

하수관거의 결합항목별 가중치 산정에 관한 연구

이정호¹⁾ · 김용석²⁾ · 김중훈³⁾ · 안태진⁴⁾

1. 서 론

국내에서는 관거내부의 이상정도에 따라 영향인자들에 대한 점수평가법을 통해 하수관거 정비사업 우선 순위를 결정하고 있다. 그러나, 불명수 발생 및 관거 노후도 판단의 중요한 요소인 관거 내부의 결합항목에 대한 평가에 있어서는 결합항목별 중요도가 무시된채 총 결합 개수에 따른 점수의 배점이 이루어지고 있다. 또한, 환경부(1997)에서 항목별 차등배점이 이루어진 결합항목별 판단기준 개선안을 제시한 예가 있으나 몇 개의 그룹별 점수배점이 이루어진 것에 불과하며 배점 기준이 명확하지 않다. 따라서, 체계적인 정비사업을 실시하기 위해서는 전문가들의 판단에 근거한 명확한 결합항목별 점수배점 기준이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 다기준 의사 결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM) 방법중 하나인 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 이용하여 결합항목별 가중치를 산정하였다. AHP 기법의 특성은 첫째, 정량적인 요소와 정성적인 요소의 평가 둘째, 쌍대비교를 통한 명확한 평가 셋째, 평가 결과에 대한 일관성 검증 등이다. 본 연구에서는 8개 결합항목을 선정하여 AHP 기법을 통해 항목별 가중치를 산정하였으며 이것을 15개 항목에 확대 적용하여 국내의 적용에 적합한 결합항목별 판단기준을 마련하였다.

2. 계층 분석 기법(Analytic hierarchy Process : AHP)

계층 분석 기법은 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가 기준들간의 상대적 중요도를 쌍대비교(Pairwise comparison)에 의해 측정한다.

AHP를 이용한 여러 속성들간의 체계적인 가중치 부여는 다음과 같이 4단계의 과정을 통하여 이루어진다

(1) 계층구조의 형성

계층구조의 형성에서는 대상의 목표를 선정하고 그 목표에 영향을 미치는 관련 속성들을 계층적으로 세분화하여 의사결정구조를 설정한다

(2) 쌍대비교(Pairwise Comparison) 행렬의 작성

요소들의 중요도에 대한 의사 결정자의 선호도를 평가하는 단계로서 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.

$$A_{ij} = w_i/w_j \quad (1)$$

(3) 가중치 계산

가중치 계산에는 쌍대 비교 행렬의 고유값(eigenvalue) 중에서 최대치에 대응하는 고유 벡터를 요소의 중요도로 이용하는 고유벡터(eigenvector) 방법이 사용되며 가중치 계산을 위한 식은 다음과 같다.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (a : \text{행렬의 구성값}, n : \text{비교항목 개수}) \quad (2)$$

- 1) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 연구원
- 2) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 선임연구원
- 3) 고려대학교 토목공학과 교수
- 4) 환경대학교 토목공학과 교수

(4) 일관성 검증(consistency test)

일관성 검증에서는 대상들에 대한 비교에 있어서 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 구함으로써 일관성을 판단하며 CR값이 0.20 이하일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이다.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (\lambda_{max}: \text{행렬의 최대 고유치}) \quad (6)$$

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

여기서, RI는 무작위 일관성 지수(Random consistency Index)를 말하며 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것을 500개 표본에 대한 평균값은 표2와 같다.

표 1. 쌍대 비교 척도

Semantic Scale	수 치
A와 B가 동등	1
A가 B보다 약간 중요	3
A가 B보다 상당히 중요	5
A가 B보다 매우 중요	7
A가 B보다 절대적으로 중요	9

표 2. 무작위 일관성 지수(RI)

행렬의 크기(n)	R I	행렬의 크기(n)	R I
1	0.00	6	1.24
2	0.00	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12	10	1.49

3. 적용 및 결과

본 연구에서는 국내·외 결합항목별 판단기준을 분석하여 국내 실정에 적합한 8개의 결합항목을 선정하였다. 또한, AHP 기법을 이용하여 결합항목별 가중치를 산정하기 위하여 하수관거 정비사업을 시행하고 있는 4개의 실무업체 근무경력 5년 이상의 실무자 23명을 대상으로 설문조사를 시행하였다.

3.1 결합항목의 선정

국내 현행 실무에서 CCTV 및 육안조사를 통하여 수집되는 결합항목은 대부분 환경부(1997) 결합항목별 판단기준 개선안의 항목에 포함되어 있거나 일본의 판단기준 항목에 포함되어 있다. 따라서, 환경부 및 일본의 결합항목을 포괄하여 총 15개 항목을 선정하였으며 이에 따라 15개 결합항목별 점수배점표를 선정하였다.

표 3. 결합항목별 점수 배점

No.	결 합 항 목	결합등급			No.	결 합 항 목				No.	결 합 항 목			
		A	B	C			A	B	C			A	B	C
1	맨홀뚜껑파손	12	10	-	6	침 입 수	20	-	-	11	관 침 하	15	10	5
2	맨홀연결파손	20	15	8	7	유 출 수	20	-	-	12	관 구 배	15	10	5
3	접합관 돌출	15	5	1	8	부 식	15	10	5	13	타관통과	20	10	5
4	접합부 이상	12	5	3	9	관파손/크랙	-	20	15	14	폐유점착	20	15	8
5	이 음 부	20	15	5	10	곡 관 로	15	10	5	15	토 사	10	5	3

이상의 결합항목별 차등 점수배점은 단순한 배점구조를 가지고 있으며 동일 점수로 부여된 몇 개의 그룹으로 나뉘어짐을 알 수 있다. 따라서 상대적 중요성 판단이 불명확한 8개 결합항목을 선정하여 실무자들을 대상으로 상대적 중요도에 대한 설문조사를 실시하였다. 이때의 8개 결합항목은 맨홀연결과손, 접합부 이상, 이음부, 침입수, 유출수, 타관통과, 폐유점착, 관침하 등으로 동일 점수의 항목들에 대하여 비교하는 한편 점수대별 항목별로 비교함으로써 15개 항목들 모두 직·간접적으로 비교할 수 있도록 선정되었다.

3.2 설문조사 및 일관성 검증

8개의 결합항목에 대한 쌍대비교를 수행하기 위한 설문조사는 델피법(delphi method)에 의하여 실시하였다. 델피법은 집단 토론을 거치지 않고 성원들로부터 전문적인 견해를 얻어내는 방법으로 설문 응답자들간에 접촉이 없는 상태에서 독자적으로 작성된 설문지를 재작성하여 응답자들에게 재설문을 실시함으로써 합의에 도달할 때까지 이 과정을 반복하게 된다.

본 연구에서는 응답자 전원이 일관성 비율이 0.20 이하로 일관성이 인정되는 시점까지 재설문을 실시하였다. 다음의 표 4는 합의에 도달한 시점의 설문응답자들에 대한 일관성 비율을 나타낸다.

표 4. 설문응답자들에 대한 일관성 비율(CR)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CR	0.05	0.17	0.19	0.16	0.19	0.12	0.10	0.08	0.18	0.18	0.08	0.07	0.17	0.08	0.09	0.15	0.16	0.16	0.18	0.18	0.05	0.15	0.02

3.3 결함항목별 가중치 산정 및 점수배점

설문조사 결과에 따른 결함항목별 가중치를 계산하기 위하여 각 설문지의 쌍대비교 행렬에 대하여 각 행의 기하평균을 계산하여 해당 요소의 중요도를 평가하였으며 23개 설문결과에 따른 종합적인 쌍대비교 행렬을 작성함으로써 8개 결함항목별 가중치를 계산하였다. 또한, 이를 통해 표 3에서의 결함항목별 점수배점을 직·간접적으로 비교한 결과 표 6의 결함항목별 가중치를 고려한 점수배점표가 작성되었다.

표 5. 결함항목별 가중치

결함항목	맨홀뚜껑파손	이음부	침입수	유출수	타관통과	폐유점착	접합부이상	관침하	SUM
가중치(w_i)	0.133	0.161	0.141	0.112	0.154	0.062	0.088	0.148	1.000

표 6. 결함항목별 가중치를 고려한 점수 배점

No.	결함항목	결함등급			No.	결함항목	결함등급			No.	결함항목	결함등급		
		A	B	C			A	B	C			A	B	C
1	맨홀뚜껑파손	13.2	11	-	6	침입수	21.2	-	-	11	관침하	22.2	13.3	6.1
2	맨홀연결과손	20	12.3	5.6	7	유출수	16.8	-	-	12	관구배	10.4	10	5
3	접합관 돌출	22.2	7.4	1.5	8	부식	22.2	13.3	6.1	13	타관통과	23.1	13.7	6.3
4	접합부 이상	13.2	9.1	4.2	9	관파손/크랙	-	20	15	14	폐유점착	9.3	7.3	3.3
5	이음부	24.2	14.2	6.5	10	곡관로	15	10	5	15	토사	10	5	3

4. 결과분석

결함항목별 가중치를 고려하여 작성된 점수 배점은 이전의 점수 배점과 비교하여 동일한 점수가 부여되었던 항목간에 각기 다른 점수가 부여되었다는 것이 큰 특징이다.

다음의 그림 1은 결함항목별 가중치 고려 전·후의 점수배점표간의 항목별 점수배점을 비교하고 있다.

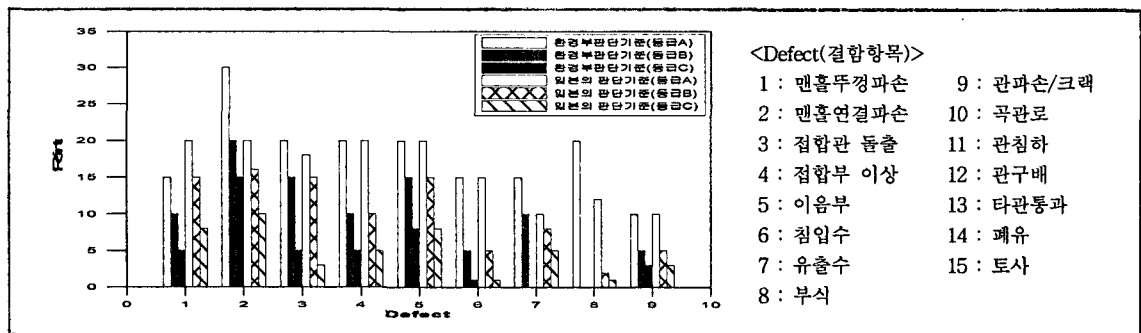


그림 1. 결함항목별 가중치 고려 전·후의 점수배점

그림 1에서 결함항목별 가중치를 고려하기 전·후의 점수 배점에 있어서 동일하게 부여된 항목은 맨홀뚜껑파손, 접합관 돌출, 부식, 곡관로, 토사 등이며 그 외의 항목은 차이를 보이고 있다.

다음의 그림 2는 결함의 정도를 나타내는 A, B, C 등급별 가중치 고려 전·후의 점수배점을 비교하였다.

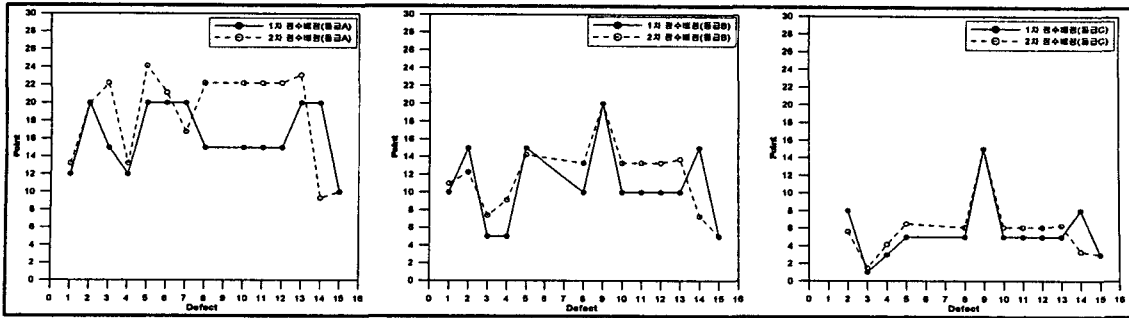


그림 2. 결합항목에 따른 결합등급별 점수배점 비교

결합항목별 가중치를 고려하기 전·후의 등급별 점수 배점 곡선의 형태는 유사하게 나타나고 있다. 즉, 항목별 중요도에 대해서는 등급별로 유사한 경향성을 띄고 있으나 배점된 점수에 있어서는 가중치가 고려되어 세분화된 점수가 배점되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

관거 내부의 결합상태의 개량은 하수관거 정비사업을 시행하는 가장 큰 목적중 하나이다. 그럼에도 불구하고 국내의 경우 결합항목별 판단기준이 명확히 마련되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 15개 결합항목을 선정하였으며 AHP기법을 이용하여 결합항목별 가중치를 산정함으로써 항목별 세부적인 점수배점을 부여하여 결합항목에 대한 명확한 판단기준을 마련하였다.

본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) AHP기법을 적용하여 8개 항목의 가중치를 산정한 결과 15개 결합항목별 점수배점표를 작성하여 항목별 세부적인 차등배점이 이루어졌다.

(2) 하수관거는 지하에 매설된 시설물로 매설토양, 교통량 등 많은 지역적 특징을 고려해야 한다. 이러한 지역적 특징을 고려하기 위해서는 특수한 항목들의 지역별 고려가 이루어져야 한다. 이것은 AHP기법의 계층구조를 세분화하여 분석함으로써 지역적 특성을 다양하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 활용된 AHP기법은 정성적인 요소들에 대하여 정량적인 판단을 가능케 하므로써 요소들간의 가중치를 산정하는 한편 대안들에 대한 우선순위 결정을 가능케 한다. 또한, 실무 전문가들을 대상으로 요소들간의 상대비교를 통해 가중치가 획득되는 과정은 상황의 변화에 따라 현실에 적합한 결론의 도출을 이끌어낸다. 따라서, AHP기법은 하수관거 정비사업에 있어서 복잡한 의사 결정 요소들 간의 명확한 판단기준 마련을 위해 그 활용범위가 광범위한 합리적인 방법으로 판단된다.

6. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구 지원(과제번호:R01-2001-000-00474-0)으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

7. 참고문헌

서울시, 1997, 하수관거 정비사업 기본계획

환경부, 1997, 도심 하수관 정비기법 연구

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.

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