

상수관망 유지보수 비용에 관한 연구(대구광역시를 중심으로)

Derivation of the Maintenance-cost formula for the water network

백천우*, 박정훈**, 김석우***, 김응석****, 김종훈*****

Chun Woo Baek, Cheong Hoon Park, Seok Woo Kim, Eung Seok Kim, Joong Hoon Kim

요 지

노후된 상수도 관망의 최적개량 계획수립을 위하여 국내에서 가장 많이 쓰이는 모형은 관거의 교체, 갱생, 유지보수 비용 등과 같은 인자를 이용한 경제성분석에 의한 모형이다. 국내 적용된 대부분의 모형은 Shamir 등(1979)의 모형을 근간으로 하고 있으나, 모형에서 사용되는 여러 인자 중 관거의 유지보수 비용에 대한 국내 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 6년간의 대구광역시 지역의 누수보수기록자료를 이용해 국내 적용 가능한 유지보수 비용 함수를 유도하였다.

핵심용어 : 파손율 함수, 유지보수 비용함수, 경제성 분석, 최적개량계획수립

1. 서론

노후관 개량사업은 예산상, 시공상 등 여러 제약조건에 의해서 장기적인 계획 하에 시행되며 이 때, 언제, 어디에서부터, 어느 위치의 범위를 개량해 갈 것 인지의 우선순위 부여가 필수적이다. 우선순위 부여를 위한 상수도관 개량 최적개량계획 수립모델로서는 크게 경험적 판단에 따른 개량모델, 경제성분석을 이용한 모델, O.R 기법의 수식모델 등 세 가지로 분류 될 수 있다. 국내에서는 김한주(1994) 및 한국수자원공사(1995)에 의해 Sharmir 등(1979)의 모형을 근간으로 한 경제성분석 모형이 제안된 적이 있으며, IP(Integer Programing)을 이용한 최적개량전략(Kim, 1992) 등은 연구된 바가 있다. 백천우(2002)는 ReHS(Revised Harmony Search)를 최적화 기법으로 적용하여 한국수자원공사(1995)의 모형을 경제적, 수리학적인 영향 면에서 보다 발전시킨 의사결정시스템을 구축하였다.

그러나, 경제성 분석을 근간으로 하여 국내 적용된 김한주(1994), 한국수자원공사(1995), 백천우(2002) 등의 모형에서 공통적으로 사용한 개량비용인 유지보수비용함수는 미육군공병단(1983)이 제안한 함수식을 적용하여, 실제 국내에 적용하는 데에는 문제가 있을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대구광역시 관할 북부수도관리사업소에 실시한 최근 6년간의 누수보수기록자료를 분석하여 국내에 적용가능한 유지보수비용 함수를 유도하였다.

2. 기존의 상수관망 유지보수 비용함수

경제성 분석에 의한 상수도관 개량 최적개량계획 수립모델에서는 관거의 교체비용, 갱생비용, 유지보수비용, 양수비용 등을 고려하여 최적의 개량계획을 수립한다. 이 중 관거의 유지보수비용은 관거의 파열율 함수와 파열에 따른 누수보수비용 함수에 의해 결정된다. 관거의 파열 율 함수는

* 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : chunoo@korea.ac.kr

** 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : ruciel4@hotmail.com

*** 정회원 · 세길엔지니어링 수자원부 · E-mail : civilal@hanmail.net

**** 정회원 · 선문대학교 토목공학과 전임강사 · E-mail : hydrokes@sunmoon.ac.kr

***** 정회원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : jaykim@korea.ac.kr

관의 종류, 매설년도 및 관경에 따라 변하며, 파열시 누수보수비용 함수는 관의 종류와 관경에 따라 변한다. 그러나 기본 모형들에서는, 보수비용 함수를 관의 종류와는 상관없이 관경에 따라 변하는 하나의 함수로 제안하였다. 이는 관의 종류가 실제 보수비용 전체에 미치는 영향은 미비하며, 관경에 따라 보수비용이 크게 변하기 때문이다. 기존에 국내에서 사용되어온 상수도관 개량 최적개량계획 수립모델에서의 유지보수 비용함수는 다음 식 (1)과 같은 미육군공병단(1983)의 관경별 보수비용 자료를 원(₩) 단위로 환산하여 사용하였으며, 그림 1에는 식 (1)에 의한 유지보수비용을 나타내었다.

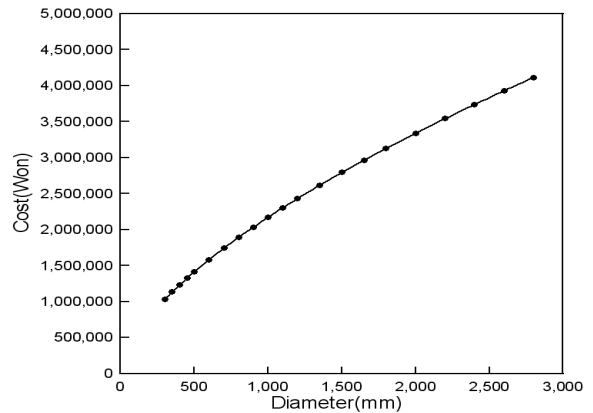


그림 1. 관경별 유지보수비용(미육군공병단식)

$$C_b = 1300 \left(\frac{D}{304.8} \right)^{0.62} \times 800 \quad (1)$$

여기서, C_b = 관 파열 한건당 보수비용(원/건)

D = 관경(mm)

그림 1과 식 (1)에 나타난 미육군공병단(1983)식은 대구경관로(300~2800mm)의 자료를 기본으로 하여 산정되었으므로 배수관거 이하의 소구경관거에 확장하여 적용하는 데에는 무리가 있으며, 실제 국내 실정이 반영되지 못한 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 대구광역시 관할 북부수도사업소의 6개년(1998~2003년)간의 누수보수공사 기록을 분석하여 국내 실정에 적합한 상수관망 유지보수비용함수를 유도하였다.

3. 누수보수기록 분석 및 유지보수비용함수 산정

관거의 유지보수비용은 직관부와 접합부, 제수변과 같은 기타 설비 지점 등과 같이 파열지점의 특성에 따라 변하며, 본 연구에서는 관거의 순수한 노후 정도에 따른 자체 파손기록을 분석하기 위하여 직관부 지점에 대한 누수보수공사 자료만을 이용하였으며 6개년간의 누수보수공사 자료 중 직경 40mm이상의 직관부 파열에 대한 290건의 누수보수공사자료를 선택하였다. 40mm이하의 관거는 대부분 급수관거에 해당되며, 자료 분석결과 개량기지점의 파손이 주를 이루어 분석대상에서 제외하였다. 누수보수공사 자료 분석시 2개소 이상의 공사가 동시에 이루어진 경우에는 총 공사비용을 공사 시행 개소의 수로 분할하여 분석하였다.

3.1 누수보수공사 기록의 분석

수집된 290건의 누수보수공사 자료를 매설년도별로 분석한 결과는 그림 2에 나타나 있다. O'Day(1980)와 Newport(1981)는 매설년도와 노후도의 관계는 명확하지 않으며, 특히 접합부의 부식을 제외하면 노후도는 매설년수와는 상관이 없다고 하였다. 본 연구에서도 그림 2에 나타난 것과 같이 290건의 누수보수공사 중 1995년도 매설한 관이 가장 파열이 많이 발생하여, 관의 매설년도와 파손회수(노후도) 간의 상관관계에 대한 O'Day(1980)와 Newport(1981)의 연구결과와 일치하는 것으로 나타났다.

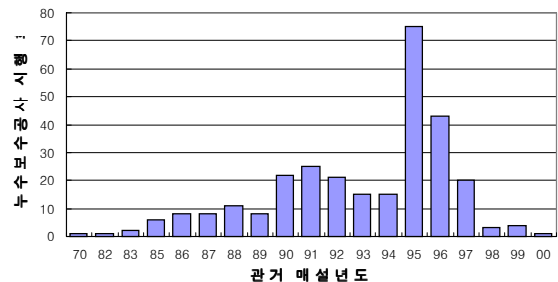


그림 2. 매설년도별 누수보수공사 발생현황

정원식(2001)은 관 파열사고의 주요 영향인자가 초과하중, 토양동결, 부식 등 3개 인자임을 제시하였다. 동일 자료를 누수발생월별로 분석한 결과는 그림 3과 같이 전체 파열의 48.8%가 동계(12월~2월)에 발생하여 본 연구를 수행한 대구시 지역의 주요 파손원인은 정원식(2001)의 연구결과와 같이 저온도에 의한 토양동결(계절적 영향)이 큰 비

중을 차지함을 알 수 있다.

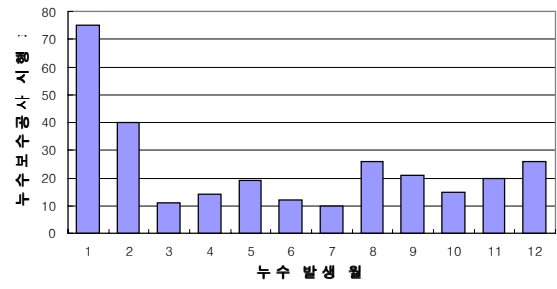


그림 3. 월별 누수보수공사 발생현황

3.2 유지보수비용함수의 유도(물가상승을 미고려)

대구광역시의 290개의 누수보수공사 자료를 이용한 환경별 누수보수공사비용을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에 나타난 것과 같이 동일 환경의 관에 대한 누수보수공사라 하더라도 그 비용에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 상수도관망의 누수보수 비용의 항목은 크게 토공, 관공, 부대공, 자재대, 노무비 등의 항목으로 이루어지는데 이중 전체 공사비에 가장 큰 영향을 주는 것은 토공, 관공, 부대공 비용으로, 이 세 가지는 환경 이외에 관중, 관거 매설 환경 등의 다른 요소에 의해 더 큰 영향을 받으므로, 동일 환경의 누수보수공사에서도 보수비용에 차이가 발생하는 것이다. 따라서, 정확한 유지보수 비용 함수의 산정을 위해서는 관이 매설된 상태와 관의 종류, 공사 현장의 상황 등을 각기 고려하여 다양한 경우의 유지보수비용함수를 유도해야 하나 이를 분석하기 위한 자료가 체계적으로 정리되어 있지 않은 것이 현실이다. 그러므로, 본 연구에서는 기존에 환경에 따른 비용함수식을 산정하는 방법을 이용하여 그림 4의 환경별 누수보수비용 자료에 대한 회귀분석을 실시, 다음 식 (2)와 같은 유지보수 비용함수를 유도하였다.

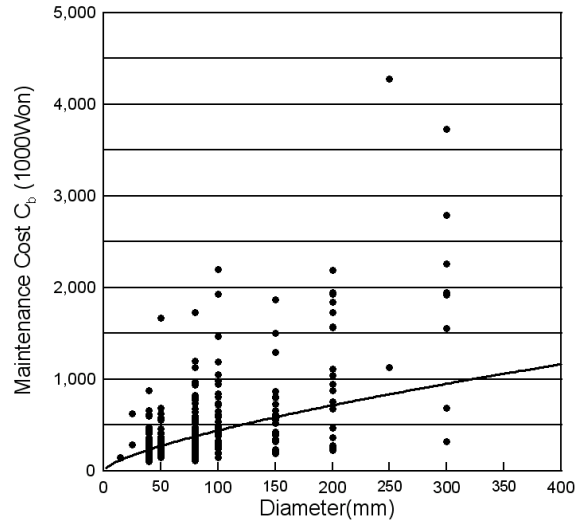


그림 4. 환경별 유지보수비용(물가상승 미고려)

$$C_b = 17878.22 \times D^{0.69615} \quad (2)$$

여기서, C_b = 관 파열 한건당 보수비용(원/건), D = 관경(mm)

3.3 유지보수비용함수의 유도(물가상승을 고려)

전절에서 유도된 식 (2)는 대상기간인 6년간의 실제 공사비를 물가변동에 의한 변화없이 적용하여 유도된 식이다. 그러나, 경제성 분석에 의한 상수도관 개량 최적개량계획 수립모델에서 사용되는 각종 비용함수는 이자율과 물가상승율을 고려하므로, 수집된 누수보수공사 비용자료 또한 물가상승률을 고려하여 환산하여야 할 것이다.

물가상승율을 고려하기 위해서는 건설표준품셈 및 상수도 공사 일위대가표에 제시된 각각의 공정과 자재비에 대해 항목별로 물가상승률을 고려, 과거의 공사비용을 현재의 비용으로 환산해서 분석해야 한다. 그러나 다양한 상수도 관에 따라 교체, 갱생, 유지 보수에 대해 각각 다른 물가상승률을 적용하는 것은 사실상 불가능하므로 본 연구에서는 통계청에서 발표한 소비자 물가지수의 상승이 누수보수공사비용의 상승을 대표한다고 가정하여 2003년도 현재의 공사비로 환산하여 분석을 실시하였다. 표 1에는 통계청에서 발표한 연도별 물가지수 환산표가 나타나 있다.

표 1. 연도별 소비자 물가지수 환산표 (2003년=100)

년	물가지수	년	물가지수	년	물가지수
1986	43.5	1992	64.0	1998	87.6
1987	44.8	1993	67.0	1999	88.3
1988	48.0	1994	71.2	2000	90.3
1989	50.7	1995	74.3	2001	94.0
1990	55.0	1996	78.0	2002	96.6
1991	60.2	1997	81.5	2003	100.0

그림 5에는 대상지역의 290개의 누수보수공사 비용자료를 표 1에 나타나 있는 물가지수를 이용하여 환산한 환경별 누수보수공사비용이 나타나 있으며, 이를 회귀 분석한 결과는 다음 식 (3)과 같다.

$$C_b = 17774.66 \times D^{0.69828} \quad (3)$$

여기서, C_b = 관 파열 한건당 보수비용(원/건), D = 관경(mm)

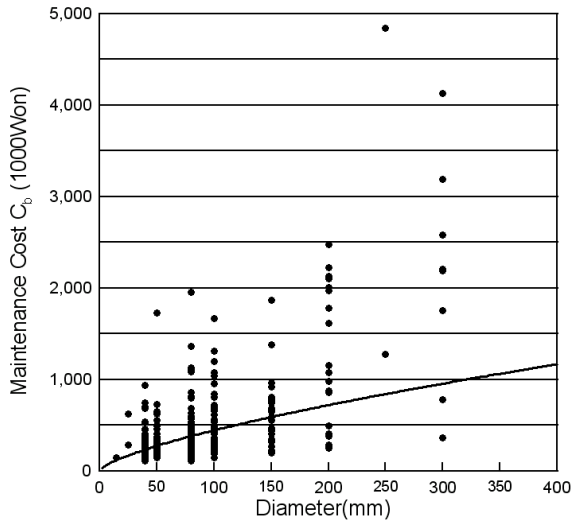


그림 5. 환경별 유지보수비용(물가상승 고려)

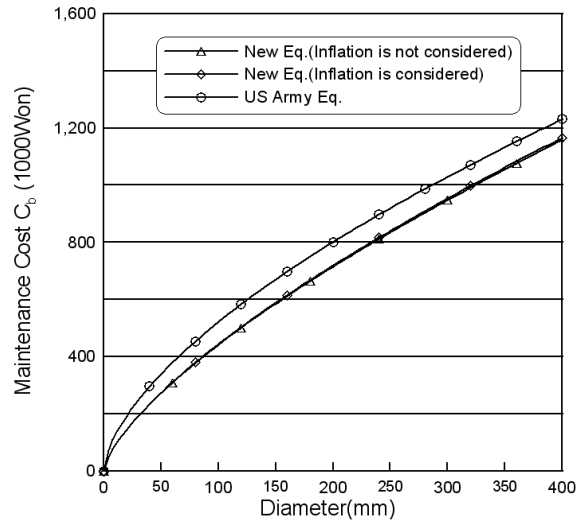


그림 6. 유지보수비용 함수의 비교

그림 6에는 본 연구에서 유도한 식 (2)와 식 (3)에 의한 유지보수비용 값을 미육군공병단(1983)식과 비교해 나타내었다. 그림 6에 나타난 것과 같이 물가상승률을 고려하지 않은 식 (2)에 의한 유지보수비용과 물가상승률을 고려한 식 (3)에 의한 유지보수비용은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 자료 수집기간이 6년으로 비교적 짧았으며, 물가 상승률에 의해 현가로 환산되는 누수보수공사의 횟수가 회귀식에 영향을 줄 정도로 많지 않았기 때문으로 판단된다. 그러나, 기존의 상수도관 개량 최적개량계획 수립모델에서 사용한 미육군공병단(1983)식의 결과와는 큰 차이를 보이고 있다. 직경 300mm관의 파손 1개소당 보수비용의 경우 식 (3)을 적용할 경우 953,950원으로 미육군공병단(1983)식에 의한 1,029,820원보다 8%가량 낮게 산정되고 있다. 따라서, 상수도관 개량 최적개량계획 수립 시에 본 연구에서 유도한 식을 적용한다면, 국내현실을 감안한 보다 타당한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

상수도관 개량 최적개량계획을 수립하기 위한 모델 중 국내에서 많이 적용된 경제성 분석에 의한 모델에서는 관거의 교체비용, 갱생비용, 유지보수비용, 양수비용 등을 사용하나, 관거의 유지보수비용에 대한 국내 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 1998년부터 2003년까지 대구광역시의 총 290건의 누수 보수기록에 대하여 회귀분석을 실시하여 유지보수비용함수를 유도하였다.

일반적으로 공사비용은 동일 공사라 하더라도 지역에 따라 변하게 된다. 따라서, 노후 관거의 최적개량전략 수립 모형에서는 이와 같은 지역적 영향을 고려한 공사비용이 적용되어야 할 것이며 유도된 식은 대구광역시의 지역적 특성을 나타내는 보다 적합한 유지보수 비용함수라 판단된다.

보다 정밀한 비용함수를 산정하기 위해서는 보다 다양한 매개변수를 고려하여야 하나, 하지만 현실적으로 수많은 경우의 수를 고려할 수 있는 방법이 제시되지 못하고 있으며, D/B량도 부족한 현실이다. 또한, 본 연구에서 유도된 유지보수비용함수는 직관거부의 경우에만 한정되는 식으로, 관 접합부, 계수변 등과 같은 상수도 부대시설물에 대한 통합적인 유지보수비용 산정에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 따라서, 누수보수기록에 대한 장기적이고 체계적인 D/B구축이 이루어진다면 유지보수비용함수의 정밀도와 다양성을 높일 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대핵심환경기술개발사업의 지원(과제번호 : 110070006)으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김한주 (1994). “물분배 시스템의 최적 관개량 의사결정 모형에 관한 연구”, 석사학위논문, 고려대학교 대학원.
2. 손광익 (1996). “주변환경을 고려한 상수관망의 관 마찰손실계수 산정”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 29권, 제 4호, pp223~231.
3. 백천우 (2002). “ReHS를 이용한 상수관망 최적 개량 의사결정 시스템의 개발”, 석사학위논문, 고려대학교, 대학원.
4. 정원식, (2001). “상수도 배수관로의 노후도 평가 및 최적 개량시기 결정모델”. 박사학위논문, 서울시립대학교, 대학원
5. 한국수자원공사 (1995). “수도관 개량을 위한 의사결정 시스템 개발”.
6. Kim, J. H. (1992). “Optimal Rehabilitation/Replacement Model for Water Distribution System”, Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, Austin, Texas, December.
7. Newport, R., (1981). “Factory influencing the occurrence of bursts in iron water mains”, Aqua, 274~278.
8. O’Day, D.K., (1980). “Aging urban water system ; A computerized case study”, Public works, 8, 61~64.
9. Shamir, U. and Howard, C. D. (1979). “An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement”, Journal of the American Water Works Association, Vol.71, No.5, pp.248~258, May.
10. U.S. Army Corps of Engineers, Engineering and Design-Evaluation of Existing Water Distribution Systems (1983), Engineer Technical Letter No.1110-2-278.