
- 관로밸브에 대한 포괄적인 보수 및 검사프로그램이 실행(매일점검, 매주순회)
- 많은 수도사업체에서 지속적인 활발한 누수탐지 프로그램을 실행(LA수도국은 1976년 갈수기 때 착수)
- LA 수도국에서는 원격감시제어 및 자료수집(SCADA)시스템을 설계중인데, 최종적으로 모든 펌프장, 저수지수위, 염소주입점, 주요한 유량제어, 감압밸브

Station의 집중감시를 목표

- 펌프장치의 높은 신뢰성유지를 위해 보수 및 검사를 순회하면서 실시
- 댐의 변위, 침하 및 침출을 관찰, 조사수행
- 매월 댐의 목표물로 설치된 축의 관리라인에서 변위조사
 - 침하판단을 위해 레벨측량
 - 침출수의 양과 종류측정을 위한 매년 분석 및 조사

5. 수도관로의 갱생 기준

- 한정된 예산을 분배할 때 우선순위 부여하여 효율적인 관로갱생을 위해 결정
- B/C분석, 점수평가시스템, 장애의 파손(사고)을 예측하여 사전에 갱생을 실시
- 중요인자
 - 관로의 과거상태 기록 추적 및 관리(파손건수, 위치, 일시, 파손종류, 수압의 정보 등)
 - 무수수량(LA, 평균 7.5~8%정도) 상태를 평가 및 감시
- 교체결정요인은 보수기록과 매설년수
- 갱생은 주로 폴리피그법으로 세관
- 관로파손의 대다수는 1920 ~ 30년대에 매설된 CIP에서 발생
- 수도관로의 잔존수명을 결정하기 위한 물리적 상태 예측모델을 개발
- 또한 돌발적인 사고가 일어날 위치의 예측이 가능한 모델을 개발 중(예, 필라델피아)

6. 특이사항

- WSSC
 - 많은 보수공사 시행(5백만\$/년)
 - 매년 45건씩 보수공사 증가
 - 관로현황 : 4,000마일의 관로의 평균 매설년수 25년(대부분이 1950년 이후 매설). 3,000마일의 관로가 1970년 이전 매설

- 관중은 3/4 주철관이고 나머지는 DCIP
- 관경은 55%가 150~200mm로 구성
- 1986년에 약 1,300건의 보수공사. 이중 80%가 관 파손으로 인한 것
- 1976~1985(10년간)1년에 1,000마일당 평균파손건수는 246건 : 뉴욕은 70건 /1000마일, Washington은 163건/1000마일)
- LA
 - 급수구역 102개(1,207km²), 가압펌프장 87개, 배수지&저수지 107개
 - 수도시스템의 건설, 운전 및 유지관리에서 수도·전기국(DWP: Department of Water and Power)담당이며, 3,300명의 직원
 - 1인당 평균급수량 : 712 Lpcd, 주요수원 : 4개
- AWWARF의 지침서
 - 목적 : 시설의 정확한 홍보를 바탕으로 교체, 갱생의 적절한 방법을 결정하여 시행함으로써 양질의 수돗물을 확보하는 계획 수립
 - 내용 : 기존정보의 수집과 분석, 관로주변의 토양 및 수질시험을 실시, 관로 노후화예측모델을 설정하여 예방적 대책결정을 하기 위한 일련의 흐름 제시
- Emergency Operating Plan(EOP) 작성단계
 - 긴급상황 가정
 - 시스템(집수, 송수, 처리, 급수) 취약성 평가
 - 수요의 종류와 양을 결정
 - 재해 후 시스템 잔존능력과 수요를 비교
 - 우선순위(잔존능력, 복구) 결정
 - 인적·물적 자원을 최적으로 배분
 - 담당직원과 임무연결
 - 매년 계획 검토 및 수정보완

C. 영국

1. 수도시설의 개요

- 런던수도시설역사 약 400년
- 배수관로 연장은 16,000 km 이상 (이중 25%이상 매설년수가 100년 이상된 관)이므로 경제성이나 안정성 측면에서 갱생이 필요
- 관종 : 대부분이 CIP이며, SP, PVC관, Concrete관 등. 최근에는 관재질의 발달로 PE나 uPVC관의 사용 증가
- 닥타일주철관은 시멘트라이닝, 아연코닝, Bitumen Dip, Plastic Sleeving으로 부식저항성이 증가
- Serven Trent지역
 - 영국의 중심부, 8백만 인구
 - 면적 8,000mile
 - 평균 매설년수가 50년 정도인 관로가 38,000 km 이상이며, 이중 75%가 강관
 - 관재질은 CIP → Spun Grey Iron → DCIP로 변화
- 1989년 수도사업의 완전 민영화(Privatization)
- 음용수 수질기준 강화에 많은 노력

2. 수도관로의 계획, 설계 및 시공

- 관로정보의 관리철저 (자료, 정보, 지식, 자산의 기록, CMS, 접근 방법, 사업체간의 교환)
- 1974년 수관리공사의 설립이후, 각 지역 시의회와 1974년 이전에 수도사업체로부터 자산기록을 인수, 그 후 상수도시설망을 관리하는 새로운 방법이 업계에 도입되어 신뢰 할 수 있는 관로자료가 축적되고 있음
- CMS의 기록은 단순기록시스템이 아니라 장래에 있어서 복잡한 모델화를 위해서나 건설용 데이터의 기본자료를 활용하고 지하시설물의 위치결정이나 그 외의 여러 가지 관련정보를 제공할 수 있는 시스템으로 활용하도록 구축. 이

방법은 가장 편리하고 완벽한 시스템이지만 장비, 시스템의 특별주문비용, 특히 초기자료의 입력 등에 특히 많은 예산필요

- 그러나 CMS는 다른 사업의 정보 시스템과 통합할 수 있기 때문에 완전자동 Mapping System 및 시설 관리시스템(AM/FM)의 구축이 가능
- 각 수도사업체 간에는 Mapping System을 이용하여 지도베이스(Map-Based)의 시설기록을 교환하는 방법을 현재 검토 중, 몇 가지의 시도가 진행 중임

3. 수도관로의 운영

- 관망해석이나 관망시뮬레이션이 운전상의 일상적인 문제를 해결하거나 다른 기술과 방법을 검토하기 위해 사용
 - 새로운 설비계획의 설계
 - 本管(Mains)의 확장
 - 本管(Mains)의 갱생계획
 - 펌프와 수자원의 최적화
 - 누수와 압력제어의 계획설계
 - 평상시와 비상시 운전의 재검토
 - 시스템운전의 비용계산
- 수도시스템의 효과적인 운전 및 제어를 위해 원격제어기를 이용한 원격제어 시스템(Telecontrol Systems)이 필요. 또한 제어시스템도 중앙지향 및 중앙제어에서 중앙지향이면서 분산제어시스템으로 변환됨
- 현재는 다른 정보시스템 및 의사결정지원시스템 이용(최적화, 디지털 Mapping, 대인업무 등)에 필요한 원격계측기 및 원격제어시스템의 개발을 추진 중

4. 수도관로의 유지·관리

- 누수관리를 위한 대책강구
 - 과거 고정식 또는 차량적재식 유량계를 이용한 물의 계량이나 관망의 계속적

인 검사가 진행되는 전통적인 누수관리 방법임

- 현재는 유량계 및 레이다 기록 기술의 향상으로 보다 질 좋고 효율적인 누수 관리방법이 개발

- 1) 지구 내 유량의 계량방법을 가장 비용효과가 높은 것으로 채택(복수 유량계 설치, 2,000~5,000人的 수요자단위로 연속적 계량)
- 2) 유량측정방식과 데이터기록(Data Logging) 또는 원격계측기(Telemetry)의 실행이 시도

- 수도업계는 민영화체제로 변화
- 10개의 수관리공사는 모두 관로갱생프로그램을 보유하고 있으며, 운영 및 유지관리업무에 GIS도입
- WRC는 세계 여러 나라의 누수관리 프로그램개발을 의뢰받고 있으며, 이에 대해 기술적인 지원도 겸하고 있음

5. 수도관로의 갱생기준

- 과거에는 본관의 교체와 갱생여부는 매설년수, 관의 상태, 높은 파손율과 적수발생 등으로 결정
- 현재 관로의 개선을 위해 수압, 급수의 계속성, 수질문제를 조사하는 계획방법을 개발하고 있음(4개 분야)
- 주로 이용되는 갱생기술은 Cleaning공법, 비구조적라이닝공법(Non-Structural Lining, 시멘트몰타르 및 에폭시수지라이닝), 구조적 라이닝공법(Slip라이닝공법과 소프트 삽입공법 : 일본과 유럽) 및 매설 교체의 4가지로 구분됨

6. 특이사항

- England 및 Wales의 수도업계는 10개의 수관리공사와 급수기능을 담당하는 28개의 수도사업체, 하수도를 담당하는 많은 지방공사로 구성되어 있으나 최근에 일부 업무가 민영화됨
- Scotland의 수도사업은 지방의회 관할

- 북아일랜드(Northern Ireland)에서는 환경국이 책임
- WRC : 영국수도업계의 중앙 연구조직으로 환경보호부터 공학 및 처리기술에 이르는 전체과정을 총괄하는 종합적인 연구계획을 갖고 있다. 그리고 세계 여러 나라의 누수관리 프로그램 개발을 의뢰받고 있으며, 이에 대해 기술적인 지원을 하고 있음
- 1989 Water Act는 수도산업의 민영화체제를 관리하기 위한 3가지 규제기관을 설립
 - 음용수수질 규제 : Drinking Water Inspector
 - 폐수유출량 규제 : National Rivers Authority
 - 경제문제 규제 : Office of Water Services

D. 독일

1. 수도시설의 개요

- 수자원 : 지표수(64%), 용천수(7%), 표류수(29%)
- 수도사업체 : 약 6,500개
- 수도보급율 : 98%
- 관종 : 주철관(52%), 플라스틱관(31%), 강관(5%), 석면시멘트관(10%)
- 과거 30년간 급수량과 수질을 개선하기 위해 각 지방과 광역적인 수도시스템 간의 지속적인 통합추진, 그러므로 대규모 수도사업체(약 550개 사업체)의 대부분은 횡적으로 통합된 사업체
- 유럽국가 중 독일만이 1980년 이후 “수도의 일반에 관한 법률”을 정함. 이 법률은 수압, 수질, 공급이 불규칙할 경우의 책임, 건설비용의 수요자 부담, 계량기, 사적인 설비 등에 대해 수도회사의 일반적인 의무를 규정
- 이 법률에 의거, 독일가스수도협회(DVGW)는 “통일기술기준”을 작성(배수분야에만 50개의 DVGW기준과 110개의 DIN기준)
- 수도관에 대한 사고책임에 관한 법률을 1978년부터 적용(관로파손에 따른 인적, 물적손해에 대해 원칙적 책임)
- 관종 : 주철관(55%), PVC(27%로 상승경향), 석면시멘트관(10%로 하강경향), 강관(6%로 주로 장거리 관로)
- 평균매설년수 : 약 35년, 주철관은 약 50년 이상

2. 수도관로의 계획, 설계 및 시공

- DVGW는 배수시스템에 35개의 DVGW사양서 및 10개의 DIN규격을 작성
- 배수시스템의 계획 및 시공시에 준수해야 할 원칙, 목적 및 기술적·경제적 지침은 DVGW사양서W403(수도 및 관망에 대한 계획규정)에 수록
- 모든 수도회사는 관망도를 보관하여야 하며, 또한 그것을 계속적으로 보완하는 것이 의무화되어 있음

- 1980년경 관망도를 관리하기 위한 그래픽데이터 처리기술이 도입되어, 몇몇 수도사업체가 사용 중(예:Siemens의 SICAD시스템)
- SICAD시스템의 사용자는 사업체간 아이디어나 경험의 활발한 교환이 유지되도록 4개의 사업그룹이 형성되어 있으며, 32개의 User가 참가하고 있음
- 관망정보시스템은 약 10개의 수도사업체에 의해 완전히 또는 부분적으로 완성되어 사용 중
- 통합관리시스템(관망정보시스템 + 관리정보시스템)구축 중

3. 수도관로의 운영

- GIS나 DB & Mapping System이 도입되어 활용중
- 配水에 있어서 수압제어와 자동화 시스템이 함부르크의 수도사업체에 설치
- 수질감시는 주로 수도사업체에 의해 시행
- 수도계량기의 자동원격검침 [TEMEX (Telemetry Exchange)] 서비스 제공 11개 도시에서 5년간 한정 시험

4. 수도관로의 유지·관리

- 배수시설에 대해 수밀성, 기능성, 상태 및 음용수의 수질을 정기적으로 감시
- 통상 이용되는 방법은 독일가스수도협회(DVGW)사양서 W390의 “수도관망 감시”에 서술
- 물의 손실 및 누수관리(야간유량의 측정, Zero소비측정)

5. 수도관로의 갱생기준

- 관로갱생의 기준은 파손빈도, 압력손실, 탁도, 누수, 그리고 도로의 개수공사 등 외적인 요인 등
- 갱생의 주요판단기준은 파손과 도로의 갱생(70% 매설교체, 30% 시멘트몰탈라이닝)
- 금속관의 갱생기술

- 세관(베를린 수도사업체만 매우 제한적)
- 시멘트몰타라이닝(비용은 교체의 15~40%정도)
- 관삽입공법에 따른 매설교체
- 수평방향의 Flush Boring법(Flowtex法)
- 부설교체
 - * 에폭시코팅은 사용안함
 - * Slip Lining은 급수관의 접속부가 없는 수도 본관에만 적용

6. 특이사항

- 독일의 경우 물뿐만 아니라 전력, 천연가스 및 지역난방을 함께 공급하므로 관망정보 시스템 구축시 전체를 고려해야 함
- Stadtwerke Essen AG : 독일에서 5번째 큰 도시인 Essen를 포함하는 용수공급 및 관리를 위한 회사로, 관리하는 총 관로연장은 1,700 km [1.17%(19.9 km)의 관로가 교체된 상태]
- 이 회사부서 중 Pipe Systems Service 분야가 보수공사를 맡고 있음
 - 무선통신장치 및 보수장비탐지차량 2대
 - 보수반 : 20명의 전문가
 - 감시반 : 10명(월~금)까지 24시간 순번제 근무
 - ①시민, 경찰, 보수 및 감시반에 의한 파손보고 ②통제실 접수 ③계획부서전달 ④내·외부 보수팀 24시간 대기 중 ⑤무선통신에 의해 작업지시 받음(보수 작업은 계약하도급자들에 의해서도 수행)

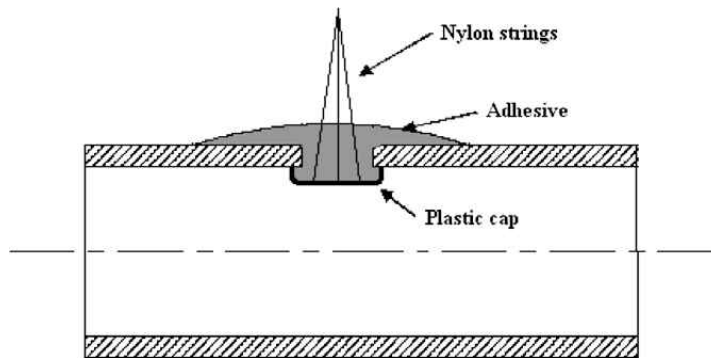
부록3 - 연구논문으로 본 노후관로

1. H.S. da Costa-Mattos 등³⁸⁾

- 금속관에서 부식에 의한 손상이 발생하였을 경우 resin을 이용하여 물의 누수를 막는 방법을 제안함
- 관로 전체가 아닌 일부분의 부식일 경우 도입을 고려할 필요가 있음



<그림 부록-1> 부식된 관로 및 전처리

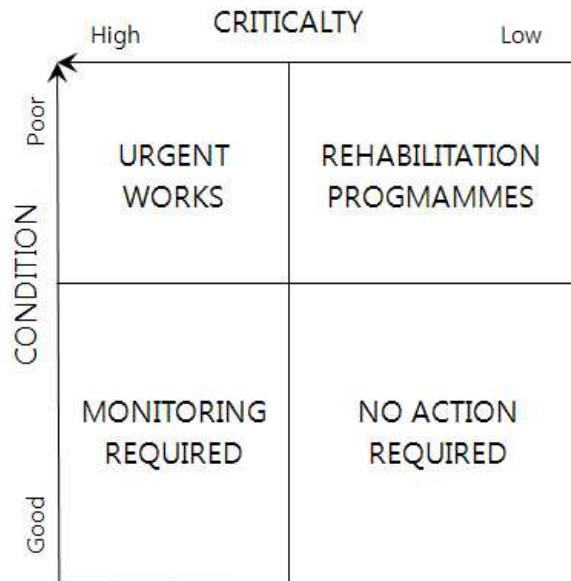


<그림 부록-2> epoxy resin과 plastic cap을 이용한 부식관로 보수

38) H.S. da Costa-Mattos, J.M.L. Reis, R.F. Sampaio, V.A. Perrut, An alternative methodology to repair localized corrosion damage in metallic pipelines with epoxy resins, Materials and Design, 30, 2009

2. M.O. Engelhardt 등³⁹⁾

- 상수관로 갱생에 있어서는 우선적으로 안전한 물의 분배에 문제가 없도록 수행하여야 함
- 특히 갱생을 할 경우에는 시스템의 경제성, 수리적 수행능력, 갱생의 확실성, 수질의 확보를 염두에 두고 수행하여야 함
- 갱생의 방법으로는 일반적으로 관로교체, 라이닝, 세척·세관 및 기타 방법을 사용할 수 있음
 - 본 연구에서는 관로용량 및 조건에 따라 긴급복구, 갱생 프로그램, 모니터링 프로그램으로 분류

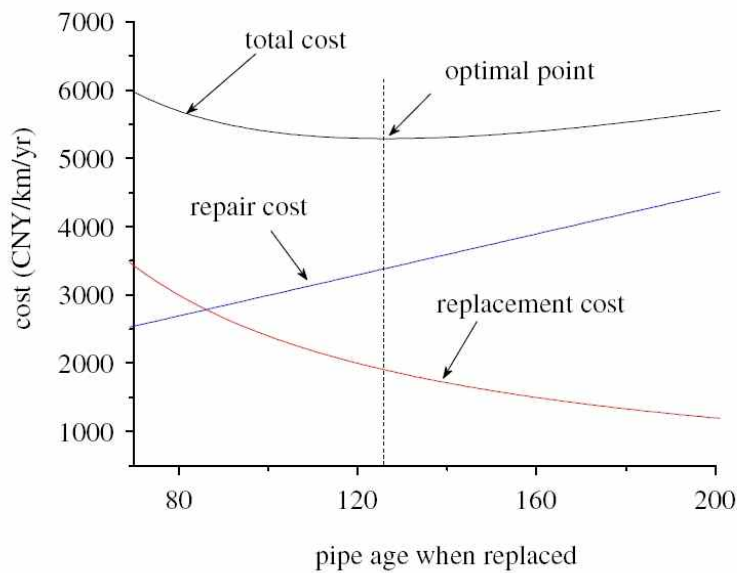


<그림 부록-3> 관로 임계치와 상황에 따른 관로갱생의 접근

39) M.O. Engelhardt, P.J. Skipworth, D.A. Savic, A.J. Saul, G.A. Walters, Rehabilitation for water distribution networks: a literature review with a UK perspective, Urban Water, 2, 2000

3. Xiang Xu 등⁴⁰⁾

- 상수도에서 관로의 파괴는 수돗물의 손실과 더불어 사회경제적 손실을 가져 오게 됨
- 이러한 손실을 줄이기 위해서 관로의 교체가 종종 시행되어 왔음
- 중국에서 2008~2011년의 상수관로 파손의 결과로 예측모델(pipe break)을 사용하였으며, 이에 의한 경제적으로 최적의 상수관로 교체 모델을 수립하였음
- 이러한 상수관로 교체모형을 적용하여 아래와 같이 관로교체 시기에 따른 소요비용의 변화를 나타냄

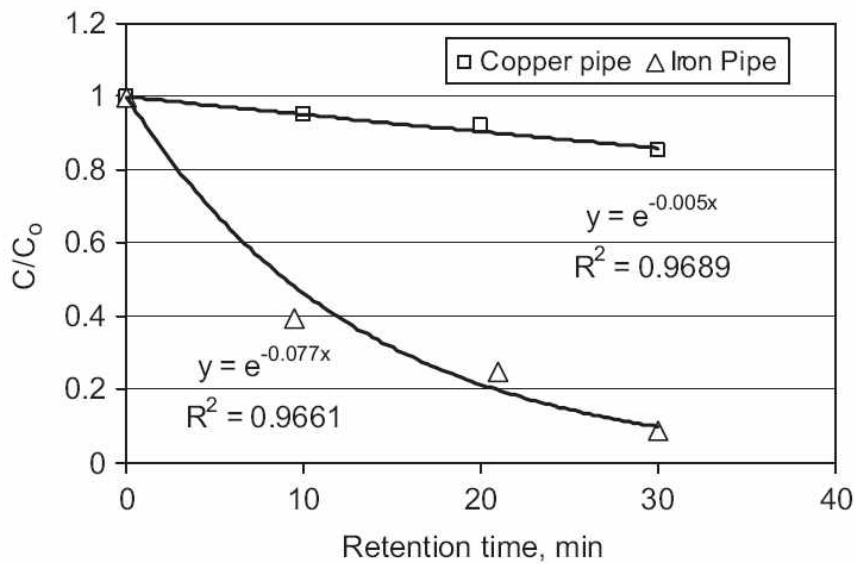


<그림 부록-4> 관로교체 시기에 따른 비용의 변화

40) Xiang Xu, Qiuwen Chen, Jinfeng Ma, Koen Blanckaert, Optimal pipe replacement strategy based on break rate prediction through genetic programming for water distribution network, Journal of hydro-environment Research, 7, 2013

4. Zhe Zhang 등⁴¹⁾

- 10년 이상 수돗물이 공급된 도금 철판 및 구리관에서 부식 스케일이 생성되고 있으며, 이는 ClO_2 및 온도에 영향을 받는 것으로 나타남
- 실험 결과, Goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) 및 magnetite (Fe_3O_4)가 철부식 스케일의 주요 요소로 정의가 됨
- 실험 결과, Cuprite (Cu_2O)가 구리부식 스케일의 주요 요소로 정의가 됨
- 수돗물을 공급하는 시스템에 있어서 ClO_2 의 출현은 스케일이 형성될 수 있으므로 지양해야 함
- ClO_2 소모율은 아래의 그림에서와 같이 철 관거에서 구리 관거보다 높았으며, 이는 철 관거에서의 스케일 생성확률이 높다는 것을 의미함

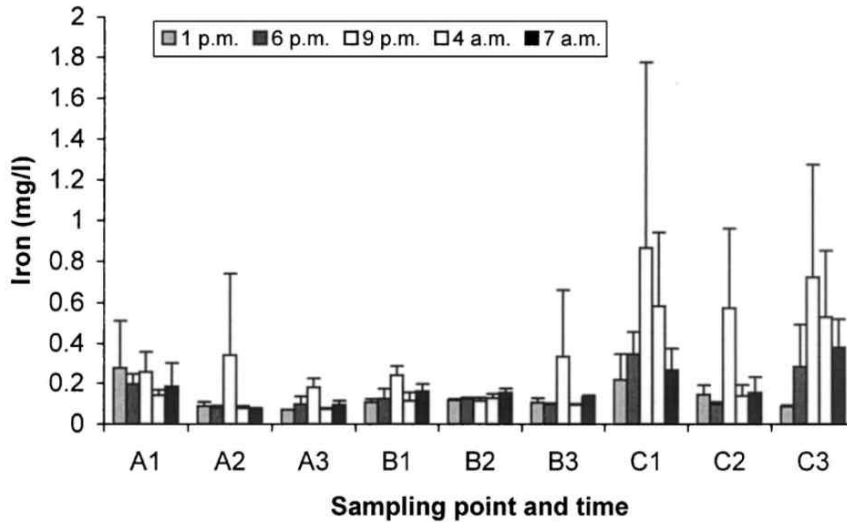


<그림 부록-5> 사용 중인 구리, 철 관로에서의 ClO_2 변화

41) Zhe Zhang, Janet E. Stout, Victor I. Yu, Radisav Vidic, Effect of pipe corrosion scales on chlorine dioxide consumption in drinking water distribution systems, Water research, 42, 2008

5. Markku J. Lehtola 등⁴²⁾

- 상수관로의 파손은 우리들이 음용수로 사용하는 수돗물에 미생물 개체의 증가, 철이온 농도의 상승, 탁도의 증가 및 맛, 색도, 냄새 등에 영향을 미침
- 특히, 박테리아의 개체수 및 철, 탁도의 농도는 물의 소비가 가장 많은 오후 9시에 가장 높은 수치를 보이고 있음



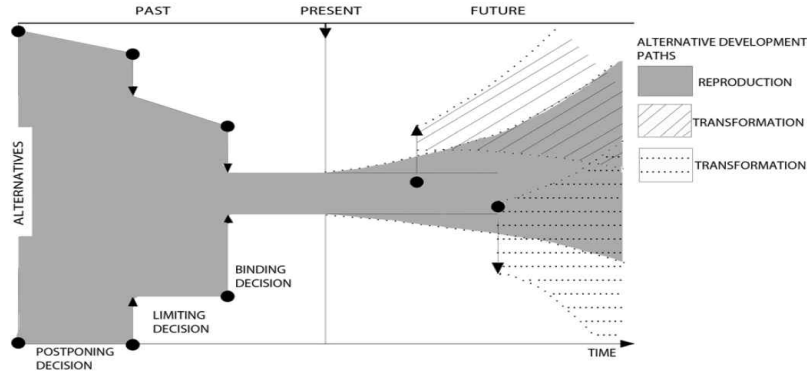
<그림 부록-6> 시간에 따른 철 이온의 농도 변화

- 이렇게 수질이 악화된 상수관로의 세척·세관을 적용할 경우 음용수질의 개선을 가져올 수 있음
- 관에 붙어있는 이물질(soft deposit)은 공기와 물을 고압으로 분사함으로써 관로를 세척할 수 있음

42) Markku J. Lehtola, Tarja K. Nissinen, Ilkka T. Miettinen, Pertti J. Martikainen, Terttu Vartiainen, Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality, Water research, 38, 2004

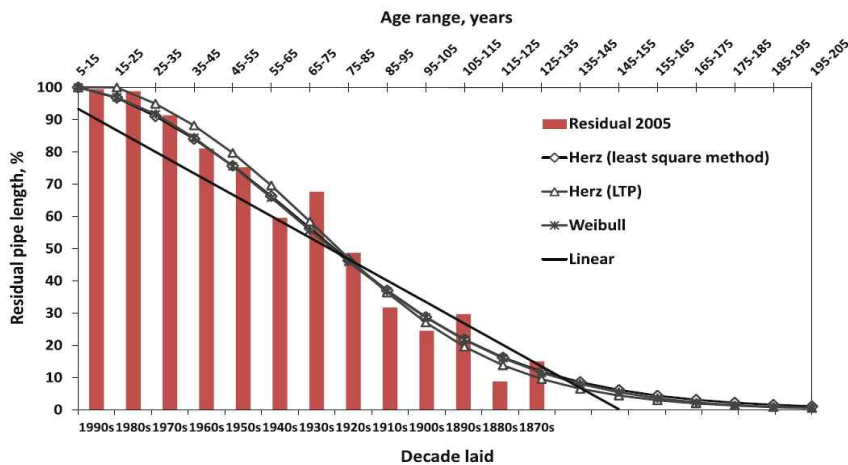
6. Annika Malm 등⁴³⁾

- 지난 100여년 간의 상수관로 교체의 데이터를 이용하여 Gothenburg(Sweden)의 향후 교체의 수요를 예측하고자 함



<그림 부록-7> Path dependence and related decision making

- 과거 자료에 한 현재 상수관로의 길이분포와 survival curve를 아래의 그림과 같이 나타냄. 이러한 curve를 통해 향후 교체 대상을 모델링 할 수 있음

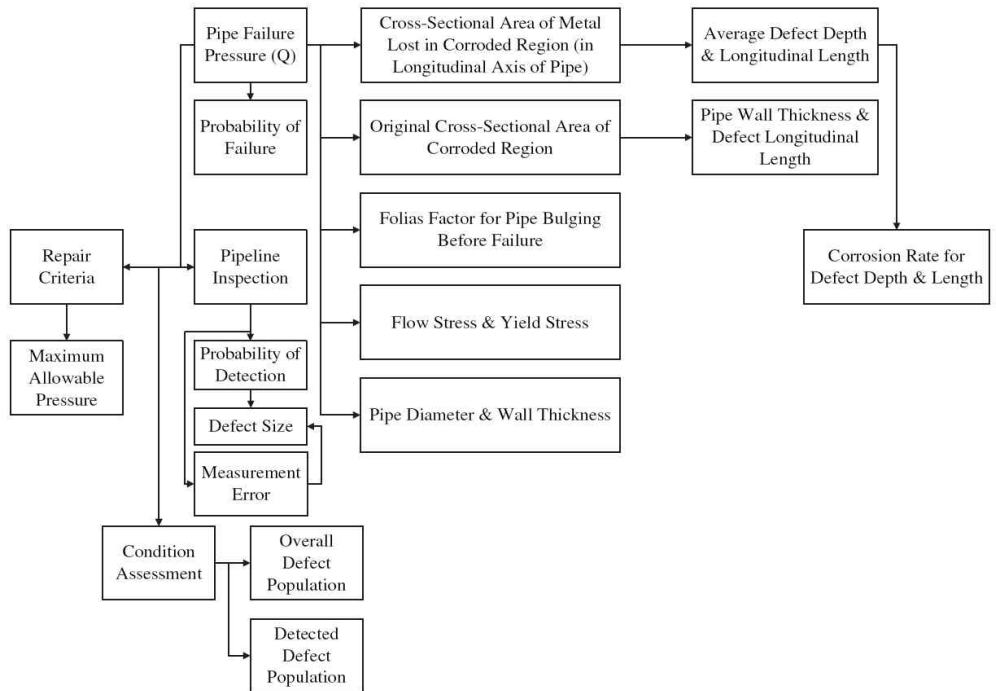


<그림 부록-8> Gothenburg에서 현존 상수관거 길이 및 survival curve

43) Annika Malm, Olle Ljunggren, Olof Bergstedt, Thomas J.R. Pettersson, Gregory M. Morrison, Replacement predictions for drinking water networks through historical data, Water research, 46, 2012

7. Hossam A. Kishawy 등⁴⁴⁾

- 본 리뷰는 상수관로에 위해를 주는 인자를 설명하고, 파손의 형태를 열거하고 있음
- 이러한 내용들로 상호관의 관계를 설명하는 구조도를 제시하였으며, 이는 향후 관계자들이 상수관로를 자동화하는 시스템을 보다 발전시키고자 할 때 유용하게 쓰일 것임
- ※ 본 연구에서는 관로의 압력 및 상태에 대한 조사를 많이 제시하였음. 특히 이러한 관리를 위해서 부식, 환경, 관의 두께, 흐름, 결함의 발생 및 크기 등을 주요 인자로 보고 있음

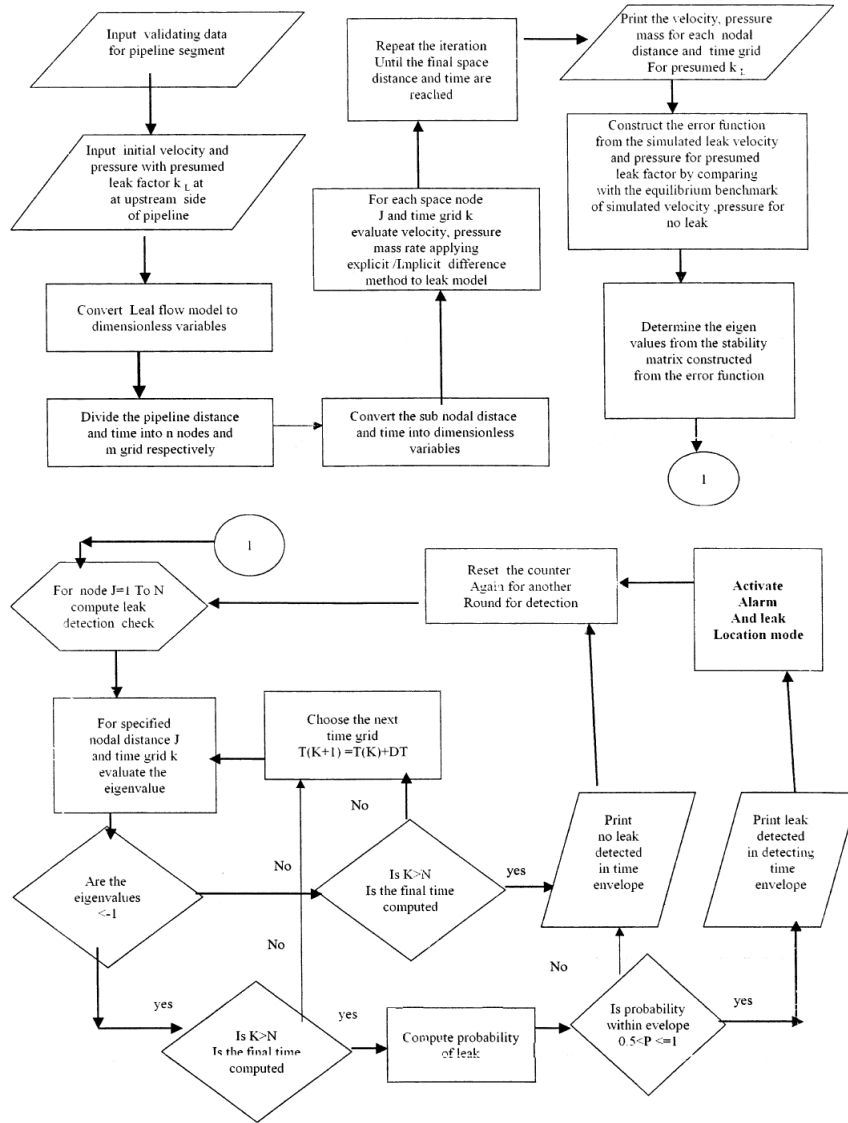


<그림 부록-9> 상수관로 조사, 수전 및 관리를 위한 구조도

44) Hossam A. Kishawy, Hossam A. Gabbar, Review of pipeline integrity management practice, International Journal of pressure Vessels and piping, 87, 2010

8. Kingsley E. Abhulimen 등⁴⁵⁾

- 관로에서 누수발생 인자들을 조사하고, 그 영향인자들간의 상관성을 도시
- 더불어, 주요 인자들의 특성을 나타냄



<그림 부록-10> 누수 발생 시뮬레이션

45) Kingsley E. Abhulimen, Alfred A. Susu, Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation, Chemical Engineering Journal, 97, 2004

참 고 문 헌

- 김민정, 통계적 기법을 이용한 상수도관의 파손확률 모델, 서울시립대학교, 2005
- 김응석, 김중훈, 박무중, 김정환, 상수관로의 노후도 조사 방법 개발, 대한토목학회논문집, 제22권, 제5-B호, 2002
- 대전광역시, 2012 상수도통계, 2012
- 대전광역시, 수도정비기본계획변경, 2012
- 백전우 등, 상수관망 유지보수 비용에 관한 연구(대구광역시를 중심으로)
- 서규태, 이택순, 정해룡, 김운지, 이현동, 정원식, 상수도관 부식에 미치는 수질인자의 복합적 상호작용, 대한환경공학회지 추계학술발표회, 1997
- 안윤주, 이현동, 국내 중·소도시 수도관의 파손특성에 관한 고찰, 대한상하수도학회지 논문집, 제10권제1호, 1996
- 이창용, 김응석, 신현석, 김중훈, 확률적 신경망을 이용한 상수도 노후관 추정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제20권제2-B호, 1999
- 이현동, 상수도관망의 유지관리를 위한 갱생기술, 대한환경공학회지, 제29권12호, 2007
- 일본 수도관로기술센터, 수도관로의 파손과 기능 열화, 1995
- 최연정, 박종웅, 옥치상, 노후 상수도관중 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지 논문집, 제14권제4호, 1992
- 최태호, 퍼지기법을 이용한 상수관로의 노후도예측 모델연구, 서울시립대학교, 2009
- 한국수자원공사, 수도시설물 정보 관리시스템 - 데이터베이스 수록 파손원인의 범주와 종류
- 한국수자원공사, 수도관 갱생을 위한 의사결정 시스템 개발, 1995
- 한국수자원공사(K-water), 상수도공사 설계지침, 2012
- 한국상하수도협회, 상수도시설기준, 2010
- 환경부, 2012 상수도통계, 2012
- Annika Malm, Olle Ljunggren, Olof Bergstedt, Thomas J.R. Pettersson, Gregory M.

- Morrison, Replacement predictions for drinking water networks through historical data, *Water research*, 46, 2012
- C. Martin, Y. Ruperd, M. Legret, Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices, *European Journal of Operational Research*, 181, 2007
- Clark. R.M., C.L. Stafford and J.A. Goodrich, Water distribution systems; A spatial and cost evaluation. *J. Water Resour. Plann. Manage. Div. ASCE* Vol.108, 1982
- Ellison et al., Investigation of pipe cleaning methods, AWWARF, 2003
- Hossam A. Kishawy, Hossam A. Gabbar, Review of pipeline integrity management practice, *International Journal of pressure Vessels and piping*, 87, 2010
- H.S. da Costa-Mattos, J.M.L. Reis, R.F. Sampaio, V.A. Perrut, An alternative methodology to repair localized corrosion damage in metallic pipelines with epoxy resins, *Materials and Design*, 30, 2009
- Kingsley E. Abhulimen, Alfred A. Susu, Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation, *Chemical Engineering Journal*, 97, 2004
- Kleiner. Y., Barry J.A., and Rogers J.S., Long-term planning methodology for water distribution system rehabilitation, *Water Resources Research*, 34(8), 1998
- Lansley, K.E. and Basnet, C., Optimal maintenances scheduling for water distribution systems, *Civil Eng.*, 1992
- Markku J. Lehtola, Tarja K. Nissinen, Ilkka T. Miettinen, Pertti J. Martikainen, Terttu Vartiainen, Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality, *Water research*, 38, 2004
- M.O. Engelhardt, P.J. Skipworth, D.A. Savic, A.J. Saul, G.A. Walters, Rehabilitation for water distribution networks: a literature review with a UK perspective, *Urban Water*, 2, 2000
- NRC-CNRC, Selection of technologies for the rehabilitation or replacement of sections of a water distribution system, Issue No. 1.0, 2003
- O'Day, D. Kelly, *Guidance Manual; Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement.*

- AWWA Research Foundation, No. CR810988, 1986
- Shamir, U., and Howard, C.D., An analytic approach to scheduling pipe replacement, J.AWWA, 71, 1979
- U.S. Army Corps of Engineering, Engineering and Design-Evaluation of Existing Water Distribution Systems, Engineer Technical Letter No.1110-2-278, 1983
- Walski, T.M., Assuring accurate model calibration, J.AWWA, 77(12), 1985
- Xiang Xu, Qiuwen Chen, Jinfeng Ma, Koen Blanckaert, Optimal pipe replacement strategy based on break rate prediction through genetic programming for water distribution network, Journal of hydro-environment Research, 7, 2013
- Walski, T.M. and Pelliccia, A., Economic analysis of water main breaks, J.AWWA, 74(3), 1982
- Zhe Zhang, Janet E. Stout, Victor I. Yu, Radisav Vidic, Effect of pipe corrosion scales on chlorine dioxide consumption in drinking water distribution systems, Water research, 42, 2008

정책연구보고서 2013-10

상수관로 갱생방법의 검토 및
대전시 적용방안

발행인 이 창 기
발행일 2013년 8월
발행처 대전발전연구원
301-763 대전광역시 중구 중앙로 85
전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3528
홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

인쇄 : 00000 TEL 042-000-0000 FAX 042-000-0000

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.