

관망관리를 위한 최적화 모형의 구성

이범희

배재대학교 공과대학 토목건축공학부 조교수

Management of Water Distribution Systems using Optimization Model

Beum Hee Lee

Dept. of Civil and Geotechnical Engineering, Paichai University, Daejeon 302-735 Korea

요 약 시간이 경과함에 따라 상수도 관망시설은 부식 혹은 파손 등의 이유에 의하여 통수능의 저하 및 통수 불가능의 위험에 처할 수 있다. 이에 따라 계속적인 관리의 적용을 위해서는 각 관망의 교체 시기 및 개선 방안에 대한 연구가 필요하며, 이의 효율적인 방안으로서 최적화 기법 혹은 의사결정 지원 시스템 등의 구성이 요청된다. 그러나, 현재의 연구 동향들로서는 수리특성의 변화만을 관망 교체의 주 고려 대상으로 인식하고, 공업 경영학적 계획을 고려하고 있지 못하다. 본 연구에서는 이들 두 가지 개념으로서의 관망 개량 프로그램을 제시하였으며, 대전광역시에 대하여 기초적으로 적용하여 보았다.

주요어 관망 개량, 최적화

ABSTRACT Time passages could deteriorate the flow ability and hold the flow in the water distribution facilities because of their erosion and breakdown. It is necessary that the study to determine the optimal change time and the improvement plan for the continuous management using optimization methods or decision support systems. But, the present study tendency only aware the changes of hydraulic characteristics without industrial management plans. This study shows the pipe replacement program in these two concepts and the elementary process to apply it to Daejeon city.

Key words water distribution, optimization

1. 서 론

우리나라의 근대수도는 창설 이래 그 역사가 100여 년에 이르고 있으며, 급수도시의 수와 전국의 수도 보급율도 비약적으로 성장하여 양적으로는 엄청난 성장 양상을 보여주고 있다. 그러나, 수도가 국민생활에 차지하는 비율이 커져갈수록 재해, 낙동강 폐놀 오염, 병원균 검출과 같은 일련의 비상사와 함께 남부지방을 중심으로하는 심각한 물부족 상황에 대해서도 더욱더 안전하고 안정된 급수의 요구가 강력하게 대두되었다. 이러한 현상과 1960년 대 이후의 공업용수 개발 이후

로 생활 수준의 향상은 양질의 수도시설을 요구하게 되었으며, 풍부한 수량의 공급에 더하여 수질에 대한 국민의 관심도 더욱 고조되게 되었다. 그러나 수도의 고급화 시대에 접어든 오늘날에 와서도 수도시설에 대한 유지관리의 중요성은 더욱 고조되었으나 안전한 물을 더욱 안정되게 공급하고자하는 수도시설의 관리는 다양한 방면에서 많은 문제점을 제시하게 되었다.

특히, 수도시설의 노후화는 유량의 손실만이 아닌 수질의 오염까지를 포함하는 주요 수자원 손실 요소이나 이의 효율적인 시설 교체, 혹은 보원, 유지에 관한 연구는 국 내·외적으로 원칙적인 수준에 머무르고

Corresponding Author : 이범희(bhlee@mail.pcu.ac.kr)

원고접수일 : 2003년 10월 17일 게재승인일 : 2004년 1월 30일

있으며, 이들의 연구과정이 기초 요인들의 파악 정도의 과정에 머무르고 있어 이를 실무적인 관리차원으로 사용하기 위해서는 큰 어려움이 존재하는 것이 지금의 현실이다. 이에 따라 기존의 연구 결과들을 참고하고, 악화 원인의 파악과 중요성, 국내·외 상수 관로의 진단 및 평가 방안, 관련 경제성 요인들의 파악과 적용 방법들을 정리하여 개량 우선 순위의 결정 방안을 제시하도록 하였으며, 이를 실무적으로 적용하기 위한 기본 시스템의 구성방향으로 접근하여 대전광역시 상수관망의 현황 및 특성에 평가 및 개선 방안을 제시하기 위한 최적화 모형을 제시하고, 이를 지원하기 위한 대전광역시 관로망 D/B를 구성하는 것으로 연구를 진행하였다.

특히, 대전광역시 정도 규모의 도시개발에 따른 상수도 시설 계획 지원 프로그램 개발은 실무 담당자들의 필요성이 절실한 것으로 파악되고 있는 바, 이의 기본 구성과 표준 유역 적용을 통하여 이 기법의 적용성에 대한 평가가 이루어져야 하며, 이의 결과는 추후 개발될 NGIS 사업에도 적용될 수 있을 것으로 본다. 이에 따라, 대·중규모 도시의 시설 관리 및 진단 방안의 표준화, 수도 급수시설 관리 규칙의 최적화 요인 도출 및 기술진단 방안의 제시, 시설의 보완 및 교체·관리를 위한 표준 요인의 도출, 최적화 기법 및 의사결정 시스템의 구성을 통한 경제성 향상 및 안전성 확보 등의 연구를 통하여, 시설 관리자의 업무 효율화를 위한 응용적 연구로 발전시킬 수 있을 것으로 보인다.

2. 본 론

시간이 경과함에 따라 상수도 관망시설은 용량의 변화에 따른 교체 및 갱생의 필요성 이외에도 부식 혹은 파손 등의 이유에 의하여 통수능의 저하 및 통수 불가능의 위험에 처할 수 있다. 이에 따라 지속적인 관리의 적용을 위해서는 각 관망의 교체 시기 및 개선 방안에 대한 연구가 필요하며, 이의 효율적인 방안으로서 최적화 계획 혹은 의사결정 지원 시스템 등의 구성이 요청된다. 이는 실무자들의 이동, 퇴직, 지속적 교육의 부족 등으로 인하여 발생할지도 모르는 상수도 시설 관리 업무의 지속성 확보 및 보다 효율

적인 관리 방안의 제시를 위한 필요성을 충족시키기 위한 방안으로서 제시되어야 하며, 나아가서는 위험성의 감소 및 경제적 관리 정책의 수립을 위한 기초 자료의 생성이라는 실무적 필요성을 위하여 연구의 진행이 필요하다고 볼 수 있다. 그러나, 현재의 연구 동향들로서는 노후화 및 부식, 수리특성의 변화만을 관망교체의 주 고려 대상으로 인식하고, 이를 개선하고자 하는 방향으로만 연구가 진행되고 있으므로 최종적인 관망의 개선 기법으로서는 수리 및 수문학적 개념을 포함하는 공학적 접근에 예산 및 비용, 교체 이의 등 공업 경영학적 접근 등을 통하여 종합적 관리 모형의 수립이 필요할 것으로 보인다. 따라서 본 연구를 통하여 이들 두 가지 개념으로서의 관망 개량 프로그램을 제시하고자 하였다.

2.1 연구동향

이에 관한 연구로서는 이미 전환돈 등(1994) 및 김정환 등(1994)에 의한 선형 및 비선형 계획법이 관망 설계 분야에 적용된 바 있으며, 한국수자원공사(1995)에 의하여 수도관 개량을 위한 이론적 의사결정시스템이 개발·적용된 바 있다. 이외에도 광역상수도에 대한 계획의 근거로서 김주환(1997)이 의견을 제시한 바 있으며, 계획을 위한 의사결정 지원시스템의 개발이 한국수자원공사(1996)를 통하여 진행된 바 있다. 외국의 경우에 있어서는 상수도 시설의 제어를 위한 연구가 최적화 이론을 도입하여 진행(Esogbue, 1989), 본 연구에서는 이들 두 개념을 혼합한 진단 및 관리 시스템으로의 적용이 가능할 것으로 보인다. 최종적으로 이러한 모형의 개발에 따른 대전광역시로의 적용을 실시하고, 이들 모형이 광역시 정도의 도시화가 진행된 공간에서 실제로 적용되는 과정을 살펴봄으로써 이들에 대한 평가와 개선의 방향을 제시할 수 있을 것이다.

2.2 상수관로의 악화 원인과 중요성

상수도는 하천이나 호소 등의 수원지로부터 원수를 취수하여 이것을 정수처리한 후 수요자에게 공급하는 시스템을 총칭하는 것으로서 정수계통과 운송계통이 그 중심을 이룬다. 이 중, 실제로 물의 이동을 담당하

표 1 수도관의 파손 원인(일본 수도관로 기술센터; 한국수자원공사, 1995)

1. 재질	1) 관, 부대시설 재질의 불량 2) 부식에 의한 강도저하(관재질, 수질, 토질, 미주전류) 3) 재질의 약화
2. 관로 매설 시공 기술	4) 시공기술 5) 부적절한 매설 6) 다른 구조물과의 접촉
3. 급수의 상태	7) 수압 8) Water Hammer 9) 수질(내부 부식) 10) 온도변화 11) 누구 방지에 의한 관로 주변의 공동화
4. 관로 매설 장소의 환경	12) 교통하중의 증가 13) 관로주변 토양의 움직임(동결, 갈수에 의한 함수율의 저하, 토질) 14) 지진에 의한 응력변화 15) 토양의 침식 16) 온도 변화 17) 설계-시공시의 제반 여건과 현재 여건의 차이
5. 다른 공사 및 재해에 의한 사고	18) 다른 공사에 의한 파손 및 환경의 변화 19) 재해에 의한 도로의 파손

는 수도관로의 기능을 평가하는데 사용될 수 있는 기준으로서 관로의 물리적 강도(Structural Integrity), 수질, 수리조건(Hydraulic Condition)과 누수 등의 4가지 기준을 많이 사용하게 되는데, 수도관의 파손 원인으로서 일본 수도관로 기술센터에서는 [표 1]의 원인들을, 국제 수도협회에서는 [표 2]의 원인들로 구분하였다.

이외에 관 파손의 특성을 살펴보면, 관 파손에 대한 형태별 분류(원주방향 파손, 길이 방향 파손, 부식 및

압력에 의한 구멍의 발생, 접합부 이탈 등), 관종 별 파손율의 변화(주철관, 닥타일주철관, 석면시멘트관, 강관, 비닐관 등), 관경별 파손율, 매설 년 수별 파손율의 변화 등으로 구분하여 나타낼 수 있다. 이 중, 관의 수명이 길게는 60 - 100년이라는 보고가 있음에도 불구하고, 이는 과학적인 제약조건에 의한 분류가 아니라 연구결과가 제시되는 등, 우리가 일상적으로 생각하는 매설 년 수만에 의한 노후관 구분은 파손율을 예측하는 좋은 인자가 아니라고 볼 수 있으며, 위의 조건들을 모두 고려할 수 있는 방법의 제시가 중요할 것으로 보인다.

표 2 본관에서 누수에 영향을 미치는 인자(국제 수도 협회; 한국수자원공사, 1995)

인 자	비 율(%)
1. 토양의 이동	61
2. 관의 부식	45
3. 교통 하중	25
4. 높은 수압	21
5. 도로 공사	21
6. 관의 노후화	16
7. 겨울철 기온 강하	16
8. 관의 함몰	11
9. 접합부의 손상	9
10. 토양의 조건	7
11. 시공 불량	4

2.3 국내·외 상수 관로의 진단 및 평가 방안

상수도관의 목적은 앞서서도 서술한 바와 같이 물을 수요자에게 적절한 양과 질로 전달하는 것이나 시간의 경과에 따라 녹이나 내부 부식에 따라 수리조건이 변화하고, 수질의 변화, 누수 등을 일으키는 등 많은 문제점들을 발생시키게 된다. 이에 따라 해마다 각 지자체를 중심으로 수도시설에 대한 갱생과정이 이루어지게 되나 현재 사용하고 있는 상수도 시설이 특별한 보수공사를 필요로 하는 시기가 되었는지를 결정하

기 위한 객관적 조사는 그리 쉬운 일이 아니다. 즉, 이에는 관의 강도 등 기술적인 측면만이 아니고 예산을 포함한 재정상태, 금리 등 사회적, 경제적 여건들도 함께 고려해 주어야 한다는 점들을 들 수 있으며 추후 시설 자체에 대한 능력의 기대치까지도 포함하여야 하기 때문이다.

현재 국내·외적으로 관의 평가에 사용되는 주요한 분석 기법으로서 기술적 분석(Descriptive Analysis), 예견적 분석(Predictive Analysis), 물리적 분석(Physical Analysis) 등으로 구분할 수 있다.

① 기술적 분석(Descriptive Analysis)

이는 관로시스템의 목록(Inventory), 보수기록 자료를 조직화하고 요약하여 시스템의 물리적 특성과 보수 패턴 및 추세를 결정하는 것이다.

② 예견적 분석(Predictive Analysis)

예견적 분석은 통계적 분석을 통하여 여러 조건 하에서의 보수율과 다음 보수 시기를 예측하기 위한 것이다. 관로와 관련하여 사용되는 통계적 기법으로는 다중회귀분석 등이 있다. 이에 관련하여 여러 연구자들에 의하여 제시된 방법들을 소개하면, EPA 모형 및 MIT 모형들을 들 수 있다.

* EPA(Environmental Protection Agency) 모형
(한국수자원공사, 1995)

$$NY = 4.13 + 0.338 D - 0.022 P - 0.265 I - 0.0983 RES - 0.0003 LH + 13.28 T \quad (\text{식 1})$$

(결정계수 $R^2 = 0.23$, 최초 파손 발생시까지의 년수 추정 모형)

- NY : 매설 후 최초 보수까지의 년 수 (년)
- D : 관경 (인치)
- P : 관내 절대 수압 (lb/in²)
- I : 관 매설 지역에서의 공업지역의 비율(%)
- RES : 관 매설 지역에서의 주택지역의 비율(%)
- LH : 부식성이 높은 토양의 관의 연장 (마일)
- T : 관종 (금속: 1, 철근콘크리트: 0)

$$REP = (0.1721)(e^{0.07191})^{(e^{0.0044})^{PRD}}(e^{0.0865})^A(e^{0.0121})^{DEV} (SL)^{0.014}(SH)^{0.069} \quad (\text{식 2})$$

(결정계수 $R^2 = 0.47$, 최초 파손 이후의 보수 건수 추정 모형)

- REP : 보수 건 수 (건)
- PRD : 수압 차 (lb/in²)
- A : 최초 파손으로부터 경과 년 수 (년)
- DEV : 관 매설지역에서 개발지역의 비율 (%)
- SL : 부식성이 낮은 토양의 관 표면적 (in²)
- SH : 부식성이 높은 토양의 관 표면적 (in²)
- T : 관종 (금속: 1, 철근콘크리트: 0)

③ 물리적 분석(Physical Analysis)

이는 관 상태의 예측치 계발을 위하여 수식에 기초하고 있는 공학 이론을 이용하여 내부 및 외부 부식, 하중, 강도 등을 측정하며, 미국 공병대 건설기술 연구소(US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research Laboratory, CERL; 한국수자원공사, 1995) 등을 들 수 있다.

* CERL 모형

$$CSI = 100 - 100(PAV/T) \quad (\text{식 3})$$

CSI : 부식 상태 지표
PAV : 부식 구멍의 평균 깊이 (in)
T : 관의 두께 (in)

으로 이 식을 살펴보면, 가스관의 경우 부식구멍의 평균 깊이가 최초 관두께의 70%에 이르면(즉, CSI = 30), 가스 누출이 일어난다는 것을 관찰하였으나, 주변의 조건 등에 대한 고려는 전혀 이루어 지고있지 않다는 특징을 갖고 있다.

24 관련 경제성 요인들의 파악과 적용 방법

본 논문의 앞에서도 잠시 서술한 바와 같이 최근의 논문들이 단순히 관망의 노후화 혹은 수리적인 기능에 대한 고려만을 중심으로 진단과 평가를 위주로 이루어 졌으나 실제 현장에서 관망의 개량계획을 수립하기 위해서는 예산과 경제성에 대한 고려를 필요로 할 수밖에 없으며, 결과적으로 관의 교체를 위한 최종적인 결론에 이르기 위해서는 다음의 영향들을 고려하여야 한다. 즉,

- ▷ 보수비용이 교체 비용을 초과하는가?
- ▷ 관이 적절한 기능을 수행하는가?
- ▷ 관의 부식에 의하여 수질이 영향을 받는가?
- ▷ 급수 등에 관한 주민의 민원이 발생하는가?

▷ 추후 교체 혹은 증설의 요구가 발생할 것인가? 등을 들 수 있으며, 최근에 와서는 주민의 민원에 대한 중요도가 매우 커지고 있으므로 이에 대한 충분한 고려가 이루어져야 할 것으로 보인다.

2.5 개량 우선 순위의 결정 방안

기존의 개량계획 수립과정에서는 단지 관로에서 발생하는 심각한 파손이나 수질문제 만을 대상으로 하였던 것을 보완하여 의사결정과정에서 경제적 타당성에 대한 조사를 포함하도록 구성하였다. 이에 따라 수도관의 개량을 위한 의사결정 시스템은 다음의 [그림 1]과 같이 크게 3가지 모듈로 구성하여야 하며, 이는 배수관의 목록 및 그 동안의 유지 관리 DB를 구성하는 과정에 수리, 수질상의 개량 평가과정, 그리고 마지막으로 경제성 평가를 포함한 3개의 과정을 통하여 관로 갱생 계획을 구성하는 순으로 진행되어야 한다.

2.6 수도관 개량 의사결정 모형의 구성

수도관의 노후도를 예측하는 모형으로서는 크게 회귀분석에 의한 모형(Regression Model)과 점수 평가법(Numerical Weighting System)으로 구분하여 제시할 수 있다. 점수 평가법의 경우 관의 노후도와 관련된 있는 인자들을 15-20개 이상 포함하며, 각 인자들

의 상관성 및 노후도 관련 영향을 점수로 표시하는 방법인데 반하여 앞에서 소개한 EPA 모형(식 1, 2)에서와 같은 regression model 등은 그 고려 인자의 수가 상대적으로 적어 자료의 수집과 운용이 간편하다는 장점은 있으나 우리나라와 같이 자료의 축적이 미비하거나 신뢰성이 적은 자료들을 사용할 경우 실제 상황을 전혀 반영할 수 없는 모형이 될 수 있다는 위험성이 매우 높다. 이에 따라 노후도에 대한 평가 모형은 Regression Model 보다는 Numerical Model 이 더욱 합리적일 것으로 제시된 바 있으며, 이와 관련한 수자원공사의 노후도 인자 간 점수 배분은 [표 3]과 같이 제시되었다.

이 중, 공사 숙련도와 관련된 인자들에 대한 평가가 매우 어려운 것으로 알려져 있는데, 이는 세계적으로 제시된 관의 평균 수명이 42년인 것에 비하여 우리나라의 관 평균 수명이 10년에서 20년 사이로 보고 되고 있는 것은 공사의 미숙이나 부실로 인한 파손이 미국 등 보다 매우 심각한 것으로 평가되고 있어 [표 3]에서도 공사 숙련도에 대한 평가 비중이 매우 큰 것으로 제시되어 있다.

2.7 대전광역시 상수관망 현황 및 특성

대전광역시의 수도공급 내역은 최근과 장래의 예측을 통하여 다음 [표 4]와 같으며, 이에 따르면 1인1일

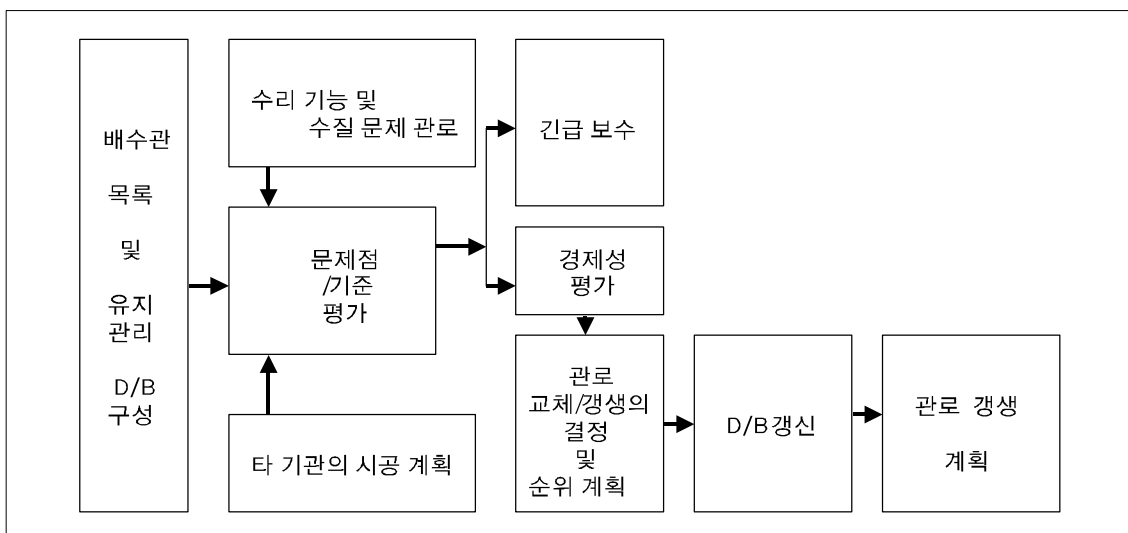


그림 1 수도관 개량 의사결정 계획 시스템의 구성

표 3 노후도 인자간 점수 배분(수자원공사, 1995)

구 분	점수(%)	내 용
하 중	20	내·외부 하중, 최대 수압, 매설지역, 도로 폭
관 특성	20	관종, 매설년도
노후화	15	노령화, 매설경년, 파손기록
부 식	20	내부 부식, C 값, 외부 부식, 토양 전기저항율, 토양 특성
공사 숙련도	15	공사인자, 기초공, 되메움 토양, 관경
수 질	-	
관로 특성	10	관로특성, Cathodic Prot., 관접합 형태(신축 이음)
합리성	-	
합 계	100	

표 4 장래 용수수요 전망 (대전광역시 수도사업 본부, 2002)

년도별	총인구 (천명)	급수인구 (천명)	보급율 (%)	1인1일 최대급수량 (ℓ)	1일 최대수요량 (천m ³ /일)		시설용량 (천m ³ /일)	여유량 (천m ³ /일)	비고
					계	생활용수 공업용수			
'98	1,346	1,263	93.8	481	608	562 46	1,059	451	월평3단계 준공 (Q=200천m ³ /일)
'99	1,368	1,285	93.9	493	633	592 41	1,050	417	신탄정수장 폐쇄 (Q= 9천m ³ /일)
2004	1,738	1,656	95.3	607	1,006	916 90	1,350	344	석봉1단계 준공 (Q=300천m ³ /일)
2010	1,919	1,875	97.7	620	1,162	1,072 90	1,650	488	석봉2단계 준공 (Q=300천m ³ /일)
2016	2,100	2,079	99.0	608	1,265	1,175 90	1,650	385	

최대 급수량은 481 ℓ 에서 증가와 감소를 반복하여 600여 ℓ, 보급률이 93-95%를 넘나들다가 2016년에 이르러 99%에 도달할 전망이다.

우선, 대전광역시 상수관망의 관리를 위한 단계로서 최근 3년간의 단수사례에 대한 정보를 수집하였으며, 이를 계획 단수 및 돌발 단수로 구분하여 제시하면 [표 5]와 같다.

계획 단수의 경우 이에 대한 정보를 주민에게 전달 하여 대비할 수 있는 기회를 제시할 수 있었으나, 돌 발 단수의 경우, 이에 대한 대비가 되어있지 않은 상 태에서 발생하게 되므로 민원의 중요 요인이 될 수 있으며, 최근의 동향에서 점차적으로 감소하고 있으나 돌발사고 못지않게 타 기관의 공사로 인한 단수가 차 지하는 비율이 상당하다는 점에서 관로의 관리를 위한

관련 기관들 간의 협조 시스템을 관로 갱생 시스템의 구성에 중요한 요소로 포함하여야 한다는 것을 알 수 있다.

관중 별 갱생 예측 모형을 구성하기 위한 대전시의 관망 부설 현황은 [표 6], [표 7]과 같으며, 경년별 분 포 현황을 살펴보면 [표 8]에서와 같이 설치 후 6-10 년 사이의 관망을 중심으로 이후 감소하는 양상을 보 여주고 있다.

급수관과 배수관의 종류별 부설 현황을 살펴보면, 급수관의 경우 PVC 관이나 아연도강관을 폐쇄시키고 PE 관이나 STS 관으로 신설하여 그 관종을 대체해 나가는 형태로 부설이 이루어 지고 있다. 배수관의 경 우, 오히려 주철관(덕타일 주철관, 시멘트 라이닝 주철 관)으로 도복장 관관이나 회주철관 등을 대체하는 형

표 5 단수사례 (단위: 건; 대전광역시 수도사업 본부, 2002)

구분	'99	2000	2001	비고	
합계	1,382	591	530		
소계	227	184	207		
계획단수	배수관부설, 갱생, 세관공사 등	27	11	13	
	배수관개량(교체) 통합공사 등	159	104	105	
	수탁 공사	23	26	35	
	기타 공사	18	43	54	
소계	1,155	407	323		
돌발단수	돌발사고 및 관 파열 등	56	50	28	
	공도 수선	1,038	310	259	지하누수
	타 기관 공사	61	42	36	
	공업용수 단수		3		
기타		2			

표 6 상수도관 부설현황(총괄; 단위: km; 대전광역시 수도사업 본부, 2001)

구분	계	도복장 강관	회주 철관	시멘트라이닝 DCIP	PVC	PE	PPF (PEP)	아연도 강관	STS	기타
계	3,845.3	115	282.8	695.6	1,719.2	482.0	52.5	25.9	465.7	6.6
급수관	2,294				1,653.4	140.8	8.0	25.9	465.7	0.2
배수관	1,531.8	95.5	282.8	695.6	65.8	341.2	44.5			6.4
도수관	19.5	19.5								

표 7 급수관 부설현황(대전광역시 수도사업 본부, 2001)

구분	계	아연도강관	PVC 관	PE 관	STS 관	PPF 관	기타
계	2,294,009	25,868	1,653,420	140,778	465,726	8,005	212
φ 15 mm	916,762	3,984	751,351	66	159,350	1,999	12
φ 20	419,053	15,125	201,182	510	199,886	2,213	137
φ 25	446,049	-	361,509	6	83,414	1,057	63
φ 30	143,663	6,759	132,500	2,809	1,595	-	-
φ 40	115,261	-	59,092	52,760	2,238	1,171	-
φ 50	243,667	-	147,786	84,495	9,821	1,565	-
φ 60	9,554	-	-	132	9,422	-	-

표 8 배수관 및 급수관 경년별 현황(대전광역시 수도사업 본부, 2001)

구분	경년별					
	소계	1-5년	6-10년	11-15년	16년 이상	
배수관	1,531,819	304,197	861,091	229,734	136,797	
급수관	2,294,009	348,325	560,712	631,213	753,759	

표 9 2000년도 급수관 부설현황(대전광역시 수도사업 본부, 2001)

구 분	관 종		아연도강관	PVC 관	PE 관	STS 관
	실지 연장	계				
급수관	실지 연장	9,771	-2,164	-28,239	9,512	30,662
	신설 거리	42,975		997	10,662	31,316
	폐쇄 거리	33,204	2,164	29,236	1,150	654

표 10 2000년도 배수관 부설현황(대전광역시 수도사업 본부, 2001)

구 분	관 종		도복장 강관	회주철관 (CIP)	닥타일 주철관	시멘트라이닝주철관	PE 관	PVC 관	PFP 관	기타
	실지 연장	계								
급수관	실지 연장	39,437	-1,025	-2,664	3,039	29,418	1,129	-1,580	9,628	760
	신설 거리	47,378			4,064	31,059	1,135		9,628	760
	폐쇄 거리	7,941	1,025	2,664	1,025	1,641	6	1,580		

표 11 상수도 사용 관종 비교/적용 규칙 선정

구 분	수도용도복장 강관	수도용 원심력 닥타일 주철관	일반배관용 스테인리스 강관	수도용 폴리에틸렌 분체 라이닝 강관	수도용 폴리에틸렌관	수도용경질 염화비틸관
생산 규격	ø80~ø3,000 mm (KSD 3565)	ø8C~ø1,200 mm (KSD 4311)	ø13~ø300 mm (KSD 3595)	ø15~ø100 mm (KSD 3619)	ø10~ø150 mm (KSM 3408)	ø13~ø300 mm (KSM 3401)
관연결 방법	용접, 후렌지 접합	메카니칼, 타이튼 후렌지 적합	용접, 프레스 접합	나사접합	열용착 접합	고무링 및 슬리브 접합
관의 강도	인장강도가 크고 충격에 강하며 내압성이 우수함	좌 동	좌 동	좌 동	좌 동	타관종에 비하여 강도 및 내압성이 불량함
관부식	관부식 방지를 위하여 관내외면에 도료를 피복함	관부식 방지를 위하여 관내면에 시멘트라이닝을 함	관부식 방지를 위하여 관내외면은 산화 피막에 의해 보호됨	관부식 방지를 위하여 관내외면에 폴리에틸렌 피복을 하므로 내식성이 우수함	관자체 재질이 내식성이 탁월한 폴리에틸렌제로서 우수함	관자체 재질이 내식성이 탁월한 경질염화비틸로서 우수함
관부설 및 취급	중량이 닥타일 주철관보다 가볍고 운반 및 부설이 용이함	중량이 무거워 운반 및 부설이 어려우므로 비교적 중소규모관에 사용함	수도용 도복장 강관과 동일	좌 동	중량이 가볍고 운반 및 부설이 쉬움	좌 동
시공면	시공경험이 풍부하고 이형관 제작과 현장가공이 용이하며 대구경관에 많이 사용함	이형관제작 및 현장가공이 불리하지만 시공경험이 풍부하고 비교적 중소구경관에 많이 사용함	최근에는 시공경험이 풍부하고 이형관 제작과 현장가공이 쉬워 소구경관에 많이 사용함	시공이 용이하고 이형관 제작과 현장가공이 쉬우나 최근에 생산되므로 시공경험은 많지 않음	좌 동	시공 및 현장가공은 쉬우나 관의 파손 혹은 누수문제로 인하여 최근에는 사용을 기피함
공사비	ø1,000mm이상 관은 DCIP보다 저렴함	ø900mm이하 관은 SP보다 저렴함	소구경관에서는 PEP 및 PE보다 저렴함	고가임	GSP 및 PVC관 보다는 고가임	가장 저렴하지만 관의 내구성 및 강도에 문제가 많으므로 사용을 기피함
적 용	ø1,000mm이상의 도수, 취수, 송·배수관에 사용	ø900mm 이하의 도수, 취수, 송·배수관에 사용	소구경의 급수관에 사용	좌 동	좌 동	좌 동

태로 부설이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

2.8 평가 및 개선 방안의 제시

대전광역시에 대한 상수관망의 평가 및 개선방안을 제시하기 위하여 대전광역시 상수관망의 자료 DB를 구축하였으며, 앞에서의 결과에 따라 [표 11]과 같이 관종 별 특징 및 공사비, 적용 방향을 정리하였다.

여기에서 관종 별 공사비를 비교하면, 수도용 도복장 강관과 닥타일 주철관의 관경 별 관 부설 단가를 비교한 결과 닥타일 주철관이 D=900 mm 이하는 저렴하나 D=1,000 mm 이상은 수도용도복장 강관이 저렴한 것으로 나타났으며, 관종의 결정기준으로는 관경 별 관종결정 기준에 따를 때, D=900 mm이하는 닥타일 주철관이 수도용 관종으로는 경제적이고 내구성이 강하여 가능한 한 닥타일 주철관을 사용토록 계획하되, 닥타일 주철관의 취약점인 관내고수압 구간과 현장에서는 임의 가공이 곤란한 D=1,000 mm 이상의 대구경관으로 수도용 도복장강관을 사용하는 것이 유리할 것으로 보인다.

관내 수압을 기준으로 살펴보면, 수도용 도복장 강관은 관내수압에 따라 관 두께를 임의 조정할 수 있으므로 사실상 사용 최대

수압기준은 상당히 상향될 수 있으나, 닥타일 주철관은 이음이 K.P 메카니칼 접합으로 곡관 이음부에서 관내수압이 증가될 시 탈관의 우려가 있고, 이음부의 누수가 발생하므로 일반적으로 수압 10.0 kg/cm²를 허용최대 수압으로 사용되고 있다.

경제적 관점에 따라 관경을 결정하면, 송수관로의 관경 결정에는 계획수량이 소정의 동수구배를 유지하면서 원활하게 흐를 수 있는 가장 경제적인 관경의 선정이 이루어져야 하는데 다음 두 가지 상반된 요인을 충분히 고려하여 결정되어야 한다. 즉, 주어진 유량에 대하여 관경이 작으면 관로 공사비가 적게드는 반면 관 마찰에 의한 수두손실이 많아져 소요수두를 유지하기 위한 동력비가 많이 소요되고, 관경이 크면 반대로 동력비가 작아지는 대신에 관로 공사비가 많아진다. 이와 같은 상반된 관계에서 가장 경제적인 관경이 되어야 하며, 이때 유지관리, 장래확장가능성, 관 부설을 위한 노선폭 등을 고려하여야 한다. 이러한 관경 결정을 위한 적용기준 및 검토결과는 다음과 같다.

가. 관경 별 연간경비 산정

관경 별 개략공사비를 1m로 환산 금액을 산출 후 자본이자율(10%) 내용연수(50년)등을 고려하여, 관경(D) 별 연간 경비(Y) 식을 산출하면 다음 식과 같다.

$$Y = 0.049 D^2 + 45.485 D + 5,194$$

(관로연장 m당, 원/년) (식 4)

나. 연간 양수비 산정

1) 전력요금기준 : 산업용 전력(甲) 선택(Ⅱ)고압전력 A기준

2) 연간 동력비 산정

$$\begin{aligned} \circ P &= \frac{16.3 \cdot \gamma \cdot Q \cdot H \cdot (1 + \alpha)}{\eta} \\ &= \frac{16.3 \times 1.0 \times Q \times 1.0 \times (1 + 0.1)}{80} \\ &= 0.2241 \cdot Q \text{ KW} \end{aligned}$$

(식 5)

3) 동력설비비 연간경비

$$\begin{aligned} \circ \text{동력설비비 (양정 1m당)} : \\ 0.2241 \times Q \times 2,000,000 \text{원/KW} = 448,220 \cdot Q \end{aligned}$$

이다. (식 6)

4) 따라서, 연간 양수비를 산정하면

$$\begin{aligned} \text{(양정 1m당, 원/년)} \\ \circ Y = 108,655 \cdot Q + 98,604Q = 207,259 Q \end{aligned}$$

(여기서, Q : m³/min) (식 7)

다. 경제적인 관경 결정

이상과 같은 방식으로 검토된 유량별 관의 연간 경비와 동력비와의 관계를 비교하여 총 연간 경비가 가장 저렴한 것이 경제적인 관경이라 할 수 있다.

3. 결 론

앞으로 시설의 안전과 안정 급수의 확보라는 두 가지 개념에 의한 관로시설의 진단 및 개선 모형의 개발은 필수적이나, 이를 오로지 전문가의 경험이나 감, 혹은 개인의 의지에 따라 사업이 수행되어야 할 경우 전근, 퇴직 및 경험 미숙 등의 이유가 발생하는 경우

이들 업무의 지속성이 확보되기 어려울 것으로 보인다. 따라서, 실무진들의 경우 이에 대한 개선이나, 보조 프로그램의 구성 등 체계적인 전산화에 대한 요구가 다양하게 제시되고 있다. 이를 위해서 관로 시스템의 관리를 위한 외국의 다양한 기법에 대한 분석, 진단방법의 수집, 컴퓨터 시스템으로의 적용이 매우 필요할 것이며, 따라서, 이러한 연구를 통하여 관로 관리를 위한 실무적 표준지표를 제시할 수 있도록 하고, 이를 근거로 한 실무의 운영이 가능하도록 하기 위한 실험적 적용과 결과를 제시하도록 한다. 결과적으로, 자료의 정리과정과 추 후 연구될 국가적 NGIS 사업의 결과를 적극적으로 활용할 수 있는 근거 자료를 본 연구를 통하여 제시하고자 하며, 이에 따라 관리 사무에 종사하시는 분들의 의사결정 과정을 보조할 수 있는 최적 방안의 선정 및 개발, 기본 시스템의 구성이 가능해 짐으로 인하여 보다 효율적인 개선 과정이 가능해 질 수 있을 것이다. 기존의 개발된 모형 및 이론의 경우 외국을 대상으로 개발된 모형으로 우리나라 실정에 적용하기에 미비한 경우가 있어 국내의 고유한 상황에 적용할 수 있는 모형의 개발이 필요하다. 이외에도 모형을 구성하는 과정에서 시설 관리에 필요한 각종 표준에 대한 정리와 제시가 필요하며, 이론적 배경 및 실무 적용상의 개선점등을 제공함으로써 관리 업무의 근거를 정리할 수 있도록 하였다. 이의 활용으로서는,

① 각종 기법들을 정리·제시함으로써 관리 정책의 수립과정을 표준화할 수 있으며,

- ② 최적화 이론의 제시를 통하여 관리 방안의 선정에 대한 근거를 제시할 수 있고,
- ③ 의사결정의 구성과정을 통하여 관리에 중요한 요소들을 파악하고,
- ④ 실험 적용을 통하여 관리 정책의 방향 선정에 도움을 줄 수 있을 것이다. 특히,
- ⑤ 대전광역시의 대상 유역을 선정하여 실험 적용함으로써 우리 지역에서의 적용방향을 설정하고, 이의 개선 방향을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

김정환, 김태균, 김중훈, 윤용남(1994). “비선형 계획법을 이용한 상수도 관망설계에 관한 연구”, 한국수문학회지, 제27권(4), pp.59-67.

김주환(1997). “광역상수도 관로노선 계획 수립을 위한 GIS의 응용”, 한국수자원학회지, 제30권(4), pp.78-85.

대전광역시 수도사업본부(2001). 2001년도 상수도 통계.

대전광역시 수도사업본부(2002). 2002년도 상수도 통계.

전환돈, 김태균, 김중훈, 윤용남(1994). “선형계획법을 이용한 분기형 관망 시스템의 최적 설계”, 한국수문학회지, 제27권(3), pp.135-143.

한국수자원공사(1995). 수도관 개량을 위한 의사결정시스템 개발

한국수자원공사(1996). 상수도 계획을 위한 의사결정 지원시스템 연구(3차년도, 관로 계획을 중심으로).

Esogbue, A.O. (1989). Dynamic Programming for Optimal Water Resources Systems Analysis, Prentice-Hall.