

계층적분석과정을 이용한 상수관로의 노후도 평가를 위한 항목별 가중치 산정

Estimation of Deterioration Assessment for Weighting Factors in Pipes of Water Supply Systems Using Analytic Hierarchy Process

김응석*

Kim, Eung Seok

Abstract

The purpose of this study is to estimate deterioration assessment for weighting factors in pipe network for which each local self-government takes rehabilitation and replacement work at present time. Deterioration factors in the pipe network might be influenced by local factors, such as province, location, or land use, in water supply systems. In this study, the sixteen deterioration factors are determined suitable for domestic situation based on the pipe deterioration factor data inside and outside of the country. Also, we select persons in charge of calculating the detail weighting factors and do survey about important level of each deterioration factors. Delphi method, a question survey method applying the analytic hierarchy process(AHP), calculates the weighting factors. The appropriate marks matrix of sixteen deterioration factors are made for the precise decision standard of pipe condition through the result of this analysis. The marks matrix of sixteen deterioration factors can solve the complicated decision making problems of pipe rehabilitation works.

Key words : Deterioration assessment, AHP, Pipe rehabilitation works

요 지

본 연구의 목적은 현재 지방자치단체에서 수행하는 상수관로 개량 및 교체 사업시 상수관로의 노후도 평가를 위한 항목별 가중치를 산정하는 것이다. 상수도시스템에 상수관로의 노후도 항목은 지역 및 위치, 토지이용 등의 특성에 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 국내외 자료를 바탕으로 국내 실정에 맞는 노후도 항목 16개를 선정하였다. 또한, 노후도 항목별 세분화된 가중치 산정을 위해 실무업체를 선정하여 해당 전문가들을 대상으로 노후도 항목별 중요도에 대한 설문 실시하였다. 설문 조사 방법으로는 델피법을 이용하여 이 결과를 바탕으로 계층적분석과정(AHP)을 적용하여 노후도항목별 가중치를 산정하였다. 분석 결과 국내 실무에 적합한 16개 결합항목별 점수배점표를 작성하여 명확한 판단기준을 마련하였으며 관거 개량사업에 있어서 복잡한 의사결정 문제들에 대한 활용 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 노후도 평가, 계층적분석과정, 관로 개량사업

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

국내의 상수도 보급의 역사는 90년 이상으로 1960년대 경제개발을 시작으로 공급위주의 상수도 시스템을 구축하여 왔다. 그러나 1990년 중반 이후 도시화 및 산업화에 따른 취수원의 오염 등으로 인해 상수도의 안전에 관한 문제가 대두되기 시작하였다. 2006년 현재 국내 상수도 보급률은 98% 이상으로 용수의 공급을 위한 상수도 시스템의 확장의 거의 포화단계에 이르게 되었다. 따라서 공급측면의 상수도 시스템이 아닌 유지 및 관리적 측면의 상수도 시스템이 필요하다. 즉,

현재의 정수장 건설위주의 상수도 보급이 아닌 질적 향상을 위한 상수도 시스템이 필요하다. 또한, 2006년 8월에 일부 개정된 수도법에서는 상수관로의 유지관리 및 향상을 위해 기존 상수도 시스템의 취약한 상수관로를 보다 효율적으로 유지 및 관리하기 위한 지침 및 세부사항을 포함하고 있다. 그러나 건설교통부(2003)에서 제시한 상수관로의 노후도 평가방법은 노후도 평가항목이 16개 항목으로 구성되어 실제 평가를 수행하는 지방자치단체의 지역적 특성을 고려하지 못하고 있는 상황이다. 또한, 평가 항목별 가중치 산정의 경우 현장여건, 관로의 특성 및 상황 등에 따라 책임기술자의 주관적 판단으로 조정이 가능하다고 기술되어 있어 명확한 가

*정회원 · 선문대학교 토목공학과 조교수 (E-mail : hydrokes@sunmoon.ac.kr)

중치 산정 기준을 제시하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 건설교통부(2003)에서 제시하고 있는 상수관로의 평가를 보다 정량적으로 평가하기 위해서 특정 지역의 관로현황을 고려하여 평가 항목별 가중치를 계층적분석과정을 이용하여 보다 정량적으로 산정 하였다. 즉, 건설교통부(2003)의 “안전점검 및 정밀안전진단(세부지침)” 보고서에서 선정한 상수관로의 노후도 평가항목 16개를 대상으로 각 항목별 가중치를 해당지역의 전문가집단의 설문조사 후 계층적분석과정을 적용하여 정량적 가중치 값을 산정하였다.

1.2 연구동향

본 연구에서는 다기준 의사 결정(Multi-Criteria Decision Making : MCDM) 방법 중 하나인 계층적분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 항목별 가중치 값을 산정 하였다. AHP기법은 L.G. Vargas(1990)에 의하여 관리기법에 관한 연구에 폭넓게 시행되었으며 Thomas L. Saaty(1983, 1986, 1994)에 의해 MCDM에서의 적용 연구가 이루어졌다. 계층적 분석과정은 논리가 쉽고 객관적 평가요인뿐만 아니라 주관적 요인도 포함하는 편리한 의사결정방법으로 국내외에서 의사 결정에 많이 이용되고 있다.

국내외 수자원 및 상수도 분야의 AHP 적용 사례를 살펴보면, 가뭄의 효율적 용수분배(Ridgley, 1993) 및 수자원 공급방식의 최적화(Jaber and Mohen, 2001), 가뭄시 용수배분의 우선순위(이현재와 심명필, 2002), 지하담 적지분석(이상일과 김병찬, 2003), 하수관거의 결합항목별 가중치산정(김응석 등, 2003), 도시유출시스템에서 불명수량 산정(이정호 등, 2004), 하천의 최적 호안공법 선정(이재문과 이상일, 2008)등이 적용되었다.

또한, 국내외의 상수관로의 노후도 영향인자 및 가중치 산정에 관한 연구는 미국의 주요도시를 대상으로 수도데이터베이스(D/B)을 바탕으로 상수관로의 노후도 인자 및 파손사고의 회귀식 산정(Clark 등, 1982), 관로파손의 구조적 원인 분석(Kelly 등 1982), 국내 수도관의 파손인자의 특성분석(안윤주, 1995), 수도관 부식과 방식대책 및 평가방법(황규대, 1996), 상수도의 수질인자가 부식의 촉진과 억제에 관한 연구(정해룡 등, 1998), 상수관로의 시설물의 객관적 상태평가 기준정립과 안전진단(건설교통부, 2003), 상수관로의 노후도 평가를 위해 확률론적신경망기법을 적용(김응석, 2003), 상수관로의 최적개량우선 순위 산정을 위해 OR기법인 최적경로흐름을 적용하여 우선순위산정(김응석, 2003)등의 연구가 진행되었다.

언급된 상수관로의 노후도 영향인자 및 가중치 산정 기법은 최적화 기법 및 통계적 기법 등을 적용하였다. 또한, 기존의 연구사례는 주로 실제 매설된 관을 채취하여 실험 및 분석 등을 통해서 상수관로의 노후도 항목별 가중치를 산정 하였다. 그러나 실제 상수관로 개량사업시 모든 매설된 관을 대상으로 실험 및 분석 등을 실시하기에는 시간 및 경제적 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 AHP기법을 적용하여 평가대상 지역에 관한 많은 경험적 지식이 있는 전문가의 의견을 정량적으로 반영하여 상수관로의 노후도 평가항목별 가

중치 값을 산정하였다.

2. 상수관로의 노후도 평가항목

본 연구에서 적용하는 상수관로의 노후도 평가항목은 건설교통부(2003)에서 작성한 안전점검 및 정밀안전진단[상수도] 세부지침에 기술되어 있는 평가항목 16개를 대상으로 하였다. 선정된 16개 항목은 시설물의 안전에 관한 특별법에 의해 국내법 및 지침에 기술되어 있다. 다음 표 1은 상수관로의 노후도 평가항목 16개를 나타내었다.

또한, 평가항목 16개는 광역상수도 관로의 노후도 평가(한국수자원공사, 1995), 향만시설물 안전점검 및 정밀안전진단(해양수산부, 1998)등 기존의 국내 연구내용과 일본의 관종별 평가보고서(일본수도관로기술센터, 1994) 등의 연구사례를 종합 분석하여 산정되었다.

3. 계층적분석과정의 이론적 고찰

계층 분석 과정(analytic hierarchy process, AHP)은 다요소 의사결정(multi-attribute decision making, MADM) 기법들 중 가장 널리 응용되고 있는 기법이라 할 수 있다. 이 방법은 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가 기준들간의 상대적 중요도를 쌍대비교(pairwise comparison)에 의해 측정한다. 이러한 방식을 통해 AHP는 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구할 수 있도록 한다.

3.1 기본이론

AHP를 이용한 여러 속성들간의 체계적인 가중치 부여는 계층구조의 형성, 의사결정 요소들의 쌍대비교 행렬 작성, 가중치 계산, 일관성 검토 등 4단계의 과정을 통하여 이루어진다.

3.1.1 계층구조의 형성

계층구조의 형성에서는 대상의 목표를 선정하고 그 목표에 영향을 미치는 관련 속성들을 계층적으로 세분화하여 의사결정구조를 설정한다. 계층구조를 완성하기 위하여 최상위 계층에 목표를 두어 최종적인 목표로 나타내고 다음 계층은 목표를 달성하기 위한 기준을 표현한다. 그 다음 계층은 앞 계층에 영향을 미치는 부속성을 나타낸다. 다음의 그림 1은 목표, 의사결정요소, 대안으로 이루어진 3개의 계층구조를 나타내고 있다. 의사결정요소 계층에서는 설문조사를 통해 상대적 중요도를 측정하는 단계이며, 이를 통해 대안 계층에서의 대안별 우선순위를 산정 할 수 있다.

3.1.2 의사 결정 요소들의 쌍대 비교(Pairwise Comparison) 행렬 작성

특정 계층내에 있는 요소들의 중요도에 대한 의사 결정자의 선호도를 평가하는 단계로서 각 계층 내의 평가요소들을 서로 비교하여 쌍대 비교 행렬을 작성한다. 다음 표 2는 요소들간의 중요도를 판단하는 기준이 되는 쌍대 비교 척도이

표 1. 상수관로 노후도 평가항목

번호	항 목	비 고
1	관로사고이력 (건/km/년)	관로의 사고는 부식, 하중, 재질, 시공, 유지관리, 수질 등에 따라 발생되던 이러한 여러 가지 사고유발인자의 영향에 의해 관로의 파손, 누수라는 결과가 표출되던 것으로 과거의 사고이력이 높은 구간인 경우 앞으로 사고가 발생할 개연성이 높다고 할 수 있다.
2	관내외면 방식도장 유무	관내외면의 방식도장의 경우 관 내외벽면을 보호하여 부식을 방지하는 것으로 그렇지 않은 경우는 부식이 발생할 우려가 높다.
3	노면하중	관로가 매설되어 있는 노면에 중차량의 통행이 빈번한 경우 이로 인한 과하중에 의해 매설관의 손상 및 파손이 발생할 우려가 높다.
4	관내수압 (kgf/cm ²)	관 내부의 수압은 관로에 구조적 직접적인 영향을 미치는 인자로 여기서 평가하는 내부수압은 관로에 발생될 수 있는 최대정수압이다.
5	사용년수 (년)	사용년수와 관의 구조적 안전과는 직접적인 관계는 없지만 사용년수가 경과 될수록 여러 가지 요인들에 의해 사고발생의 개연성은 높아지게 된다.
6	퇴매움 토양	토양에 따라 관체의 외부도막 또는 도복장이 파손되기도 하고 관체에 집중하중이 발생하기도 하며 관체 외면부식이 발생하기 쉽다.
7	토양비저항 (Ω·cm)	관체의 부식과 밀접한 관계가 있다. 관로 주변 토양의 비저항이 낮다는 것은 부식전류가 잘 통하는 것을 의미하므로 그 만큼 관 부식의 우려가 높다 할 수 있다
8	토양 pH	관체의 부식이 있어 토양pH는 중요한 요인으로 pH4 이하의 강한 산성토양에서는 관체에 심한 부식이 발생할 수 있다. 또한 pH8.5 이상의 알칼리 영향에서도 황산나트륨 등의 토양 함유성분에 따라 부식이 발생할 우려가 있을 수 있으므로 주의하여야 한다.
9	황화물 및 염화물	황화물이나 염화물은 매설된 금속체의 보호피막을 파괴하여 부식을 촉진시키며 현장에서 채취한 토양시료를 실험실에서 분석하여 황화물 및 염화물의 관련 자료를 얻을 수 있다
10	수질 부식성	내부수질의 부식성 평가는 Langelier Saturation Index(LSI), Larson Ratio(RI) 등의 여러 가지 평가 방법 중 Ryznar가 개발한 Ryznar Stability Index(RSI)가 계산 값에 따라 수질부식성의 정도가 세부화 되어 있어 객관화 및 정량화 측면에서 우수한 것으로 판단되어 이를 기준으로 평가한다.
11	관대지전위차 (mV)	관로 방식시설의 적절한 운영 및 관로의 부식 개연성을 판단할 수 있는 인자로 관리주체의 방식설비 유지관리 자료를 이용하거나 측정기기를 이용하여 현장에서 관로를 따라서 측정함으로써 알 수 있다.
12	관내외면 방식도막	사용년수가 경과되면서 관체 내외면의 도막은 노화가 진행되어 초기에 비해 부착력이 떨어지고 또한 시공시 여러 가지 원인에 의해 도막이 손상되기도 한다. 이를 토대로 도막의 잔존율을 평가하는 것으로 현장에서 일부 관로를 직접 굴착하여 확인하고 밸브실 내부배관을 조사하여 확인한다.
13	배관의 부식	관체 및 밸브, 볼트, 너트 등의 부식에 대한 평가를 실시하는 것으로 일부 관로를 직접 굴착하여 확인하고 밸브실 내부배관조사를 실시하여 확인한다
14	잔존두께	수도용도복강관의 경우 관외면의 최대 부식깊이를 측정하고 이를 토대로 주어진 식에 의해 관체가 천공될 때 까지 기간을 산정하여 관의 노후도를 평가한다.
15	관체변형	토압이나 중차량 통행 등 상재하중에 의해 관체변형이 발생되거나 시공 중에 취급의 부주의 또는 기초지반의 불량 등에 의해 원주방향의 관체변형이 발생할 수 있으며 관체변형의 과도한 경우 내부도막의 손상 및 구조적 문제를 유발할 수 있으며 현장에서 일부 관로를 직접 조사하거나 관 내부에서 직접 확인한다.
16	배관의 누수	관체, 각종 밸브 및 신축관 등의 배관 누수여부를 확인 및 그 원인을 파악하는 것으로 정밀점검시에는 차도상에 위치한 밸브실내의 배관에 대해 조사하며 이 때 배관에 대해서는 밸브의 외관조사만을 대신 배관의 상태를 상세히 기록한다.

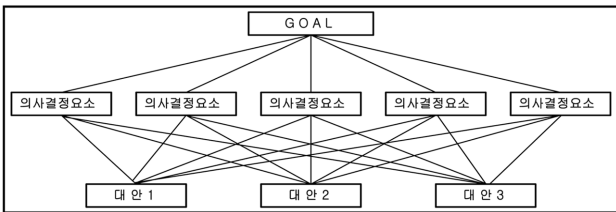


그림 1. AHP 계층도(A three-Level Hierarchy)

표 2. 두 요소의 쌍대 비교 척도

Semantic Scale		수치
A와 B가 동등	(equally important)	1
A가 B보다 약간 중요	(weakly more important)	3
A가 B보다 상당히 중요	(strongly more important)	5
A가 B보다 매우 중요	(very strongly more important)	7
A가 B보다 절대적으로 중요	(absolutely more important)	9
(2, 4, 6, 8은 왼쪽에 표현된 중요 정도의 중간 개념으로 사용)		

다. 쌍대 비교는 요소들의 중요도, 대안의 중요도에 대한 의사 결정자의 평가를 용이하게 하기 위하여 행해진다. 즉, 상대적 중요도의 평가 대상이 되는 요소들을 쌍대 비교함에 있어서 아래의 기준에 의해 수치가 주어지게 된다.

중요도의 척도에 따라 쌍대 비교를 통해 행렬 식 (1)이 구성되는데, 이는 주 대각선의 원소들이 모두 1이 되는 역수행렬이다. 여기서, w_i 와 w_j 는 i 번째 속성과 j 번째의 속성의 가중치이며, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ 이다.

$$A_{ij} = w_i / w_j \tag{1}$$

3.1.3 가중치 계산

가중치 계산 방법은 산술평균법, 기하평균법, 최소자승법, 고유벡터(eigenvector) 방법 등이 있으며 이중 고유벡터 방법은 쌍대 비교 행렬의 고유값(eigenvalue) 중에서 최대치에 대응하는 고유 벡터를 요소의 중요도로 이용하는 방법으로써 쌍대 비교 행렬의 일치성의 정도를 측정할 수 있다는 장점이 있다.

행렬 A에 의해 유도된 고유벡터는 구성 요소간의 상대적 중요도를 나타낸다. 일관성이 완벽하게 유지된다면, 식(2)와 같이 행렬 A를 구성하는 n개의 행 중에서 한 개의 행만으로 상대적 중요도를 구할 수 있다.

$$AW = nW \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

여기서 고유벡터 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 는 가정상의 실제 존재하는 상대적 중요도(actual relative weight)를 의미하고, 고유치(eigenvalue) n은 구성 요소의 개수이다. 그러나 현실적으로 정확한 고유벡터를 알지 못하기 때문에 정확한 행렬 A 또한 구할 수 없다. 다시 말해 행렬 A가 일관성을 유지하지 못하기 때문에 식 (2)의 추정치(estimation)인 식 (3)에 의해서 중요도 산정 할 수 있다.

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (3)$$

여기서 A는 설문에 의해 얻어진 이원 비교 행렬이고, λ_{\max} 는 A의 최대 고유치를 의미한다. 또한, 고유벡터 W는 Saaty (1994)가 제안한 제곱법(power method)에 의하여 산정된다. 식 (4)와 같이 행렬 W를 충분히 큰 정수인 K번 만큼 곱한 후 식 (5)와 같이 표준화 작업, 즉 각 행렬의 요소를 요소에 해당하는 열의 합으로 나누고, 각 행의 평균값을 구함으로써 W를 산정해 낸다.

$$(A)^K \quad (4)$$

$$w_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (5)$$

3.1.4 일관성 검증(Consistency test)

비교 대상을 서로 비교한 후 일관성 여부는 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 구함으로써 검증할 수 있다. 일관성 지수 CI는 λ_{\max} 를 이용하여 아래의 식 (6)과 같이 구하며,

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

여기서 RI구한 일관성 지수 CI를 이용하여 식(7)과 같이 일

관성 비율 CR을 구한다.

$$CR = CI / RI \quad (7)$$

여기서 RI는 무작위 일관성 지수(Random consistency Index)를 말하며 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것을 말하며 표본 500개로부터 무작위 지수를 구하여 평균한 값은 다음의 표 3과 같다. 즉, 쌍대비교를 통해 상대적 중요도를 산정하고자 하는 요소들의 개수(n)에 따른 무작위 일관성 지수 RI값을 표 3을 통해 구할 수 있으며, 이를 통해 일관성 지수 CR값을 구할 수 있다. CR값이 0.1 이하일 경우에는 일관성이 있다고 말하고, 0.10~0.20 사이일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이다. 그러나 만약 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 보고 다시 설문을 해야 하거나, 그룹 설문일 경우에는 중요도 산정에서 제외시켜야 한다.

3.2 적용 단계

AHP기법의 적용에 있어서 목표에 적합한 관련 기준의 선정은 우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 다음 그림 2는 AHP 기법의 실행단계를 도식으로 나타내었다.

또한 관련 기준, 즉 의사 결정 요소들간의 쌍대 비교를 수행하는 설문지의 작성 및 일관성 검증은 요소들간의 중요도 산정에 있어서 적합성 및 안정성을 검증하는 일련의 과정이다.

3.2.1 목표의 설정 및 의사 결정 요소의 선정

계층 분석 과정을 통해 분석하고자 하는 사항들에 대한 목표가 설정되면 그것에 부합하는 의사 결정 요소들의 명확한

표 3. 각 행렬 크기에 대한 무작위 일관성 지수 (RI)

행렬의 크기(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

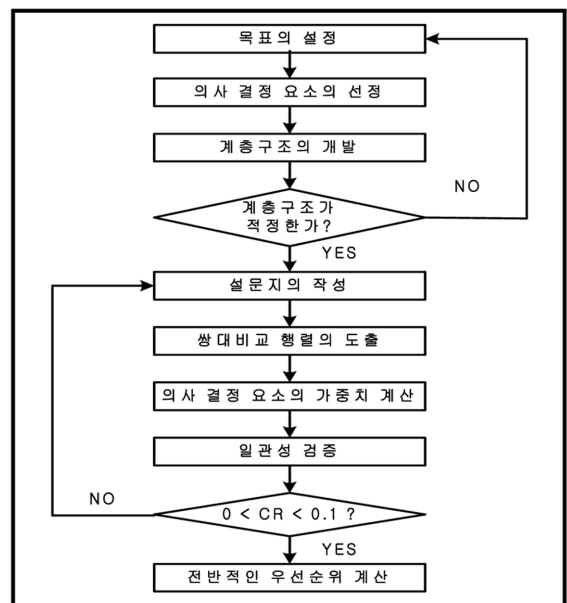


그림 2. AHP기법의 실행단계

파악이 우선적으로 수행되어야 한다.

3.2.2 계층구조의 개발

의사 결정 요소들간의 수평적 관계에 따라서 구성되어야 할 계층의 단계를 설정하는 과정이다. 또한, 목표를 수행하기 위하여 구성된 계층구조는 전문가들의 지문을 통해 적합성이 검증되어야 한다.

3.2.3 설문지의 작성 및 쌍대비교 행렬의 도출

의사 결정 요소들 간의 쌍대비교를 수행하기 위한 설문지의 작성은 설문 응답자들의 응답이 수월하도록 작성되어야 하며 쌍대비교를 통해 응답된 설문지를 바탕으로 의사 결정 요소들간의 쌍대비교 행렬을 도출한다.

3.2.4 의사 결정 요소의 가중치 계산

설문 응답을 통해 도출된 쌍대비교 행렬을 통해 각각의 의사 결정 요소들간의 가중치를 계산한다.

3.2.5 일관성 검증

의사 결정 요소들간의 산정된 가중치의 적합성을 검증하기

위하여 설문 응답지들에 대한 일관성 검증을 수행한다. 이를 통해 일관성 지수가 0~0.1의 값을 만족하지 않는 경우에는 다시 설문조사를 실시하도록 한다.

4. 적용 및 결과

본 연구에서는 국내의 특정 지방자치단체 한곳을 대상으로 하였으며, 상수도와 관련된 실무분야에서 6년 이상 근무한 실무자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 해당 지방자치단체의 상수도 사업본부 및 수도사업소를 포함한 12개 사업소에 근무하는 51명을 대상으로 하였으며, 조사에 참여한 실무자는 대부분 시설관리과, 급수운영과 등에 근무하며, 해당분야 평균 근무년수는 13.85년 이었다. 다음 표 4는 조사대상 사업소 및 인원, 부서를 나타내었다.

4.1 사업소별 항목별 가중치 산정 결과

다음 표 5는 사업소별 관로시설물의 16개 항목별 가중치 산정 결과를 나타내었다. 먼저 계층적분석과정에서 일관성 검증 결과 일관성 지수 CR값이 12개 사업소 모두 0.1 이하의 값을 나타내었으며, 이는 의사결정 요소들간의 산정된 가중치

표 4. 사업소별 인원 및 부서

수도사업소	조사인원(명)	부서	수도사업소	조사인원(명)	부서
SC	4	수도관리부	SN	5	급수운영과
SJ	1	시설관리과	SE	4	지리정보팀
SD	2	시설관리과	SS	4	시설관리과
SK	5	급수운영과	SKD	10	시설관리과
SY	5	급수운영과	SSB	4	급수운영과
SB	4	시설관리과	SKN	3	시설관리과

표 5. 사업소별 항목별 가중치 산정 결과

항목 \ 사업소	SC	SJ	SD	SK	SY	SB	SN	SE	SS	SKD	SSB	SKN
노면하중	0.201	0.235	0.098	0.041	0.205	0.06	0.098	0.003	0.261	0.039	0.02	0.227
관내수압	0.159	0.079	0.124	0.065	0.081	0.038	0.054	0.01	0.091	0.025	0.012	0.101
관체변형	0.126	0.035	0.156	0.026	0.065	0.336	0.178	0.029	0.063	0.093	0.031	0.034
수질부식성	0.01	0.149	0.106	0.088	0.059	0.175	0.067	0.006	0.165	0.077	0.019	0.175
잔존두께	0.02	0.052	0.035	0.029	0.013	0.035	0.037	0.019	0.072	0.122	0.034	0.05
관내외면 방식도막	0.059	0.036	0.237	0.175	0.088	0.11	0.123	0.056	0.031	0.193	0.063	0.024
토양비저항	0.006	0.094	0.005	0.013	0.026	0.021	0.041	0.007	0.091	0.024	0.158	0.141
토양pH	0.006	0.04	0.014	0.03	0.028	0.03	0.03	0.014	0.039	0.032	0.061	0.064
황화물및 염화물	0.029	0.023	0.034	0.041	0.025	0.028	0.02	0.026	0.03	0.042	0.065	0.021
관대지 전위차	0.017	0.012	0.005	0.087	0.035	0.033	0.063	0.047	0.023	0.074	0.067	0.014
배관부식	0.039	0.008	0.045	0.075	0.079	0.034	0.123	0.09	0.018	0.081	0.069	0.016
관로사고이력	0.048	0.106	0.057	0.02	0.081	0.018	0.04	0.024	0.053	0.027	0.05	0.052
사용년수	0.021	0.029	0.011	0.054	0.064	0.006	0.016	0.068	0.018	0.017	0.19	0.018
배관의 누수	0.142	0.013	0.018	0.113	0.051	0.034	0.077	0.196	0.008	0.063	0.08	0.013
퇴메움도양	0.03	0.074	0.009	0.018	0.02	0.008	0.005	0.058	0.028	0.023	0.016	0.042
관내외면 방식도장유무	0.089	0.015	0.046	0.125	0.08	0.034	0.028	0.347	0.009	0.068	0.065	0.008
합계	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

값이 적합하다는 것을 보여 주는 것으로 나타났다.

상수관의 노후도 항목별 가중치 산정 결과를 사업소 별로 살펴보면, SC 사업소의 경우는 노면하중, 관내수압, 관체변형, SJ사업소의 경우는 노면하중, 수질부식성, 관내수압, SD 사업소의 경우는 관내·외면방식 도막, 관체변형, 관내수압, SK 사업소의 경우는 관내·외면방식 도막, 관내·외면 방식 도장유무, SY 사업소의 경우는 노면하중, 관내·외면방식 도장유무, 관내·외면방식 도막, SB 사업소의 경우는 관체변형, 수질부식성, 관내·외면방식 도막, SN 사업소의 경우는 관체변형, 관내·외면방식 도막, 배관부식, SE 사업소의 경우는 관내·외면 방식도장유무, 배관의 누수, 배관의 부식, SS사업소의 경우는 노면하중, 수질부식성, 토양비저항, SKD 사업소의 경우는 관내·외면방식 도막, 잔존두께, 관체변형, SSB 사업소의 경우는 사용년수, 토양비저항, 되메움도양, SKN 사업소의 경우는 노면하중, 수질부식성, 토양비저항 등의 순위로 가장 높은 가중치 값이 산정되었다.

또한, 노면하중을 1순위로 응답한 사업소가 5개, 관내외면 방식도막을 1순위로 응답한 사업소는 3곳 등으로 기존의 환경부 및 전국의 지방자치단체에서 적용하는 상수관로 대표적 인 평가 기준인 매설년도와는 다른 결과를 나타내었다. 이는 상수관로는 매설지역의 특성에 따라 관로의 노후도 평가 항목별 가중치 값이 서로 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여 주고 있었다. 또한, 수도사업소별로 생각하는 항목의 우선순 위는 서로 다르게 나왔지만 전체 12개 사업소의 가중치를 분석하면 노면하중이 가장 중요한 항목임을 본 결과에서 알 수 있었다. 이는 대부분의 대구경 송수관로의 매설이 주로 도로 변을 중심으로 매설되고 있으며, 차량 통행에 따른 노면하중 의 증가로 인해 관 집합부 주위에 누수 등의 사고가 빈번히 발생하고 있다고 판단하기 때문인 것으로 생각된다.

4.2 전체 사업소의 가중치 산정결과

상수도 사업본부를 포함한 전체 수도사업소 12개를 대상으로 관로의 노후도 항목별 가중치 산정결과는 그림 3과 같다. 결과를 살펴보면, 관체변형의 가중치 값이 0.258로 가장 높았 으며, 다음으로는 관내·외면 방식도막이 0.191, 노면하중이 0.113, 배관부식이 0.087의 순서로 산정되었다. 이는 각 수도 사업소의 관리자들이 송배수관로가 대부분 공공도로 및 이면

도로 등에 매설되어 노면하중 또는 차량하중 등에 의한 관체 의 휨응력 발생으로 인해 집합부 누수 및 관의 파손 등이 주로 발생한다고 판단하기 때문이다. 또한, 관내외면 방식도 막의 경우 탁티일 주철관 및 1980~1990년도에 시공한 엑폭 시 갱생 관 등에서 발생하는 방식도막의 이탈 등이 관의 부 식에 많은 영향을 주는 것으로 생각하고 있다고 있기 때문인 것으로 판단되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 특정 지역의 관로상태를 현장 실무자의 의 견을 바탕으로 상수관로의 노후도 평가를 보다 정량적으로 평가하기 위해 계층적분석과정을 적용하여 상수관로의 노후 도 평가항목별 가중치를 산정하였다. 현재의 노후도 평가항목 별 가중치 산정 지침은 업무 책임자의 주관적 평가에 의해 항목별 가중치를 산정하게 되어 있으나 본 연구에서는 AHP 기법을 이용하여 항목별 가중치를 현장의 상태 및 실무자의 의견을 반영할 수 있는 정량적 산정방법을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 기존의 연구결과는 매설된 관을 굴착하여 분석 등을 통해 관의 노후도 항목 등을 산정하였으며, 노후도 항목별 가중치 산정은 최적화기법 또는 통계적 분석기법 등을 이용하였다. 그러나 이러한 방법은 많은 시간 및 경제적으로 어려움이 발생된다. 따라서 본 연구에서 제안한 AHP기법은 기존의 방법과 비교해서 상대적으로 쉽게 상수관로의 노후도 항목별 가중치 값을 산정할 수 있으며, 선정된 대상 지역의 특성 및 현장 근무자 의 의견을 반영하여 보다 정량적으로 가중치 값을 산 정을 할 수 있는 기법으로 판단되었다.
- (2) 계층적분석과정을 이용하여 12개 사업소를 대상으로 설 문조사를 실시하여 12개 사업소 모두 일관성 지수와 0.1 이하의 수치를 나타내었으며 이는 의식결정 요소들 간의 산정된 가중치 값이 적합하다는 것으로 나타났다.
- (3) 일관성 지수의 결과를 바탕으로 계층적분석과정을 적용 하여 16개 항목별 가중치를 12개 사업소별로 산정하였 다. 또한, 전체 12개 사업소를 대상으로 산정한 결과 관체변형의 가중치 값이 0.258의 값으로 1순위, 관내외

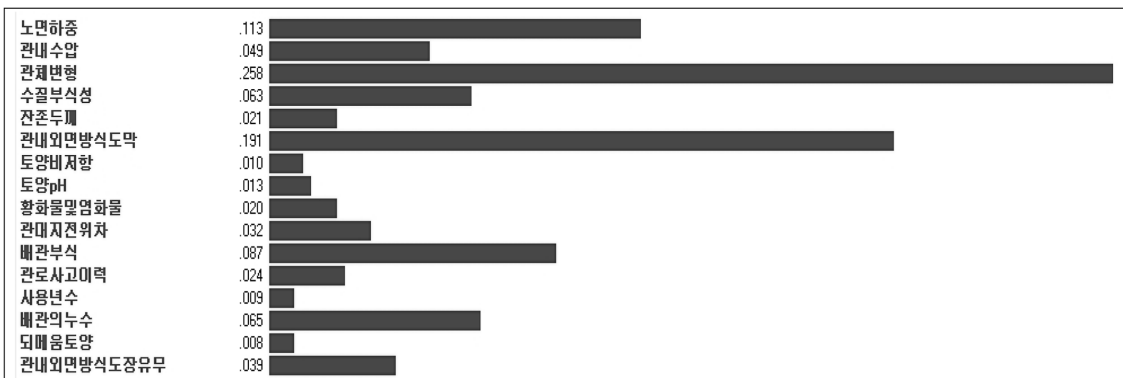


그림 3. 전체 사업소의 관로의 가중치

면 방식도막, 노면하중, 배관부식 등이 각각 2, 3, 4 순위 등으로 나타났다.

- (4) 국내 상수관로의 노후도 평가는 현재 전국의 주요도시를 대상으로 대부분이 매설년수를 기준으로 일괄적으로 평가하고 있다. 그러나 상수관로의 노후도 평가를 위한 항목별 가중치 산정은 지역의 특성 및 해당 지역의 실무담당자의 판단을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서 소개한 AHP기법을 이용한 항목별 가중치 산정기법은 전문가의 의견을 보다 정량화하여 적용지역의 특징을 고려하여 항목별 가중치를 산정할 수 있는 방법으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부, 한국시설관리기술공단 (2003) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[상수도].

김응석(2003) 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 개발 (I) - 이론 및 모형개발. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제36권 제1호, pp. 45-59.

김응석, 박무중, 김중훈(2003) 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 개발 (II) - 적용 및 분석. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제36권 제1호, pp. 61-74.

김응석, 이정호, 김중훈 (2003) 계층적분석기법을 이용한 하수관거 결합항목별 가중치 산정. 대한상하수도학회 논문집, 대한상하수도학회, 제17권, 제2호, pp. 277-290.

안윤주, 이현동(1994) 국내 중소도시 수도관의 파손특성에 관한 고찰. 대한상하수도학회 논문집, 대한상하수도학회, 제10권, 제1호, pp. 96-111.

이상일, 김병찬 (2003) 계층적분석과정을 이용한 지하댐 적지분석. 한국지하수도양환경학회 논문집, 한국지하수도양환경학회, Vol. 8, No. 4, pp. 36-44.

이재문, 이상일 (2007) AHP기법을 이용한 최적 계획폭 선정-입천에서의 적용 사례연구. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 931-941.

이정호, 김중훈, 김형수, 김응석, 조덕준 (2004) 최적 도시유출시스템의 개발 : I. 도시유출시스템에서의 AHP를 고려한 불명수량 산정에 관한 연구. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권 제3호, pp. 195-206.

이현재, 심명필 (2002) 계층적분석과정(AHP)에 의한 가뭄시 용수

배분 우선순위 의사결정. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 703-714.

일본수도관로기술센터 (1994) 주철관·강관경질염화비닐관 진단방법의 개발조사 보고서. 연구보고서, 일본수도관로기술센터.

정해룡, 서규태, 이택순, 김운지, 이현동, 정원식 (1997) 상수도관 부식에 미치는 수질인자의 복합적 상호작용. 대한환경공학회 추계 학술발표회 논문집, 대한환경공학회, pp. 271-274.

한국수자원공사 (1995) 수도관 개량을 위한 의사결정 시스템 개발. 한국수자원공사.

해양수산부 (1998) 항만시설물 안전점검 및 정밀안전진단 실시요령. 해양수산부.

황규대 (1996) 수도관의 부식과 방지대책. 경희대학교 환경연구소.

Clark, R. M., C. L. Stafford, and J. A. Goodrich (1982) Water distribution systems: A spatial and cost evaluation. *Journal of Water Resour. Plann. Manage. Div.* ASCE, Vol. 108, pp. 243-257.

D. Kelly, O' Day (1982) Organizing and Analyzing Leak and Break Data for Making Main Replacement Decisions, *Journal of AWWA*, Vol 74, No. 11, pp. 589-597.

Jaber, J. O. and Mohsen, M. S. (2001) Evaluation of Non-conventional Water Resource Supply in Jordan. *Desalination*, Vol. 136, No. 1-3, pp. 83-92.

L.G Vargas (1990) An overview of the analytic hierarchy process & its applications. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 2-8.

Ridgley, M. A. (1993) A Multicritical Approach to Allocation Water During Drought. *Resource Management and Optimization*, Vol. 9, No. 2, pp. 135-149.

Thomas L. Saaty (1983) Priority Setting in Complex Problems. *IEEE Transactions on Engineering management*, Vol. EM 30, No. 3, pp. 140-155.

Thomas L. Saaty (1986) Axiomatic Foundation of the Analytic hierarchy Process. *Management Science*, Vol. 32, No. 7, pp. 843-857.

Thomas L. Saaty (1994) Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, pp. 426-447.

© 논문접수일 : 08년 07월 30일
 © 심사의뢰일 : 08년 08월 04일
 © 심사완료일 : 08년 08월 07일