



Development of techniques for evaluating residual life of water pipes based on pipe deterioration evaluation results

Park, Suwan^a · Kim, Kimin^{a*}

^aDepartment of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

Paper number: 17-038

Received: 20 April 2017; Revised: 12 July 2017 / 18 August 2017; Accepted: 18 August 2017

Abstract

In this paper a method for estimating the 'service life' and 'residual life' of a water pipe based on the Water Pipe Network Performance Evaluation(WPNPE) results of Water Supply Technical Diagnosis was developed for efficient maintenance of water pipes. The residual life of a pipe was defined as the difference between the service life and elapsed time since installation. The service life was defined as the time when a pipe reaches the reference score for determining deteriorated pipes that was used in the WPNPE. The pipe evaluation criteria and deterioration scores used in the WPNPE for the case study area were considered as independent variables in the multiple regression model for estimating the service life and residual life of the pipes in the area. To estimate the service life for the pipes the reference scores for determining deteriorated pipes were used as the values of the variables that represent the deterioration scores in the constructed regression models. Subsequently, the statistics of the service life and residual life of the pipes in the case study area were presented and analyzed in comparison with the service life defined by the Local Public Enterprises Act.

Keywords: Residual life, Deterioration scores, Water pipe, Service life, Regression model

관로 노후도 평가결과를 이용한 상수도 관로의 잔존수명 평가 기법의 개발

박수완^a · 김기민^{a*}

^a부산대학교 사회환경시스템공학과

요 지

본 논문에서는 상수관로의 효율적인 유지 관리를 위해 상수도 기술진단에서 점수평가법으로 도출된 관망성능평가결과를 이용한 상수도 관로의 내구연수 및 잔존수명 산정 방법을 제시하였다. 본 연구에서 잔존수명은 '모델에 의해 추정된 매설 후 최적교체시기까지 경과연수'를 의미하는 '내구연수'와 매설 후 경과연수의 차이로 정의하였으며, 내구연수는 관망성능평가기준으로 제시된 노후관로 판정기준 점수에 도달하는 시점으로 정의하였다. 연구대상지역의 관망성능평가에 사용된 평가항목들과 노후도 점수를 상수도 관로의 잔존수명 추정을 위한 다중회귀모델의 변수로 사용하였다. 잔존수명의 산정에 필요한 내구연수를 추정하기 위하여 구축된 회귀모델에 독립변수로 사용된 노후도 점수를 나타내는 변수의 값으로 노후관로 판정기준 점수에 해당하는 값을 대입하였다. 개발된 회귀모델을 이용하여 연구대상지역 상수도 관로의 내구연수 및 잔존수명을 산정하였으며 그 결과를 지방공기업법에서 제시하고 있는 내용연수와 비교하여 분석하였다.

핵심용어: 내구연수, 노후도점수, 상수도 관로, 잔존수명, 회귀모델

*Corresponding Author. Tel: +82-51-510-3275
E-mail: kgm9112@naver.com (K. Kim)

1. 서론

상수관로의 노후 및 파손은 생산된 정수를 급수지역으로 수송하는 동안 누수를 발생시켜 수질을 저하시키는 등의 경제적 손실을 발생시킨다. 2014년 기준으로 정수장에서 사용자에게 수돗물이 공급되는 과정에서 상수관망의 노후 등으로 누수되는 수돗물의 양은 999억2천200만 리터, 누수 신고건수는 116,560건으로 집계되었다(Korea Water and Wastewater Works Association, 2016).

상수도 관로의 유지관리를 위해서는 막대한 비용과 시간이 소요되는 만큼 노후된 관을 합리적인 방법으로 판별하여야 하며 이를 관로의 교체 계획 수립에 반영하여야 한다. 즉, 적절한 유지관리 시기를 결정하는 방법이 필요하며, 이를 위해 관로의 잔존수명을 산정하는 일이 중요하다. 관로의 잔존수명을 산정하게 된다면 계획기간 동안에 필요한 관로의 개량 및 교체 물량 산출이 가능하게 되며 이는 곧 장기적인 상수도 관로 유지관리의 투자계획이 수립 가능하다는 의미를 갖게 된다.

잔존수명을 산정하기 위해서는 상수도 관로의 유지관리상에서 수집할 수 있는 다양한 자료를 활용하여야 한다. 이러한 자료는 실질적으로 제도적인 장치를 통하지 않으면 수집할 수 없는 경우가 많다. 현재 우리나라에서 이러한 자료를 수집할 수 있는 유일한 제도적인 장치는 ‘상수도 기술진단’ 중 ‘관망성능평가’이다. 따라서 상수도 기술진단 중 관망성능평가 결과를 이용할 수 있는 관로의 잔존수명을 산정하기 위한 기법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 상수도 관로의 유지관리를 위한 자료를 수집할 수 있는 제도적인 장치인 상수도 기술진단 중 점수평가법에 따라 관로 노후도를 평가한 관망성능평가 결과를 이용하여 관로의 잔존수명을 산정할 수 있는 방법을 개발하였으며, 연구대상지역의 상수도 기술진단 중 관망성능평가 결과인 Korea Environment Corporation (KEC) (2010)을 이용하여 상수도 관로의 잔존수명을 추정하였다.

2. 기존 모델의 적용가능성 분석

상수도 관로의 유지관리 방법론 개발에 관한 연구는 Kleiner and Rajani (2001)에서 분석된 바와 같이 물리적 요소를 기반으로 한 모델과 통계적 방법을 기반으로 한 모델로 개발되어 왔다. 물리적 요소를 기반으로 한 모델의 경우 통계적 방법을 이용한 모델에 비하여 정확성이 높고 과학적이라는 장점이 있으나 모델링 구축에 필요한 데이터에 제한이 있다.

그러므로 물리적 모델에 필요한 데이터 중 일부는 수집을 위하여 상당한 비용을 지불할 필요가 있다. 이러한 상당한 비용은 주요 송, 배수관로의 데이터일 경우에만 허용되어질 뿐만 아니라 이렇게 구축된 물리적 모델은 제한적인 데이터의 이용으로 특정 개별관로에 대해서만 사용할 수 있다는 한계점을 지니고 있다.

반면, 통계적 방법을 기반으로 한 모델은 입력 데이터를 다양하게 사용할 수 있으며, 주요 송, 배수관로 뿐만 아니라 작은 관로들에도 유용하게 사용할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 통계적 방법을 기반으로 한 모델들은 Walski and Pelliccia (1982)의 관로 단위길이 당 연간 파손횟수 산정 모델, Lei (1997)의 과거 파손부터 다음 파손까지 걸리는 시간을 산정하는 모델, Herz (1996)의 확률 밀도 함수를 이용한 관로의 사용 가능 수명을 산정하는 모델, Goulter et al. (1993)의 후속적으로 몇 번의 고장이 일어날지에 대한 확률을 산정하는 모델 등이 있다. 이들 중 종속변수를 ‘시간’으로 설정한 모델은 Clark et al. (1982)와 McMullen (1982) 이다.

Clark et al. (1982)와 McMullen (1982)의 모델은 모델링이 적용된 지역의 관로의 특성을 반영한 것으로서 잔존수명을 구하고자 하는 상수도 관망의 특성이 달라질 경우 모델의 파라메타와 그 구조까지 재설정되어야 할 필요가 있다. 또한 Clark et al. (1982)와 McMullen (1982)의 모델은 각각 매설 뒤 첫 보수까지 걸린 시간과 첫 파손 후 경과된 시간을 종속변수로 설정하였기 때문에 관로의 잔존수명을 직접적으로 산정하기에는 한계가 있는 것으로 분석된다.

Park et al. (2009)은 상수도 관로의 파손에 영향을 미치는 인자들과 파손시점 자료를 이용하여 비례위험모형을 구축하고 이를 통하여 잔존수명을 추정할 수 있는 통계적 기법을 개발하였다. 이러한 기법은 통계적으로 신뢰도 높은 잔존수명을 추정할 수 있는 장점이 있으나, 실제 관망유지관리 자료에서 비교적 획득하기 어려운 정확한 누수사고 날짜 정보가 필요한 단점이 있다.

3. 잔존수명 추정 모델링 개요

본 연구에서는 KEC (2010)의 연구대상지역에 대한 송배급수관로 관망성능평가 결과 자료를 이용하여 잔존수명 산정을 위한 모델링을 실시하였다. 연구대상지역은 강원도 영월군 영월읍, 북면, 남면으로 KEC (2010)에 따르면 총 급수인구는 22,528명이며, 일평균공급량은 총 약 1만 m³/일이다. 연구대상지역에는 총연장은 약 85 km이며, 이 중 덕타일주철관

78.5%, PVC관 9.0%, PFP관 6.9%, CIP관 4.0%, 강관 1.7%로 이루어져있다. 또한 누수율은 영월군 영월읍, 북면, 남면이 각각 46%, 64%, 52%으로 평가되었다.

KEC (2010)에서 시행한 연구대상지역 송배급수관로의 성능평가항목은 관재질(pipe material, *PM*), 관경(pipe diameter, *PD*), 매설 후 경과년수(elapsed time since installation, *ETSI*), 최대 정수압(static water pressure, *SWP*), 주변 도로(road type, *RT*), 수압편차(water pressure deviation, *WPD*), 접속방식(joint type, *JT*), 토양종류(soil type, *ST*), 누수(사고발생)율(leak rate, *LR*) 그리고 매설심도와 동결심도의 차이(difference between buried and frost depth, *DBF*)이다. 이러한 성능평가항목들을 이용하여 연구대상지역 송배급수관로들을 4에서 5단계로 구분하였으며, 각 단계별 조건값을 부여한 후 각 항목에 대한 가중치를 적용하여 ‘관 재질 내면 노후도(degree of internal pipe wall deterioration, *DIPWD*)’, ‘관 재질 외면 노후도(degree of external pipe wall deterioration, *DEPWD*)’ 및 ‘사고위험도(leak vulnerability, *LV*)’를 산정하였다. 노후관로 판정기준으로 *DIPWD* 0.83점, *DEPWD* 0.76점, *LV* 0.58점을 사용하였으며, 이러한 기준점수를 초과하는 관로의 경우 노후관로로 분류하였다.

본 연구에서 산정하고자 하는 관로의 잔존수명은 ‘모델에 의해 추정된 매설 후 최적교체시기까지 경과년수’를 의미하는 ‘내구연수’와 *ETSI*의 차이를 의미한다. 본 연구에서 ‘내구연수’는 KEC (2010)에서 송배급수관로 성능평가기준으로 제시된 노후관로 판정기준 점수에 도달하는 시점으로 정의하였다.

연구대상지역 송배급수관로 성능평가결과를 기반으로 관로의 잔존수명을 도출하기 위하여 성능평가항목, *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*와 *ETSI* 간의 회귀모델링을 실시하였다. 이러

한 회귀모델에서 종속 변수는 *ETSI*로 설정하였으며 성능평가항목들, *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*는 독립변수로 고려하였다. 잔존수명의 산정에 필요한 내구연수를 추정하기 위하여 독립변수로 사용되는 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*의 값으로 노후관로 판정기준 점수에 해당하는 값을 대입하였다.

회귀모델에 포함시킬 독립변수를 선정하기 위해 먼저 연구대상지역 송배급수관로 성능평가항목들과 *ETSI*간의 피어슨 상관관계 분석을 실시하였다. 독립변수 후보군 중 최종적으로 회귀모델에 사용할 독립변수는 회귀분석의 결과의 하나인 Variance Inflation Factor (VIF) 를 이용하여 결정하였다. 분석 현재 시점은 본 연구의 기본 자료가 된 KEC (2010)의 성능평가 시점인 2010년을 의미하며, 따라서 *ETSI*는 관로가 매설된 연도부터 2010년까지 경과된 햇수를 나타낸다.

4. 노후관로 판정기준 점수를 이용한 내구연수 산정 모델링

Table 1은 피어슨 상관분석 방법에 따라 *ETSI*와 각 변수들 간의 상관성분석을 실시한 결과이다. 상관성분석 결과 *DIPWD*, *DEPWD*, *LV*를 제외한 다른 변수들은 *ETSI*와의 상관성이 매우 낮은 것으로 판정되었다.

*ETSI*를 종속변수로 하는 회귀모델에 독립변수로 활용할 변수는 피어슨 상관분석을 통해 선정된 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*와 범주형 변수들(*PM*, *RT*, *JT* 및 *ST*) 사이의 공선성 분석을 통하여 선정하였다. 관종(*PM*)의 경우 연구대상지역에 존재하는 주철관(CIP), PVC, 덕타일주철관(DCIP) 및 PFP관을 나타내는 범주형 변수로 처리하였으며, *PM*의 값은 Table 2와 같이 정의하였다. 연구대상지역에는 강관도 존재하나, 강관

Table 1. Pearson correlation coefficients between elapsed time since installation(*ETSI*) and other variables

	<i>ETSI</i>	<i>PD</i>	<i>SWP</i>	<i>WPD</i>	<i>BD</i>	<i>LR</i>	<i>DIPWD</i>	<i>DEPWD</i>	<i>LV</i>
Coefficient	1	-0.0102	0.0887	0.2113	-0.0445	0.1509	0.7647	0.5996	0.6187
Significance probability		0.7546	0.0066	0.0000	0.1736	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
N	938	938	938	938	938	938	938	938	938

Table 2. Definition of categorical variables for pipe material

	PM_1	PM_2	PM_3
PVC	0	0	0
CIP	1	0	0
PFP	0	1	0
DCIP	0	0	1

은 연구대상지역에 9개(1.4 km) 밖에 존재하지 않아 회귀분석에서 제외하였다. 다른 범주형 변수들(*RT*, *JT* 및 *ST*) 역시 *PM*과 같은 방식으로 각 범주를 나타낼 수 있게 3개의 변수들로 정의하였다.

VIF를 통해 독립변수들간의 다중공선성을 진단하였으며 이를 통하여 최종 모델에서 사용할 독립변수들을 선정하였다. Table 3은 그 선정과정이며 모델에서 사용된 각 변수에 대한 VIF값들을 나타내는데, 범주형 변수들에 대해서는 범주형 변수들(예를 들어 *PM*의 경우에는 PM_1 , PM_2 및 PM_3)의 VIF값들 중 가장 큰 값을 나타낸다. 최종 독립변수를 선정하기 위하여 고려된 독립변수들 중 가장 VIF값이 큰 변수를 제외한 후 나머지 변수들 간의 공선성 분석을 계속해서 진행하는 방식을 이용하였으며, ‘노후관로 판정기준 점수를 이용한 내구연수’를 산정하는데 이용하고자 하는 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*는 가능한 독립변수로 사용하는 방향으로 모델링하였다. 그러나 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV* 모두를 사용하는 회귀모

델(Table 3의 iv)에서 *DEPWD*의 VIF값이 10 이상이며 가장 큰 값을 가지므로 *DEPWD*를 제외한 *DIPWD*, *LV* 및 *PM*을 포함한 모델(Table 3의 v)을 검토하였다. 모델 v에서 *LV*의 VIF값이 10 이상의 값을 가져 *LV*를 제외한 모델 vi가 검토되었다. 그 결과 모델 vi은 *DIPWD*와 *PM*으로 구성되며 각 변수의 VIF값은 10 이하로 산정되어 신뢰할 수 있는 모델이 구축되었다. 한편 모델 iv와 같이 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV* 모두를 포함하는 회귀모델은 신뢰도가 매우 낮은 것으로 분석되어 노후관로 판정 기준이 되는 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV* 각각을 독립변수로 하는 회귀모델링을 실시하였다.

Table 4는 *DIPWD*, *DEPWD* 및 *LV*를 각각 독립변수로 하고 *PM*을 독립변수로 추가한 회귀분석 결과이다. 각 모델에서 *PM*의 *RT*, *JT* 및 *ST*도 독립변수로 고려하였으나, 공선성 분석 결과 이러한 변수들을 포함할 경우 독립변수들간의 공선성이 높은 것으로 나타나 고려된 범주형 변수들 중 *PM*만이 최종 회귀모델에 포함되었다.

Table 3. Modeling processes for variable selection

Model no. Var.	i	ii	iii	iv	v	vi
<i>DIPWD</i>	141.3	140.3	87.9	49.1	13.6	6.3
<i>DEPWD</i>	245.0	242.0	147.7	76.5	-	-
<i>LV</i>	27.2	26.8	24.5	19.4	17.0	-
<i>PM</i>	28.7	24.2	17.2	8.6	7.2	5.6
<i>RT</i>	78.5	69.2	30.1	-	-	-
<i>JT</i>	1032.4	-	-	-	-	-
<i>ST</i>	845.0	170.7	-	-	-	-

Table 4. Elapsed time since installation modeling results

Model	Dependent variable	Independent variable	B	p-value	VIF	R ²
I	<i>ETSI</i>	<i>DIPWD</i>	28.963	0.000	6.257	0.948
		PM_1	12.166	0.000	1.368	
		PM_2	2.565	0.001	1.324	
		PM_3	6.988	0.000	5.565	
II	<i>ETSI</i>	<i>DEPWD</i>	28.634	0.000	8.611	0.920
		PM_1	11.994	0.000	1.562	
		PM_2	1.667	0.103	1.549	
		PM_3	7.454	0.000	7.500	
III	<i>ETSI</i>	<i>LV</i>	40.887	0.000	7.824	0.924
		PM_1	13.381	0.000	1.467	
		PM_2	2.622	0.007	1.453	
		PM_3	7.718	0.000	6.903	

Table 4에 보인바와 같이 최종적으로 결정한 모든 모델에서 모든 독립 변수의 VIF가 10 이하의 값을 갖는 것으로 나타나 독립변수간의 다중공선성은 존재하지 않는 것으로 나타났다. 또한 회귀 계수의 유의확률(p-value)은 모델 II의 PM_2 를 제외하고는 모두 1% 미만으로 산정되어 회귀 계수의 신뢰도는 99% 이상으로 매우 높게 나타났다.

Eqs. (1)~(3)은 Table 4에서 각 독립변수의 비표준화계수(unstandardized coefficient)인 'B' 값을 이용하여 구축한 회귀식이다.

$$ETSI = 28.963 \cdot DIPWD + 12.166 \cdot PM_1 + 2.565 \cdot PM_2 + 6.988 \cdot PM_3 \quad (1)$$

$$ETSI = 28.634 \cdot DEPWD + 11.994 \cdot PM_1 + 1.667 \cdot PM_2 + 7.454 \cdot PM_3 \quad (2)$$

$$ETSI = 40.887 \cdot LV + 13.381 \cdot PM_1 + 2.622 \cdot PM_2 + 7.718 \cdot PM_3 \quad (3)$$

연구대상지역에서 CIP관의 매설 시점은 대체로 1967~1997년 사이에 분포하며, PFP관의 매설 시점은 1990~2008년 사이에 분포해있다. 따라서 CIP관이 PFP관에 비해 큰 ETSI를 가진다. 이러한 연구대상지역의 특징으로 인해 Eqs. (1)~(3)에서 PM을 의미하는 변수들 중 PM_1 의 계수가 가장 큰 것으로 나타났으며 PM_2 의 계수가 가장 작은 것으로 나타났다. Eqs. (1)~(3)에서 LV의 계수값은 DIPWD와 DEPWD에 비해 큰 것으로 모델링 되었는데, 이는 같은 관로, 즉 같은 ETSI에 대해 LV가 DIPWD 및 DEPWD 보다 작은 값을 가지기 때문이다.

관로의 내구연수는 Eqs. (1)~(3)의 노후도 점수를 나타내는 변수 LV, DIPWD 및 DEPWD에 노후관로 판정기준 0.83 점, 0.76점 및 0.58점을 각각 대입하여 구할 수 있으며, Table 5는 Eqs. (1)~(3)를 이용하여 산정된 연구대상지역 관로들의 내구연수를 나타낸다.

Table 5에서 나타난 바에 따르면 노후관로 판정 기준에 따라 내구연수가 다르며, 대체적으로 DEPWD를 기준으로 하는 내구연수가 가장 작은 것으로 나타났다. 이를 통해 연구대상지역에서는 외적인 요인에 의해 관로의 노후도가 상대적으로 빨리 진행되는 것으로 분석되었다.

또한 Table 5에 의해 관종에 따른 내구연수의 평균값은 DCIP관은 30.5년, PVC관은 23.1년, CIP관은 35.7년, PFP관은 25.4년으로 산정되어, 지방공기업법에서 제시하는 관종별 내용연수(DCIP 30년, PVC 15년, CIP 30년, PFP 20년)에 비해 대체적으로 길게 나타났다.

5. 잔존수명 계산 결과

관로의 잔존수명은 '내구연수'와 '매설 후 경과년수'의 차이로써 Eq. (4)과 같이 정의하였다.

$$\text{Residual life} = \text{Service life} - ETSI \quad (4)$$

본 연구에서 사용된 노후관로 판정기준은 DIPWD, DEPWD 및 LV의 세 가지 경우이므로 관로의 잔존수명도 각 노후관로 판정기준에 따라 계산하였다. 또한 관로에 대해 계산된 잔존수명이 음의 값을 나타내면 그 관로는 과거에 이미 노후 관로 판정기준 점수에 도달하여 현재 시점에서는 노후된 관로로 분류됨을 의미하며, 내구연수를 초과한 관을 의미한다. Table 6은

Table 5. Service life according to pipe material (years)

	DCIP	PVC	CIP	PFP
LV	31.4	23.7	37.1	26.3
DIPWD	31.0	24.0	36.2	26.6
DEPWD	29.2	21.8	33.8	23.4

Table 6. Statistics for the residual life of the case study area pipes(years)

Statistics	Average	Variance	Standard deviation	Range
Deterioration				
LV	12.3	85.7	9.3	-11.6 ~ 31.1
DIPWD	12.0	86.5	9.3	-12.0 ~ 30.2
DEPWD	10.0	86.0	9.3	-13.8 ~ 28.2

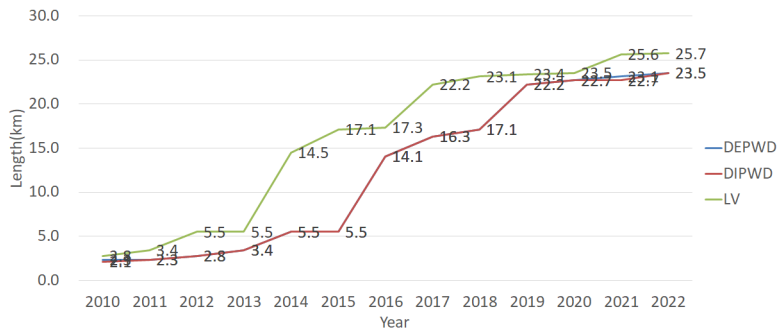


Fig. 1. Total lengths of pipes with zero residual life for the case study area

연구대상지역 관로의 잔존수명을 세 가지 노후 판정기준에 따라 계산한 결과값에 대한 주요 통계치를 나타낸다.

Fig. 1은 Eqs. (1)~(3)을 이용하여 연구분석 현재 시점을 원년으로 하여 연도에 따라 연구대상지역의 관로가 노후 판정기준에 따른 내구연수(또는 잔존수명 '0')에 도달하는 관로연장을 나타낸 것이다. 점수평가법을 이용한 KEC (2010)의 성능평가방법은 현 시점에서의 관로 노후도에 대한 평가는 할 수 있으나 미래 특정 시점의 관로 노후도는 예측할 수 없다. 그러나 본 연구에서 개발된 회귀식에서 노후도 점수를 나타내는 변수들의 값을 변화시킴으로써 미래시점의 관로 노후도 예측이 가능하며, Fig. 1과 같이 연도별 잔존수명의 평가가 가능하다.

6. 결론

본 연구에서는 상수도 기술진단 중 점수평가법에 따라 관로 노후도를 평가한 관망성능평가를 이용하여 연구대상지역 상수도 관로의 내구연수와 잔존수명을 추정할 수 있는 모델을 개발하였다. 이를 위하여 연구대상지역의 '현재 시점의 매설 후 경과년수(ETSJ)'를 종속변수로 설정하고, 노후관을 판별하기 위한 기준인 '관 재질 내면 노후도 점수(DIPWD)', '관 재질 외면 노후도 점수(DEPWD)' 및 '사고위험도 점수(LV)'와 '관종(PM)'을 포함한 다양한 인자들에 대한 회귀분석을 실시하였다.

모델링 결과를 이용하여 연구대상지역의 상수도 관로의 내구연수를 산정한 결과 그 평균값은 DCIP관은 30.5년, PVC관은 23.1년, CIP관은 35.7년, PFP관은 25.4년으로 산정되어, 지방공기업법에서 제시하는 관종별 내용연수(DCIP 30년, PVC 15년, CIP 30년, PFP 20년)에 비해 대체적으로 더 길게 나타났다. 또한 '사고위험도'에 따른 잔존수명의 평균은 12.3년, '관재질 내면 노후도'에 따른 잔존수명의 평균은 12.0년,

그리고 '관재질 외면 노후도'에 따른 잔존수명의 평균은 10.0년으로 산정되었다. 따라서 연구대상지역의 상수도 관로들의 경우 관재질 외면에 대한 잔존수명이 가장 낮은 것으로 산정되었다. 한편 산정된 잔존수명의 범위(range)가 매우 큰 것으로 나타났는데 이는 연구대상지역의 관로들의 매설연도가 다양하기 때문인 것으로 분석된다. 본 연구의 결과를 분석하여 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 개발한 회귀모델링 기법은 상수도 관로의 시편 채취 후 이에 대한 물리적 시험을 통한 잔존수명 평가가 어려운 관로들의 잔존수명을 통계적 기법으로 산정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 관경이 비교적 작은 지방상수도 관로들의 잔존수명을 평가하는데 그 효용성이 높을 것으로 사료된다. 또한 관로들의 잔존수명 추정을 통하여 연차별 관망개량수요를 산정할 수 있고, 이를 장기적인 관망유지관리계획의 수립에 활용할 수 있다.
- 2) 본 연구를 통하여 제시된 내구연수는 지방공기업법에서 제시하고 있는 상수도 관로의 내용연수와 비슷한 의미이므로, 본 연구에서 제시한 기법을 이용하여 지역의 특성에 적합한 상수도 관로의 내용연수를 설정하는 것이 가능하다.
- 3) 본 연구에서 관종별 내구연수가 지방공기업법에서 제시하고 있는 내용연수보다 좀 더 큰 것으로 산정되었는데, 이러한 결과는 연구대상지역이 우리나라 상수도 관로 노후화에 관한 평균적인 특성을 나타낸다고 가정할 경우 지방공기업법에서 제시하고 있는 관종별 내용연수가 과소평가 되었을 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서 제시한 관로 노후도 점수를 이용한 내구연수 산정 기법을 타 지역에도 적용하여 지방공기업법의 관종별 내용연수에 대한 타당성을 검증할 필요가 있다.
- 4) 본 연구에서 제시한 기법을 통해 산정되는 관로 잔존수명의 신뢰성을 더욱 향상시키기 위해서는 기술진단시 사고위치 및 날씨와 같은 사고이력 및 토양의 물리화학적 성질

과 같은 인자들을 성능평가항목으로 추가하는 것이 바람직하다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- Clark, R. M., Stafford, C. L., and Goodrich, J. A. (1982). "Water distribution systems: a spatial and cost evaluation." *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, Vol. 108, No. 3, pp. 243-256.
- Goulter, I. C., Davidson, J., and Jacobs, P. (1993). "Predicting water-main breakage rate." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 4, pp. 419-436.
- Herz, R. K. (1996). "Ageing process and rehabilitation needs of drinking water distribution networks." *Journal of Water SRTAqua*, Vol. 45, No. 5, pp. 221-231.
- Kleiner, Y., and Rajani, B. B. (2001). "Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models." *Institute for Research in Construction*, National Research Council Canada. Vol. 3, No. 3. pp. 131-250.
- Korea Environment Corporation (KEC) (2010). *Taebaek area water-works pipe network optimum management system building basic plan report*.
- Korea Water and Wastewater works Association (2016). 2014 water-works statistics. https://www.kwwa.or.kr/reference/stats01_list.php.
- Lei, J (1997). *Statistical approach for describing lifetimes of water mains - Case Trondheim Municipality*. SINTEF Civil and Environmental Engineering, Report No. 22F007.28, Trondheim, Norway.
- McMullen, L. D. (1982). "Advanced concepts in soil evaluation for exterior pipeline corrosion." *Proceedings of the AWWA Annual Conference*, Miami.
- Park, S., Choi, C. L., Kim, J. H., and Bae, C. H. (2009). "A statistical methodology for evaluating the residual life of water mains." *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 23, No. 3, pp. 305-313.
- Walski, T. M., and Pelliccia, A. (1982). "Economic analysis of water main breaks." *Journal of AWWA*, Vol. 74, No. 3, pp.140-147.