

배수관 내시경 조사를 통한 간접적인 관 노후도 평가방법의 적정성 연구 A Study on Adequacy of Pipe Deterioration Evaluation Methods using the Endoscope of Water Distribution Pipe

최태호¹ · 강신재² · 최재호³ · 구자용^{1*}

Tae Ho Choi¹ · Sin Jae Kang² · Jae Ho Choi³ · Ja Yong Koo^{1*}

1 서울시립대학교 환경공학부 · 2 서울시 상수도사업본부 · 3 한국시설안전공단 진단본부 상하수도팀

(2012년 7월2일 접수; 2012년 10월10일 수정; 2012년 10월12일 채택)

Abstract

The water supply pipes are buried across wide range of areas, so it is hard to spot them using excavation and takes a large amount of expense. Thus, there is a high risk for direct research and application, accompanying many difficulties in implementation of them. Therefore, it is more economical and convenient to use indirect evaluation variables than direct evaluation of the buried pipes in assessing the degree of pipe deterioration. To assess the degree of pipe deterioration using the indirect evaluation variables, it should be done first to identify how and to what extent they affect the degree of deterioration.

This study measured the evaluation variables for pipe deterioration using the pipe endoscope and analyzed the measurement results and the degree of impact on the pipes. In addition, this study attempted to evaluate the adequateness of the pipe deterioration evaluation using the indirect variables based on the analysis results. The evaluation variables measured through the pipe endoscope were the thickness of sediments, size of scale, degree of desquamation and condition of connections. For the indirect evaluation variables, the data such as the property data from GIS pipe network map as well as the material, diameter, age and pipe lining material of the pipe, road type, leakage frequency, average water velocity and water pressure using the leakage repair records was collected. Using the collected data, this study comparatively analyzed the indirect evaluation variables for the degree of pipe deterioration and the results from the pipe endoscope to choose appropriate variables for pipe deterioration evaluation and calculated the weights of the indirect variables on the degree of deterioration.

The results showed that the order of the impact of indirect variables on deterioration was pipe age > pipe lining material > road type > leakage frequency > average water velocity with their weights of 0.45, 0.20, 0.15, 0.10, and 0.10, respectively. Conclusively, the results suggest that the measures of sediment thickness, scale size, degree of desquamation and condition of connections are appropriate for the evaluation of pipe deterioration and sufficient for the analysis of the impact of the indirect variables on deterioration.

Key words : Pipe Deterioration Evaluation, Pipe Endoscope, Indirect Variables, Weighting factor

주제어 : 상수도관로 노후도 평가, 관 내시경, 간접평가인자, 가중치

*Corresponding author : Tel. : +82-2-2210-2624, Fax : +82-2-2244-2245, E-mail : jykoo@uos.ac.kr(J. Y. Koo)

1. 서론

근대적인 상수도시설이 도입된 이래 약 100년의 역사를 가진 한국의 상수도는 새로운 21세기의 패러다임으로 고효율 상수도 시스템을 구축하고자 노력하고 있다. 고효율 상수도라 함은 상수도의 3대 목표인 수량의 안정적 공급, 수질의 안전성 확보, 수압의 균등성 확보라는 목표를 보다 효율적이며 경제적으로 유지관리 할 수 있는 방법을 찾아 수질의 안정성과 수압의 균등성을 확보하여 최적의 유지관리가 가능한 상수도 시스템을 구축하는 것이다.

이와 같은 상황에서 상수도 시설의 체계적인 유지관리는 필수적이며 그 중에서 상수도시설의 70% 정도로 상당히 큰 비중을 차지하고 있는 상수도관로에 대한 관리가 요구된다. 현재 국내에서는 체계적인 상수도 시스템 관리를 위하여 상수도 DB 및 블록화 시스템 구축, 진단 및 평가와 노후관 정비 등을 포함한 노력이 다방면으로 이루어지고 있다. 하지만, 종래의 대응적 차원의 상수도관로 유지 및 관리 시스템을 벗어나지 못하고 있으며, 합리적인 방법에 의한 상수도관로 갱생 및 교체 우선순위 결정을 위한 의사지원 도구가 필요한 시점이다.

관리대상인 상수도관로는 매우 넓은 지역에 걸쳐 매설되어 있어 굴착 등의 방법으로 실체화하여 확인하기 어렵고 소요되는 비용도 크기 때문에 직접적인 연구 및 적용에 대한 위험부담이 크고 실행에도 많은 어려움이 뒤따른다. 따라서 관 노후도를 평가할 경우 간접적인 평가인자를 이용하는 것이 매설된 관체를 직접적으로 평가하는 것 보다 더 경제적이면서 용이한 점이 많다.

간접평가인자를 이용하여 관 노후도를 평가하기 위해서는 간접평가인자들이 관 노후도에 어떠한 영향을 미치고 어느 정도의 영향을 미치는지

를 먼저 파악해야 한다. NRC-CNRC(2002)와 Hassan Al-Barqawi(2008)은 상수관로 노후도에 영향을 미치는 인자를 물리적, 환경적, 운영상의 인자로 분류한 바 있고, AWWARF(1986)는 상수도관로의 상태를 평가하기 위해 주요 요소로 물리적 강도, 관내수질, 수리적조건 및 누수를 이용하였다. 또한 Jeong(2001)은 상수관로의 부식에 영향을 미치는 내부적인 요인들을 규정한 바 있다. 그리고, 기존 연구에서는 간접평가인자의 관 노후도 영향요인을 파악하기 위해서 관로시료를 채취하여 관로의 스케일 크기, 부식정도, 박리정도 등의 직접적인 관 노후도 영향인자를 분석하였다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 간접평가인자의 관 노후도의 영향정도를 일부 밝혀낸 사례가 있다. 하지만 직접적인 관 노후도 영향인자를 분석하기 위해서는 대상관로를 단수시켜야 할 뿐만 아니라, 매설된 관로를 굴착하여 분석해야한다. 이러한 경우에는 상수도가 공급되고 있는 상황에서의 관로 상태를 파악하기 어려우며 굴착비용 또한 크게 발생하는 문제 등이 있었다.

따라서 본 연구에서는 관 내시경 조사를 통하여 관 노후도 평가요소를 측정하고, 관 내시경 조사 결과와 해당관로의 간접평가인자와의 영향정도를 분석함으로써, 간접평가인자를 이용한 관 노후도 평가의 적정성을 검토하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 부단수 상태에서 배수관 내시경 조사결과를 이용하여 간접적인 관 노후도 평가의 적정성에 대해서 평가하였다.

먼저 본 연구에서의 대상관로를 선정하고, 선정된 관로에 대해서 관 내시경 조사와 간접평가인자들을 수집하고 분석하였다. 이 분석결과

를 바탕으로 간접평가인자를 이용한 관 노후도 평가가 적정한지를 분석하고, 그 적정성을 평가한 이후에 간접평가인자를 이용하여 관 노후도 평가방법을 제시하였다. 본 연구의 절차는 다음 Fig. 1과 같다.

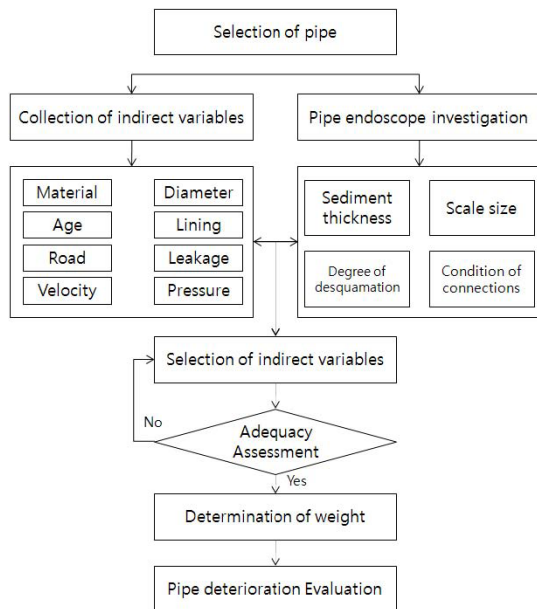


Fig. 1. The flow chart of this study

2.1 연구대상관로 선정

본 연구에서는 S시의 J1구, J2구, S구, Y구 지역에 산재하고 있는 192개 관로에 대해서 2009년 8월 ~ 2010년 2월 동안 관 내시경 조사를 하였으며, 관 노후도의 간접평가를 위해 인자 특성별로 다양하게 포함되게 선정하였다. 선정된 연구대상관로의 매설년수는 5년 이하가 25개, 6 ~ 10년이 62개, 11 ~ 15년이 45개, 16 ~ 20년이 32개, 21 ~ 25년이 12개, 26년 이상 관로가 16개로 이루어져 있으며, 매설년수에 따른 관 노후도 영향을 명확히 구분하기 위해 다양한 매설년수대의 관로를 선정하였다. 그리고 이외에도 연구대상관로의 관중, 관경, 도장재질, 도

로구분, 누수건수, 평균유속, 평균수압 등의 데이터 수집이 용이한 관로를 선정하였다.

본 연구에서의 대상관로는 이와 같으며, 이러한 자료를 바탕으로 간접적인 관 노후도 평가를 위한 자료로써 활용하였다.

2.2 관 내시경 방법

관 내시경은 부단수 관 내시경 기기를 사용하였으며, 내시경 장비의 삽입은 새들분수전에서 하였다. 인도나 도로의 원형 밸브실에서 관 내시경을 하기 때문에 다른 인원의 접근을 막고, 새들분수전에 관 내시경 장비를 설치하고 내시경 탐사장비를 이용하여 관 내부의 부식이나 침적물, 스케일, 결절, 도장재 박리 등을 조사하였다.

2.3 관 내시경 조사를 통한 관 내부 평가

관 내시경을 이용해서 관 내부의 침적물 두께, 스케일 크기, 도장재 박리정도, 접합부 상태로 등으로 개별 항목에 대해서 평가를 하였으며, 관 노후도의 간접평가인자와의 상관성을 알아보기 위하여 관 내부의 상태를 종합적인 하나의 수치로 표현할 수 있는 종합평가를 수행하였다.

2.3.1 관 내시경 조사를 통한 개별평가 항목

관 내시경 결과로부터 관 내부의 상태를 침적물두께, 스케일크기, 박리정도, 접합부상태로 평가를 수행하였다.

(1) 침적물 두께

침적물 두께는 mm 단위로 측정하였으며 1 mm 이하, 2 mm 이하, 3 mm 이하, 4 mm 이하, 5 mm 이하, 10 mm 이하, 20 mm 이하,

30 mm 이하, 40 mm 이하, 50 mm 이하로 구분하여 측정결과를 표시하였다. 침적물 두께의 측정 예는 다음 Fig. 2와 같으며, 이러한 방법으로 192개 연구대상관로의 침적물 두께를 모두 측정하였다.

(2) 스케일 크기

스케일 크기는 mm단위로 측정하였으며 1 mm 이하, 2 mm 이하, 3 mm 이하, 4 mm 이하, 5 mm 이하, 10 mm 이하, 20 mm 이하, 30 mm 이하, 40 mm 이하, 50 mm 이하로 구분하여 측정결과를 표시하였다. 스케일 크기의 측정 예는 다음 Fig. 3과 같으며, 이러한 방법으로 192개 연구대상관로의 스케일 크기를 모두 측정하였다.

(3) 박리정도

박리 정도는 전체 관 내부면적에 대한 박리된 비율로써 측정하였다. % 단위로 측정하였으며 도장재 없음, 전체단면대비 1 % 이내, 전체단면대비 3 % 이내, 전체단면대비 5 % 이내, 전체단면대비 10 % 이내, 전체단면대비 20 % 이내, 전체단면대비 30 % 이내, 전체단면대비 40 % 이내, 전체단면대비 50 % 이내, 전체단면대비 80 % 이내, 전체단면대비 100 % 이내, 도막파손으로 구분하여 측정결과를 표시하였다. 박리정도의 측정 예는 다음 Fig. 4와 같으며, 이러한 방법으로 192개 연구대상관로의 박리정도를 모두 측정하였다.



Sediment thickness : (<=1 mm)



Scale size : (<=10 mm)



Sediment thickness : (<=10 mm)



Scale size : (<=40 mm)

Fig. 2. Measuring example of sediment thickness using a pipe endoscope exploration

Fig. 3. Measuring example of scale size using a pipe endoscope exploration

(4) 접합부 상태

접합부 상태는 관 접합부의 녹 스케일이 발생한 정도로써 정성적으로 평가를 하였다. 평가등급은 접합부 상태 양호, 접합부 상태 대체적 양호, 국부적 녹 스케일 발생, 부분적 녹 스케일 발생, 전체적 녹 스케일 발생으로 구분하여 측정결과를 표시하였고, 접합부 상태의 측정 예는 다음 Fig. 5와 같으며, 이러한 방법으로 192개 연구대상관로의 접합부 상태를 모두 측정하였다.

2.3.2 관 내시경의 종합분석 방법

관 내시경 분석을 통해서 침적물 두께, 스케일 크기, 박리정도, 접합부 상태의 값을 측정할 수

있었다. 하지만 관 노후도의 간접평가인자의 특성을 분석하기 위해서는 관 내시경 분석 결과들을 대표할 수 있는 지표가 필요하다. 따라서 침적물 두께, 스케일 크기, 박리정도, 접합부 상태의 4가지 관 내시경 분석결과의 종합점수로써 관 내시경 분석 결과의 대표 값을 계산하였다. 4가지 관 내시경 분석 항목의 가중치는 동일하게 주어 계산하였으며, 관 내시경 분석의 종합점수는 최대 20점이 되게 하고 최소 0점이 되게 하였다. 종합점수가 높을수록 관로의 상태가 나쁘며, 낮을수록 관로의 상태가 좋음을 뜻하도록 하였다.

2.4 간접적인 관 노후도 평가

일반적으로 알려진 관 노후도의 간접평가인자



Degree of desquamation : <=1 %



Condition of connection : good



Degree of desquamation : <=5 %



Condition of connection : overall generation

Fig. 4. Measuring example of degree of desquamation using a pipe endoscope exploration

Fig. 5. Measuring example of condition of connection using a pipe endoscope exploration

로는 관중, 관경, 내면피복, 외면피복, 매설년도, 토양종류, 주변도로, 접속방식, 누수기록, 민원 발생기록, 평균유속, 평균수압 등이 있다. 하지만 본 연구에서는 간접평가인자의 수집 용이성과 관 내부상태를 평가한다는 것에 중점을 두어, GIS관망도 및 누수복구대장 등을 이용하여 관중, 관경, 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수파손기록, 평균유속, 평균수압 등의 간접평가인자만을 수집하였다. 수집된 간접평가인자와 그 세부분류 항목은 상수도 관망진단 매뉴얼(환경부, 2007)을 이용하였다.

간접적인평가인자를 이용한 관 노후도 평가시 관 노후도에 미치는 영향정도에 따라서 간접평가인자의 가중치를 결정해 줄 필요가 있다. 간접평가인자의 가중치 결정은 중 회귀분석을 이용하여 결정하였으며, 중 회귀분석의 결과로 제시되는 표준화계수를 가중치로 결정하였다.

예를 들어 간접평가인자 X_i 를 독립변수로 하고 관 내시경 조사를 통한 종합평가점수 Y 를 종속변수라고 하면 다음과 같은 회귀식이 결정된다.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

여기서, β_i 은 표준화 계수이며, 각각의 독립변수들이 종속변수에 미치는 영향정도를 의미한다. 이와 같은 방법으로 간접평가인자의 가중치를 결정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 관 노후도의 영향요인 분석결과

관 내시경 조사를 통하여 192개 연구대상관로의 침적물 두께, 스케일 크기, 박리정도, 접합부 상태의 지표를 선정하고 해당지표의 값을 측정

하였다. 그리고 각각의 해당 지표값은 등급을 세분화 하여 0 ~ 5점으로 점수화 하였다. 이 4가지 지표값은 관로의 관내벽, 접합부, 도막 등에 대한 측정값이기 때문에 개별 지표만으로는 관 노후도를 나타내기에는 부족하다. 따라서 4개의 지표를 종합하여 관 노후도 및 관체의 상태를 대표할 수 있는 수치를 만들 필요가 있다. 본 연구에서는 침적물 두께, 스케일크기, 박리정도 접합부 상태의 측정값을 동일한 가중치로 합산하여 관 노후도 및 관체의 상태를 나타낼 수 있도록 하였다. 4개의 측정값에 대한 가중치를 동일하게 부여한 이유는 4개의 지표가 관체내의 동일한 부위를 평가한 것이 아니라 접합부, 관내벽, 도막 등과 같이 관체내의 다른 부위를 측정했기 때문이다.

관 내시경 조사를 통한 종합평가 점수는 최소 0점이고 최대가 20점이 되도록하였다. 여기서 점수가 높을수록 관 노후도 및 관체의 상태가 나쁜 것이다. 이 종합점수를 0 ~ 4점을 '우수', 5 ~ 8점을 '양호', 9 ~ 12점을 '보통', 13 ~ 16점을 '불량', 17 ~ 20점을 '심각'으로 등급화하였으며, 192개 연구대상관로의 종합평가를 등급화한 결과는 다음 Table 1과 같이 나타났다.

종합평가 결과 보통이 가장 많으며, 우수와 심각이 가장 적게 나타나 평가결과는 정규분포의

Table 1. Rate according to comprehensive evaluation

Condition	Number	Rate(%)
Excellent	23	12.0
Good	49	25.5
Average	68	35.4
Bad	35	18.2
Serious	17	8.9

특성을 나타낸다. 이는 관 내시경 조사의 종합평가등급이 유의함을 나타내며, 관 내시경 조사의 종합평가결과를 관 노후도의 지표로써 충분히 활용가능 함을 나타낸다. 그리고, 관 내시경 평가의 종합평가 등급에 대하여 간접평가인자별 특성을 분석해보면 다음과 같다.

① 관종별 분석

다음 Table 2는 종합평가에 대한 관종 비율과 관종에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다.

종합평가에 대한 관종비율은 각각의 관종들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 관종에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 관종에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과 CIP가 종합평가등급이 나쁜등급이 많으며 DCIP는 좋은 등급이 많은 것으로 나타났다. 그리고 SP, PE, HI-3P의 경우에는 비교적 보통 등급에 몰려있다.

② 관경별 분석

다음 Table 3은 종합평가에 대한 관경 비율과 관경에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다.

종합평가에 대한 관경비율은 각각의 관경들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 관경에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 관경에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과 150 mm 관경에 대해서는 다른 관경들에 비해 좋은 종합평가가 나타났으나, 다른 관경들은 크게 종합평가결과와 상관성이 없는 것으로 나타났다.

③ 매설년수별 분석

다음 Table 4는 종합평가에 대한 매설년수 비율과 매설년수에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다.

종합평가에 대한 매설년수 비율은 각각의 매

설년수들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 매설년수에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 매설년수에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과로부터 매설년수가 작을수록 우수한 상태를 나타내며 매설년수가 클수록 심각한 상태를 나타낸다. 그리고 평균 매설년수로도 알 수 있듯이 종합평가등급이 심각으로 갈수록 평균 매설년수가 높아지는 것을 알 수 있다. 따라서 관로의 매설년수와 관 노후도의 상관성은 매우 큰 것으로 판단된다.

④ 도장재질별 분석

다음 Table 5는 종합평가에 대한 도장재질 비율과 도장재질에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다. 종합평가에 대한 도장재질비율은 각각의 도장재질들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 도장재질에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 도장재질에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과 시멘트몰타르인 경우가 다른 도장재질인 경우보다 종합평가등급이 좋게 나타났다. 도장재질이 없는 관의 경우에는 종합평가등급이 가장 나쁘게 나타났다. 결과적으로 도장재질이 노후도에 미치는 영향순위는 없음 > 액상에폭시수지 > 경질염화비닐 > 폴리에틸렌 > 시멘트몰타르 순일 것으로 판단된다.

⑤ 도로구분별 분석

다음 Table 6은 종합평가에 대한 도로구분 비율과 도로구분에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다. 종합평가에 대한 도로구분비율은 각각의 도로구분들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 도로구분에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 도로구분에 따른 영향정도를 알 수 있다. 일반적으로 도로의 형태가 클수록 지하에 매설된 관로에 영향을 많이 주기 때

Table 2. Rate of comprehensive evaluation and pipe material

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	CIP	0.00	20.00	6.67	53.33	20.00	100.00
	DCIP	13.45	25.73	38.60	14.04	8.19	100.00
	SP	0.00	33.33	0.00	66.67	0.00	100.00
	PE	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
	HI-3P	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	100.00
Rate of pipe material (%)	CIP	0.00	6.12	1.47	22.86	17.65	
	DCIP	100.00	89.80	97.06	68.57	82.35	
	SP	0.00	2.04	0.00	5.71	0.00	
	PE	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	
	HI-3P	0.00	2.04	0.00	2.86	0.00	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

*CIP(Cast iron pipe), DCIP(Ductile iron pipe), SP(Steel pipe), PE(Polyethylene pipe), HI-3P(High impact 3 - layer water pipe)

Table 3. Rate of comprehensive evaluation and pipe diameter

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	150 mm	19.00	29.00	28.00	15.00	9.00	100.00
	200 mm	5.13	21.79	43.59	21.79	7.69	100.00
	250 mm	0.00	60.00	20.00	20.00	0.00	100.00
	300 mm	0.00	0.00	57.14	28.57	14.29	
	350 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	400 mm	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
Rate of pipe diameter (%)	150 mm	82.61	59.18	41.18	42.86	52.94	
	200 mm	17.39	34.69	50.00	48.57	35.29	
	250 mm	0.00	6.12	1.47	2.86	0.00	
	300 mm	0.00	0.00	5.88	5.71	5.88	
	350 mm	0.00	0.00	0.00	30.00	5.88	
	400 mm	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 4. Rate of comprehensive evaluation and pipe age

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	<= 5year	40.00	44.00	12.00	4.00	0.00	100.00
	<= 10year	17.74	24.19	51.61	3.23	3.23	100.00
	<= 15year	0.00	11.11	51.11	31.11	6.67	100.00
	<= 20year	3.13	31.25	12.50	28.13	25.00	100.00
	<= 25year	8.33	25.00	33.33	16.67	16.67	100.00
	> 25year	0.00	31.25	12.50	43.75	12.50	100.00
Average age	year	7.13	12.82	11.90	17.78	18.29	
Rate of pipe age (%)	<= 5year	43.48	22.45	4.41	2.86	0.00	
	<= 10year	47.83	30.61	47.06	5.71	11.76	
	<= 15year	0.00	10.20	33.82	40.00	17.65	
	<= 20year	4.35	20.41	5.88	25.71	47.06	
	<= 25year	4.35	6.12	5.88	5.71	11.76	
	> 25year	0.00	10.20	2.94	20.00	11.76	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 5. Rate of comprehensive evaluation and pipe lining material

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	Liquid epoxy resin	0.00	33.33	0.00	66.67	0.00	100.00
	Cement mortar	13.37	26.16	38.37	13.95	8.14	100.00
	High density polyethylene	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
	Unplasticized polyvinyl	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	100.00
	No	0.00	14.29	7.14	57.14	21.43	100.00
Rate of pipe lining material (%)	Liquid epoxy resin	0.00	2.04	0.00	5.71	0.00	
	Cement mortar	100.00	91.84	97.06	68.57	82.35	
	High density polyethylene	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	
	Unplasticized polyvinyl	0.00	2.04	0.00	2.86	0.00	
	No	0.00	4.08	1.47	22.86	17.65	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 6. Rate of comprehensive evaluation and road type

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	Footway	3.57	32.14	25.00	28.57	10.71	100.00
	1 lane	14.93	23.13	37.31	16.42	8.21	100.00
	2 lane	10.00	40.00	35.00	15.00	0.00	100.00
	4 lane	0.00	14.29	28.57	28.57	28.57	100.00
	6 lane	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
	8 lane	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Rate of road type (%)	Footway	4.35	18.37	10.29	22.86	17.65	
	1 lane	86.96	63.27	73.53	62.86	64.71	
	2 lane	8.70	16.33	10.29	8.57	0.00	
	4 lane	0.00	2.04	2.94	5.71	11.76	
	6 lane	0.00	0.00	2.94	0.00	0.00	
	8 lane	0.00	0.00	0.00	0.00	5.88	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 7. Rate of comprehensive evaluation and leakage frequency

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	0 /5year	13.70	25.34	37.67	17.12	6.16	100.00
	1 /5year	4.00	32.00	28.00	20.00	16.00	100.00
	2 /5year	18.18	9.09	27.27	27.27	18.18	100.00
	3 /5year	0.00	20.00	20.00	40.00	20.00	100.00
	>= 4 /5year	0.00	40.00	40.00	0.00	20.00	100.00
Rate of leakage frequency (%)	0 /5year	86.96	75.51	80.88	71.43	52.94	
	1 /5year	4.35	16.33	10.29	14.29	23.53	
	2 /5year	8.70	2.04	4.41	8.57	11.76	
	3 /5year	0.00	2.04	1.47	5.71	5.88	
	>= 4 /5year	0.00	4.08	2.94	0.00	5.88	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

문에 노후화가 빨리 진행된다.

본 연구결과도 이와 유사하게 나타났으며, 본 연구결과에 따른 관 노후도에 영향을 미치며 순위는 왕복4차선 > 인도 > 왕복2차선 > 단일차선 순으로 나타났다. 왕복6차선과 왕복8차선의 경우에는 해당되는 개수가 작아서 본 연구결과로는 도출하기 어려울 것으로 판단되어 제외하였다. 그리고 인도의 경우 왕복2차선과 단일도로보다 관 노후도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 인도의 경우 보통 왕복4차선 이상의 도로가에 위치하고 있으며 인도의 경우 차와 사람의 왕래가 잦아서 지하에 매설된 관로에 영향을 많이 미친 것으로 판단된다.

⑥ 누수건수별 분석

다음 Table 7은 종합평가에 대한 누수건수 비율과 누수건수에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다.

종합평가에 대한 누수건수비율은 각각의 누수건수들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 누수건수에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가등급에서 누수건수에 따른 영향정도를 알 수 있다. 위 결과에서도 알 수 있듯이 누수건수가 없는 관의 경우에는 우수한 관로등급이 많으며, 누수가 많은 관의 경우에는 심각한 관로등급이 많이 나타난다. 과거의 누수기록과 관 노후도가 큰 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

⑦ 평균유속별 분석

다음 Table 8은 종합평가에 대한 평균유속 비율과 평균유속에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다. 종합평가에 대한 평균유속비율은 각각의 평균유속들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 평균유속에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가에서 평균유속에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과 평균유속이 커질수록 관로의 종합평가 결과는 나빠지는 것으로 나타났다.

따라서 평균유속은 관 노후도에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

⑧ 평균수압별 분석

다음 Table 9는 종합평가에 대한 평균수압 비율과 평균수압에 대한 종합평가 비율을 나타낸 표이다.

종합평가에 대한 평균수압비율은 각각의 평균수압들이 종합평가에 미치는 영향을 알 수 있으며, 평균수압에 대한 종합평가비율은 정해진 종합평가에서 평균수압에 따른 영향정도를 알 수 있다. 분석결과 평균수압과 종합평가결과는 크게 상관성이 없는 것으로 판단된다.

3.2 간접평가인자의 분류범위 및 가중치 결정

관 내시경 조사를 통한 종합평가 결과를 바탕으로 간접평가인자의 세부항목별 영향도와 간접평가인자의 가중치를 결정하였다.

3.2.1 간접평가인자의 세부항목별 영향도 결정

간접평가인자의 세부항목별 영향도는 내시경 조사의 종합평가결과를 바탕으로 하였으며, 간접평가인자의 세부항목별로 수치화하여 간접평가인자의 세부항목별 영향도는 결정하였다. 간접평가인자의 세부항목들이 관 노후도에 어떠한 순으로 영향을 미치는지 결정하기 위하여 관 내시경 조사의 종합평가등급인 우수, 양호, 보통, 불량, 심각을 각각 1, 2, 3, 4, 5점으로 하고 각각의 종합평가등급에 따른 간접평가인자의 비율로 환산하여 종합평가에 미치는 영향정도를 수치화 하였다. 예를 들어, 171개 관로인 DCIP는 우수, 양호, 보통, 불량, 심각등급이 각각 23개, 44개, 66개, 24개, 14개로 규정된 기준에 의해 평가될 수 있다. 그리고 수치화 된 등급을 이용하여 DCIP의 평균 수치를 계산 하면 2.78점이 되고, CIP, SP, PE, HI-3P도 동일한 방법으로 계산하여 관종별 비율의 합이 1이 되게 산정한다. 그

Table 8. Rate of comprehensive evaluation and average water velocity

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	<= 0.4 m/s	11.32	22.64	41.51	19.81	4.72	100.00
	<= 0.8 m/s	10.87	26.09	34.78	19.57	8.70	100.00
	<= 1.2 m/s	20.00	24.00	16.00	12.00	28.00	100.00
	<= 1.6 m/s	8.33	50.00	25.00	8.33	8.33	100.00
	<= 2.0 m/s	0.00	33.33	33.33	33.33	0.00	100.00
Rate of average water velocity (%)	<= 0.4 m/s	52.17	48.98	64.71	60.00	29.41	
	<= 0.8 m/s	21.74	24.49	23.53	25.71	23.53	
	<= 1.2 m/s	21.74	12.24	5.88	8.57	41.18	
	<= 1.6 m/s	4.35	12.24	4.41	2.86	5.88	
	<= 2.0 m/s	0.00	2.04	1.47	2.86	0.00	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 9. Rate of comprehensive evaluation and average water pressure

Division		Excellent	Good	Average	Bad	Serious	Total
Rate of comprehensive evaluation (%)	<= 2 kgf/m ²	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00	100.00
	<= 4 kgf/m ²	9.89	28.57	36.26	17.58	7.69	100.00
	<= 6 kgf/m ²	13.79	24.14	33.33	19.54	9.20	100.00
	<= 8 kgf/m ²	22.22	11.11	33.33	11.11	22.22	100.00
	<= 10 kgf/m ²	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00	100.00
Rate of average water pressure (%)	<= 2 kgf/m ²	0.00	0.00	1.47	2.86	0.00	
	<= 4 kgf/m ²	39.13	53.06	48.53	45.71	41.18	
	<= 6 kgf/m ²	52.17	42.86	42.65	48.57	47.06	
	<= 8 kgf/m ²	8.70	2.04	4.41	2.86	11.76	
	<= 10 kgf/m ²	0.00	2.04	2.94	0.00	0.00	
Total(%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Table 10. Degree of effect by indirect variables

Factor	Classification	Weight	Factor	Classification	Weight
Pipe material	SP	0.23	Road type	Footway	0.23
	DCIP	0.19		1 lane road	0.19
	CIP	0.27		2 lane road	0.16
	PE	0.20		4 lane road	0.28
	HI-3P	0.21		6 lane road	0.20
				8 lane road	0.33
Pipe diameter	400 mm	0.20	Leakage frequency	0 number/5year	0.19
	350 mm	0.33		1 number/5year	0.24
	300 mm	0.27		2 number/5year	0.22
	250 mm	0.18		3 number/5year	0.27
	200 mm	0.22		>= 4 number/5year	0.24
	150 mm	0.18			
Pipe age	<= 5year	0.10	Average water velocity	<= 0.4 m/s	0.19
	<= 10year	0.15		<= 0.8 m/s	0.20
	<= 15year	0.24		<= 1.2 m/s	0.23
	<= 20year	0.26		<= 1.6 m/s	0.19
	<= 25year	0.23		<= 2.0 m/s	0.21
	> 25year	0.25			
Pipe lining material	Liquid epoxy resin	0.23	Average water pressure	<= 2 kgf/m ²	0.24
	Cement mortar	0.19		<= 4 kgf/m ²	0.20
	High density polyethylene	0.20		<= 6 kgf/m ²	0.20
	Unplasticized polyvinyl	0.21		<= 8 kgf/m ²	0.22
	No	0.28		<= 10 kgf/m ²	0.17

러면 관중에 대한 DCIP의 가중치는 0.19로 계산된다. 다음 Table 10은 모든 간접영향인자에 대한 세부항목별 가중치를 계산한 결과이다.

관중에 대한 관 노후도의 영향정도는 CIP > SP > HI-3P > PE > DCIP 순으로 나타났고, 환경에 대한 관 노후도의 영향정도는 350 mm > 300 mm > 200 mm > 400 mm > 150 mm > 250 mm 순으로 나타났다. 관중에 대한 관 노후도 영향정도는 비교적 일관성있게 나타났지만, 환경의 규모에 따른 관 노후도에 미치는 영향정도의 일관성이 없어 관 노후도 평가자료로서 환경을 사용하기에는 문제가 있을 것으로 판단된다.

그리고, 매설년수에 대한 관 노후도의 영향정도는 20년 이하 > 25년 초과 > 15년 이하 > 25년 이하 > 10년 이하 > 5년 이하 순으로 나타났다. 매설년수가 15년 이상인 관로에 대해서는 0.23 ~ 0.26사이의 값을 가진다. 이는 15년 이상의 관로에 대해서는 매설년수에 상관없이 전체적으로 노후화가 많이 진행되었기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 5년 이하, 10년 이하, 15년 이하, 20년 이하의 관로까지는 매설년수의 크기에 따라서 관 노후도에 미치는 영향이 커지는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 매설년수의 크기는 관 노후도의 정도에 일정하게 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

도장재질에 대한 관 노후도의 영향정도는 도장재질 없음 > 액상에폭시수지 > 경질염화비닐 > 폴리에틸렌 > 시멘트몰타르의 순으로 나타났으며, 도로구분에 대한 관 노후도의 영향정도는 왕복8차선 > 왕복4차선 > 인도 > 왕복6차선 > 단일도로 > 왕복2차선의 순으로 나타났다. 일반적으로 차선의 규모가 커질수록 매설된 관내에 가해지는 하중과 진동이 커지기 때문에 관로의 노후도에 영향을 많이 미친다. 하지만 대부분 규모가 큰 도로지하에 매설되는 관로는 환경이 큰 관로가 매설되며 규모가 작은 도로지하에는 환경이 작은 관로가 매설된다. 관로가 작

은관의 경우가 수명이 적으며, 노후화가 일반적으로 빨리 진행된다. 따라서 복합적인 영향요인에 의해서 관 노후도에 영향을 미치기 때문에 도로구분으로는 관 노후도의 영향정도를 결정하기는 어려울 것으로 판단된다.

누수건수에 대한 관 노후도의 영향정도는 3회/5년 > 4회/5년 > 1회/5년 > 2회/5년 > 무/5년의 순으로 나타났다. 분석결과 누수건수가 많이 발생할수록 관 노후도에 미치는 영향은 대체적으로 크게 나타났다. 누수건수에 대해서 그 정도의 차이는 있지만 누수유무에 대한 관 노후도의 영향정도가 명확한 차이를 보이기 때문에 누수건수와 관 노후도의 영향은 상관성이 있는 것으로 판단되며 그 세부적인 순위도 누수건수가 커질수록 관 노후도의 영향정도가 커진다고 볼 수 있다.

평균유속에 대한 관 노후도의 영향정도는 1.2 m/s 이하 > 2.0 m/s 이하 > 0.8 m/s 이하 > 0.4 m/s 이하 > 1.6 m/s 이하의 순으로 나타났다. 분석결과 평균유속과 관 노후도에는 크게 상관성이 없는 것으로 나타났다. 이는 평균유속은 관 내벽의 박리정도에는 영향을 미치나 물의 흐름 때문에 관 내벽에서 떨어져 나간 침적물 등이 다른 관로로 이동하기 때문에 평균 유속에 의한 관 노후도 정도를 알아내는 데는 한계가 있는 것으로 판단된다.

마지막으로, 평균수압에 대한 관 노후도의 영향정도는 2 kgf/m² 이하 > 8 kgf/m² 이하 > 4 kgf/m² 이하 > 6 kgf/m² 이하 > 10 kgf/m² 이하의 순으로 나타났다. 평균수압이 높을 경우에 관 접합부에 부담을 주게 되어 누수 등의 사고가 많이 일어날 것으로 판단된다. 하지만 종합평가 결과에 의한 관 노후도에 미치는 영향은 평균수압과는 크게 상관성이 없는 것으로 나타났다.

3.2.2 간접평가인자의 가중치 결정

관 내시경 조사의 종합평가결과를 바탕으로 간접평가인자의 세부항목별 영향도를 결정하였

다. 그리고 이를 바탕으로 관중, 관경, 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속, 평균수압이 관 노후도에 미치는 영향정도 즉 가중치를 결정하였다.

가중치의 결정은 범주형 중회귀 분석을 통하여 결정하였으며, 종속변수를 관 내시경 조사의 종합평가결과로 하고 독립변수는 관중, 관경, 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속, 평균수압으로 하였다. 하지만 간접평가인자 중 관중, 관경, 평균수압의 경우에는 관 노후도에 미치는 영향정도가 작은 것으로 나타났으며, 범주형 중회귀 분석결과 표준화계수가 (-)값이 나왔다.

따라서 관중, 관경, 평균수압의 간접평가인자를 제외하고, 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속의 5가지 인자를 독립변수로 하여 중회귀분석을 시행하였다. 중회귀 분석을 시행한 결과 중회귀식의 적합도를 알아보기 위하여 R값을 구하고 분산분석을 시행하였다. R값은 0.582로 나타나 중회귀 분석결과는 어느 정도 적합한 것으로 나타났으며, 분산분석 결과는 다음 Table 11과 같이 나타났다.

귀무가설(H_0)을 구한 관계식은 예측에 도움이 되지 않는다."라고 하였을 때, 유의확률이 0.000으로 유의수준 0.05보다 작게 나타났다. 따라서 검정통계량 6.471은 자유도(14, 177)의 F분포에 대한 기각역에 포함된다.

따라서 귀무가설 H_0 기각되므로 구한 관계식은 예측에 도움이 되는 것으로 판단된다. 결과적으로 본 연구에서, 중회귀 분석의 표준화계수를 구한 결과는 Table 12와 같이 나타났다.

여기서, 독립변수의 표준화계수 종속변수에 미치는 영향정도를 뜻한다. 다시 말해, 간접평가인자들의 표준화계수는 관 노후도에 미치는 영향정도를 의미한다. 따라서 5가지 간접평가인자의 가중치 합이 1이 되도록 간접평가인자의 가중치를 구해보면 다음 Table 13과 같다.

Table 11. Results of ANOVA

	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Regression	65,001	14	4,643	6,471	0,000
Residual	126,999	177	0,718		
Total	192,000	191			

Table 12. Results of multiple regression analysis

Variables	Standardized coefficient		df	F	Sig.
	β	S,E			
Pipe age	0.438	0.064	3	46.763	0.000
Pipe lining material	0.194	0.064	2	9.266	0.000
Road type	0.149	0.061	3	5.897	0.001
Leakage frequency	0.102	0.062	3	2.660	0.050
Average water velocity	0.094	0.062	3	2.299	0.079

Table 13. Weight of indirect variables

Division	Pipe age	Pipe lining material	Road type	Leakage frequency	Average water velocity
Weight	0.45	0.20	0.15	0.10	0.10

가중치를 계산한 결과 매설년수가 가장 노후도에 영향을 많이 미치는 것으로 나타났고 다음으로 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속 순으로 나타났다.

3.3 간접평가인자를 이용한 관 노후도 평가 방안

일반적으로 관 노후도 평가방법은 직접평가인자를 이용하는 방법, 간접평가인자를 이용하는 방법이 있으며, 간접평가인자를 이용할 때에는 통계적인 방법이나 점수평가방법 등이 있다.

따라서 본 연구에서 결정된 간접평가인자의 가중치와 해당관로의 간접평가인자들의 합으로 관로의 노후도를 평가할 수 있다. 그리고 통계적인 방법으로는 앞 절에서 계산된 표준화 계수를 이용하여 관 노후도 평가식을 결정할 수 있다. 본 연구에서 개발된 관 노후도 평가식은 다음과 같다.

$$Y = 0.438 X_1 + 0.194 X_2 + 0.149 X_3 + 0.102 X_4 + 0.094 X_5 + 0.088 X_6 \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

여기서, Y는 노후도 평가 등급이고 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 은 각각 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속에 해당되는 지표이다. 이러한 방법을 통해서 관 노후도의 상태를 “우수”, “양호”, “보통”, “불량”, “심각”으로 분류하고 특정한 기준에 따라서 “불량”과 “심각”등급의 경우에는 관로를 교체하고 “보통”등급의 경우에는 관 갱생이나 세척 등을 수행하도록 한다.

따라서 관 내시경 조사를 통해서 간접적인 관 노후도 평가인자의 분류범위가 가중치를 결정함으로써 충분히 관 노후도 평가에 활용할 수 있는 것으로 판단된다.

하지만, 본 연구결과에서 도출된 식은 지역특성에 따라서 차이가 있을 수 있기 때문에 지역 특성을 반영하여 관 노후도 평가식을 사용하여야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 관 내시경 조사를 통하여 간접적인 관 노후도 평가방법의 적정성에 대해서 연구하였다.

- (1) 관 내시경 조사를 통해서 관로의 상태를 알려주는 침적물 두께, 스케일 크기, 박리정도, 접합부 상태 등을 측정하였고, 이러한 4가지 평가항목들을 대표해줄 수 있는 관 노후도의 종합평가결과를 계산하였다. 관 내시경 조사를 통한 종합평가결과는 “우수”, “양호”, “보통”, “불량”, “심각”으로 등급화 하였다.
- (2) 그리고 관 내시경 조사를 수행한 관로에 대해서 간접평가인자들을 수집하였다. 간접평가인자들로 관중, 관경, 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속, 평균수압으로 하였고 이 간접평가인자와 관 내시경 조사결과인 침적물 두께, 스케일

일 크기, 박리정도, 접합부 상태, 종합평가결과와 상관성을 분석하였다.

- (3) 관 내시경 조사의 종합평가결과와 간접평가인자의 상관성을 분석한 결과 관중, 관경, 평균수압은 관 내시경 조사의 종합평가결과와 상관성이 크게 없는 것으로 나타났다. 매설년수, 도장재질, 도로구분, 누수건수, 평균유속의 항목에 대해서는 비교적 관 노후도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 수치화 하기 위하여 중회귀 분석으로 도출된 표준화계수를 이용하여 간접평가인자들이 관 노후도에 미치는 영향정도를 구하였다. 그 결과 간접평가인자들이 관 노후도에 영향을 미치는 순위는 매설년수 > 도장재질 > 도로구분 > 누수건수 > 평균유속 순으로 나타났으며, 그 가중치는 각각 0.45, 0.20, 0.15, 0.10, 0.10로 나타났다.
- (4) 본 연구결과로부터 관 내시경 조사를 통한 침적물 두께, 스케일 크기, 박리정도, 접합부 상태의 측정은 관 노후도를 평가하기에 적합한 것을 알 수 있었으며, 간접평가인자가 관 노후도에 미치는 영향정도를 분석하는데도 충분한 것으로 나타났다. 그리고 도출된 간접평가인자의 가중치를 이용하여 관 노후도의 간접평가를 수행할 수 있으며, 이를 이용하여 관로의 갱생 및 교체 등의 의사결정 자료로써 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 본 연구에서는 자료수집의 제약으로 인하여 유속 변화량, 수압변화량 등과 같은 자료는 확보할 수가 없었다. 향후 관 노후도에 영향을 미치는 간접평가인자를 보다 더 다양하게 확보 할 수 있다면, 관 노후도와 간접평가인자간의 상관관계를 더 정확히 분석할 수 있으며, 그리고 관로 두께 등과 같은 관체분석자료가 추가적으로 확보된다면, 본 연구에서

개발된 관 노후도 평가방법의 검증자료로써 활용할 수 있어 보다 정확한 관 노후도 평가가 수행될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션 기술개발사업(GT-11-G-02-001-1)”으로 지원 받은 과제입니다.

참고문헌

- 김민정, 2004, “통계적 기법을 이용한 상수도관의 파손 확률모델”, 서울시립대학교 석사학위논문
- 김응석, 김중훈, 이현동, 2002, “상수관로의 노후도 영향인자 및 가중치 산정에 관한 연구”, *상하수도학회지*, Vol 16, No. 6, pp. 686-699
- 김주환, 배철호, 김정현, 홍성호, 이경재, 2006, “대형 상수관로 노후상태 조사 및 평가에 관한 연구”, *상하수도학회지*, Vol 20, No 4, pp. 545-558
- 박상봉, 2009, “대형 상수도관의 사고유형 분석을 통한 관 파손확률모델 개발”, 서울시립대학교 석사학위논문
- 유도근, 2008, “상수관로의 파괴가능성과 상대적 중요도를 고려한 상수관망 개량 우선순위 산정”, 고려대학교 석사학위논문
- 최태호, 2009, “퍼지기법을 이용한 상수관로의 노후도 예측 모델 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문
- Abdelaseem, S., 2009, “Comparing Arabic and Latin Handwritten Digits Recognition Problems”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol 54, pp.451-455
- Al-Barqawi, H. and Zayed, T., 2008, “Infrastructure Management: Integrated AHP/ANN Model to Evaluate Municipal Water Mains' Performance”, *Journal of infrastructure systems*, Vol 14, No 4, pp.305-318
- Asadi, R., Norwati, Mustapha and Sulaiman, N., 2009, “Training Process Reduction Based On Potential Weights Linear Analysis To Accelerate Back Propagation Network”, *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol 3, No 1, pp. 229-239
- Dunne, R. A., 2007, “A Statistical Approach to Neural Networks for Pattern Recognition”, Wiley - interscience
- Kim, I. S., Son, J. S., Lee, S. H. and Prasad K. D. V. Yarlagadda, 2004, “Optimal design of neural networks for control in robotic arc welding”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol 20, pp.57-63
- Kleiner, Y. and Rajani, B., 2002, “Forecasting Variations and Trends in Water-Main Breaks”, *Journal of infrastructure systems*, Vol 8, No 4, pp.122-131