

현장실사를 통한 상수관로의 노후도 평가체계 개선

○김주환* · 성권식* · 우형민* · 안효원*

1. 서론

국내 수돗물의 수송기능을 담당하는 수도관로의 총연장은 117,949km이며, 이중에서 21년 이상 경과된 관로는 11,788km(10.0%)를 차지하고 있어 이들 관로에 대한 개·대체 계획수립이 요구된도 있는 실정이다. 수도관은 단순히 그 연장의 팽창과 더불어 그 대부분이 공공도로 밑에 매설되어 그 유지관리에는 많은 어려움이 뒤따르고 있으며, 때로는 사고 및 장애를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 급수량의 증가에 따른 방대한 양의 급수체계가 유지관리 되면서 누수, 부식 및 노후화 등의 문제점이 드러나 먹는 물의 수송 및 수질 유지기능을 담당하고 있는 수도관의 평가 및 진단기법, 설계 및 운영기법, 유지관리 및 보수기법 등의 선진화에 대한 연구개발 수행이 요구되고 있다.

수도관의 개·대체 계획수립을 위해 필요한 노후관의 평가방법으로서 1995년 점수평가법이 초기모델로서의 의미를 가지고 있으며 지금까지 현장 적용시 발생하는 많은 문제점에 대한 보완 및 개선이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 광역상수도를 대상으로 하는 계획단수작업시 관로내부에 대한 점검을 시행함으로써 관로 사고 예방하고, 수압·수량 부족 및 적수 등 수질문제 구간에 대한 관 노후도 조사와 관로의 갱생/교체등을 위한 기초자료 수집하여 노후수도관에 대한 평가방법을 보완 및 개선함으로써 용수공급 안정성을 향상시키는데 목적이 있다. 이를 위하여 국내외에서 사용되고 있는 수도관 노후도 평가기법에 관한 현황과 실태를 조사하여 이를 종합적으로 분석, 관로 노후도 평가항목 및 노후도 평가의 개선방향을 제시하였으며 현장조사를 통하여 수집된 자료는 각 항목별 자료분석을 통하여 노후도 평가인자들을 설정하고 설정된 평가인자들을 분류, 간접평가인자에 의한 개략평가, 직접평가인자들에 의한 세부평가 및 원인분석인자들에 의한 정밀평가로 구분하였다. 개·대체 대상 노후관을 선정하기 위한 첫 단계는 현장여건을 감안하여 매설구간의 굴착이나 단수조치 없이 개략적인 평가가 가능한 간접평가인자들 만으로 추정이 가능하도록 하였으며, 그 결과에 따라 두 번째 단계로서 굴착과 단수지점을 선정하고 세부평가를 위해 관체의 절단 및 관내부 조사항목이 포함된 직접평가인자 자료를 취득하여 관로의 노후도를 평가하도록 하였다. 또한 세 번째 단계로서 정밀평가에서는 관로의 노후도를 평가하기 위한 목적이 아니라 평가된 관로의 노후화 원인을 규명하여 향후 개·대체 계획수립시 노후화를 저감시킬 수 있는 대안의 수립을 위한 기초자료로 사용하도록 하였다.

2. 노후 수도관의 정의 및 영향인자

수도관은 정수시설과 더불어 수도시설의 중요한 역할을 수행하며 수돗물의 수송기능과 더불어 수질유지기능 등을 담당하고 있다. 수도관도 다른 수도시설과 마찬가지로 시간이 경과하거나 내·외부적인 원인에 의해 그 기능을 열화되는 등의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점이 발생하는 원인으로는 내외부 압력, 매설환경, 부식 등의 여러 가지 요소들이 있으며, 발생하는 문제들에 대해 각각의 원인에 따른 대책이 필요하다. 이러한 기능적 열화의 정도를 '노후도'라고 표현하며, 기관마다 노후도에 대한 잠정적인 정의를 내리고 있다. 환경부의 '상수도 유수율 제고 업무처리규정(안)'(환경부 훈령 제 486호, 2001. 2)에는 노후수도관을 다음과 같이 정의하고 있다. '노후수도관이라 함은 아연도 강관, 비내식성 금속관, 매설후 16년 이상 경과한 수도관 중 관석(Scaling) 및 부식이 심한 수도관 등 교체 또는 갱생이 필요한 수도관을 말한다.' 또한 서울

* 한국수자원공사 수자원연구소

시의 유수율 대책 백서(서울특별시 상수도사업본부, 2000)에서는 노후수도관을 다음과 같이 정의하고 있다. '노후 상수도관이란 관의 내용연수가 지나 내외부가 부식하여 관파손 사고와 빈번한 누수, 적수 등의 문제를 일으키는 상수도관과 내용연수가 지나지 않은 관중에서도 비내식성 관의 내부 스케일로 적수를 일으키는 상수도관을 말한다.'

이와 같이 '노후'라는 의미는 관이 제기능을 발휘하지 못하는 수준, 즉 요구된 서비스 수준을 만족하지 못하는 상태를 의미한다고 할 수 있다. 따라서 일반적으로는 만족할만한 기능을 발휘하지 못하고 있는 노후관에 대해서 노후의 정도와 원인에 따라서 교체대상이 되는 관과 개량대상이 되는 관으로 분류하여 그 대책을 진행시키는 것이 바람직하며 일부의 지자체에서는 이와 같은 방법으로 대책을 수립하고 있는 것으로 알려지고 있다. 이와 같은 노후관의 정의에도 불구하고 일반적으로는 수도관의 노후도가 갖고 있는 의미에 따라서 제대로 의미전달이 되지 않는 경우도 있다. 경우에 따라서는 노후라는 의미를 '매설 연수가 오래된 관'의 의미만이 강조되어 실제에 있어서는 경과연수만을 근거로 수도관의 노후 여부를 판단하는 사례도 있을 수가 있다. 이와 더불어 실제에는 각종 원인을 분석하고 수도관의 노후 여부를 판정하고 있으면서도, 그 결과를 정리함에 있어서 매설년수를 최종적인 분류항목으로 채택하는 경우에는 단순히 매설년수로 노후 여부를 판정하고 있다고 인식될 수도 있어 노후관의 정의와 분류방법에 대해 체계적인 검토가 필요하다.

'Planning the Rehabilitation of Water Distribution System (Water Research Centre, 1989)'에서는 과거 사고가 많았던 관(사고는 관이 갖고 있는 모든 약점이 표출된 결과임)을 우선적으로 보수·보강하거나 교체 대상으로 검토하는 것이 보다 합리적인 것으로 기술하고 있다. 또한, 수도관의 노후화를 최대한 지연시키기 위해서는 대상시설의 특성 이를테면 관종(관 재질)등에 따라 현 상태에서 노후화를 촉진시키는 요소, 그 중에서도 가장 크게 영향을 미치는 요소(대개는 부식관련 요소)를 찾아내어 중점적으로 관리하는 것이 무엇보다 중요하다고 하고 있다. 상기 보고서에서 제시하고 있는 관로 노후화의 요소와 사고와의 관계를 표 1에 정리하였다.

표 1 수도관 노후화의 요소

단 계	노 후 화 요 소
설 계	관경, 관종, 관 접합
시 공	기초공, 되메움토양, 매설년수
하 중	매설지역, 도로폭, 내부수압
운 영	무수율, 누수·파손기록, 부식방지
부 식	외부요소 : 토양비저항, pH, Redox전위, 합수율, 황화물·염화물 내부요소 : C값

자료 : Planning the Rehabilitation of Water Distribution System (1989, Water Research Centre, U.K)

미국수도협회연구기금(AWWARF)에서 발간된 'Guidance Manual - Water Mains Evaluation for Rehabilitation / Replacement (1986)'에서는 수도관로의 기능을 평가하는데 사용될 수 있는 기준으로 물리적 강도 (Structural Integrity), 관내 수질 (Water Quality), 수리적 조건 (Hydraulic Condition), 누수 (Leakage) 등이 있다. 따라서 상수관로가 정상적인 기능을 유지하려면 위에서 언급한 4가지의 조건을 모두 충족시켜야 하며 이들 요소들은 독립적으로 작용하는 것이 아니라 상호 영향을 미치므로 상수관로의 유지관리에는 어느 하나의 인자에 의한 관리보다는 상호 연관성을 지닌 복합적 요소들의 전체적인 관리가 필요하다.

3. 노후도 평가 절차

수도관의 노후도 평가절차는 그림 3.1과 같이 실시하며, 비용 및 인력을 감안하여 개략평가, 세부평가 및 정밀평가의 수행여부를 결정한 후 각 수도사업소의 여건에 적합한 평가방법을 선정한다.

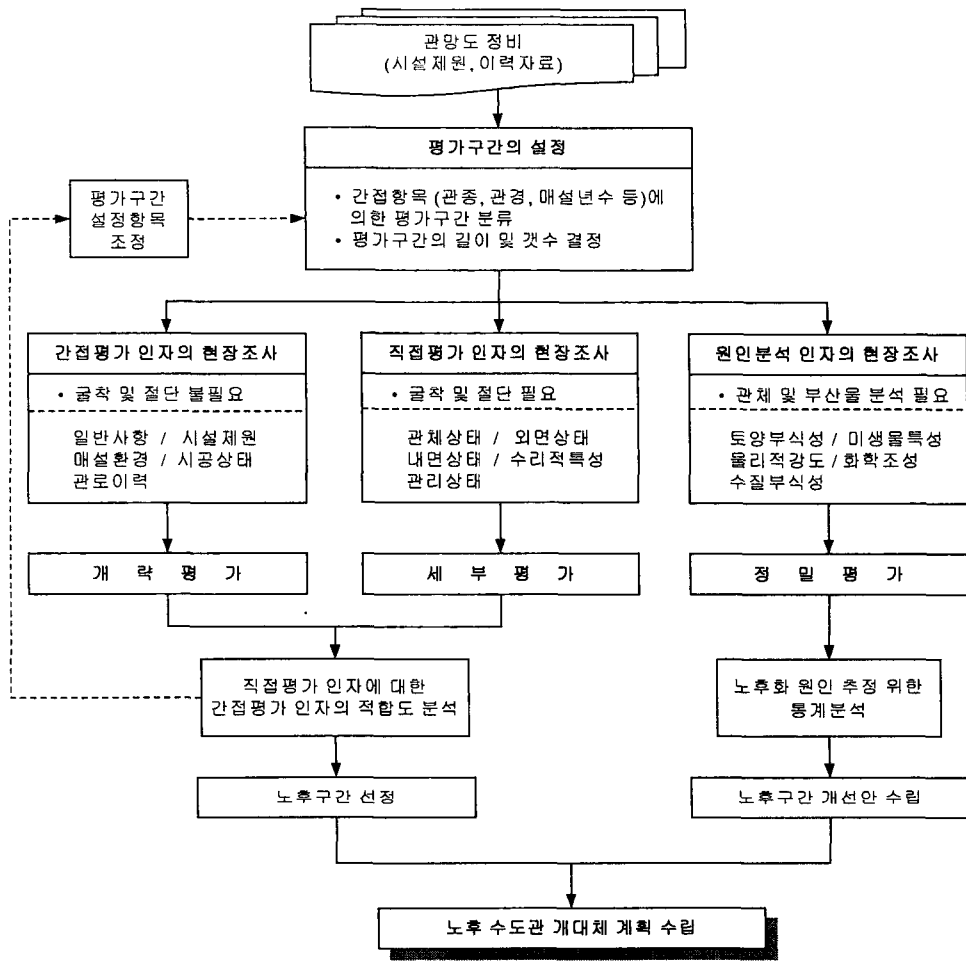


그림 1 수도관 노후도 평가절차

노후도 평가를 위해서는 먼저 관망도를 정비하는 작업이 필요하며, 각 관로구간이 가지고 있는 특성에 따라 평가구간을 설정하는 작업을 거치게 된다. 평가구간이 설정된 후에 관로진단 조사표를 이용하여 자료조사 및 현장조사 실시한다. 현장조사 자료를 바탕으로 조건값 및 가중치를 설정한 후 노후도 평가를 실시하여 구간별 노후도 평가점수를 산정한다. 노후구간에 대해 정밀평가를 수행하여 노후화 원인분석을 실시하여 개선안을 제시하며, 노후구간에 대한 개대체 계획을 수립함으로써 노후도 평가의 모든 과정을 완료한다. 또한 세부평가시에는 직접평가 인자에 의한 노후도 평가 결과를 이용하여 간접평가 인자에 대한 적합도 분석을 실시함으로써 평가구간 설정을 위한 인자를 조정할 수 있다.

4. 노후도 항목별 가중치 선정을 위한 AHP기법의 도입

관로의 평가구간 별로 정성 및 정량평가 인자의 평가결과가 결정되면 각각의 인자가 수도관의 노후도평가 점수에 영향을 미치는 정도를 가중치로 나타낼 필요가 있다. 본 연구에서는 가중치 설정을 위한 방법으로 설문조사에 의한 방법과 분석적 계층 과정(Analytical Hierarchy Process; AHP)기법을 도입하였으며 이는 설문조사 결과를 보다 체계화시키기 위한 것으로서 쌍비교 및 일관성 테스트를 하는 의사결정론 방법이다.

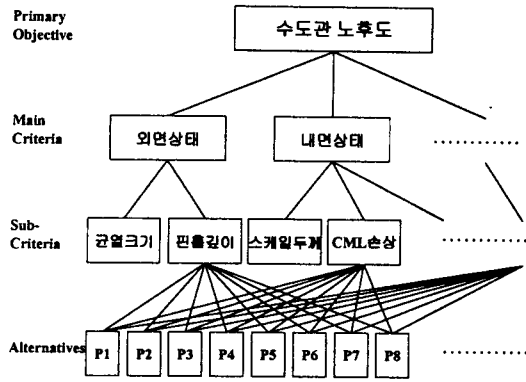


그림 2 노후도 평가를 위한 분석적 계층구조

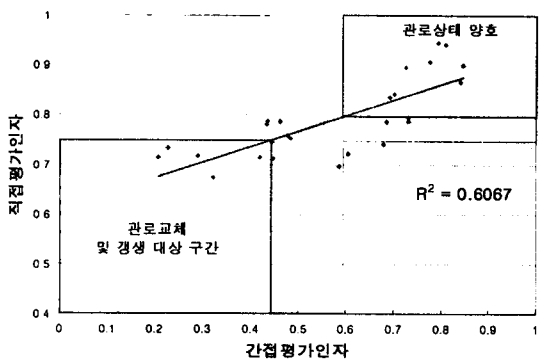


그림 3 가중치 조정 후 적합도 분석

5. 적합도 분석

간접 및 직접평가에 의한 노후도 값, 즉 표 6.5와 표 6.6의 간접평가에 의한 노후도 점수를 X축에, 직접평가에 의한 노후도 점수를 Y축에 도시하면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 이는 비용과 인력이 소요되는 직접평가를 실시하기 전에 간접평가인자에 의한 노후도를 미리 확인하기 위함이다. 가중치 설정을 통한 적합도 분석과 현장조사 결과를 서로 비교하여 보았을 때, 간접평가인자의 노후도가 0.45이하일 때 해당 관로의 교체 및 갱생, 0.6이상일 경우 해당 관로 상태는 양호, 0.45~0.6일 때에는 해당 관로를 타파기 후 직접평가를 한 후 현장 관리자 또는 전문가의 조언을 얻어 교체 및 갱생을 검토하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 또한 직접평가인자의 노후도가 0.75이하일 때 해당 관로의 교체 및 갱생, 0.8이상일 경우 해당 관로 상태는 양호, 0.75~0.8일 때에는 해당 관로의 관체 상태에 따라 관로의 교체 및 갱생을 검토하는 것이 바람직하다. 그러나 본 연구의 결과는 절대적인 값이 아니라 지역적 특성과 각 관리단의 현장여건에 맞추어 전문가 그룹의 조언을 얻어 재조정하는 것이 바람직하다.

6. 결론

본 연구는 수도관로의 노후도 평가방법의 개선을 위한 것으로서 계획단수지역 31개소의 현장자료의 수집을 통하여 간접평가인자, 직접평가인자, 원인분석인자로 분류하여 주변 환경여건으로 분석이 가능한 개략평가와 관료구간의 굴착 및 단수, 관체의 절단을 수반하는 세부평가 그리고 노후도 영향을 미치는 인자의 분석을 위한 정밀평가로 구분된 노후도 평가체계를 수립하였다. 정밀평가는 대상지역 관로의 노후화에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 분석하기 위한 것으로서 장래 개대체 계획에 반영코자 하는데 의의가 있다. 수도관 노후도 평가인자의 조사는 매년 실시되고 있으나 조사항목을 분류하여 항목별 측정주기 기준을 제시하였으며, 수도관 노후도 평가 인자 상호간의 가중치 선정은 설문조사를 통한 분석적 계층 기법(AHP)을 도입함으로써 지역적 특성 및 현장여건에 따라 실무자의 의사를 참고로 재조정이 가능하도록 하였다. 또한 직접평가인자에 의한 노후도 평가는 굴착이나 단수 등 인력 및 비용측면에서 많은 시간과 예산을 필요로 하기 때문에 간접평가인자만으로 개략평가를 통한 노후도를 추정할 수 있도록 하였으며 이는 현장자료의 추가적인 확보를 통하여 지속적인 수정·보완이 필요하다.

참고문헌

1. 한국수자원공사, 수도관 개량을 위한 의사결정시스템 개발. 1995.
2. Deb, A.K., Hasit, Y.J. and Grablutz, F.M., *Distribution system performance evaluation.*, AWWARF, 1995.
3. Saaty, T.L., *The analytical hierarchy process: Planning, priority setting, resources allocation.* McGraw-Hill Inc., New York, NY, 1980.
4. Water Research Centre, *Planning the Rehabilitation of Water Distribution System.* 1989.