

상수관로의 노후도 평가 : (I) 조사 방법 개발

○김용석¹⁾ · 김중훈²⁾ · 이현동³⁾ · 박필재⁴⁾ · 정원식⁵⁾

1. 서론

상수관은 지역적 특성이 강하여 수리 및 수질 특성, 주변환경특성, 그리고 관종 등에 따라 다양하므로 관종(재질)별, 지역특성별로 정확한 부식 및 노후 상태를 파악하고 예측하는 것이 매우 어렵다. 따라서 국내의 경우 정확한 노후관의 기준 설정, 노후관의 개량 시기 결정, 관종 선정 등 운영 및 유지관리에 있어 경험적인 판단기준에 의존하고 있는 실정이다.

기존의 상수관로의 노후도 조사방법은 대부분 관로의 내·외면 부식에 따른 노후도 상태와 영향인자와의 상관관계 규명에 관한 연구가 진행되었다. 국내의 연구를 살펴보면, 안윤주 등(1996)이 국내 중소도시 수도관의 파손특성에 관한 연구에서 각 도시별 관종, 관경, 매설년수에 대한 파손 특성을 관해 15개 대도시를 중심으로 파손원인 및 파손건수를 조사하여 수충압, 시설노후, 차량통행량 온도변화 연약지반에 따른 지반침하, 전식 및 토양에 의한 국부적 부식, 자연재해 순서로 관로의 노후도 인자 항목을 제시하였다. 박필재 등(2000)은 상수도 관로내 부식성 수질평가방법 개선을 위한 연구에서 국내 실정에 적합한 정수의 부식성 수질을 평가하는 방법을 제시하였다. 외국의 경우는 Clark 등(1982)은 미국의 주요도시를 대상으로 수도데이터베이스(D/B)를 기초로 노후도에 영향을 미치는 항목별 인자를 이용하여 관 파손사고의 발생을 설명하는 회귀식을 제안하였다. O' Day 등(1986)은 뉴욕시를 대상으로 관의 크기에 따른 파손사고의 유형을 계절별로 분석하여 초과하중, 토양동결, 부식 등과 함께 매설년수의 영향은 크지 않다고 밝혔다. 이러한 기존의 연구들은 상수관로의 노후화 조사 방법에 있어 내부부식 혹은 외부부식과 같은 물리 및 화학적 인자 등 영향인자와의 상관관계를 통계적 기법을 이용하여 관의 파손영향을 분석하는데 집중되었다.

따라서, 본 연구에서는 상수관로의 적용범위를 국내의 수도관 개량사업시 많은 부분에 해당하는 배수관을 중심으로, 관의 노후도 체계적 조사방법을 위해 자료수집과 분석내용 및 방법을 제시하고 이를 바탕으로 기존에 사용한 노후도 평가모델 중 점수평가법과 이 모델을 수정한 점수균등모델을 이용하여 본 연구에서 제시한 노후도 조사 방법을 검증하였다.

2. 노후도 조사 방법

상수관로는 대부분이 지하에 매설되어 있어 자료의 수집이 큰 어려움 중에 하나가 된다. 현재 지방자치단체의 상수도사업본부에서 관리하는 상수도 관련 자료는 상수관로의 노후도를 평가하는 자료로 활용하기에는 많은 문제점이 있다. 이는 각 지방자치단체 수도사업본부 산하 각 사업소별로도 자료의 수집 정리가 동일한 형태로 작성되어 있지 않으며, 또한 모든 자료의 형태가 서류상의 문서로 작성되어 있어 데이터베이스(D/B) 자료로 활용하기 어렵다. 따라서 본 연구의 조사 방법은 첫째, 관로의 수집 및 정리를 위한 수집자료를 선정하고 둘째, 자료별 분석내용 및 방법을 제시하며 셋째, 기존의 노후도 평가모델을 적용하여 본 연구의 조사방법을 검증하였다.

1) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 선임연구원
2) 고려대학교 토목환경공학과 교수
3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원
4) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
5) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

2.1 수집 자료 항목

관의 노후도는 부식이외도 많은 변수에 따라 진행되므로 노후도 평가를 위한 자료의 수집은 다양하고 폭넓게 조사되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 문헌조사 및 국내 현장을 고려하여 새로운 항목을 본 연구에서 제시하였다. 자료의 수집을 크게 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 설문조사로 5개 큰 항목으로 나누어 각 항목별 세부항목의 자료를 수집 정리하였다. 다음의 <표 1>은 각각 수집된 자료별 세부인자를 나타내었다.

<표 1> 조사자료 및 세부인자

구분	매설환경	육안분석	토양분석	관체분석	설문조사
세 부 인 자	- 관종	• 내면부식	- 함수량	• 물성시험	• 관체정보
	- 관경	- 부식형태	- 토양 pH	- 인장강도	- 관종
	- 매설년도	- 부식생성물의 축적 비율	- 알칼리도	- 연신율	- 매설년도
	- 최대수압	- 최대 부식	- 염소이온	- 경도	- 접합부 형식
	- 매설년수	- 통수단면적	- 황산이온	• 화학조성시험	- 방식도장 유무
	- 매설지역	생성물의 크기	- 산도	- C	- 갱생공법유무
	- 도로폭	- 통수단면적	- 산화환위전위	- Si	• 매설환경
	- 누수·파손 기록	감소율	- 입도분석	- Mn	- 교통량
	- 기초공사	• 외면부식		- P	- 매설지역
	- 뒤배음 토양	- 녹 발생 정도		- S	- 매설형태
	- 접합부 형식	- 부식생성물의 축적비율		- Mg	- 매설주변토양
		- 점토부착 비율			- 매설심도
					• 수리 및 수질
				- 수압변동	
				- 유량변동	
				- 관내수질	
				- 통수능 (C값)	
				- 누수·파손기록	

2.2 수집 자료별 분석내용 및 방법

매설환경 자료는 관로 매설시 주변 환경 및 관로대장에 기입된 자료로 매설된 관로에 대하여 굴착 및 실험을 하지 않는 조건에서 수집할 수 있는 자료로 구성되며, 관로대장 및 주변환경조사에 의해 수집 할 수 있다.

육안분석은 매설 관의 주변환경 및 토양 등의 변화에 따른 외부부식 및 파손정도와 수질변화에 따른 내부부식의 정도를 육안으로 분석하는 것으로 관의 현재 상태를 보다 정확히 파악 할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 특히, 육안분석의 세부인자의 선정 기준을 보다 객관적인 인자로 선정하기 위해 학계 및 현장 실무자를 중심으로 전문가의 의견을 수렴하여 세부인자 선정하였다.

토양분석은 매설된 관의 주변의 토양에 다른 관의 외부부식의 정도를 조사하는 것이다. 부식의 평가는 미국국가규격(ANSI)와 독일가스수도기술자협회(DVGW)가 제시하는 부식정도를 판단하는 방법의 사용하여 토양에 따른 부식의 정도를 파악할 수 있다. <표 2>는 토양분석에 필요한 항목과 분석방법을 나타내었다.

<표 2> 토양분석의 항목 및 분석방법

항 목	분 석 방 법
토양 함수량	KS F 2306(흙의 함수량 시험방법)
토양 비저항	Wheatstone Bridge 측정
입도 분석	KS F 2308(흙의 비중 시험방법)
	KS F 2301(흙의 입도시험 및 물리시험의 시료 조제방법)
	KS F 2302(흙의 입도 시험방법)
토 양 (pH)	KS F 2103(흙의 pH값 측정방법)
염소이온(Chloride Ion, Cl ⁻)	- 흙의 수용성 성분시험을 위한 시료액 조제법(일본 토질공학회) - 먹는물수질기준(환경부)
황산이온(Sulfate Ion, SO ₄ ²⁻)	
알칼리도(Alkalinity)	
산도(Acidity)	
산화환원전위 (Redox Potential)	ORP Meter 측정

관체분석은 실제 채취한 관을 이용하여 각종 물리적, 화학적 실험을 통하여 관의 초기 생산시의 물리 및 화학적 특성을 여러 가지 측면에서 비교 분석할 수 있는 자료로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 배수관을 중심으로 시멘트모르터 라이닝 다타일주철관, 회주철관, 스테인레스강관, PFP관을 중심으로 분석하였다. 가장 대표적인 관종인 다타일주철관의 분석항목 및 방법은 <표 3>에 나타내었다.

설문조사 자료는 관로갱생 및 교체사업 등의 개량사업시 각 수도사업소 실무자들을 대상으로 하며, 그들의 축적된 현장 지식 및 경험에 의한 노후도 영향인자의 중요성에 대해 파악 할 수 있다. 설문조사 항목은 크게 관체정보, 매설환경, 수리 및 수질로 3개 그룹에 각 그룹별 세부항목을 나누어 작성하였다.

<표 3> 관체분석의 항목 및 분석방법

항 목	분 석 방 법	비 고(기준)
인장강도(연신율)	- KS B 0802(금속재료 인장 시험방법) - 인장시험편 가공(KS B 0801)	인장강도(kgf/mm ²) 42 이상, 연신율(%) 10 이상
경 도	- KS B 0805(Method of Brinell Hardness Test)	HB 230 이하
두 겹	- 직접 측정법 : Vernier Calipers나 초음파 두께 측정기로 측정	허용오차 1.3 + 0.001DNmm
표면조직검사	- KS D 4311에는 규정되어 있지 않음 - 광학현미경법 : 펄라이트(Pearlite)와 구상화 정도(배율 : ×100)를 분석	
시멘트모르터 라이닝 증성화시험	- 증성화율 계산 증성화율(%) = $\frac{\text{증성화두께}}{\text{라이닝두께}} \times 100$	

2.3 조사 방법의 검증

본 연구에서는 관로 노후도 평가방법을 검증하기 위해 여러 가지 관로정보 항목과 현장조사 결과를 분석하여 노후도 평가에 요구되는 항목인자를 기존의 대표적 노후도 평가 모델인 점수평가모델을 적용하여 필요성 유무를 검증하였다. 다음 <표 4>는 점수평가모델의 세부인자 및 조건값을 나타내었다.

<표 4> 점수평가모델의 구성인자 및 조건값

번호	인자	구분	조건값	번호	인자	구분	조건값
1	최대수압 (kg/cm ²)	7 이상	8.0	8	황화물 (mg/kg)	황화물 500 이상, 염화물 250이상	4.0
		6	6.0			황화물 200-500, 염화물 100-250	2.0
		5	4.0			황화물 200 이하, 염화물 100이하	0.0
		4	2.0				
		3 이하	0.0				
2	매설지역	공장, 매립, 해안지대 도로변(지하철, 공사장)	8.0	9	C 값	75 미만	10.0
		상가밀집지역(시장) 아파트 단지	6.0			89 이하	7.5
		주택가	4.0			97 이하	5.0
			2.0			108 이하	2.5
			0.0			120 이상	0.0
3	도로 폭	2-4 차선도로	6.0	10	기초공	바닥 기초	6.0
		1-2 차선 도로	3.0			모래 기초	3.0
		노면, 인도	0.0			Conc기초, Pile 기초	0.0
4	관 종	CIP	13.0	11	퇴매움토양	점 토	8.0
		CIP(Expoxy)	10.0			silt/loam	4.0
		DCIP	7.0			모래질	0.0
		PFP	3.0				
		STC	0.0				
5	매설년수	20년 이상	7.0	12	관 경	80 mm 이하	6.0
		16 ~ 20년	5.0			80 ~ 150 mm	3.0
		11 ~ 15년	3.5			150~300 mm 이상	0.0
		5 ~ 10년	2.0				
		5년 미만	0.0				
6	누수 및 파손기록	4회/ 5년 이상	10.0	13	밸브, 분기, 연결관	많음	5.0
		3회/ 5년 미만	8.0			보통	2.5
		2회/ 5년 미만	6.0			없음	0.0
		1회/ 5년 미만	3.0				
		무/ 5년 미만	0.0				
7	pH	5 이하	4.0	14	접속관	있음	5.0
		5 ~ 7	2.0			없음	0.0
		8 이상	0.0				

점수평가모델은 대구경 송수관로를 중심으로 한 평가모델이므로, 본 연구에서는 이창용 (1999)등이 제시한 구성항목을 바탕으로 배수관로에 적합하도록 모델을 수정하였다. 본 모형은 총합이 100점을 기준으로 하였으며, 총합이 100점에 가까울수록 노후도의 정도가 큰 것으로 나타내고 있다. 모델에 필요한 영향인자는 총 14개 항목으로 구성하였으며, 각 항목별 구분과 조건 값은 연구대상 지역의 개량사업 전문가와 수집된 자료를 바탕으로 산정하였다.

또한, 본 연구결과를 자체적으로 검증하기 위하여 관측 육안분석결과를 기초로 각 항목별 인자를 세부적으로 분류하고 종합적인 점수로 평가할 수 있는 수정점수평가모델인 종합점수균등모델을 새로이 제시하여 기존 노후도 모델 결과와 비교 분석하였다. 다음 <표 5>과 <표 6>은 종합점수균등모델을 위한 각 항목별 점수 및 점수배점 의 조정값을 각각 나타내었다.

<표 5> 종합점수균등모델 항목 및 점수

항 목		점 수	1	2	3	4	5
1.기본 항목	년도		95이후	90-94	85-89	80-84	80이전
	관중		DCIP	CIP	-	-	-
	매설지역		주택가	상가	공단	기타	-
2.주변 환경	토양	ANSI	0-2	3-5	6-8	9-10	11이상
		DVGW	-2~0	-5~-3	-8~-6	-10~-9	-11이하
3.물성 시험	인장강도		적합	부적합	-	-	-
	경도		적합	부적합	-	-	-
	연신율		적합	부적합	-	-	-
4.화학 조성 시험	C		적합	부적합	-	-	-
	Si		적합	부적합	-	-	-
	Mn		적합	부적합	-	-	-
	P		적합	부적합	-	-	-
	S		적합	부적합	-	-	-
5.부식 속도	부식속도		0.1이하	0.1-0.4	0.4-0.7	0.7-0.9	1이상
	마식속도		0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	1이상
6.육안 분석	내면		부식없음	보통	심함	매우심함	-
	외면		부식없음	보통	심함	매우심함	-
	부식생성물		없음	보통	많음	매우많음	-
	실코트		있음	없음	-	-	-
	시멘트모르타 중성화		0%	20-50%	50-80%	80-100%	-

<표 6> 종합점수균등모델 항목별 점수배분의 조정

항 목		점 수	항목최대 점수(A)	항목최대 점수합(B)	항목별 최소공배수(C)	항목계수 C/A	평가 최대점수
1.기본 항목	년도		5	17	20	4	20
	관중		2			10	20
	매설지역		5			4	20
2.주변 환경	토양	ANSI	5	10		4	20
		DVGW	5	4		20	
3.물성 시험	인장강도		2	6		10	20
	경도		2			10	20
	연신율		2			10	20
4.화학 조성 시험	C		2	18		10	20
	Si		2			10	20
	Mn		2		10	20	
	P		2		10	20	
	S		2		10	20	
5.부식 속도	부식속도		5	10	4	20	
	마식속도		5		4	20	
6.육안 분석	내면		4	18	5	20	
	외면		4		5	20	
	부식생성물		4		5	20	
	실코트		2		10	20	
	시멘트모르타 중성화		4		5	20	

종합점수균등모델은 현장에서 채취한 관체의 부식 및 노후도를 평가하기 위한 것으로, 본 방법의 항목으로는 크게 6개 항목으로 기본관로정보(매설년도, 관종, 매설지역), 주변환경특성(토양), 물성시험결과, 화학조성시험결과, 부식속도측정치, 육안분석의 결과로 구성하였다. 종합점수균등모형에서는 총 21개의 항목에 대하여 각 소항목의 총점을 20점으로 하여, 총합이 410점으로 산정하였으며, 육안분석결과는 총 410점 중에서 5개 항목에 대하여 각 소항목별 총점이 20점으로 100점에 해당된다.

3. 조사 방법의 적용 및 결과

3.1 대상지역 선정 및 자료분석

연구대상지역은 D시의 블록시스템상의 2개 구역이다. 상수원이 다른 정수장 계통의 배수블록화가 진행된 구역을 선정하였다. 또한, 관망정비가 90% 이상이며, 관로 정보자료가 잘 정리되어 있는 지역이다.

매설환경 자료는 대상지역에서 노후관 개량사업시 현장을 대상으로 20개 시료를 채취하였다. 수집된 자료를 살펴보면, 관종은 닥타일주철관, 회주철관이며, 관경은 80~300mm, 매설년도는 1980~1993년, 매설지역은 주택가 및 상가가 대부분을 차지하고 있었다.

육안분석은 관종을 닥타일주철관과 회주철관으로 나누어 매설년도별 내·외부 부식에 정도를 육안으로 관측하였다. 분석결과 관종의 종류에 관계없이 외면부식은 정도에 관계없이 대부분 부식이 진행중이었으며, 내면부식의 경우는 회주철관이 닥타일주철관에 비해 부식의 정도도 심하게 나타났다.

토양분석은 ANSI와 DVGW의 결과를 통해 살펴보면, 각각의 기준으로 평가한 결과 토양의 부식성은 큰 문제가 없는 것으로 나타났으나, 관체의 외면 육안분석 결과와 비교해보면 ANSI의 경우 3이상, DVGW의 경우 -5이하면 외면부식에 영향을 주는 것으로 나타났다.

관체분석은 닥타일 주철관의 경우 물성시험 항목이 기준에 적합하였으나 회주철관의 경우 일부 관체는 인장시험 항목이 기준에 적합하지 않은 것으로 분석되었다. 화학조성 시험결과 몇 개의 항목기준에 미달하거나 혹은 초과되는 것을 볼 수 있었다. 이러한 물성 및 화학조성 기준에 미달되는 것은 노후도의 영향보다는 초기 관 제작시의 문제점인 것으로 판단된다.

설문조사는 상수도사업본부와 산하 각 수도사업소에서 수도관 개량사업과 관련된 업무를 담당하시는 분들을 대상으로 총 53명에 대하여 실시하였다. 분석결과를 살펴보면, 관종, 매설주변토양, 수압변동이 항목별 가장 중요한 인자로 나타났다. 그러나, 이러한 결과는 토양분석 및 관체분석을 통한 실제적인 관의 노후도 영향에 대한 분석결과와 큰 차이가 있음을 보여 주고 있었다. 이는 현장에서의 관로 개량사업시 실질적인 인자보다는 외부의 부식에 따른 인자 및 파손인자 등 정확한 원인 분석보다는 육안으로 관찰되는 경험적인 인자에 의해 현장 근무자들이 노후관의 기준을 판단하는 것으로 생각된다.

3.2 모델을 이용한 조사방법의 검증

관의 노후도 조사방법을 바탕으로 대상지역의 자료수집 및 분석결과를 이용하여 2.3절에 언급한 노후도 평가모델인 점수평가모델과 종합점수균등모델 2가지에 적용하여 신뢰성을 비교 분석하였다. 또한, 2개의 모델에서 산정한 결과를 육안분석결과와 비교 분석하였다. 이는 육안분석결과와 다른 모델의 결과를 비교 하므로써 실제 모델적용 결과와 현장에서 많이 사용하는 육안관측에 따른 노후도 판정 결과를 비교 해 볼 수 있었다. 다음 <표 7>은 2개의 모델 결과 및 육안분석 결과를 비교하여 나타내었다.

결과를 살펴보면, 종합점수균등모델에서는 230~240점 사이의 결과와 점수평가모델에서 59~68점의 사이 결과 값이 관의 노후도 정도가 큼을 보여 주고 있으며, 이에 따른 육안분석결과는 30~55점의 사이의 결과 값을 보여 주고 있다. 따라서, 본 연구결과 D시에서 본 모델을 적용할 경우, 관체의 노후도를 평가한 결과가 점수평가모델에서는 60점 이상, 종합점수균등모델에서는 230점 이상이 되는 관로는 우선 점검지역으로 선정하여 관체의 직·간접진단을 통한 관로개량사업을 추진하여도 무방할 것으로 판단되었다.

<표 7> 점수평가모델/종합점수균등모델/육안분석 결과비교

시료명	점수평가모델	종합점수균등모델	육안분석	시료명	점수평가모델	종합점수균등모델	육안분석
1	49.5	201	25	11	59.0	231	30
2	49.5	196	30	12	50.5	197	25
3	43.0	182	40	13	59.0	224	30
4	43.0	197	25	14	67.5	241	55
5	57.0	221	35	15	65.0	234	40
6	56.5	199	35	16	65.5	231	55
7	64.0	235	55	17	65.5	233	55
8	59.0	238	30	18	65.0	238	50
9	59.0	226	30	19	61.0	238	50
10	59.0	235	30	20	62.0	237	55

4. 결론

본 연구는 기존의 상수도 관로 노후도 조사 방법을 보완하는 목적으로 국내 실정에 적합한 상수도 관로 노후도 조사 방법을 도입하는 하나의 연구 방법론을 제시하였다. 또한 실제 D시를 대상으로 수집한 자료를 이용하여 현장 적용성을 평가하였다.

토양분석 결과에서 외국의 분석방법을 이용하였지만, 분석결과에 따른 해당지역에 적절한 결과분석 범위 값을 제시할 수 있었다. 즉, 기존의 외국의 평가방법의 기준이 국내의 여건과 다른 조건으로 만들어 졌으므로, 본 연구를 통해서 외국의 평가 방법을 사용하면서 해당지역의 기준에 적합한 부식의 지표 값을 제시할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 기존모델의 적용성의 신뢰성을 살펴보기 위해 제시한 종합점수균등모형을 통하여 점수평가모델과 비교 분석하였다. 그러나 점수평가모델의 경우 항목별 가중치 값의 산정에 따라 모델의 정확도에 적지 않은 영향을 줄 수 있으므로 보다 더 객관화되고, 정량적인 가중치 산정방법이 필요한 것으로 생각된다. 즉, 본 연구에서 사용된 종합점수균등모델의 경우 실제 항목의 수가 너무 많으며 각 항목 중에서는 실제 실험을 통하여 나온 결과를 바탕으로 모델의 입력자료로 사용하였기에 현장에서 사용하기 위한 범용성 있는 모델로 개발하기 위해서는 보다 더 많은 연구 및 검토가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 제시한 조사방법은 현장자료의 수집에 많은 어려움을 내포하고 있다. 그러한 자료의 수집 및 정리를 본 연구에서 제시한 양식으로 계속 수집 및 관리한다면, 보다 더 정확한 상수도 관로의 노후도 조사 방법을 제시할 수 있으리라 생각된다.

5. 참고문헌

- 광필재, 이현동, 정원식, 이희수, 김중훈, 김용석 (2000). "상수도 관로내 부식성 수질평가방법 개선에 관한 연구", 대한상수도학회-한국물환경학회 2000년도 공동추계 학술발표 논문집, pp.233~236.
- 안윤주, 이현동(1996) " 국내 중·소도시 수도관의 파손특성에 관한 고찰", 대한상하수도학회지 제 10권, 제 1호, pp. 96-111
- 이현동(1994) "수도관의 노후화 판정기법" <건설기술정보>, 한국건설연구원 통권 125호, pp. 9-15
- Clark, R. M., C. L. Stafford, and J. A. Goodrich(1982) "Water distribution systems: A spatial and cost evaluation." J. Water Resour. Plann. Manage. Div. ASCE Vol. 108, pp. 243~257.
- O'Day, D. Kelly(1986) "Guidance Manual : Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement." AWWA Research Foundation, No. CR810988. pp.55~86
- U.S. Army Corps of Engineers(1983) " Engineering and Design-Evaluation of Existing Water Distribution Systems", Engineer Technical Letter No. 1110-2-278