

상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 개발 (II)

- 적용 및 분석 -

Development of Optimal Rehabilitation Model for Water Distribution System Based on Prediction of Pipe Deterioration (II)

- Application and Analysis -

김 응 석* / 박 무 종** / 김 중 훈***

Kim, Eung Seok / Park, Moo Jong / Kim, Joong Hoon

Abstract

This study(II) apply to the A city by using the optimal rehabilitation model based on the deterioration prediction of the water distribution system proposed the study(I). The deterioration prediction model divides factors into 14 factors with digging and experiment and 9 factor without digging and experiment and calculate the deterioration degree. The application results of the deterioration prediction model show that a difference of the deterioration degree according to factor numbers is within 1~2%. Also, the model can predict the deterioration degree of each pipe without digging and experiment. The optimal rehabilitation model is divided into the optimal residual durability of each deterioration factor and budget constraint or not. The application result is as follow: the rehabilitation time and cost increase according to the increasing of the optimal residual durability. When compared the model with budget constraint and model without budget constraint, the former model increase the cost of total contents. In case of budget constraint, the increasing tendency is concluded that the pipe rehabilitation is executed in same budget every year in condition that every rehabilitation cost do not exceed the every year budget within the optimal residual durability.

Keywords : deterioration prediction, budget constraint, rehabilitation

* 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 선임연구원
Senior Researcher, Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea University,
Seoul 136-701
(E-mail : hydrokes@empal.com)

** 한서대학교 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University, Choongnam, 356-820
(E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr)

*** 고려대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University, Seoul 136-701
(E-mail : jaykim@korea.ac.kr)

요 지

본 연구(II)는 연구(I)에서 제안한 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형을 A시를 대상으로 이를 적용하였다. 노후도 예측 모형은 굴착 및 실험이 필요한 14개 항목과 굴착 및 실험이 필요하지 않은 9개 항목을 구분하여 각각 관의 노후도 등급을 산정하였다. 노후도 예측 모형 적용 결과 항목개수에 따른 등급의 차는 1~2% 이내로 굴착 및 실험을 하지 않고도 노후도 예측이 가능한 것으로 나타났다. 최적 개량 모형은 노후도 항목별 최대 잔존수명과 제약조건 유무로 구분하여 적용하였다. 적용결과 항목별 최대 잔존수명의 증가에 따라 개량 시기 및 비용이 증가하였다. 또한 예산제약을 제외한 모형과 비교해서 예산제약을 고려한 모형이 모든 항목에서 비용이 증가되었다. 이는 예산제약을 고려할 경우 실제 주어진 최대 잔존수명 기간이내 매년 발생하는 예산의 최대 금액을 넘지 않은 대신에 매년 비슷한 비용으로 개량을 실시하기 때문인 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 노후도 예측, 예산 제약, 개량

1. 서 론

국내의 상수도 사업은 대부분 1960년대 이후 시행되었다. 그러나 1990년대 이후 상수관로의 누수 및 부식 등의 2차 오염에 의한 음용수 수질 문제가 제기 되었다. 또한, 현재 시점에서는 새로운 상수관로의 매설 및 시공보다 기존의 상수관로에 대한 유지 및 관리적 측면에 많은 문제점이 제기되고 있다. 연구(I)에서는 상수관로의 효율적 유지 및 관리를 위해 매설된 관로의 노후도를 예측하고 이에 따른 최적의 개량(유지 및 보수, 갱생, 교체)을 실시 할 수 있는 모형을 제안하였다. 따라서 연구(II)에서는 적용대상 지역을 선정하고 모형에 필요한 자료를 수집 및 분석하여 대상지역에 이를 이용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

상수관로의 노후도 영향 인자 및 특성, 분석 방법에 관한 기존 연구는 다음과 같다. 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. D. Kelly 등(1982)은 미국 환경청과 미국수도협회연구기금(AWWARF)의 공동연구에서 관로파손의 구조적 원인으로 원주방향의 힘, 길이방향의 힘, 접합부에서 납(Pb)접합부 팽창 등의 구조적 문제를 분석하였다. Rechard 등(1985)은 필라델피아시 수도관의 노후도와 관련된 연구에서 크게 외부하중, 내부하중, 기초공사, 외부부식, 내부부식, 전식 그리고 관의 특성 등의 인자를 언급하였다. 이와 같이 상수관로의 노후도

에 영향을 미치는 연구는 대부분 주변환경 또는 내·외부 부식 인자를 기준으로 대부분 연구되었으며, 인자별 가중치 산정은 정량적 방법이 아닌 정성적인 방법을 통해 산정되었다.

안윤주 등(1996)이 국내 중소도시 수도관의 파손특성에 관한 연구에서 각 도시별 관종, 관경, 매설년수에 대한 파손 특성에 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. 황규대 등(1996)은 수도관 부식과 방식대책 연구에서 국내수도관 사용현황, 국내 수도관 특성, 수도관 부식에 대한 원인 및 평가방법, 급배수관 방식대책의 경제성 등 포괄적 연구를 수행하였다. 정해룡 등(1998)은 수질인자가 부식의 촉진과 억제에 미치는 영향에 대한 연구에서 원수 수질이 악화됨에 따라 정수과정 중 투입되는 약품량의 증가에 따라 일어나는 수질변화로 인한 관의 부식을 촉진시키는 수질인자에 대해 연구하였다. 광필재 등(2000)은 상수도 관로 내 부식성 수질평가방법 개선을 위한 연구에서 국내 실정에 적합한 정수의 부식성 수질을 평가하는 방법을 제시하였다.

김용석 등(2002)은 국내 지방자치단체에서 실시하는 노후관로 개량사업시 매설관의 노후도를 판단할 수 있는 체계화된 조사 방법을 제시하였다. 즉, 노후관의 진단에 있어 보다 더 객관적인 방법으로 매설환경, 육안 분석, 토양분석, 관체분석 그리고 설문조사 자료를 이용하여 자료별 분석내용 및 방법을 제시하였다. 또한, 이러한 조사 방법을 바탕으로 관로의 노후 및 파손과 관련된 여러 복합적인 인자들을 분석하여, 관로의 노후

도에 영향을 미치는 인자를 회귀식과 선형회귀법을 이용하여 인자별 가중치를 제시하였다. 환경부(2001)는 유수율 제고를 높이기 위해 국내 상수관로의 관망도 작성, 전산화 도입 실태 현황조사, 배수관망의 블록설정방법, 노후 수도관의 효율적 추진방안 및 효과분석 등을 연구하였다. 특히, 전국의 54개 지방자치단체의 수도사업소를 대상으로 조사한 결과 대부분의 도시에서 수도관 매설 후 10년에서 30년 사이의 범위에서 노후 수도관을 정의하였다. 또한 매설기간 20년 이상을 노후관으로 정의하고 있는 비율은 광역시는 100%, 시단위는 60%, 군단위는 45%로 나타났다. 정원식(2001)은 특정 광역시를 대상으로 관경 300mm 이하인 배수관망을 대상으로 노후도 영향인자인 내·외부 부식, 관 파손 특성을 분석하고, 노후도 평가를 위한 수정통계 점수평가법을 개발하여 노후도를 평가하였다. 환경부(2002)는 관망의 진단 및 개량 부식방지 기술개발 연구에서 관망의 수리해석과 부식평가 뿐만 아니라 노후도 예측모델 개발을 통한 전체관망을 GIS와 전문가시스템을 결합하여 총괄적으로 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 연구(II)에서는 연구(I)에서 제안한 상수관로의 노후도 예측 모형 및 최적 개량 모형을 실제 대상 지역의 자료를 수집하여 각각의 모형을 적용하였다. 기존의 연구결과를 분석한 결과 상수관로의 노후도에 관한 연구는 방대한 자료의 수집 및 분석이 요구된다. 따라서 노후도 예측 모형에 필요한 자료는 김용석 등(2002)이 제안한 노후도 조사방법 및 가중치 산정방법에 적용된 자료를 수집 및 분석하여 노후도 예측 모형에 필요한 노후도 인자 및 가중치 산정하여 구축하였다. 또한 최적 개량 모형에 필요한 관망의 파손을 함수, 유지보수, 갱생, 교체 비용함수는 정원식(2001)이 산정한 비용함수를 사용하여 모형을 구축하였다. 또한, 본 연구(II)에서는 기존의 Shamir 등(1979)이 제시한 파손을 함수를 모형에 적용하기 위해 수정하여 적용하였다.

2. 대상지역 선정 및 모형의 입력자료 구축

2.1 대상지역 현황 및 노후도 인자 분류

연구 대상지역은 A시를 대상으로 자료를 수집 및 분석하였으며 표 1은 노후도 인자를 정리한 결과이다.

A시의 상수도 시설현황은 살펴보면, 2개의 수원지를 포함하고 있으며, 6개 정수장에서 1일 2,946m³을 생산하고 있다. 또한, 수도관 현황에서 특히 낮은 산지 지역이 타 도시에 비해 많은 관제로 송·배수관 매설 및 공

사의 어려움이 있으며, 14개의 수도사업소 중 몇 개의 구는 매립지역을 포함하고 있어 상수관로의 관리에 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 연구대상지역에서 채취한 배수관을 중심으로 노후도 인자 산정을 위해 수집 항목은 각각 매설환경, 육안분석, 토양분석, 관체분석, 설문조사 자료를 바탕으로 구분하였다.

2.2 노후도 영향 인자 및 가중치 산정

노후도 예측 모형에 필요한 상수관로의 노후도 영향 인자 및 가중치 산정을 위해 본 연구에서는 연구대상지역에서 채취한 85개의 배수관을 중심으로 노후도 인자 및 인자별 가중치 산정하였다. 다음 표 2는 노후도 예측 모형의 노후도 인자 및 인자별 가중치를 정리한 것이다. 노후도 인자 산정 기준은 매설된 관을 굴착하지 않는 상황에서 노후도를 평가하기 위해 실험 및 분석이 필요 없이 쉽게 수집 가능한 자료를 중심으로 인자를 선정하였다. 이는 특정 노후도 평가모형을 이용하여 노후도를 평가할 때 굴착 및 실험분석을 필요로 하는 자료의 경우 국내 여건상 시간 및 경제적 제한이 있기 때문이다.

2.2.1 9개 항목

노후도 항목 산정은 굴착 및 실험분석이 필요하지 않은 자료를 대상으로 구성되었다.

매설지역의 세부구분은 관이 매설된 주변의 토양 및 교통하중을 고려한 것으로 예를 들어 공장, 매립지역, 해안지대의 경우 매설된 지역의 토양 오염에 의해 많은 부식이 발생할 수 있으므로 조건 값을 "1"로 하여 다른 세부항목과 구분하였다. 도로폭의 세부구분은 차량 하중에 의한 관의 파손정도 여부를 고려하여 차선의 폭이 많을수록 파손율이 증가하므로 이를 기준으로 구분하였다. 관종은 국내에 배수관 개량 사업시에 사용하는 관종을 대상으로 부식 및 파손에 취약한 관종을 "1"의 값으로 하여 이를 기준으로 나누어 구분하였다. 매설년수는 국내 개량사업에서는 배수관의 최대 잔존수명을 대략 25년에서 35년으로 적용하고 있으나 실제 현장에서는 25년 정도까지를 고려하여 이를 기준으로 구분하였다. 누수 및 파손 기록은 매설된 관의 주변 지역에서 연간 발생하는 사고 기록 및 과거 조사기록을 바탕으로 구분하였다.

기초공은 매설된 관의 바닥 기초 형태에 따라 구분하였다. 예를 들어 콘크리트 기초의 경우 기초가 안정적이고 지반 침하의 우려가 거의 없으므로 "0"의 값을 부여하였다. 퇴매움 토양은 매설된 관의 주변 토양에

표 1. 노후도 인자 분류

구 분	매설환경	육안분석	토양분석	관체분석	실문조사
• 하 중	① 최대수압 ② 매설지역 ③ 도로폭	-	-	-	① 교통량 ② 매설지역 ③ 수압변동 ④ 유량변동
• 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
• 부 식	-	<ul style="list-style-type: none"> • 내면부식 ① 부식형태 ② 부식생성물의 축적비율 ③ 최대 부식생성물의 크기 ④ 통수단면 감소율 • 외면부식 ⑤ 녹 발생 정도 ⑥ 부식생성물의 축적 비율 ⑦ 점도부착비율 	① 함수량 ② 토양 pH ③ 알카리도 ④ 엽소이온 ⑤ 황산이온 ⑥ 산도 ⑦ 산화환원전위 ⑧ 입도분석	-	⑧ 방식도장 유무 ⑨ 갱생공법 유무 ⑩ 통수능 (C값)
• 공 사 숙련도	⑧ 관 기초공사 ⑨ 퇴매움 토양 ⑩ 관경	-	-	-	⑪ 관 기초공사 ⑫ 퇴매움 토양 ⑬ 매설심도
• 수 질	-	-	-	-	⑭ 관내 수질
• 관 로	⑪ 관 집합 형식	-	-	-	⑮ 관 집합 형식
합 계	11개	7개	8개	9개	15개

따른 외부 부식 항목으로 토양에 따라 함수비를 고려하여 부여하였다. 이에 따른 배수도 원활히 이루어지는 토양으로 구분하여 나타내었다. 관경은 배수관을 중심으로 본 연구에서 수집한 자료를 바탕으로 80~300mm 이상으로 구분하여 관경이 작을수록 안정성이 더 취약한 것으로 분석되어 이를 기준으로 5개 등급으로 구분하였다. 마지막으로 접속형태의 경우 국내 개량사업에서 1980년대 초 이전에는 대부분 납을 이용한 용접으로 관을 집합하였으나 이 방법은 관 매설 주변환경의 변화에 따라 누수 및 파손사고율이 증가함으로 이를 "1"의 값으로 기준으로 하여 나머지 세부항목을 구분하였다. 노후도 인자 가중치의 산정은 각각의 노후도 인자들이 어느 정도 영향을 미치는 가를 산정하는 것으로

본 연구에서는 회귀식(Rw1, Rw2)과 선형계획법(Lw1, Lw2)을 각각 이용하여 노후도 인자 9개 항목에 대해 가중치 값을 산정하였다.

2.2.2 14개 항목

14개 항목은 2.2.1절의 9개 항목과 최대수압, 토양 pH, 황화물, C값(통수능), 밸브·분기관·연결관 등의 굴착 및 실험 분석이 필요한 자료 5항목이 추가된다.

최대수압의 경우 배수관의 수압정도가 적절한 가를 파악하는 것으로 최소 3kg/cm²에서 최대 7kg/cm²의 범위로 선정하였다. 즉, 최소 수압이 3kg/cm² 이하는 배수관의 경우 가정의 수도전까지 적절한 양의 물을 수송할 수 없다. 또한, 수압이 7kg/cm² 이상인 경우는 높은 수압으로 인해 관 파손이 발생 할 수 있다. 토양

표 2. 노후도 인자 및 인자별 가중치

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

표 3. 노후도 등급 및 관경에 따른 잔존수명

관 경	80~100 mm			150 mm			200 mm			250 mm			300 mm				
	잔 수	존 명	25년	30년	35년	25년	30년	35년	25년	30년	35년	25년	30년	35년	25년	30년	35년
1등급	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6	5	6	7		
2등급	6	8	10	7	9	11	8	10	12	9	11	13	10	12	14		
3등급	11	14	17	12	15	18	13	16	19	14	17	20	15	18	21		
4등급	16	20	24	17	21	25	18	22	26	19	23	27	20	24	28		
5등급	21	26	31	22	27	32	23	28	33	24	29	34	25	30	35		

표 4. 갱생에 따른 잔존수명 증가년도

관경(mm)	80~100	150	200	250	300
잔존수명					
25년	6	7	7	8	8
30년	8	9	9	10	10
35년	10	11	11	12	12

표 5. 비용합수

구 분	초기파손율 $N(t_0)$ (%)	증가비율 상수 A	할인율 R (%)	유지보수비용 (C_m) (원)	갱생비용(C) (원)	교체비용(C_r) (원)
합수값	0.18	0.1	8	168.62D+204,586	223.18D+112847	510.98D+245,406

의 pH 값과 황화물 값은 실제 관이 매설된 주변 토양의 부식 인자로 국내·외 문헌조사를 이용하여 구분하였다. 내부 부식으로 인한 관의 통수능력을 보여 주는 C 값은 Hazen-Williams 공식의 관경에 따른 C값을 기준으로 구분하였다. 밸브·분기관·연결관의 개수가 1개의 관에 많으면 많을수록 누수 및 파손 사고율이 증가하므로 이를 기준으로 구분하여 나타내었다. 마지막으로 접속형태는 관과 관사이의 접속형태에 따라 구분하였다. 국내 개량사업에서 80년대 초 이전에는 대부분 납을 이용한 용접으로 관을 접합하였으나 이 방법은 관의 매설 주변환경의 변화에 따른 거동에 의해 누수 및 파손사고율이 증가하므로 이를 “1”의 값으로 기준으로 하여 나머지 세부항목을 구분하였다. 앞에 설명한 영향 인자에 따른 구분은 지방자치단체의 배수관망에 적합하도록 자료를 분석하여 분류하였다. 또한, 14개 항목에 대한 가중치 집단은 기존의 한국수자원공사(1995)에서 수행한 결과를 참고하였다. 즉, 본 연구의 대상지역의 분석자료 및 수도관 개량사업의 전문가를 대상으로 실

시한 설문조사 결과를 바탕으로 임의의 가중치 집단을 만들어 각 항목에 대해 가장 큰 값과 작은 값을 제약조건으로 하여 선형계획법을 적용하였다. 표 1에서 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.

앞에서 설명한 영향인자에 따른 구분은 실제 지방자치단체의 배수관망에 적합하도록 자료를 분류하였다. 본 연구에서는 적용하려는 모형이 확률론적 신경망을 이용하므로 조건 값으로 사용하는 입력자료를 노후도에 영향을 미치는 인자의 상태 조건에 따라 각각 1.0, 0.75, 0.5, 0.25, 0.0 등 5개 조건값으로 적용하였다. 즉, 노후도의 영향이 가장 큰 값을 1.0으로 하며, 가장 적은 영향을 미치는 값을 0.0으로 하여 구분하였다.

2.3 잔존수명 및 비용합수 산정

최적 개량 모형은 노후도 예측모형 결과인 각 관로

의 노후도 등급 결과를 바탕으로 등급에 따른 잔존수명을 산정하고 이를 토대로 파손율 함수, 유지보수비용, 갱생, 교체비용함수를 이용하여 최적개량 계획을 수립할 수 있도록 구성하였다. 환경부(2001)의 연구에서는 보듯이 국내 상수도 개량사업시 배수관의 경우 현실적으로 최대 내구연한을 대략 25년에서 35년 정도로 추정하였다. 본 연구에서는 이를 이용하여 노후도 예측 결과에서 관의 노후도 등급이 1등급에서 5등급으로 구분되어지면 이 중 가장 건전한 5등급 관의 최대 잔존수명을 각각 25년, 30년, 35년으로 각각 구분하여 등급별 환경에 따른 잔존수명을 산정하였다. 표 3은 등급별 환경에 따른 내구연한 25년, 30년, 35년 기준의 잔존수명을 가정한 것이다.

또한, 본 연구에서는 노후도 등급에 따른 잔존수명은 경우 대구경 관로보다 소구경 관로의 파손율이 크고, 모든 관로에 통수되는 수질은 같다고 가정하였다. 수질에 따른 관 내부부식은 관의 통수단면적을 감소시키며, 단면적 감소율은 소구경이 대구경 관에 비해 빠르게 진행된다는 김응석 등(2002)의 연구 결과를 바탕으로 가정하였다.

또한, 초기 매설 후 갱생에 따른 관의 잔존수명 증가년도는 표 4에 나타내었다. 예를 들어 잔존수명 25년에 대해 150mm관을 갱생하면 노후도 예측 결과인 등급에 따라 잔존수명은 7년이 증가되는 것을 의미한다. 갱생에 관한 잔존수명의 증가년도는 본 연구의 자료 수집 결과 및 기존 국내 상수도사업소에서 실무자들의 의견을 반영한 것이다.

개량모형에 필요한 비용함수는 정원식 (2001)이 제시한 300mm 이하의 배수관(CIP, DCIP)을 위주로 한 자료를 바탕으로 한 파손율, 유지보수비용, 갱생비용, 교체비용함수를 이용하였다. 표 5는 각종 비용함수를 나타내며 모두 환경에 따른 함수로 이루어 졌다.

3. 기존 모형의 적용 및 검토

3.1 Shamir 모형

경제성 분석을 통하여 관의 교체 및 갱생 시기를 산정하는 Shamir 등(1979)의 모형은 '80년대 이후 지금까지 많은 연구자들의 관 개량모형의 기초가 되어왔다. 따라서 본 연구에서 제시한 최적개량 모형과 Shamir 등(1979)이 제시한 모형을 비교하기 위해 동일한 자료를 적용하여 그 결과를 분석하였다.

Shamir 등(1979)은 관 파열의 주된 원인이 관 자

체의 재질과 사용년수, 관 주변의 부식성 토양, 동결, 외부하중, 관 매설 작업원의 숙련도(workmanship), 관 내부의 수압, 수격현상 등의 조건에 기인한다고 발표하였다. 관의 최적 교체시기의 산정을 위해 경제성분석을 실시하였으며, 이를 위하여 시간에 따른 관의 파열률 함수를 유도하였고, 하나의 파열에 대한 보수비용, 기존 관의 교체비용, 할인율(discount rate) 자료를 이용하였다. 파열률 함수의 회귀분석식은 지수함수의 형태이며 보수비용을 곱하고 현재로 환산하여 교체비용을 합한 총 비용이 최소가 되는 시기를 최적 교체시기로 결정하였다.

단위길이당 파손율 $N(t)$ 는 과거의 관 파손자료를 회귀분석 하여 시간에 대한 함수로 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$N(t) = N(t_0)e^{A(t-t_0)} \quad (1)$$

여기서, t 는 년(year)으로 표시되는 시간, t_0 는 관의 매설된 년도, $N(t)$ 는 t 년도의 단위길이당 파손율(회/m/year), A 는 증가비율 상수(1/year)이다. 식 (1)에 단위 유지비용을 곱하여 유지보수비용 함수를 유도한 후, 현재계수(present worth factor)를 곱하여 현재로 환산하여 계획기간동안의 전체 비용을 구한다.

또한, 관 유지보수비용 $C_m(t)$ 는 단위길이당 파손율 $N(t)$ 와 유지비용 C_b 의 곱으로 식(2)로 나타낸다.

$$C_m(t) = C_b N(t) = C_b N(t_0)e^{A(t-t_0)} \quad (2)$$

현재시점이 t_p 이고 할인율 R 이라면 이 유지보수 비용의 현재가는 다음 식 (3)과 같다.

$$\frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} \quad (3)$$

현재의 연도 t_p 에서부터 갱생시기 t_{re} 와 교체시기 t_{rep} 까지의 모든 유지보수비용의 합을 구하여 해당 년도까지의 전체 유지보수 비용을 구하면 다음 식(4)와 같다.

$$P_m(t_{re} \text{ or } t_{rep}) = \sum_{t=t_p}^{t_{re} \text{ or } t_{rep}} \frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} \quad (4)$$

$$= \sum_{t=t_p}^{t_{re} \text{ or } t_{rep}} \frac{C_b(t)N(t_0)e^{A(t-t_0)}}{(1+R)^{t-t_p}}$$

관 경쟁비용 및 교체비용을 현재로 환산하면 식 (5) 과 식 (6)으로 각각 나타낼 수 있으며, 여기서 C_f 와 C_r 는 각각 경쟁비용함수, 교체비용함수가 된다.

$$P_{re}(t_{re}) = \frac{C_f}{(1+R)^{t_{re}-t_p}} \quad (5)$$

$$P_{rep}(t_{rep}) = \frac{C_r}{(1+R)^{t_{rep}-t_p}} \quad (6)$$

따라서 유지보수 비용과 경쟁 및 교체시기의 총비용을 각각 구하면 식 (7)과 식 (8)과 같다.

$$P_T(t_{re}) = P_m(t_{re}) + P_{re}(t_{re}) = \quad (7)$$

$$\sum_{t=t_p}^{t_{re}} \frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} + \frac{C_f}{(1+R)^{t_{re}-t_p}}$$

$$P_T(t_{rep}) = P_m(t_{rep}) + P_{re}(t_{rep}) \quad (8)$$

$$= \sum_{t=t_p}^{t_{rep}} \frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} + \frac{C_r}{(1+R)^{t_{rep}-t_p}}$$

식 (7)과 식 (8)에서 t_{re} 및 t_{rep} 를 찾기 위해 $P_T(t_{re})$ 와 $P_T(t_{rep})$ 의 최소 값을 찾으면 식 (9)와 식(10)으로 각각 나타낼 수 있다.

$$\text{Min}_{t_{re}} [P_T(t_{re})] = \quad (9)$$

$$\text{Min}_{t_{re}} \left[\sum_{t=t_p}^{t_{re}} \frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} + \frac{C_f}{(1+R)^{t_{re}-t_p}} \right]$$

$$\text{Min}_{t_{rep}} [P_T(t_{rep})] = \quad (10)$$

$$\text{Min}_{t_{rep}} \left[\sum_{t=t_p}^{t_{rep}} \frac{C_m(t)}{(1+R)^{t-t_p}} + \frac{C_r}{(1+R)^{t_{rep}-t_p}} \right]$$

식 (9)와 식 (10)을 사용하여 미분하여 최소 값을 구하면 그 시기가 최소비용의 최적 교체시기가 된다.

3.2 Shamir 모형을 이용한 개량시기 및 비용산정

A시 85개 관로를 대상으로 Shamir 등(1979)의 모형을 적용하였다. 모형 적용결과 경쟁 및 교체시기는 그림 1과 같다. 매설 후 경쟁시기까지 소요기간은 15.8~18.8년으로 나타났으며, 매설 후 교체시기까지 소요기간은 28.1~35.9년으로 나타났다.

또한, Shamir 등(1979)의 모형은 매설된 관별 현재 상태를 고려한 것이 아니라 주변 지역의 전체적인 관 파손을 함수만을 이용한 경제적인 경쟁 및 교체 시기 결정 모형으로 이러한 결과는 매설년도와 환경에 따른 비용함수 구조에 따라 경쟁 및 교체 시기가 결정되는 것으로 볼 수 있다. 또한 85개 관로에 대해 매설 후 경쟁 비용은 총 14,157,065원이며, 교체비용은 36,459,026원으로 개량에 따른 총 비용은 50,616,091원으로 산정되었다.

4. 모형의 적용 및 결과 분석

3장에서는 기존 개량모형에서 널리 사용되어진 Shmair 등(1979)의 모형을 이용하여 본 연구의 대상 지역 자료를 적용하여 관의 개량 시기 및 비용을 산정

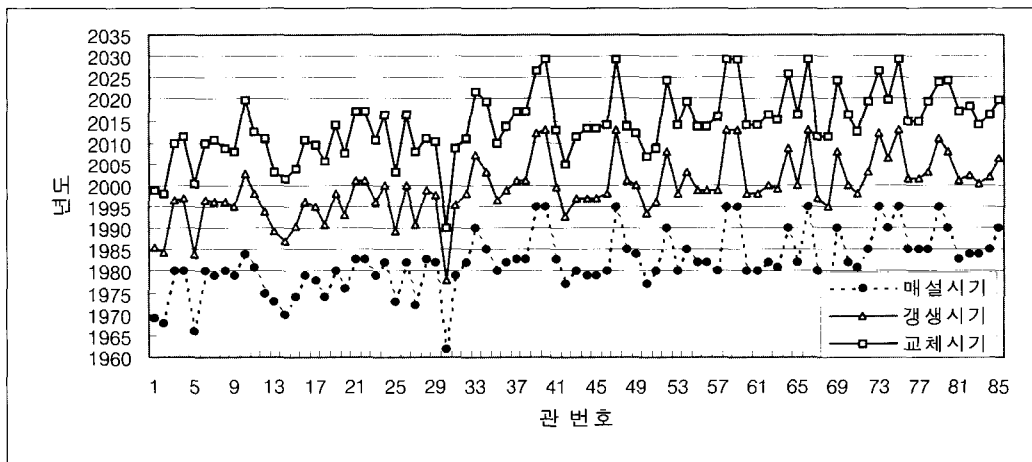


그림 1. 매설 후 경쟁 및 교체 시기

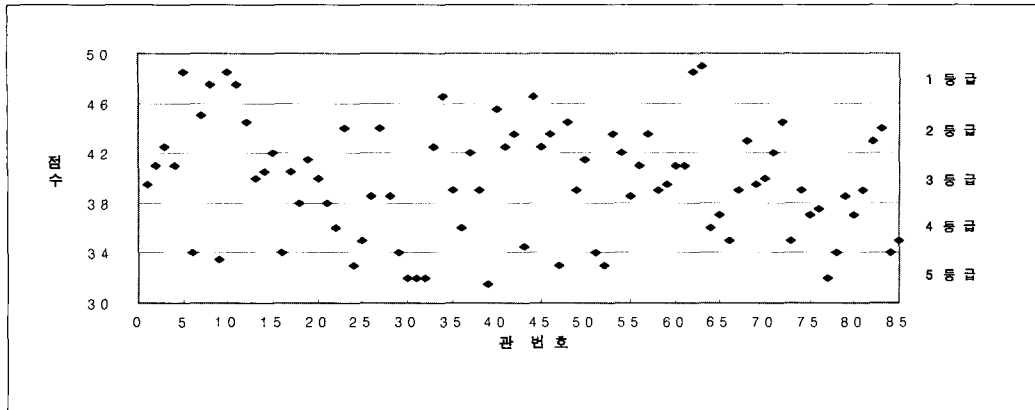


그림 2. 관별 육안·토양·관체 총합의 등급

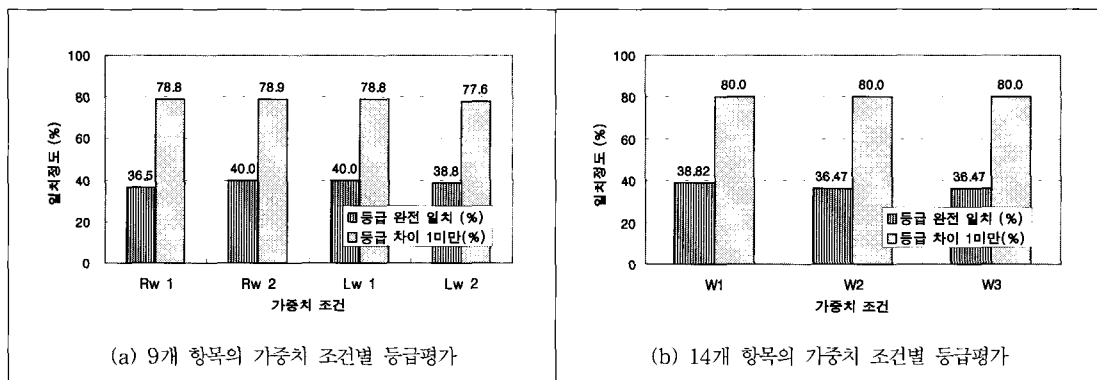


그림 3. 노후도 9개 및 14개 항목의 가중치별 등급평가 비교

하였다. 4장에서는 본 연구에서 제안한 노후도 예측 모형 및 최적 개량 모형을 각각 적용하고 기존의 Shamir 등(1979)의 결과와 비교하였다.

4.1 노후도 예측 모형 적용 및 결과 분석

대상지역인 A시의 85개 관로를 대상으로 현장에서 굴착 및 실험을 통해 산정한 14개 항목과 굴착 및 실험을 필요로 하지 않는 9개 항목에 대하여 각각에 대해 노후도 평가모형을 적용하여 조건별 노후도를 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. 그림 2는 각 관별로 5개 등급으로 구분된 점수분포를 나타낸 것이다.

즉, 관의 노후도 정도가 심할수록 점수는 높게 나타나며, 그림 3에서 46~50점인 경우 1등급으로 관의 노

후도 정도가 가장 심한 관을 의미한다. 예를 들어 육안 분석 결과는 실제 매설된 관을 현장에서 수집할 때 관의 내·외부를 앞에서 설명한 표 1의 육안 분석항목인 부식형태, 녹의 축적 면적, 최대부식 녹의 크기, 통수단면의 감소율, 녹의 발생정도, 녹의 축적비율, 점토부착비율을 바탕으로 각각의 항목별로 점수를 부여하여 이를 총합으로 산정하였다. 또한, 토양, 관체 분석의 결과도 이와 같은 방법으로 총합을 산정하여 각각 산정된 총합을 합산하여 이를 본 모형의 등급과 같이 1~5등급으로 구분하여 실제 모형 결과와 비교하여 모형의 신뢰도를 검증하였다.

노후도 9개 및 14개 항목의 가중치 조건에 따른 결과를 분석하기 위해 그림 3에서 설명한 육안·토양·관체 총합의 등급 노후도와 비교하였다. 그림 3은 실제 다양한 노후도 인자를 대상으로 총체적인 노후도 나타내는 것으로 이를 5 등급으로 분류한 결과와 실제 모델의 수

행 결과와 비교하는 것이다. 다음 그림 4는 9개 및 14개 항목의 회귀식에 의한 가중치 $Rw1$, $Rw2$ 와 선형회귀법에 의한 가중치 $Lw1$, $Lw2$ 에 대한 확률론적 신경망 모델 결과의 등급과 육안·토양 관측 총합의 등급의 일치정도를 보여주고 있다. 결과를 살펴보면 9개 항목의 경우 등급이 완전히 일치하는 정도는 최고 78.9%이며, 등급의 차가 1미만인 것은 최고 40.0%로 나타났으며, 14개 항목의 경우 등급이 완전히 일치하는 정도는 최고 80%이며, 등급의 차가 1미만인 것은 최고 38.82%로 나타났다.

따라서, 본 결과에서 실제 노후도를 예측하기 위해 굴착 및 실험분석이 필요한 자료와 그렇지 않은 자료를 이용한 결과를 비교하면 굴착 및 실험분석이 필요로 하지 않는 9개 항목의 결과와 14개 항목의 결과가 등급이 완전히 일치하는 정도가 1~2%인 것으로 나타났다.

즉, 전체 85개 관로에서 9개 항목에 대해 모델의 일치정도는 78.9%까지 나타났다. 따라서 노후도 평가모델의 적용결과 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 있을 것으로 판단된다.

4.2 최적 개량 모형 적용 및 결과 분석

모형의 적용을 위해 입력자료의 구성은 9개, 14개 항목에 대하여 각 관로별 노후도 등급과, 각각의 잔존수명(25년, 30년, 35년)에 대하여 적용하였다. 또한, 2.3절에서 산정한 파손율 유지보수비용 갱생 및 교체 비용함수에 따른 배수관 자료를 이용하여 예산제약을 고려한 것과 제외된 것을 대상으로 각각의 경우에 대해 적용하였다. 노후도 예측 모형의 결과는 9개 항목의 가중치 3번, 14개 항목은 가중치 1번 결과의 등급 결과를 바탕으로 잔존수명을 계산하여 적용하였다.

4.2.1 예산제약을 제외한 모형

예산제약을 제외한 모형의 결과에서 9개, 14개 항목의 노후도 등급에 따른 최적의 갱생 및 교체시기는 표 6에 나타내었다.

모형적용 결과 최대잔존 수명 25년, 30년의 경우는 9개 및 14개 항목에 따른 갱생 및 교체시기는 동일하게 나타났으나, 35년의 경우는 서로 다른 결과를 나타내었다. 즉, 25년의 9개, 14개 항목에 따른 매설 후 갱생은 5~20년, 교체는 13~45년 지난 후에 발생하는 것으로 나타났다. 30년의 9개, 14개 항목에 따른 매설 후 갱생은 6~19년, 교체는 15~47년 지난 후에 발생

하는 것으로 나타났다. 35년의 9개 항목은 따른 매설 후 갱생은 5~18년, 교체는 17~48년 지난 후에 발생하는 것으로 나타났다. 또한 최대 잔존수명의 증가에 따라 갱생시기는 35년의 14개 항목을 제외하고는 대체적으로 줄어드는 경향을 보였으나 교체시기는 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 최대 잔존수명 증가에 따라 관의 잔존가치 상승으로 관을 갱생보다는 교체를 실시하는 것이 보다 더 경제적 이익을 얻을 수 있기 때문으로 나타났다. 그림 4는 9개 및 14개 항목에 따른 매설 후 갱생 및 교체시기를 보여주고 있다.

9개 및 14개 항목에 따른 85개 관로의 개량비용을 살펴보면 표 7과 같다. 결과에서 최대 잔존수명의 증가에 따른 9개 및 14개 항목의 경우 개량비용은 모두 증가하였다.

또한 9개, 14개 항목별 개량비용의 증감은 최대 잔존수명 25년, 30년에서는 14개 항목이 9개 항목에 비해 각각 11천원, 22천원 증가를 보였다. 그러나 최대 잔존수명 35년의 경우는 반대로 14개 항목이 9개 항목에 비해 815천원이 감소하였다. 또한, 이러한 개량비용의 차이는 전체 개량비용과 비교해 극히 적은 것으로 이는 본 모형이 노후도 등급에 따른 잔존수명과 관경의 비용함수로 이루어져 있어 9개 및 14항목의 노후도 등급이 비슷하기 때문인 것으로 판단된다. 기존의 Shamir 등(1979)의 모형에서 계산한 개량비용과 비교해서 9개 항목의 경우는 최소 17,754천원에서 최대 23,083천원의 개량 비용절감 효과를, 14개 항목의 경우는 최소 18,569천원에서 최대 23,072천원의 비용을 절감하였다.

4.2.2 예산제약을 고려한 모형

예산 제약 모형은 4.2.1의 예산제약을 제외한 모형의 9개 및 14개 항목의 최대 잔존수명에 따른 각 조건별 결과의 최대 80% 비용을 예산으로 산정하고 이를 제약 조건으로 가정하였다. 즉, 예산제약을 제외한 모형의 9개 항목의 최대 잔존수명 25년의 결과에서 1년부터 25년 사이에 매년 발생하는 유지보수, 갱생, 교체의 총비용을 계산하여 25년 중에 가장 많은 비용이 발생한 연도의 비용 중 80%를 예산제약으로 가정하였다. 또한 이러한 제약조건은 실제 관 개량사업에 있어 예산집행을 한정된 범위 이내에서 사용할 수 있다는 장점 및 실제 예산집행이 거의 비슷한 금액으로 매년 산정되는 현실을 고려할 수 있는 장점이 있다.

예산제약을 고려한 모형의 결과에서 9개, 14개 항목

표 6. 예산제약을 제외한 9개/14개 항목 및 최대 잔존수명에 따른 개량시기

구 분	25년				30년				35년			
	9개 항목		14개 항목		9개 항목		14개 항목		9개 항목		14개 항목	
	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체
Min (년)	5	13	5	13	6	15	6	15	5	17	9	9
Max (년)	20	45	20	45	19	47	19	47	18	48	30	48
Max-Min	15	32	15	32	13	32	13	32	13	31	21	39

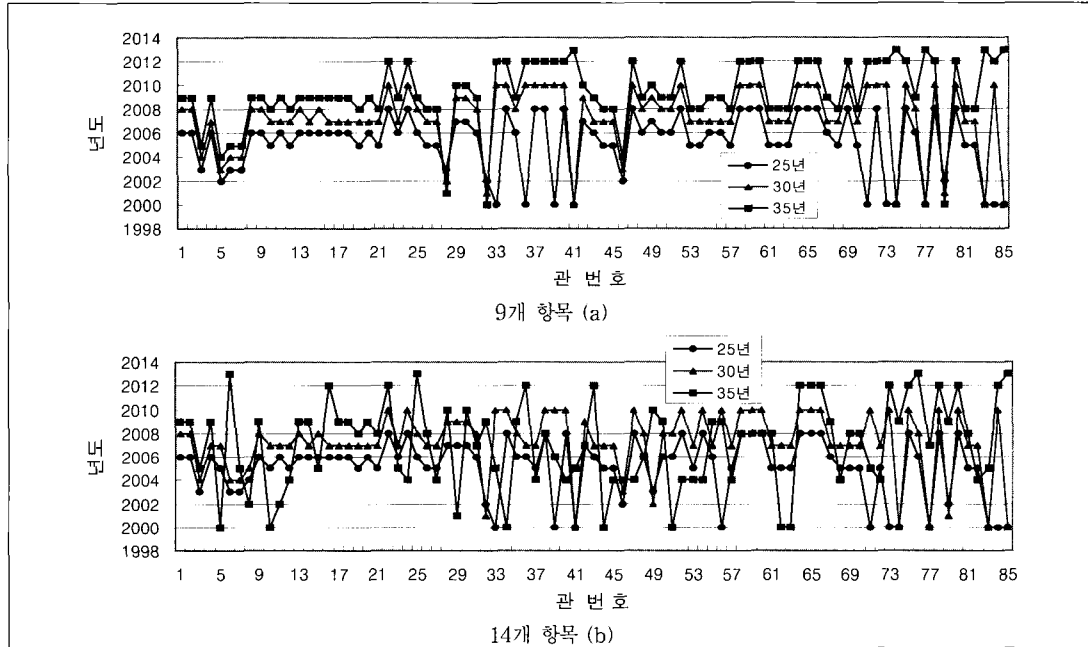


그림 4. 예산제약을 제외한 9개/14개 항목에 따른 매설 후 갱생 및 교체시기

표 7. 예산제약을 제외한 9개/14개 항목 및 최대 잔존수명에 따른 개량비용 (단위: 천원)

구 분	25년	30년	35년
9개 항목	27,532	30,026	32,862
14개 항목	27,543	30,048	32,046
중 감	11	22	816

표 8. 예산제약을 고려한 9개/14개 항목 및 최대 잔존수명에 따른 매설 후 개량시기

구 분	25년				30년				35년			
	9개 항목		14개 항목		9개 항목		14개 항목		9개 항목		14개 항목	
	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체	갱생	교체
Min (년)	0	21	0	21	0	25	0	24	0	27	27	15
Max (년)	0	53	0	53	0	56	0	56	0	58	50	51
Max-Min	0	32	0	32	0	31	0	32	0	31	23	36

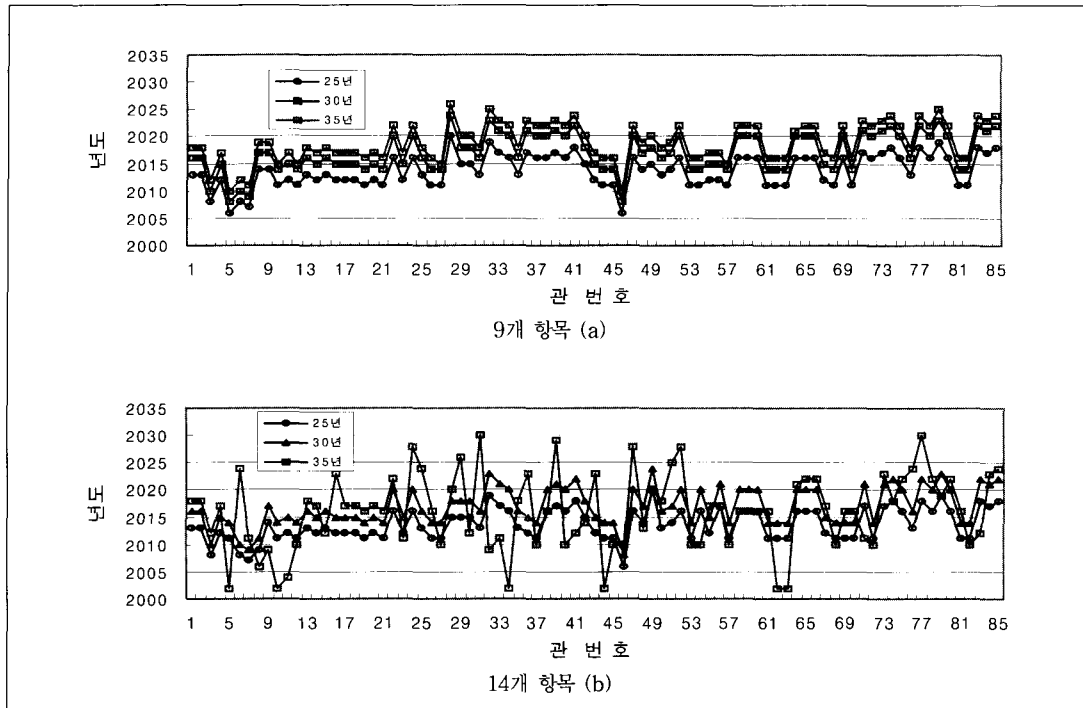


그림 5. 예산제약을 고려한 9개/14개 항목에 따른 매설 후 갱생 및 교체시기

표 9. 예산제약을 고려한 9개/14개 항목 및 최대 잔존수명에 따른 개량비용 (단위: 천원)

구 분	25년	30년	35년
9개 항목	31,065	33,689	36,790
14개 항목	31,064	33,688	36,165
증 감	1	1	625

표 10. 예산 제약 유무와 최대 잔존수명 증가에 따른 항목별 개량비용 (단위: 천원)

구 분		25년	30년	35년
9개 항목	예산 제약 제외	27,532	30,026	32,862
	예산 제약 고려	31,065	33,689	36,790
	증 감	3,533	3,663	3,925
14개 항목	예산 제약 제외	27,543	30,048	32,046
	예산 제약 고려	31,064	33,688	36,165
	증 감	3,521	3,640	4,101

의 노후도 등급에 따른 최적의 매설 후 갱생 및 교체시기는 그림 5와 표 8에 나타내었다.

모형적용 결과 최대 잔존수명 25년을 제외한 30년,

35년의 경우 9개 및 14개 항목에 따른 갱생 및 교체시기가 서로 다르게 나타났다. 특히, 최대잔존 수명 35년 인 경우 14개 항목은 다른 것과 다르게 갱생이 발생하

였다. 최대 잔존수명의 증가에 따른 교체시기는 최대잔존수명 35년의 14개 항목을 제외하고 예산제약을 제외한 모형의 결과와 같은 증가하는 경향을 보여 주었다.

예산제약을 제외한 모형과 비교에서 특이점은 최대잔존수명 35년인 14개 항목을 제외하고 모두 갱신이 발생하지 않는 것을 볼 수 있었다. 이는 모형에서 예산제약에 따른 년도별 예산분포가 균일하게 집행되기 위해 갱신보다는 교체가 발생하는 것으로 판단된다. 또한 교체시기의 최소 및 최대 차이는 예산제약을 고려한 모형과 비교해서 1~2년 정도로 거의 같은 정도를 보였으며, 예산제약을 제외한 모형에 비해 교체시기는 3~8년 정도 뒤에 발생하는 것을 볼 수 있었다.

다음 그림 5는 예산제약을 고려한 최대 잔존수명 증가에 따른 9개 및 14개 항목의 매설 후 갱신 및 교체시기를 나타내었다.

9개 및 14개 항목에 따른 85개 관로의 갱신 및 교체비용을 살펴보면 표 9와 같다. 최대 잔존수명의 증가에 따른 9개 및 14개 항목 모두 개량비용이 증가하였다. 또한 9개, 14개 항목별 개량비용의 증감은 최대 잔존수명 25년, 30년, 35년에서는 14개 항목이 9개 항목에 비해 각각 1천원, 1천원, 625천원의 증가를 보였다. 또한, 기존의 Shamir 등(1979)의 개량비용과 비교하면, 9개 항목은 최소 13,815천원에서 최대 19,540천원의 비용을 절감하였으며, 14개 항목은 최소 1,444천원에서 최대 19,541천원 까지 비용 절감효과를 보였다.

또한 예산제약 유무에 따른 개량비용과 고려한 비용을 비교해 보면 다음 표 10과 같다. 결과에서 최대 잔존수명 증가에 따라 9개 및 14개 항목의 경우 예산제약을 고려한 경우가 예산제약을 제외한 경우보다 비용이 증가하였다. 이는 예산제약을 제외한 모형의 경우 개량의 시기 및 비용의 변화 폭이 예산제약을 고려한 모형에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 수도개량사업을 실시하기 위한 필요한 예산은 매년 산정되는 금액의 폭이 크지 않기 때문에 본 연구에 제안한 예산을 고려한 모형이 보다 현실적인 모형으로 판단된다.

5. 결 론

연구(I)에서 수도관 개량 사업을 보다 정량적인 방법을 도입하여 경제적이고 효율적으로 개량사업을 수행하기 위해 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량모형을 개발하였다. 또한 개발한 모형을 이용하여 연구(II)에서는 국내 A시를 대상으로 자료를 수집 및 분석

하여 모형에 적용하였다. 본 연구에서 수행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 본 연구에 제안한 노후도 예측 모형을 적용하기 위해 필요한 상수관의 노후도 항목 및 항목별 가중치 산정하여 적용하였다. 노후도 예측을 위해 실험 및 분석이 필요하지 않은 9개 항목을 이용한 노후도 등급의 결과와 그렇지 않은 14개 항목의 결과 차이가 1~2% 이내로 나타났다. 이는 본 연구에서 개발된 모형이 관의 노후도 예측을 위해 많은 시간 및 경제적 어려움이 있는 실험 및 분석을 필요하지 않은 자료를 이용하여 노후도를 충분히 예측 할 수 있고 실무에서도 적용가능 할 것으로 판단된다.
- (2) 노후도 예측 결과인 관별 노후도 등급과 기존의 보고서 및 국내 현장의 설문조사를 바탕으로 등급에 따른 최대 잔존수명을 25년, 30년, 35년으로 구분하여 최적 개량 모형의 입력 자료로 사용하였다. 여기서 제안한 최대 잔존수명은 배수관을 중심으로 한 것으로 현재 국내 배수관의 노후도의 판단기준이 되는 매설년도를 20~30년 사이로 생각한다면 적절한 값으로 생각된다. 또한 이러한 최대 잔존수명에 대한 개념은 관의 내구연한을 고려한 것으로 현실적인 것으로 판단된다.
- (3) 최적 관 개량 모형의 적용은 매설 후 관 갱신 및 교체 시기 및 비용을 산정하는 것으로 예산 제약 유무와 노후도 항목 9개와 14개 항목으로 구분하여 적용하였다. 먼저 예산제약을 제외한 결과에서 9개 항목 및 14개 항목별 개량 시기는 최대 잔존수명 35년의 결과를 제외하고 모두 동일한 시기의 개량시기를 나타내었다. 이는 최적 관 개량 모형이 노후도 등급 및 환경에 따른 비용함수 구조로 이루어져 있어 노후도 등급의 차이가 거의 없기 때문인 것으로 판단된다. 개량비용은 최대 잔존수명의 증가에 따라 9개, 14개 항목에 관계없이 증가 추세를 보였다. 이는 관의 잔존 가치가 높을수록 유지보수 비용의 증대로 인해 비용의 증가를 보이는 것으로 나타난다. 예산제약을 고려한 결과, 9개 및 14개 항목별 개량 시기는 예산제약을 제외한 모형과 다르게 갱신이 거의 발생하지 않았다. 이는 예산제약에 따라 모형에서 갱신보다는 교체가 주어진 최대 잔존수명 기간이내에서 개량계획 수립에 보다

유리하기 때문인 것으로 판단된다. 개량비용은 예산제약을 제외한 결과 같은 추세를 보였다. 그러나 예산제약을 제외한 모형과 비교해서 모든 항목에 보다 많은 비용이 산정되었다. 이는 예산제약을 고려할 경우 실제 주어진 최대 잔존수명 기간이내 매년 발생하는 예산의 최대 금액을 넘지 않은 대신에 매년 비슷한 비용으로 개량을 실시하기 때문이다.

- (4) 본 연구에서 제안한 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 결과를 비교하기 위해 기존의 경제성 분석을 바탕으로 개량시기 및 비용을 산정한 Shamir 등(1979)의 결과를 비교하기 위해 적용하였다. 먼저 개량시기를 살펴보면 Shamir 등(1979)의 모형은 매설 후 일정 기간 후 갱신이 교체가 발생하였다. 그러나 본 연구에 제안한 모형은 결과는 관의 노후도 정도에 따라 갱생 및 교체 발생하는 것을 볼 수 있었다. 또한 개량비용의 결과 비교에서도 노후도 항목 및 최대 잔존수명에 따라 총 금액의 차이는 보였지만 최소 13,815천원에서 최대 23,083천원의 개량 비용절감 효과를 보여 주었다.

6. 감사의 글

본 연구는 환경부의 "차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 project)"으로 지원 받은 과제입니다.

참 고 문 헌

김응석, 김중훈, 이현동, 정원식, 광필재 (2002). "상수관로의 노후도 평가 : (I) 조사 방법 개발", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, 한국수자원학회, pp. 371-376.

김응석, 김중훈, 이현동, 정원식, 광필재 (2002). "상수관로의 노후도 평가 : (II) 영향 인자 및 가중치 산정", **한국수자원학회 학술발표회 논문집(I)**, 한국수자원학회, pp. 419-424.

광필재, 이현동, 정원식, 이희수, 김중훈, 김응석 (2000). "상수도 관로내 부식성 수질평가 방법 개선에 관한 연구", **대한상수도학회한국물환경학회 공동추계학술발표논문집**, pp. 223-236.

안윤주, 이현동 (1996). "국내 중·소도시 수도관의 파

손특성에 관한 고찰", **대한상수도학회지**, 대한상수도학회, 제10권, 제1호, pp. 96-111.

이창용, 김응석, 신현석, 김중훈(2000). "확률적 신경망을 이용한 상수도 노후관 추정에 관한 연구", **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권 제2-B호, pp. 197-210.

정원식 (2001). 상수도 배수관의 노후도 평가 및 최적 개량시기 결정모델. 박사학위논문, 서울시립대학교.

정해룡, 서규태, 이택순, 김운지, 이현동, 정원식 (1997). "상수도관 부식에 미치는 수질인자의 복합적 상호작용", **대한환경공학회 1997년 추계학술발표회**, 대한환경공학회, pp.271~274.

환경부 (2001). **유수율 제고 연구**

환경부 (2002). **관망의 진단, 개량 및 부식방지 기술개발**

황규대 (1996). **수도관의 부식과 방식대책**, 경희대학교 환경연구소

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

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 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.

D. Kelly, O' Day. (1982). "Organizing and Analyzing Leak and Break Data for Making Main Replacement Decisions", *Journal of the American Water Work Association*, Vol.74, No.11, pp.589~597.

Shamir, U. and Howard, C. D. (1979). "An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement", *Journal of the American Water Works Association*, Vol. 71, No. 5, pp. 248-258.

(논문번호:02-77/접수:2002.09.16/심사완료:2002.12.18)