

상수관로의 노후도 영향인자 및 가중치 산정에 관한 연구

Estimation of Deterioration and Weighting Factors in Pipes of Water Supply Systems

김응석^{1,*} · 김중훈² · 이현동³

Kim, Eung-Seok^{1,*} · Kim, Joong-Hoon² · Lee, Hyun-Dong³

1 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터

2 고려대학교 토목환경공학과

3 한국건설기술연구원 수자원환경연구부

(2002년 7월 20일 접수, 2002년 11월 21일 최종수정논문 채택)

Abstract

The purpose of this study is to estimate deterioration factors and weighting factors in pipe network which each local self-governments takes rehabilitation and replacement work present time. Deterioration factors in pipe network are able to effected of specific province or location related with water supply. Most of water supply pipes are laid under the ground, it is hard to quantify deterioration degree of water system. Moreover, the timing and economic limitation and insufficient information on the spot survey gives a difficulty to look over how old water supply system is.

Accordingly, this study collects and analyses five data as the laying environment, visual analysis, analysis of soil contents, analysis of pipe material, and questionnaire survey data in water pipe of A city. The deterioration factor estimates 14 factors with excavation and experimental analysis and 9 factors without excavation and experimental analysis. Also, the weighting factors are estimated by using the multiple linear regressions and the linear programming.

The estimated deterioration factor and weighting results are compared the analysis result of visual, pipe material, and soil contents with the Probabilistic Neural Network Model.

Consequently, the model results of estimated 9 factors in this study and 14 factors show the 1-2% difference. The result show that the proposed model could be used to decide the deterioration condition of pipe line with real excavation and experimental analysis.

Key words: Deterioration factors, weighting factors, rehabilitation

주제어: 노후도 영향인자, 노후도 가중치, 개량

1. 서론

우리나라의 근대 수도는 역사가 90년 이상으로 1999년 말 현재 전체 관로연장이 115,740km를 넘어서고 있다. 그러나 대부분의 상수관로는 지하에 매설되어 있으므로 상태의 파악이나 진단이 어려워 운영 및 유지관리에 많은 어려움이 있다. 또한 갑작스런 관로 사고로 인한 민원이 발생하고 교통장애를 유발하는 등의 많은 문제점을 일으키고 있으나 이러한 관로사고에 대한 예측 및 대처방안에 관한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 관로의 특성상 지하에 매설되어 있어 관로에 대한 자료 수집이 어렵고 매설지역에 따른 지역적인 특성을 가지고 있기 때문이다. 또한, 상수도시스템 전반에 걸쳐 송수관, 배수관, 급수관에 따른 관종, 관경 등 자료의 종류가 다양해서 관리가 힘들기 때문이다.

국내에서 상수도 관로의 상태 및 평가, 파손이나 누수의 원인에 대한 조사 및 연구실적은 현재 미미한 실정이며, 유지관리 실무에 활용한 경우는 전무한 상태이다. 상수도시설의 정비나 유지관리계획을 검토함에 있어서 기존 시설에 대한 자료의 수집과 분석이 그 출발점이 되나 현재까지 관로 자료는 각 지자체별로 일관성 없이 기록되어 있으며, 피상적인 원인들만 나열했을 뿐 구체적 또는 과학적인 분석 자료는 찾아보기 힘들다.

따라서 관로사고를 사전에 예방하고 운영 및 유지관리를 효율적으로 수행하기 위해서는 관의 노후도나 파손 영향 인자를 철저히 분석하는 작업이 필수적이라고 할 수 있다.

특히, 관경 300mm 이하의 배수관은 배수본관 및 송수관보다 과거의 연구 실적, 실무자들의 지식이나 경험이 상대적으로 미미하며, 그 시설연장이 매우 길고 복잡하기 때문에 유지관리가 어려운 실정이다. 또한 배수관의 사고는 일반적으로 다양한 요인이 복합적으로 조합되어 발생하고 있는 것이 많아 사고의 원인파악 및 대처방안 수립에 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 관로연장 중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있으나 상대적으로 중요성이 낮게 평가되었던 배수관을 중심으로 관로의 노후 및 파손과 관련되는 여러 복합적인 인자들을 분석하였다. 즉, 관로의 노후도 영향을 미치는 인자를 선정하고, 정량적인 방법으로 각 인자별 가중치를 제안하였다. 또한 본 연구에 산정한 노후도 인자 및 인자별 가중치를 확률론적 신경망이론을 응용한 노후도 예측 모델에 적용하여 본 연구의 결과를 검증하였다. 다음 Fig. 1은 본 연구의 전체 흐름을 나타내었다.

2. 연구 동향

기존의 연구를 살펴보면 국내에서는 안윤주(1995)가 수도관 파손인자의 관련항목별 특성 분석 연구에서 일본, 미국, 국내 지자체의 문헌을 중심으로 수도관 파손인자에 대한 관련 항목을 관 특성 인자, 부식 관련 인자, 내?외부하중관련 인자, 공사숙련도 인자, 관로의 특성관련인자 등으로 구분하였다.

경희대학교 환경연구소(1996)는 수도관 부식과

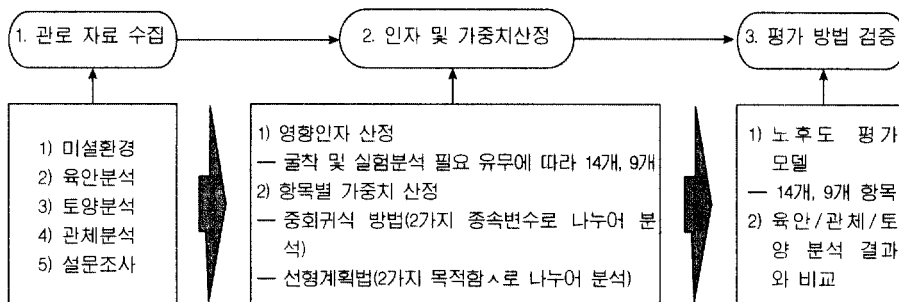


Fig. 1. 노후도 영향인자 및 가중치 산정방법 연구 흐름도.

방식대책 연구에서는 국내수도관 사용현황, 국내 수도관 특성, 수도관 부식에 대한 원인 및 평가방법, 급·배수관 방식대책의 경제성 등 포괄적 연구를 수행하였다. 정해룡 등(1998)은 수질인자가 부식의 촉진과 억제에 미치는 영향에 대한 연구에서 상수도 관로의 부식원인 중에서 원수수질이 악화됨에 따라 정수과정 중 투입되는 약품량의 증가에 따라 일어나는 수질변화로 인한 관의 부식을 촉진시키는 인자에 대해 연구하였다. 손광익(1998)은 국내 도·송수관의 마찰손실계수 산정에 관한 연구에서 국외에서 발표한 각종 관의 노후화 산정방법 중 관의 통수능 변화에 미치는 영향인자 등을 외국 문헌자료와 실측된 국내 분석자료를 이용하여 통수능 변화에 미치는 영향 인자들을 검토하여 관의 마찰손실계수 산정기준 및 향후 지속적으로 계속되어야 할 관로 운영자료의 종류를 제시하였다. 이현동(1999)은 상수도 시스템의 부식측정 및 평가방법 표준화 연구를 통해, 대부분 외국의 문헌 등을 통한 부식환경 평가방법이나 부식측정방법을 실제로 국내실정에 적합하게 상수도 시스템의 평가방법을 직접평가법 및 간접평가법으로 분리하여 제시하였다. 외국의 경우 상수도관의 악화유무를 판단하기 위한 초기연구는 관파손 특성의 분석에서 시작되었으며, D. Kelly 등(1982)은 미국환경청(EPA)과 미국수도협회연구기금(AWWARF)의 공동연구에서 관로파손의 구조적 원인으로 원주방향의 힘, 길이방향의 힘, 접합부에서 납접합부 팽창 등의 구조적 문제를 분석하였다. O'Day 등(1986)은 뉴욕시를 대상으로 관의 크기에 따른 파손사고의 유형을 계절별로 분석하여 초과하중, 토양동결, 부식 등과 함께 매설년수의 영향은 크지 않다고 밝혔다. Clark 등(1982)은 미국의 주요도시를 대상으로 수도데이터베이스(D/B)를 기초로 노후도에 영향을 미치는 항목별 인자를 이용하여 관 파손사고의 발생을 설명하는 회귀식을 제안하였다. Rechar A. 등(1985)은 필라델피아시는 수도관의 노후도 관련 인자 연구에서 크게 외부하중, 내부하중, 기초공사, 외부부식, 내부부식, 전식, 관의 특성 등의 자료를 언급하였다. 이와 같이 상수도관로의 노후도에 영향을 미치는 연구는 대부분 관경 및 관종 등을 기준으로 정량적인 방법이 아닌 정성적인 연구로 진행되었

다. 또한, 국내의 상수도 관로에 대한 노후 및 파손에 관한 연구에서도 대부분 관로 내의 수질에 따른 내부부식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 노후도 평가 인자에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

3. 노후도 인자 및 인자별 가중치 산정 방법

상수도관로의 노후도 영향인자 및 가중치의 산정은 현재 관의 노후상태를 정확하게 평가하기 위한 노후도 평가모델의 기본 요소이며, 모델의 정밀도를 향상시키기 위해 필수적이다. 그러나 이러한 영향인자들은 관로에 대한 다양한 인자들에 대한 장기간의 자료수집 및 분석이 필요하다. 국내의 경우 기본적인 매설환경자료 및 파손사고의 원인 분석 등의 관로자료가 부족할 뿐 아니라 체계적으로 정리되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 상수도관망의 특성을 고려한 자료를 수집, 분석하여 이를 바탕으로 노후도 영향인자와 그에 따른 가중치를 산정하고자 하였다. 조사항목은 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 설문조사 등으로 5개로 분류하여 자료별 세부자료에 관해 조사하였다.

3.1. 노후도 영향인자 선정

기존의 문헌 및 연구결과에서 노후도 영향인자의 산정방법은 지역적 특성 및 관종, 관경 등에 따라 다양한 인자를 포함할 수 있기 때문에 아직까지는 명확한 이론적 배경을 바탕으로 노후도 인자를 산정하는 방법은 제시되지 않았다. 본 연구에서는 노후도 인자의 선정 기준은 굴착 및 실험분석이 필요한 자료와 그렇지 않은 자료로 나누어 각각 산정하였다. 이는 실제 현장에서 노후도 평가모델을 이용하여 관로의 노후도를 평가할 때 국내 여건상 관로를 채취하여 실험 및 분석 등의 경제적 어려움을 해결하기 위하여 2가지로 구분하여 인자를 선정하였다.

본 연구에서는 연구대상지역에서 채취한 배수관을 중심으로 노후도 인자 산정을 위한 수집 항목은 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 설문조사 자료를 바탕으로 각 인자의 유사성을 고려해 그

Table 1. 노후도 인자 분류

구분	매설환경	육안분석	토양분석	관체분석	설문조사
하중	① 최대수압 ② 매설지역 ③ 도로폭	-	-	-	① 교통량
관특성	④ 관종 ⑤ 매설년도	-	-	① 인장강도 ② 연신율 ③ 경도 ④ C ⑤ Si ⑥ Mn ⑦ P ⑧ S ⑨ Mg	⑤ 관종 ⑥ 매설년수
노후화	⑥ 매설년수 ⑦ 파손 기록	-	-	-	⑦ 누수 · 파손기록
부식	-	· 내면부식 ① 부식형태 ② 부식생성물의 축적비율 ③ 최대 부식생성물의 크기 ④ 통수단면감소율 · 외면부식 ⑤ 녹 발생 정도 ⑥ 부식생성물의 축적 비율 ⑦ 점토부착비율	① 함수량 ② 토양 pH ③ 알칼리도 ④ 염소이온 ⑤ 황산이온 ⑥ 산도 ⑦ 산화환원전위 ⑧ 입도분석	-	⑧ 방식도장 유무 ⑨ 경생공법 유무 ⑩ 통수능(C&I)
공사 숙련도	⑧ 관 기초공사 ⑨ 되메움 토양 ⑩ 관경	-	-	-	⑪ 관 기초공사
수질	-	-	-	-	⑫ 관내 수질
관로	⑪ 관 접합 형식	-	-	-	⑬ 관 접합 형식
합	11개	7개	8개	9개	15개

통합 하여 Table 1에 비교하였다. 즉, 매설환경 자료는 부식자료를 제외한 11개 자료로 구성되었으며, 육안분석 자료 및 토양분석 자료는 부식에 관한 자료로 각각 7개 및 8개로 구성되었으며, 관체 분석 자료는 관 특성의 자료만으로 9개로 구성되었으며, 설문조사 자료는 모든 부분에 대하여 15개 자료로 구성되었다.

또한, Table 1의 자료를 바탕으로 굴착 및 실험 분석이 필요한 포괄적 노후도 인자 14개 인자를 선정하였다. 이 중에서 굴착 및 실험 분석이 필요하지 않은 자료에 대해서는 9개에 항목으로 선정하였

다. 따라서 Table 2는 14개, 9개 각각의 인자에 대해 정리하여 나타내었으며, 각 인자의 특성은 다음과 같다.

3.1.1. 관의 특성인자

관종은 수도관 개량사업시 많이 사용되는 주철관, 회주철관, 탁타일주철관으로 구분하였다. 또한, 매설 관경과 년수와 관종에 따른 물리적, 화학적 특성에 관하여 조사한 결과를 바탕으로 인자를 선정하였다.

Table 2. 굴착 및 실험분석 여부에 따른 노후도 인자 분류

성격 구분	굴착 및 실험분석 필요	굴착 및 실험 분석 불 필요
(1) 관의 특성 인자	① 관종	① 관종
(2) 관 내부부식 인자	② 통수능(C값)	-
(3) 관 외부부식 인자	③ 황산이온, 염소이온 ④ 토양 pH	-
(4) 내·외부하중 인자	⑤ 최대수압 ⑥ 매설지역 ⑦ 도로 폭	② 매설지역 ③ 도로 폭
(5) 관로 기록 인자	⑧ 매설년수 ⑨ 누수 및 파손 기록	④ 매설년수 ⑤ 누수 및 파손 기록
(6) 공사 관련 인자	⑩ 되메움 토양 ⑪ 관 기초 공사 ⑫ 관경	⑥ 되메움 토양 ⑦ 관 기초 공사 ⑧ 관경
(7) 접합 밸브 인자	⑬ 밸브, 분기관, 연결관 수 ⑭ 관 접합 형식	⑨ 관 접합 형식
항목 개수	14개	9개

3. 1. 2. 관의 내부부식인자

관 내부의 스케일로 인한 통수능은 Hazen-Williams의 C값으로 나타낼 수 있다. 그러나 실제 현장에서 통수능의 측정이 어려우므로 크게 탁타일 주철관과 회주철관에 대하여 각각 시료를 채취하여 수질에 따른 부식의 영향에 의한 통수단면적 감소율을 매설년도와 환경에 대하여 분석하였다.

3. 1. 3. 관의 외부부식 인자

황산이온, 염소이온, 토양 pH로 매설 관로 주변의 토양을 현장에서 채취하여 실험분석 하였으며, 이에 따른 대상지역의 지역별 특성에 따른 토양의 영향을 관의 외부부식 인자로 산정하였다.

3. 1. 4. 내·외부하중 인자

외국의 문헌조사에서 관로에 가장 큰 피해를 주는 인자로 최대수압, 매설지역, 도로폭을 산정하였다. 매설지역은 주택가 주변, 상가밀집지역(시장), 아파트 단지, 공업지역(공단)으로 구분 할 수 있으며, 도로상황(폭)은 보도 및 노지, 이면도로, 2차선 도로, 4차선 도로 이상으로 구분 할 수 있다. 또한 최대수압은 매설된 관로 주변의 수압변동을

기준으로 하였다.

3. 1. 5. 관로 기록 인자

매설년수와 누수 및 파손사고 이력 자료로 매설년수는 5년 단위로 나뉘어 구분하였으며, 누수 및 파손사고 이력 자료는 주변지역의 1년 평균 파손 및 누수사고 발생횟수를 바탕으로 산정하였다.

3. 1. 6. 공사관련 인자

관 매설시에 기초공사, 되메움 토양, 환경으로 기초공사는 바닥기초, 모래기초, 시멘트 기초로 나누고, 되메움 토양의 종류를 점토, silt/loam, 모래질로 구분하였다. 환경은 배수관에 많이 사용되는 환경으로 구분하여 산정하였다.

3. 1. 7. 접합밸브 인자

관로의 매설시 두 개의 관을 연결하는 접합형식, 밸브 분기관의 대소로 산정하였다. 접합부 형식은 용접, 메카니칼, 타이튼 등으로 구분하였으며, 이러한 형식에 따른 누수발생의 영향이 미칠 수 있으며, 관로에 설치된 제어밸브, 공기밸브 등의 밸브 설치유무 또한 밸브와 같은 영향인자로 산정될 수

있다. 이러한 인자에 대한 조사는 현장 및 판로 기록 등을 조사하여 산정하였다.

또한, Table 2에서 굴착 및 실험분석 여부에 따른 노후도 인자 선정에 가장 큰 차이는 관 내·외부 부식 인자의 유무이다. 상수도 관로의 내부부식 원인 중 하나인 수질은 부식생성물을 어느 정도 만 들 수 있는지를 알 수 있으며, 이는 곧 통수 단면 적의 저하로 인해 통수능에 직접적인 영향을 미친 다. 내부부식의 원인이 되는 수질에 따른 통수단면 적의 변화에 대한 연구가 아직까지는 많이 되어있 지 않으나, 관중, 관경, 매설년수와 함수관계임을 기존의 문헌을 통해 알 수 있다. 그리고, 외부부식 에 가장 큰 영향을 미치는 토양에 대한 조사는 A시 를 조사한 결과 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것 으로 나타났다. 따라서 9개 인자 선정에서 제외된 내·외부 부식 관련 인자는 관경, 매설년도, 관중을 이용하여 이를 극복 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 노후도 인자별 가중치 산정

노후도 인자 항목별 가중치의 산정은 각각의 노 후도 인자들이 어느 정도 노후도에 영향을 미치는 가를 산정하는 것으로 본 연구에서 크게 회귀식과 선형계획법을 이용하여 노후도 인자 9개에 대하여 가중치 값을 산정하여 비교하였다. 본 연구에서 실 제 관의 노후도를 판단할 수 기준이 되는 종속변수 를 크게 육안분석 자료 1개만을 사용한 경우와 육 안·토양·관체 3개 자료의 총합을 사용한 경우로 나뉘어 분석하였다. 즉, 육안분석 결과는 실제 매설 된 관을 현장에서 수집할 때 관의 내·외부를 앞으 서 설명한 Table 1의 육안 분석항목인 부식형태, 녹 의 축척 면적, 최대부식 녹의 크기, 통수단면의 감 소율, 녹의 발생정도, 녹의 축적비율, 점토부착 비 율을 바탕으로 각각의 항목별로 점수를 부여하여 이

를 총합으로 산정하였다. 또한, 토양, 관체 분석의 결과도 이와 같은 방법으로 총합을 산정하여 육안, 토양, 관체분석 결과에 대한 항목별 점수의 총합을 산정하여 이를 종속변수의 값으로 사용하였다.

3.2.1. 중회귀모형을 이용한 가중치 산정

중회귀모형을 적용하는 경우 종속변수는 실제 노 후도의 영향을 보여 줄 수 있는 결과를 크게 2가지 로 구분하여, 육안분석 자료 1개만 사용한 경우와, 육안분석, 토양분석, 관체분석 3개 자료의 총합을 사용한 경우로 나뉘어 분석하였으며, 기본적인 회 귀식은 식 (1)과 (2)와 같다.

$$D(OA) = f(LZ, LW, PT, LY, LB, FW, S, PD, J) \quad (1)$$

$$D(OA + SA + PCA) = f(LZ, LW, PT, LY, LB, FW, S, PD, J) \quad (2)$$

식 (1)에서는 종속변수가 육안분석결과(OA)이며 식 (2)에서는 육안분석(OA), 토양분석(SA), 관체 분석(PCA)의 합이 종속변수가 되며, 독립변수로는 매설지역(LZ), 도로 폭(LW), 관중(PT), 매설년 수(LY), 누수 및 파손기록(LB), 관 기초공사 (FW), 되메움 토양(S), 관경(PD), 관 접합 형식 (J)를 독립변수로 사용하여 분석하였다. 그 결과를 Table 3에 나타내었으며 결과에서 가중치 1(Rw1)과 2(Rw2)는 각각 식 (1)와 식 (2)을 이용한 가중치 결과이다.

Table 3의 결과에서 종속변수로 사용한 육안분석 결과와 육안/토양/관체분석의 총합을 이용한 2가지 경우 가중치 결과 되메움 토양, 기초공사가 가장 영향이 큰 인자이며, 관중, 되메움토양, 기초공사 누수 및 파손 등의 순서로 가장 큰 영향을 미치는

Table 3. 중회귀모형을 이용한 가중치 산정 결과

인자 가중치	매설 지역	도로 폭	관중	매설 년수	누수 파손	관 기초 공사	되메움 토양	관경	관 접합 형식	합계
1(Rw1)	0.087	0.038	0.211	0.009	0.128	0.146	0.154	0.090	0.056	1.000
2(Rw2)	0.102	0.023	0.212	0.089	0.125	0.184	0.112	0.087	0.006	1.000
1-2	0.015	0.015	0.001	0.08	0.003	0.038	0.042	0.003	0.05	-

인자로 나타났다. 또한 종속변수에 따른 가중치 변화는 관점합형식이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3.2.2. 선형계획법을 이용한 가중치 산정

선형계획법을 이용한 가중치의 산정은 회귀식에서 산정한 인자별 가중치 값의 범위를 각 인자별 제약조건으로 가정하여 육안분석 결과만을 사용한 경우와 육안, 토양, 관체분석 결과 3개의 총합을 사용한 경우로 나누어 산정하였다. 선형계획법의 목적함수는 식 (3), 제약조건식은 식 (4)-식 (6)과 같다.

Objective function:

$$\text{Min} = \sum_{j=1}^n (U_j + V_j) \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n W_j F_{ij} - U_j + V_j = OA_{ij} \text{ or } (O + S + P)_{ij} \quad (4)$$

for all $j = 1, \dots, K$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1.0 \quad \text{for all } i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$Lw_i \leq W_i \leq Uw_i \text{ for all } Lw_i \geq 0, W_i \geq 0, Uw_i \geq 0 \quad (6)$$

여기서, W_j 는 각각 노후도 인자의 가중치, U_j 와 V_j 는 인자별 여유변수, OA_{ij} 는 관의 육안분석 결과, $(O + S + P)_{ij}$ 는 육안분석 토양분석 관체분석 결과의 총합, F_{ij} 는 각각의 관의 노후도 인자, Lw_i 와 Uw_i 는 각각 회귀식에서 산정한 각 인자별 가중치 1과 가중치 2의 범위, K 는 관의 총 개수이다.

이 방법의 목적은 구하고자 하는 가중치 값의 편차를 최소화하기 위한 것이다. 다음 Table 4는 각 인자별 가중치 결과를 보여 주고 있으며, 가중치 결

과 1(Lw_1)과 2(Lw_2)는 제약조건식 중 식 (6)에서 육안분석결과를 사용한 경우와 육안, 토양, 관체분석 결과의 총합을 사용한 각각의 결과이다.

Table 4의 결과에서 매설지역과 도록폭 인자를 제외하고 나머지 인자는 같은 값의 결과를 보였으며, 중회귀식모델의 가중치 결과와는 다른 양상을 보여주었다. 또한, 중회귀모델과 같이 관종이 가장 중요한 인자로 나타났다. 특히 가중치 1과 2의 결과가 거의 비슷한 결과를 보이는 것은 중회귀모델의 가중치 1과 2의 결과를 제약조건식으로 만들어 선형계획법을 실행하였기 때문이다.

3.3. 산정된 인자 및 인자별 가중치의 검증 방법

3.3.1 Specht의 확률론적 신경망 구조

노후도 인자 및 인자별 가중치를 산정한 후 실제 노후도 평가모델에 이를 적용하여 본 연구에서 산정한 결과를 검증하였다. 노후도 평가모델은 이창용(2000) 등이 기존의 점수평가 모델의 일부를 확률론적 신경망(probabilistic neural network)을 이용하여 개선한 노후도 평가모델을 사용하였다.

확률론적 신경망 이론은 Specht(1990)에 의해 처음으로 제안되었으며, 어떠한 모집단을 개체가 가지고 있는 특성에 따라 여러 개의 계급으로 분류할 때 일반적인 신경망에서 주로 사용되는 시그모이드 함수(sigmoid activation function)를 지수함수로 대체함으로써 비선형적인 경계를 결정할 수 있는 확률론적 신경망(probabilistic neural network)을 연구하였다. Specht(1990)는 어떠한 입력자료의 패턴도 계급으로 분류할 수 있는 입력층, 패턴층, 합산층, 출력층으로 구성된 신경망을 제안하였고 그 층에 있는 신경(neuron)들이 전체적으로 평행하게 작동하게 한 결과, 문제 해결의 계산속도도 역전파 알고리즘(back-propagation)보다 빠르게 수렴하도록 하였

Table 4. 선형계획법을 이용한 가중치 산정 결과

인자 가중치	매설 지역	도로 폭	관종	매설 년수	누수 파손	기초 공사	되메움 토양	관경	관 점합 형식	합계
1(Lw_2)	0.078	0.034	0.222	0.089	0.133	0.189	0.111	0.100	0.044	1.000
2(Lw_2)	0.089	0.023	0.222	0.089	0.133	0.189	0.111	0.100	0.044	1.000
1-2	0.011	0.011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-

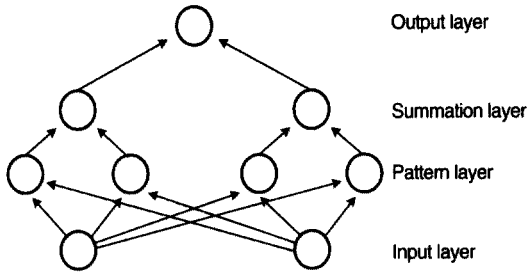


Fig. 2. Specht(1990) 확률론적 신경망 구조.

다. 다음 Fig. 2는 Specht(1990)의 확률론적 신경망 구조는 네 개의 층을 보여 주고 있다.

이 모형의 구조는 두 개의 입력층, 두 개의 계급(class)과 그리고 각각의 계급속에 두 개의 학습경우(training case)가 있다. 학습층(pattern layer)은 각각의 학습경우에 대해 하나의 신경(neuron)을 가지고 있다. 또 합산층(summation layer)은 각 계급에 대해 하나의 신경을 가지고 있다.

실행은 입력 벡터(vector)를 모든 학습층에 동시에 전달하면서 시작되어 각 학습신경(pattern neuron)은 각각의 신경을 나타내는 학습경우(training case)와 입력 벡터와의 거리를 측정 계산한다. 그런 다음 측정된 거리를 신경의 활동 함수(activation function)에 종속시킨다. 합산층은 알맞은 임무를 가지고 있는 합산단위(summation unit)를 포함하고 있다. 각각의 합산 신경은 하나의 계급을 전달하고 있다. 또 그것은 합산 신경의 계급의 일원에 대응하는 학습층을 단순히 합하게 되는 것이다.

합산의 활동을 마친 신경은 모집단의 밀도함수 값으로 나타내어진다. 마지막으로 출력 신경(output neuron)은 단순히 분류기능을 하게된다. 그것은 합산 단위가 가장 큰 것부터 입력을 결정하게 된다. 확률론적 신경망 구조는 정밀하지만 만약에 학습단위(pattern unit)가 평행하게만 작동할 수 있다면 아주 빠른 실행 능력을 가질 수 있다.

3.3.2. 확률론적 신경망의 계산

입력층에는 표본관로의 상태에 따라 정의한 조건 값이 각각의 신경(neuron)에 들어가게 하였으며, 패턴층(pattern layer)에는 5개의 큰 신경(neuron)이 들어가게 하였으며 하나의 큰 신경은 담당 경계 조

건 값을 담당하게 하였다. 첫 번째의 큰 신경은 1이라는 조건 값으로 된 신경을 포함하게 되고 두 번째, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째는 각각, 0.75와 0.5, 0.25, 0.0만으로 된 9개의 작은 학습신경들이 모여서 되는 것이다. 9개인 이유는 본 모형에서의 영향인자의 종류가 9개이기 때문이다.

은닉층에서는 입력자료와 학습신경과의 거리를 측정하여 이를 활동함수에 포함시켜서 입력자료의 특성을 파악하여 계급을 나누는 핵심적인 역할을 한다. 본 모형은 활동함수에서 자료의 폭과 넓이를 결정하는 함수로 가우시안 함수가 사용되었다. 또, 입력층과 은닉층 사이에는 무작위로 구할 수 있는 가중치 집단을 곱해주었다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 각각의 영향인자들이 노후화에 미치는 비중을 고려하기 위함이다.

합산층(summation layer)에는 1개의 합산신경이 들어가게 된다. 이 합산 신경은 패턴층으로부터 나온 학습된 자료를 단순히 합하는 역할을 하게되는 것이다. 출력층(output layer)에는 단순 분류기능을 가진 5개의 신경이 있다. 출력층에서 계급을 구분함에 있어 계급을 어떠한 퍼센트로 나눈 것이 아니라 입력 데이터가 들어가 학습되어진 자료를 각각의 값을 합산층에서 구한 단순함만을 가지고 나누었다.

이것을 class1, class2, class3, class4, class5라 정의 하였으며, class1은 조건 값 중에 1만을 담당하는 신경에 포함될 확률 값인 것이다. 이런 방식으로 구한 class1, class2, class3, class4, class5 중 가장 큰 값을 가지는 것을 택하며, 만약 class1이 가장 클 경우 그것에 1등급을 부여하였다. 이런 방법으로 1등급, 2등급, 3등급, 4등급, 5등급으로 구분하였다. 즉, 예를 들어 노후도 예측 결과에서 class1값이 0.25, class2값이 0.2, class3값이 0.35, class4값이 0.15, class5값이 0.05이면, 등급에 포함된 확률이 가장 높은 class3이 선택되며 최종으로 3등급으로 선정된다.

4. 모형의 적용 및 평가

4.1. 대상지역 선정(자료수집 및 분석)

연구 대상지역은 A시를 대상으로 자료를 수집분

석 하였으며, A시는 시·도별 상수도 보급률이 매우 높은 지역이다. 상수도 시설현황을 살펴보면, 2개의 수원지를 가지고 있으며, 6개 정수장에서 1일 2,946m³ 생산하고 있다. 수도관 현황에서 특히 낮은 산지 지역이 타 도시에 비해 많은 관계로 송·배수관의 매설 및 공사의 어려움이 있으며, 14개의 수도사업소 중 몇 개의 구는 매립지역을 포함하고 있어 상수관로의 관리에 많은 어려움이 있다.

수집자료는 수도사업소를 대상으로 총 85개의 시편을 채취하여 분석하였다. 자료의 구분은 Table 1과 동일하게 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 수질분석, 설문조사 자료의 5개 그룹으로 구분하여 수집 분석하였다. 매설환경 자료는 관로 매설시 주변 환경 및 관로대장에 기입된 자료로, 매설된 관로에 대해 굴착하지 않는 조건에서 수집할 수 있는 자료로 대부분 구성하였다. 육안분석 자료는 채취된 관체시편을 육안으로 관찰하여 노후된 관로의 내·외면 부식정도를 파악하기 위한 자료로서 실제 관의 노후도를 정확하게 확인할 수 있는 자료이며, 크게 내면부식과 외면부식으로 구분하였다.

토양분석 자료는 관의 노후도 영향인자 중 외면부식에 영향을 미치는 토양특성 자료로서 토양시료는 9개의 항목에 대하여 분석을 실시하였다. 관체분석 자료는 관 매설 후, 주변환경 등의 영향에 의해 관의 생산시 가지고 있던 물리적 화학적 성질이 어떻게 변화했는지를 비교하는 자료이며, 분석항목은 크게 물성시험과 화학조성시험으로 구분하여 KS규정의 각 시험항목을 분석하였다.

설문조사 자료는 관 갱생 및 교체사업 등의 개량사업의 실무자들로 구성된 각 수도사업소 근무자들을 대상으로 하여, 그들의 축적된 현장 지식 및 경험에 의한 노후도 영향인자의 중요성에 대해 조사하였으며, 항목은 크게 관체정보, 매설환경, 수리 및 수질로 3개 그룹에 각 그룹별 세부항목을 조사하였다.

4.2. 노후도 평가모델의 적용 및 결과 분석

4.2.1. 모형의 입력자료 구성

앞에서 산정한 노후도 인자 및 가중치 값을 이용하여 기본 모형에 필요한 영향인자 및 세부구분과

조건 값을 Table 5와 같이 정리하였다. 14개 항목에 대한 가중치 집단은 기존의 한국수자원공사(1995)에서 수행한 결과를 참고하였다. 또한 본 연구의 대상지역의 분석자료 및 수도관 개량사업의 전문가를 대상으로 설문조사 결과를 바탕으로 임의의 가중치 집단을 만들어 각 항목에 대한 가장 큰 값과 작은 값을 제약조건으로 하여 선형계획법을 이용하여 산정하였다. Table 5에서 W1의 가중치는 보고서 및 현장 자료를 고려하여 임의로 산정한 가중치 값이며, W2, W3는 각 인자별 가중치의 범위를 제약조건으로 하여, 육안총합 및 육안, 관체, 토양 값의 총합을 이용하여 각각 산정한 결과 값이다. 또한 14개, 9개, 항목별 가중치의 총합은 모형의 입력변수로 사용하기 위해 모두 총합이 "14", "9", 이 되도록 하였다. 다음은 14개 항목별 세부 구분 항목은 다음과 같다.

최대수압의 경우 배수관의 수압정도가 적절한 값을 파악하는 것으로 최소 3kg/cm²에서 최대 7kg/cm²의 범위 내로 산정하였다. 즉, 최소 3kg/cm² 이하의 수압을 가지는 배수관의 경우 가정의 수도전까지 적절한 양의 물을 수송할 수 없는 것으로 나타나고 있다. 또한, 수압이 7kg/cm² 이상이 되는 경우는 높은 수압으로 인한 관 파손의 위험을 가질 수 있다.

매설지역의 세부구분은 관이 매설된 주변의 토양 및 교통하중을 고려한 것으로 예를 들어 공장, 매립지역, 해안지대의 경우 매설된 지역의 토양의 오염 등에 의해 많은 부식이 발생할 수 있으므로 최악의 조건 값을 "1"의 값으로 하여 다른 세부항목을 구분하였다.

도로폭의 세부구분은 차량 하중에 의한 관의 파손정도의 여부를 구분하여 차선의 폭이 많을수록 파손의 증가율이 증가하므로 이를 기준으로 구분하였다. 관종은 국내에 배수관 개량 사업시에 사용하는 관종을 대상으로 부식 및 파손에 취약한 관종을 "1"의 값으로 하여 이를 기준으로 나누어 구분하여 나타내었다. 매설년수는 국내 개량사업에서는 배수관의 최대 잔존수명을 대략 25년에서 35년으로 적용하고 있으나 실제 현장에서는 25년 정도까지를 고려하여 이를 기준으로 나누어 구분하였다.

누수 및 파손 기록은 매설된 관의 주변 지역에서

Table 5. 항목개수별 가중치 조건

번호	영향인자	세 부 구 분	조건 값	14개 항목			9개 항목			
				W1	W2	W3	Rw1	Rw2	Lw1	Lw2
1	최대수압 (kg/cm ²)	1. 7 이상	1.00	1.100	0.995	0.996	-	-	-	-
		2. 6	0.75							
		3. 5	0.50							
		4. 4	0.25							
		5. 3 이하	0.00							
2	매설지역	1. 공장, 매립, 해안지대	1.00	1.100	0.995	0.996	0.785	0.914	0.703	0.802
		2. 도로번(지하철, 공사장)	0.75							
		3. 상가밀집지역(시장)	0.50							
		4. 아파트 단지	0.25							
		5. 주택가	0.00							
3	도로폭	1. 산업도로/고속도로	1.00	0.900	0.505	0.506	0.338	0.204	0.298	0.199
		2. 4차선 도로	0.75							
		3. 2차선 도로	0.50							
		4. 이면도로	0.25							
		5. 보도 및 노지	0.00							
4	관중	1. ST	1.00	1.800	1.499	1.500	1.902	1.914	1.999	1.999
		2. CI, CP	0.75							
		3. CIP, DT	0.50							
		4. PFP, EP	0.25							
		5. DTC, STC	0.00							
5	매설년	1. 21년 이상	1.00	1.000	0.995	0.996	0.811	0.805	0.802	0.802
		2. 16-20년	0.75							
		3. 10-15년	0.50							
		4. 5-9년	0.25							
		5. 4년 이하	0.00							
6	누수 및 파손기록	1. 4회/5년 이상	1.00	1.600	1.303	1.304	1.151	1.125	1.198	1.198
		2. 3회/5년	0.75							
		3. 2회/5년	0.50							
		4. 1회/5년	0.25							
		5. 무/5년	0.00							
7	토양 pH	1. 5 이하	1.00	0.500	0.505	0.506	-	-	-	-
		2. 5-7	0.50							
		3. 8 이상	0.00							
8	황화물 (mg/kg)	1. 황화물 500 이상, 염화물 250이상	1.00	0.500	0.505	1.934	-	-	-	-
		2. 황화물 200-500, 염화물 100-250	0.50							
		3. 황화물 200 이하, 염화물 100이하	0.00							
9	C값	1. 75 이하	1.00	1.400	1.093	1.094	-	-	-	-
		2. 89 이하	0.75							
		3. 97 이하	0.50							
		4. 108 이하	0.25							
		5. 120 이상	0.00							
10	기초공	1. 바닥 기초	1.00	0.800	0.603	0.604	1.313	1.653	1.702	1.702
		2. 모래 기초	0.50							
		3. Conc. 기초, Pile 기초	0.00							
11	뒤메움 토양	1. 점토	1.00	1.100	3.403	0.096	1.387	1.005	1.000	1.000
		2. silt/loam	0.50							
		3. 모래질(사질토)	0.00							
12	관경	1. 80mm 이하	1.00	0.800	0.603	1.570	0.086	0.784	0.901	0.901
		2. 81-100mm	0.75							
		3. 100-150mm	0.50							
		4. 151-250mm	0.25							
		5. 300mm 이상	0.00							
13	Valve, 분기, 연결관	1. 많음	1.00	0.700	0.603	0.604	-	-	-	-
		2. 보통	0.50							
		3. 없음	0.00							
14	관접합형식	1. 용접(납)	1.00	0.700	0.393	0.394	0.508	0.598	0.397	0.397
		2. 고무링	0.50							
		3. 메카닉, 타이튼 이음	0.00							

연간 발생하는 사고 기록 및 과거 조사기록을 바탕으로 구분하여 나타내었다. 토양의 pH 값과 황화물 값은 실제 관의 매설된 주변 토양의 관 외부 부식의 인자로 국내·외 문헌조사를 바탕으로 구분하여 나타내었다.

통수능을 보여 주는 C값은 관의 수질에 따른 내부 부식으로 인한 관의 통수능력을 보여 주는 값으로 Hazen-Williams 공식의 관중에 따른 C값의 기준을 바탕으로 이를 구분하여 나타내었다. 기초공은 매설된 관의 기초공사의 바다 기초 형태에 따라 구분하여 나타내었으며, 예를 들어 콘크리트 기초의 경우 기초가 안정적이고 지반 침하의 우려가 거의 없으므로 "0"의 값을 부여하였다.

퇴매음 토양은 매설된 관의 주변 토양에 따른 외부 부식의 항목으로 토양에 따라 함수비가 달라지며, 이에 따른 배수도 원활히 이루어지는 토양으로 구분하여 나타내었다. 밸브, 분기관, 연관의 많고 적음으로 배수관에서 분기되는 배수관 및 급수관의 수가 1개의 관에 많으면 많을수록 누수 및 파손 사고율이 증가하므로 이를 기준으로 구분하여 나타내었다. 마지막으로 접속형태는 관과 관사이의 접속 형태에 따라 구분하여 나타내었으며, 국내 개량사업에서 80년대 초 이전에는 대부분 납을 이용한 용접으로 관을 접합하였으나 이 방법은 관의 매설 주변환경의 변화에 따른 거동에 의해 누수 및 파손 사고율이 증가하므로 이를 "1"의 값으로 기준으로 하여 나머지 세부항목을 구분하였다. 앞에 설명한 영향인자에 따른 구분은 지방자치단체의 배수관망에 적합하도록 자료를 분석하여 분류하였다.

본 연구에서는 적용하려는 모델이 확률론적 신경망을 이용하므로 조건 값으로 사용하는 입력자료를 노후도에 영향을 미치는 인자의 상태 조건을 구분하기 위하여 1.0, 0.75, 0.5, 0.25, 0.0의 5개 조건 값을 사용하였다. 즉, 노후도의 영향이 가장 큰 값을 1.0으로 하며, 가장 적은 영향을 미치는 값을 0.0으로 하여 분류하였다.

4.2.2. 결과 및 검증

대상지역인 A시의 85개 관로를 대상으로 현장에서 굴착 및 실험을 통해 산정한 14개 항목과 굴착 및 실험을 필요로 하지 않는 9개 항목에 대하여 각

각에 대해서 4.2.1절에 산정한 항목별 가중치 값을 이용하고 노후도 평가모델에 적용하여 Table 6에 조건별 노후도 1-5등급의 결과를 산정하였다. 또한, 구축된 모델의 결과를 검증하기 위하여 본 연구에서는 육안·토양·관체의 실험분석 결과의 총합을 이용하여 각 항목별 점수를 합산하여 이를 5개 등급으로 분류하여 모델 결과와 비교하였다.

다음 Fig. 2는 각 관별 총합의 분포 및 이들 점수의 분포를 5개 등급으로 구분하여 보여 주고 있다. 즉, 관의 노후도 정도가 심할수록 점수는 높게 나타나며, Fig. 3에서 46-50점인 경우 1등급으로 관의 노후도 정도가 가장 심한 관들을 뜻하게 된다.

예를 들어 육안분석 결과는 실제 매설된 관을 현장에서 수집할 때 관의 내·외부를 앞에서 설명한 Table 1의 육안 분석항목인 부식형태, 녹의 축적면적, 최대부식 녹의 크기, 통수단면의 감소율, 녹의 발생정도, 녹의 축적비율, 점토부착 비율을 바탕으로 각각의 항목별로 점수를 부여하여 이를 총합으로 산정하였다. 또한, 토양, 관체 분석의 결과도 이와 같은 방법으로 총합을 산정하여 육안, 토양, 관체분석 결과에 대한 각각의 총합을 구하여 이를 본 모형의 등급과 같이 1-5등급으로 구분하여 실제 모형 결과와 비교하여 모형의 신뢰도를 검증하였다.

노후도 9개 및 14개 항목의 가중치 조건에 따른 결과를 검증하기 위해 Fig. 3에서 설명한 육안·토양·관체 총합의 등급의 노후도 등급과 비교하였다. 즉, 앞 Fig. 3은 실제 다양한 노후도 인자를 대상으로 총체인 노후도 나타내는 것으로 이를 5개 등급으로 분류한 결과와 실제 모델의 수행 결과와 비교하는 것이다. 다음 Fig. 4는 9개 및 14개 항목의 회귀식에 의한 가중치 $Rw1$, $Rw2$ 와 선형계획법에 의한 가중치 $Lw1$, $Lw2$ 에 대한 확률론적 신경망 모델 결과의 등급과 육안·토양·관체 총합의 등급의 일치정도를 보여주고 있다.

결과를 살펴보면 9개 항목의 경우 등급이 완전히 일치하는 정도는 최고 78.9%이며, 등급의 차가 1 미만인 것은 최고 40.0%로 나타났으며, 14개 항목의 경우 등급이 완전히 일치하는 정도는 최고 80%이며, 등급의 차가 1 미만인 것은 최고 38.82%로 나타났다.

Table 6. 14개, 9개 항목별 노후도 등급 결과 및 육안·관체·투양 총합의 등급

번호	1 4개 항목			9개 항목				육안 관체 투양 총합	번호	14개 항목			9개 항목				육안 관체 투양 총합
	W1	W2	W3	Rw1	Rw2	Lw1	Lw2			W1	W2	W3	Rw1	Rw2	Lw1	Lw2	
1	3	3	3	3	3	3	3	3	43	3	3	3	3	3	3	3	4
2	3	3	3	3	3	3	3	3	44	3	3	3	3	3	3	3	1
3	2	2	2	2	2	2	2	2	45	3	3	3	3	3	3	3	2
4	3	3	3	3	3	3	3	3	46	2	3	3	2	2	2	2	2
5	3	3	3	2	2	2	2	1	47	4	4	4	4	4	4	4	5
6	2	3	3	2	2	2	2	4	48	3	3	3	3	3	3	3	2
7	2	3	3	2	2	2	2	2	49	4	4	4	3	3	3	3	3
8	2	3	3	3	3	3	3	1	50	3	3	3	3	3	3	2	3
9	3	3	3	3	3	3	3	5	51	3	3	3	3	3	3	3	4
10	3	3	3	3	3	3	3	1	52	4	4	4	4	4	4	4	5
11	3	3	3	3	3	3	3	1	53	3	3	3	3	3	3	3	2
12	3	2	2	3	3	3	3	2	54	4	4	4	3	3	3	3	2
13	3	4	4	4	3	3	3	3	55	3	3	3	4	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3	3	3	3	56	4	4	4	4	3	3	3	3
15	3	3	3	3	3	3	3	2	57	3	3	3	4	3	3	3	2
16	3	3	3	3	3	3	3	4	58	4	4	4	4	4	4	4	3
17	3	3	3		3	3	3	3	59	4	4	4	4	4	4	4	3
18	3	3	3	3	3	3	3	3	60	4	4	4	4	4	4	4	3
19	3	3	3	3	3	3	3	3	61	3	3	3	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3	3	3	3	62	3	4	4	4	4	3	3	1
21	3	3	3	3	3	3	3	3	63	3	3	3	4	4	3	3	1
22	4	4	4	4	4	4	4	4	64	4	4	4	4	4	4	4	4
23	3	3	3	3	3	3	3	2	65	4	4	4	4	4	4	4	4
24	4	4	4	4	4	4	4	5	66	4	4	4	4	4	4	4	4
25	3	4	4	3	3	3	3	4	67	3	3	3	3	3	3	3	3
26	3	3	3	3	3	3	3	3	68	3	3	3	3	3	3	3	2
27	3	3	3	3	3	3	3	2	69	3	3	3	4	4	4	4	3
28	3	4	4	4	4	4	4	3	70	3	3	3	3	3	3	3	3
29	3	3	3	3	3	3	3	4	71	4	4	4	4	4	4	4	2
30	3	3	3	3	3	3	3	5	72	3	3	3	4	4	4	4	2
31	3	3	3	3	3	3	3	5	73	4	4	4	4	4	4	4	4
32	4	4	4	4	4	4	4	5	74	4	4	4	4	4	4	4	3
33	4	4	4	4	4	4	4	2	75	4	4	4	4	4	4	4	4
34	4	3	3	4	4	4	4	1	76	3	3	3	3	3	3	3	4
35	3	3	3	4	3	3	3	3	77	4	4	4	4	4	4	4	5
36	3	3	3	4	4	4	4	4	78	4	4	4	4	4	4	4	4
37	3	3	3	4	4	4	4	2	79	4	4	4	4	4	4	4	3
38	4	4	4	4	4	4	4	3	80	4	4	4	4	4	4	4	4
39	4	4	4	4	4	4	4	5	81	3	3	3	3	3	3	3	3
40	4	4	4	4	4	4	4	2	82	3	3	3	3	3	3	3	2
41	4	4	4	4	4	4	4	2	83	4	4	4	4	4	4	4	2
42	3	3	3	2	3	3	3	2	84	4	4	4	4	4	4	4	4
									85	4	4	4	4	4	4	4	4

따라서, 본 결과에서 보듯이 실제 노후도를 예측하기 위해 굴착 및 실험분석이 필요한 자료와 그렇지 않은 자료를 이용한 결과를 비교하면 굴착 및 실험분석이 필요로 하지 않는 9개 항목의 결과와

지 않은 자료를 이용한 결과를 비교하면 굴착 및 실험분석이 필요로 하지 않는 9개 항목의 결과와

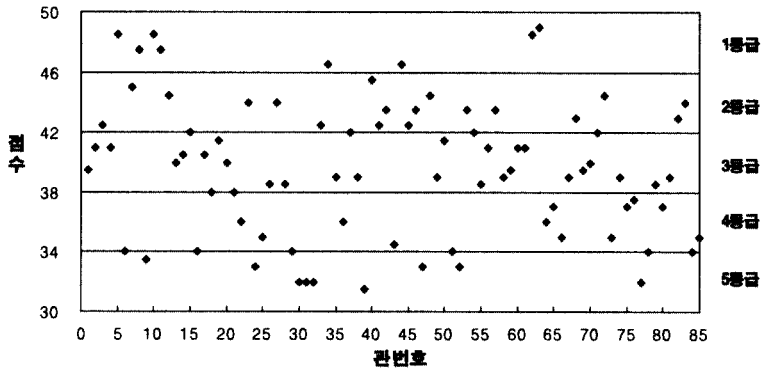


Fig. 3. 간별 육안·토양·관체 총합의 등급.

(a) 9개 항목의 가중치 조건별 등급평가

(b) 14개 항목의 가중치 조건별 등급평가

Fig. 4. 노후도 9개 및 14개 항목의 가중치별 등급평가 비교.

14개 항목의 결과가 등급이 완전히 일치하는 정도가 1-2%인 것으로 나타났다.

즉, 전체 85개 관로에서 9개 항목에 대해 모델의 신뢰성이 78.9%까지 얻을 수 있었다. 따라서 노후도 평가모델의 적용에 따른 결과 및 검증에서 국내 현실의 개량 사업 적용시에 매설된 관의 노후도 정도를 실험 및 분석을 하지 않은 자료인 관망도 및 매설주변 지역 등의 자료만으로도 매설된 관의 노후도를 평가할 수 있으리라 생각된다.

5. 결론

본 연구는 현재 각 지방자치단체에서 수행하는 수도관개량사업에서 교체 결정의 판단기준이 되는 노후도의 주요 영향 인자 및 가중치를 산정하기 위한 효율적인 방법을 도출하고자 하였다. 또한 산정된 결과를 바탕으로 기존의 노후도 평가모델에 적용하여 본 연구의 결과를 검증하여 다음과 같은 결

론을 얻을 수 있었다.

(1) 노후도 영향인자 결과에서 기존의 굴착 및 실험분석이 필요한 14개 항목과 그렇지 않은 9개 항목으로 구분하여 산정하였다. 특히, 9개 항목의 경우 14개 항목과 비교해서 내·외부 부식에 관련된 인자가 없기 때문에 이를 대신하기 위해 채취한 자료의 실험분석 결과와 기존 문헌을 바탕으로 내·외부 부식 인자는 관경, 매설년도, 관종으로 산정하였으며, 외부부식 인자는 되메움 토양, 관 기초공사 인자를 산정하였다. 또한 본 연구에서 산정한 9개 항목은 보다 실무적인 관점을 고려하여 상수도 사업소에서 현장의 주변환경과, 관망도를 참고하면, 쉽게 항목에 대한 자료를 수집할 수 있도록 산정하였다.

(2) 중회귀식모델을 이용한 9개 항목별 가중치 결과에서는 종속변수의 관계없이 관종, 되메움토양, 기초공사 누수 및 파손 등의 순서로 가장 큰 영향을 미치는 인자로 나타났다. 특히 관종의 가중

치 값은 0.222로서 다른 인자와 비교해 월등히 높은 가중치 값을 나타내었다. 이는 수도사업소 근무자를 대상으로한 설문조사 결과와도 같은 결과를 보여 주었다. 또한, 종속변수에 따른 가중치 변화 폭은 0.001-0.05이며 이중, 관접합형식의 변화폭이 가장 큰 0.05로 나타났다.

(3) 선형계획법을 이용한 노후도 9개 항목별 가중치 결과에는 매설지역과 도록폭 인자를 제외하고 나머지 인자는 같은 값의 결과를 나타내었다. 또한, 중회귀식모델과 같이 관중이 가장 큰 영향을 미치는 인자로 나타났다. 특히, 종속변수에 따른 결과 값이 매설지역, 도로폭을 제외한 나머지 7개는 모두 같은 결과를 보여주었다. 이는 중회귀식모델의 가중치 1과 2의 결과를 제약조건식으로 만들어 선형계획법을 실행하였기 때문으로 판단된다. 또한, 선형계획법을 이용한 가중치 산정 방법은 일반적으로 알고 있는 노후도 인자의 대략적인 가중치 범위 정도만을 알고 있을 경우, 이를 제약조건식으로 이용하여 실무에서 노후도 인자의 가중치를 산정 할 수 있는 방법으로 적용이 가능하다고 판단된다.

(4) 노후도 평가모델의 적용결과와 모델의 결과를 검증하기 위한 육안·토양·관체의 실험분석 결과의 등급 비교에서 14개 항목의 경우 가중치 조건에 따라 조금씩의 차이를 보였으나 등급의 차이가 1 미만 경우 80%까지 일치하는 것을 보여주었다. 9개 항목의 경우도 가중치 조건에 따라 일치정도는 거의 차이가 없음 알 수 있었으며, 등급의 차이가 1 미만인 경우 78.9%까지 일치하는 것을 보여 주었다. 또한 실제 본 연구에서 제시한 모델을 이용하여 노후도를 평가할 경우 실제 굴착 및 실험분석이 필요한 14개 항목의 자료와 그렇지 않은 9개 자료를 이용한 경우 모델의 결과에는 큰 차이가 없을 수 있었다.

따라서 본 연구는 기존에 노후도 평가를 위해 중요한 영향인자인 노후도 항목별 가중치 산정을 보다 체계적이며, 정략적으로 제시하여 추후 상수관로에 노후도 평가 및 모델 개발이 필요할 때 많은 도움이 되리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

참고문헌

- 손광익 (1998) “국내 도 송수 강관의 마찰손실계수 산정에 관한 연구”, *한국수도협회지*, 23(1).
- 안윤주, 이현동 (1996) “국내 중·소도시 수도관의 파손특성에 관한 고찰”, *대한상하수도학회지*, 10(1), pp. 96-111.
- 이현동 (1999) “상수도시스템의 부식측정 및 평가방법 표준화 연구” 한국건설기술연구원, 책임연구과제 보고서.
- 이창용 (2000) “확률적 신경망을 이용한 상수도 노후관 추정에 관한 연구”, *대한토목학회 논문집*, 20(2-B), pp. 197-210.
- 정해룡, 서규태, 이택순, 김운지, 이현동, 정원식 (1997) “상수도관 부식에 미치는 수질인자의 복합적 상호작용”, *대한환경공학회 추계학술발표회*, pp. 271-274.
- 한국수자원공사 (1995) “수도관 개량을 위한 의사결정 시스템 개발”, 한국수자원공사.
- 황규대 (1996) “수도관의 부식과 방식대책”, 경희대학교 환경연구소.
- 林一平, 安藤伸雄, 田中義昭 (1990) “配水管事故要因の階層化”, *水道協會雜誌*, 59(4).
- 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*, 108, pp. 243-257.
- D. Kelly, O'Day (1982) “Organizing and Analyzing Leak and Break Data for Making Main Replacement Decisions”, *Journal of AWWA*, 74(11), pp. 589-597.
- Louisville Water Company (1992) “Main Replacement and Rehabilitation Program Study”, CHM Hill in Association with Quset Engineers, Inc..
- O'Day, D. Kelly (1986) “Guidance Manual: Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement.” *AWWA Research Foundation*, No.CR810988. pp. 55-86.
- Rechard A. Wess, et al. (1985) “Philadelphia Water Supply Infrastructure Study”.