

상수관로 노후도 평가를 통한 개량 우선순위 결정에 관한 연구

Study on the Decision Priority of Rehabilitation for Water Distribution Network Based on Prediction of Pipe Deterioration

박인찬*·권기원**·조원철***·조관희****

Park, Inchan-Kwon, Kiwon-Cho, Woncheol-Cho, Kwanhee

요 지

노후 상수도관의 개량사업이 지속적으로 시행되고 있지만 노후관 개량사업은 경험적 판단에 의존하는 노후관 평가 및 대안의 선정, 사고예방을 위한 대응적 차원의 개량 사업을 실시함으로써 인해 경제적 손실은 물론 시스템의 유기적 기능향상이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 상수관로 중에서 아연도 강관, 도복장 강관, 닥타일 주철관을 선정하여 현장조사를 실시하였으며, 직접 채취된 관체 시편을 대상으로 육안분석, 관체분석, 그리고 토양부식성 등을 평가하여 채취한 관의 노후도를 종합적으로 평가하였다. 기본적으로 노후도 평가를 점수 평가법을 사용하였으며, 평가된 결과를 바탕으로 향후 노후 수도관 개량사업 추진 내용에서 개대체 우선순위를 결정하기 위한 모델을 제안하였다. 상수관로 노후도 영향 인자 및 가중치 추정은 현재 매설된 상수도관의 노후진척도를 평가하기 위한 노후도 예측모형의 기본 요소이며, 모형의 정확도를 향상시키기 위해 필수적인 사항이다. 관로 노후진척도 분석의 정확도는 장기간의 자료 수집을 통하여 이루어져 이에 대한 분석이 필요하며, 대상관로를 이용하여 개발된 제안식은 향후 지속적으로 현장조사를 실시하여 보완이 필요하겠지만, 노후수도관의 개량 우선순위를 분석하기 위한 매우 유용한 자료가 될 것으로 판단한다.

핵심단어 : 상수관로, 노후도 평가, 개량 우선순위

1. 서 론

정수처리 후 가정 수요자에게 이르는 동안의 관망시스템은 양적으로나 질적으로 매우 핵심적인 부분이나, 최근 들어 정수 처리된 생활용수가 노후관을 통해 수요자에 이르는 동안의 2차오염이 사회적으로 큰 문제가 되고 있는 실정이다. 이러한 문제점이 발생하는 원인으로는 내외부 압력, 매설환경, 부식 등의 다양한 요소들이 있으며, 발생하는 문제들에 대해 각각의 원인에 따른 대책이 필요하다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 노후 상수도관의 개량사업이 지속적으로 시행되고 있지만 노후관 개량사업은 경험적 판단에 의존하는 노후관 평가 및 대안의 선정, 사고예방을 위한 대응적 차원의 개량 사업을 실시함으로써 인해 경제적 손실은 물론 시스템의 유기적 기능향상이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 K시에 매설된 주철관, 도복장강관 등에 대한 현재 상태를 조사하고 이를 바탕으로 노후도 판정에 영향을 미치는 인자를 선정하여 향후 노후수도관 개량결정을 위한 모델을 제시하고자 하였다. 상수관로 노후도 영향 인자 및 가중치 산정은 현재 관의 노후상태를 정확히 평가하기 위한 노후도 예측모형의 기본 요소이며, 모형의 정확도를 향상시키기 위해 필수적인 사항이다. 노후도 추정의 정확도는 장기간의 자료수집을 통하여 이루어져 이에 대한 분석이 필요하며, 금회의 고양사에서 실시하는 노후도 추정 모델의 수립은 이의 초석이 될 것이다.

상수관로의 건전성 유지를 위해서 국내외적으로 크게 이슈화하여 다루고 있으나, 지금까지도 국내의 경우 기본

* 정회원·연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정·E-mail : icpark@yonsei.ac.kr - 발표자
** 정회원·(주)한국종합기술개발공사·E-mail : get1@kecc.co.kr
*** 정회원·연세대학교 사회환경시스템공학부 정교수·E-mail : jtkim@yonsei.ac.kr
**** 정회원·(주)한국종합기술개발공사·E-mail : kwanh@kecc.co.kr

적인 매설환경자료, 파손사고의 원인분석 등 관로와 관련된 자료가 부족하고 체계적으로 정리되어 있지 않은 실정이다. 이러한 자료축적 및 정리가 미흡한 국내의 현실을 고려, 장래 추가적인 자료 확보 및 한계성을 극복할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

2. 상수관로의 노후도 평가 방법

2.1 대상지역의 선정

현재 노후관 개량사업을 실시함에 있어 매설관의 노후도를 판단할 수 있는 객관적인 기준이 없어, 매설년수나 파손기록에 의존하고 있어 갑작스런 노후관의 파손으로 인하여 다양한 불편을 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 K시에 매설된 상수도관의 노후도에 미치는 영향인자들에 대한 현황자료를 UIS DB 등을 통해서 수집하고, 이를 토대로 관종분포, 현장조사 용이성 및 실무자 의견 등을 수렴하여 조사 대상 관로를 선정하여 노후 진척도를 평가하였다. 다양한 방법으로 상수관로의 노후도를 평가하는 방법이 수행되고 있지만 실제로 개량 우선순위를 결정함에 있어서 활발한 의사결정 지원 시스템으로 적용되지 못한 점을 고려하여, 본 연구에서는 실제로 K시에서 추진하고 있는 수도정비기본계획에 포함하여 향후 개대체를 실시할 경우 의사결정을 지원할 수 있는 방안을 마련하여 실질적인 상수관로 관리에 효율적인 연구를 수행하고자 한 것이다. 본 연구를 수행함에 있어서 K시 상수관로 중에서 무엇보다도 관로가 노후화됨에 따라 교체가 시급한 관로를 우선적 대상으로 하였으며, 이들 자료를 활용하여 K시 매설관의 노후도를 정확히 판단할 수 있는 평가모델을 개발하여 노후도 평가에 따라 효율적인 개량계획을 수립할 수 있게 될 것으로 판단한다.

2.2 노후도 평가 인자

수도관의 노후도 평가를 위한 인자선택에 있어 본 연구에서는 ‘노후수도관 평가 및 관리 매뉴얼(환경부, 2002)’에서 제시한 인자들을 최대한 반영시켰다. 이들 인자는 측정치의 특성을 감안하여 정성평가 인자, 정량평가 인자 및 원인분석 인자로 구분하였으며, 관종에 따라 그 평가 항목에는 다소 차이가 있지만 일반적으로 다음과 같은 항목을 반영하였다. 즉, 정성평가 인자는 일반사항, 시설제원, 매설환경, 시공상태 및 관로이력 등으로 별도의 굴착이나 단수가 수반되지 않는 항목이며, 정량평가 인자는 관체상태, 외면상태, 내면상태, 수리특성 및 관리상태 등과 같이 자료 취득을 위한 별도의 굴착, 단수 및 관체 절단 등의 작업이 수반되어야 하나 육안분석이나 간단한 측정만으로 관로를 평가할 수 있다. 또한 원인분석 인자로는 토양부식성, 미생물특성, 물리적강도, 화학조성 및 수질부식성의 직·간접 항목에 해당되는 인자들로 구성되어 있다. 본 연구를 시행함에 있어 이상과 같은 인자에 대한 조사 및 분석 방법은 환경부(2002)의 자료에 의거하여 실시하였다.

3. 개량우선 순위 결정

개량우선순위의 결정은 관로진단결과 외에 관로의 중요도, 관로개량의 효과, 시공조건 등을 종합적으로 평가할 필요가 있다. 그러나 본 연구에서의 결과는 위의 다양한 요인 중에서도 관로진단결과에 따른 개량우선 순위에 대한 것이며, 이를 바탕으로 기타 요소를 평가하여 최종적으로 개량우선 순위를 결정하는데 중요한 자료가 될 것이다. 노후수도관 평가는 GIS자료에 노후수도관 조사결과를 반영하여 각 개별관로의 노후도를 평가하였다.

3.1 노후도 모델의 개발

최근 들어 점수평가법을 바탕으로 회귀분석과 선형계획법(Linear Programming Method : LP)을 이용하여 노후도의 영향 인자에 대한 가중치를 산정하여 비교분석한 다양한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서도 관로의 노후진척도 평가를 위해서 이와 같은 절차를 적용하였다. 여기서 선형계획법의 주요한 목적은 구하고자 하는 가중치의 편차를 최소로 하기위한 것이며, 가중치 결정은 인자별 영향정도를 정량화하기 위하여 항목별 가중치의 합이 1이 되도록 제약조건을 설정하게 된다. 상수관로 노후도 영향 인자 및 가중치 추정은 현재 매설된 상수관로의 노후진척도를 평가하기 위한 노후도 예측모형의 기본 요소이며, 모형의 정확도를 향상시키기 위해 필수적인 사항이다. 본 연구에서는 대표적인 선형계획법 프로그램인 GAMS(General Algebraic Modeling System, 2002)를 이용하였다.

노후도 평가를 위해서는 각 인자가 가지는 분류범위에 따라 조건값을 지정하는 작업이 필요하다. 이의 적용을 위해서 환경부(2002), 수자원공사(2005)의 자료를 바탕으로 하여 5등급의 조건값 - 불량(0.00), 미흡(0.25), 보통(0.50), 양호(0.75), 우수(1.00) -에 기반을 둔 인자별 조건값을 제시하였으나, 현장여건에 맞게 변경시켜 적용하는 것 또한 가능하다.

<표 1> 노후도점수에 의한 노후도 등급 분류

노후도등급	판단기준	노후상태	판단에 따른 대책	기준개량방안
I	0.45이하	건전	계속사용 가능 (소극적 갱생이 필요한 단계)	부식방지 또는 세관
II	0.46~0.50	보통	갱생 (적극적 갱생이 필요한 단계)	세관 또는 라이닝
III	0.51~0.75	심함	개량 또는 교체 (적극적 개량이 필요한 단계)	라이닝 또는 교체
IV	0.76~1.00	매우심함	교체 (무조건 교체 단계)	교체

제시된 <표 1>은 노후도 점수에 의한 노후도 등급 분류를 나타내고 있다. 노후도 등급은 육안조사를 통한 노후도 평가와 육안 및 관측 조사 결과를 이용한 노후도 평가 두가지의 형태로 구분하여 실시하였으나, 전체적으로 육안분석을 통한 노후도 평가의 인자가 노후 진척도를 평가하는 데 있어서 다소 유의할 만한 결과를 나타내었다. 그러므로 노후진척도 평가 및 개량 계획을 위해 타당한 산정식은 기본적으로 육안 및 관측분석 결과를 사용한 식보다는 육안결과만을 활용한 결과라고 판단하였다. 이를 토대로 향후 노후관로의 개량사업 추진 방향 확립을 위해서 다음에 제시하는 <표 2>는 9개 항목에 대하여 간접평가를 실시하여 개량 우선순위 분석을 위한 기초적인 자료로써 활용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

<표 2> 전체 관종을 대상으로 한 항목별 가중치

구 분	관종	관경	내면 피복	매설 년수	매설 깊이	도양 종류	주변 도로	접속 방식	누수과손 기록
육안분석	0.103	0.084	0.194	0.167	0.167	0.000	0.267	0.020	0.000

3.2 노후관 개량우선순위 결정

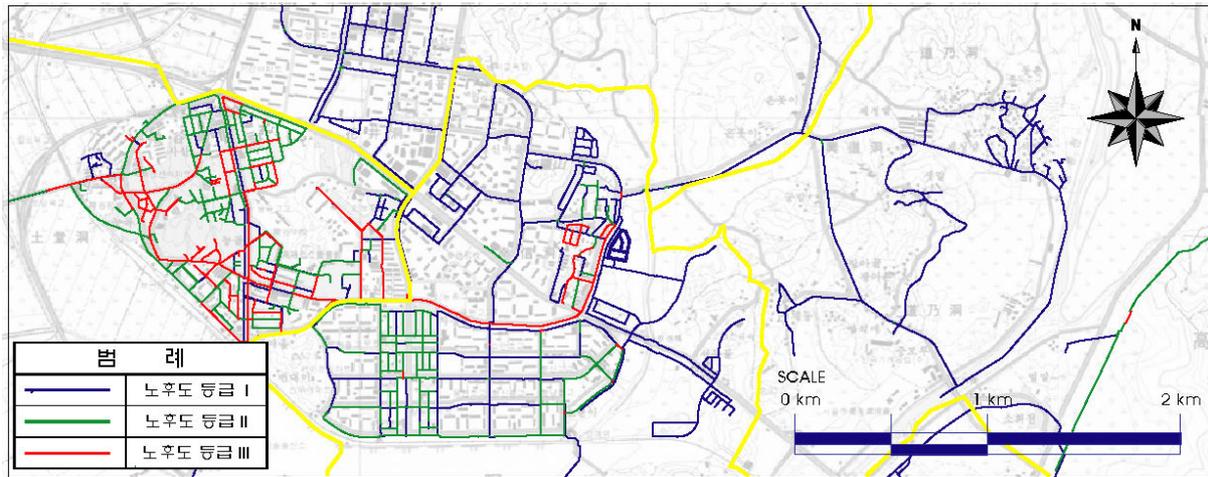
상기 개발된 <표 2>의 항목별 계수를 바탕으로 노후도 등급을 분류하기 위하여 <표 1>에서의 기준을 K시의 송배수관로 전체 GIS 자료에 적용하였으며 노후도 등급을 부여한 결과는 다음 <표 3> 및 <표 4>와 같다. <표 3>는 송수관로에 대한 노후도 등급이며, <표 4>는 배수관로에 해당된다. 본 평가결과는 K시에서 현재 GIS 자료로 구축되어 있는 상수관로를 대상으로 적용하였으므로, 실제와는 다소 차이를 보일 수 있을 것이다. 또한 GIS자료에 구축되어 있지 않은 내면피복, 주변도로, 접속방식과 같은 인자는 일괄적으로 전관로에 대해 0.5(내면피복은 0.4)를 부과하여 평가하였다. 본 평가 결과를 바탕으로 노후관로 도시화하기 위한 단계로 <그림 1>을 도시하였다. <그림 1>은 K시 일부 지역에 대해서 <표 3> 및 <표 4>의 결과를 활용하여 도시한 결과이며, 붉은색 실선이 노후도 등급 III에 해당된다. 관로진단 결과 K시의 경우 <그림 1>에서 제시한 노후도 등급 III의 관로에 대해서 우선적으로 개량계획을 수립하는 것이 바람직하며, 이를 바탕으로 대상 관로의 중요도, 관로개량의 효과, 시공조건 등을 종합적으로 평가하여 체계적인 개량계획을 수립하여야 할 것이다.

<표 3> 송수관로 노후도등급 (단위 : m)

노후도 등급	계	관 경 (mm)													
		200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1100	1350	1500	
I	31,380	273	1,214	249	1,503	4,530	593	316	3,064	8,433	5,474	1,383	4,069	278	
II	16,128	603	-	75	1,499	242	609	8,416	-	1,610	3,074	-	-	-	
III	13,766	1,027	-	4,756	59	420	-	2,007	92	426	896	-	-	4,084	
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
계	61,274	1,903	1,214	5,080	3,060	5,192	1,202	10,739	3,156	10,469	9,444	1,383	4,069	4,362	

<표 4> 배수관로 노후도등급 (단위 : m)

노후도 등급	계	관 경 (mm)									
		50	80	100	150	200	250	300	350	400	500
I	667,206	14,474	60,391	193,866	78,999	103,104	14,026	68,169	10,182	22,738	5,392
II	184,972	4,077	28,238	61,521	44,512	5,225	3,485	4,529	7,833	4,154	302
III	83,702	3,264	9,319	16,532	6,315	8,729	5,787	4,725	9,433	6,414	3
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
계	935,879	21,816	97,948	271,918	129,827	117,058	23,298	77,423	27,448	33,305	5,697



<그림 1> 개량우선 순위 결정을 위한 관망도

4. 결론

본 연구에서는 상수관로 중에서 아연도 강관, 도복장 강관, 닥타일 주철관을 선정하여 현장조사를 실시하였으며, 직접 채취된 관체 시편을 대상으로 육안분석, 관체분석, 그리고 토양부식성 등을 평가하여 채취한 관의 노후도를 종합적으로 평가하였다. 기본적으로 노후도 평가를 점수평가법을 사용하였으며, 평가된 결과를 바탕으로 K시의 향후 노후 수도관 개량사업 추진 내용에서 개대체 우선순위를 결정하기 위한 모델을 제안하였다. 관로 노후진척도 분석의 정확도는 장기간의 자료 수집을 통하여 이루어져 이에 대한 분석이 필요하며, 대상관로를 이용하여 개발된 제안식은 향후 지속적으로 현장조사를 실시하여 보완이 필요하겠지만, 노후수도관의 개량 우선순위를 분석하기 위한 매우 유용한 자료가 될 것으로 판단한다.

참고문헌

1. 김웅석, 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형 개발. 박사학위논문, 고려대학교, 2002
2. 부산광역시 상수도사업본부, 상수도관 노후진척도 조사보고서. 2005
4. 한국수자원공사, 수도관 개량을 위한 의사결정시스템 개발. 1995
5. 환경부, 노후수도관 평가 및 관리 매뉴얼. 2002
6. Brooke, A., D. Kendrick and A. Meeraus. GAMS: A User's Guide. Boyd and Fraser Publishers, Version 2.25