

하수처리시설의 효율적인 VE수행을 위한 다단계성능평가 분석

김동진¹ · 박재일¹ · 이재훈¹ · 이민재^{*}
¹충남대학교 토목공학과

The Case Study on Performance Measurement Weighting for Efficient Value Engineering Study of Sewage Treatment Facility

Kim, Dongjin¹, Park, Jaeil¹, Lee, Jaehun¹, Lee, Minjae^{*}
¹Department of Civil Engineering, Chungnam National University

Abstract : Recently, the demand of sewage treatment facilities have increased by growing the population growth of city and industrialization. However, most of public sewage treatment facilities lack the preparations of design criteria by increasing sewage water amount in the future. In order to respond to this situation, the government has consistently promoted the sewage treatment construction project. This study conducted a survey targeting residents and sewage treatment facilities, civil engineering a VE project professionals for effectively operating the sewage treatment facilities and improving its value to be built in the future. Based on this survey, this study will introduce the list of performance measurements which can not only save cost but also reflect opinion of users and residents. In addition, using Multi-Level Performance Measurement and AHP analyzed the weights of performance measurement which is more objective than existing things for applying efficient VE process.

Keywords : Design VE, Multi-Level Performance Measurement, AHP, Sewage Treatment Plant

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

하수처리인구수와 하수처리구역면적이 증가함에 따라 요구되는 하수처리량 또한 증가하고 있다. 이에 대응하기 위해 하수처리시설 건설 및 증설 사업이 꾸준히 증가하는 추세에 있으며, 미래 하수량 증가에 따라 계속해서 건설 사업이 진행될 것으로 예상된다. 현재 공사비 100억 원 이상의 건설공사의 경우(이민재 2011), 설계VE를 의무화하고 있으며 평균 150억 원 이상의 사업비용이 소요되는 하수처리시설사업은 VE검토 대상 사업이 된다. 설계VE의 목적은 사업비용을 절감하고 전체 시설물의 성능을 향상시키며 사용자와 발주자, 인근주민의 만족도를 향상시키기 위한 것이지만 현재 추진되고 있는 대형공사의 설계VE는 비용절감 위주의 설계VE로 시설물의 성능이 떨어지고 이용자의 불만이 발생하는 등 여

러 문제를 야기하고 있다(임종권 2014). 따라서 본 연구에서는 하수처리시설의 효율적인 VE수행을 위해 이용자와 관리자, 특히 인근 주민의 의사를 평가·반영할 수 있는 하수처리 시설물의 성능평가항목을 제안하고, 다단계성능평가법을 통하여 도출된 가중치 값을 여러 하수처리시설 사업의 VE수행에 적용할 수 있도록 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

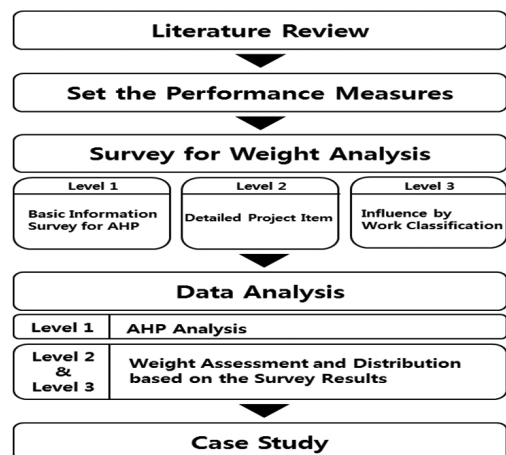


Fig. 1. Research Process

* Corresponding author: Lee, Minjae, Department of Civil Engineering, Chungnam University, Daejeon 34134
E-mail: LMJCM@cnu.ac.kr
Received November 2, 2015; revised December 18, 2015
accepted December 24, 2015

하수처리시설 사업의 효율적인 VE수행을 위한 성능평가항목 및 가중치 값을 제안하기 위해 관련 선행연구 및 설계VE 사례를 통해 하수처리시설물의 성능평가항목을 조사하고 이를 기반으로 이용자, 관리자 그리고 인근주민의 만족도 등을 평가할 수 있는 성능평가항목을 본 논문에서는 제안하고자 한다. 그리고 가중치 분석을 위한 데이터 수집을 위해 VE전문가를 대상으로 세 차례의 설문조사를 실시하고, 그 결과를 다단계성능평가법에 적용하여 가중치 분석을 수행하였다. 이때, 대분류(Level 1)단계에서는 AHP기법을 적용하고, 중분류(Level 2) 및 공중별(Level 3) 분류 단계에서는 설문조사 점수를 기반으로 한 가중치 분배 방법을 적용하여 성능평가항목의 가중치 분석을 수행하였다. 다음으로 분석된 가중치 값의 적용성 확인을 위해 ○○하수처리시설 증설 사업에 적용하여 사례연구를 수행하였다.

2. 기존 연구 현황

AHP기법을 활용한 설계VE와 관련된 연구로 Ahn(2004)은 “VE/LCC개념을 도입한 항만구조물의 최적형식 선정”에서 VE 및 LCC기법을 항만시설물에 적용하여 최적의 형식을 선정하는데 의사결정 지원 자료로 제공하고자 하였고, 평가항목의 가중치 산정에 AHP기법을 활용하여 평가의 일관성을 확보하였으며, LCC는 확률적인 분석방법을 적용하여 비용의 불확실성을 고려하였다(안중필 2004). 하지만 성능평가항목을 6가지의 대분류로만 나누어 가중치 분석을 실시하여 다양한 성능에 대한 객관적인 평가가 어려운 한계가 있다.

다단계성능평가법과 관련된 연구로 Lim(2014)은 “철도건설사업의 효율적인 VE수행을 위한 성능측정기법”에서 일반적으로 많이 사용하는 ‘성능속성매트릭스(Performance Attribute Matrix)’를 이용하여 가중치를 산정하고, 다단계성능평가법(Multi-level Performance Method)을 적용하여 철도건설사업의 설계VE를 수행하고 가치개선을 위한 성능정량화 평가기법을 제안하였다(임중권 2014). 하지만 성능속성매트릭스 평가를 이용하여 가중치를 분석하였기 때문에 일관성에 대한 검증이 결여되어 가중치 결과 값에 대한 신뢰성 확보에 대한 한계가 존재한다.

Yun(2005)은 “VE 대상선정을 위한 평가항목의 가중치결정방법에 관한 연구”에서 다단계평가기법을 시설물의 성능평가가 아닌 VE대상을 선정하는데 적용하였다. 대상선정을 위한 평가항목을 단계별 주요항목으로 구분하고 세부평가를 위해서 2단계, 3단계 평가항목을 제시하여 프로젝트의 특성에 따라 분류하는 방법을 사용하였다(윤동진 2005). 하지만, 가중치 분석에 있어서 AHP기법이나, Matrix기법이 아닌 단순히 1~5점의 사이의 중요도를 항목마다 매겨 그 평균을 내어

가중치로 산정했기 때문에 다른 가중치 분석 기법에 비해 객관성에서의 아쉬움이 있다.

이와 같이 기존 국내 연구에서는 단순화된 평가항목만으로 가중치 분석을 실시했기 때문에, 전체프로젝트의 특징을 고려한 가중치 분석이라 하기 힘들고 구체적인 성능을 평가할 항목들이 없기 때문에 이해관계자와의 효율적인 의사교환이 어려운 문제를 야기할 수 있다. 또한 단순 매트릭스 기법을 활용한 가중치 분석으로 각 대안이 실행되었을 때 영향력에 대해 점수를 1~5점 순으로 책정하여 중요도를 결정하고 그 가중치를 산정하기 때문에 쌍대비교를 이용한 AHP기법보다 객관성이 떨어지는 문제점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 이 세 가지 선행연구의 한계점을 극복하고 상대적으로 연구 사례가 적은 하수처리시설물의 설계 VE 수행을 위한 성능평가 항목과 그 가중치를 도출하는 것을 목표로 한다.

3. 다단계성능평가법과 AHP기법

3.1 다단계성능평가법(Multi-Level Performance Measurement)

다단계성능평가법은 VE Process 중 분석단계(VE-Study)의 대안 선정 및 구체화 부분에서 적용되는 기법으로 개략평가를 통해 걸러진 아이디어들이 대안으로 적용되었을 때 그 시설물의 전체 성능이 얼마나 향상되었는지 그 정도를 평가하기 위해 고안된 방법이다. 특히, 하수처리시설과 같이 요구 성능이 복잡한 큰 건설사업의 다양한 성능항목을 객관적이고 합리적으로 평가하기에 매우 유용하다. 기존의 성능평가 방법은 일반적으로 총 5~10개의 성능평가항목을 선정하여 이에 대한 가중치 및 등급을 산정하였는데 이는 전체 프로젝트의 특성을 고려한 전체성능을 합리적으로 평가하지 못하고, 주관적인 평가로 인해 성능평가의 객관성을 저하시킬 수 있는 단점이 있다. 따라서 이를 개선하고자 다단계성능평가법(Fig. 2)은 성능평가항목을 대분류로 총 5~10개 정도로 도출하고(1단계), 각각의 대분류를 중분류로 5~10개로 세분화(2단계)하여 개별 성능속성(중분류)별 등급평가를 통한 성능평가를 수행한다. 또한, 세분화된 성능 속성을 프로젝트의 주요 공정별, 시설물별(3단계) 등으로 그 영향력을 나누어 성능평가를 추가 실시하여 보다 객관적인 결과가 도출가능하다(임중권 2014).

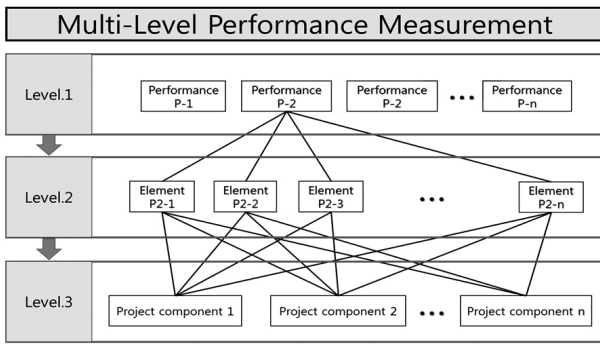


Fig. 2. Multi-Level Performance Measurement Approach

3.2 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법

분석적 계층화 과정(AHP)은 Tomas L. Saaty(1980)에 의해 제안된 다수 대안에 대한 다면적 평가 기준을 통한 의사결정 방법이다. 이 기법은 객관적 · 정량적 요소 뿐 아니라 주관적 · 정성적인 요소와 같은 질적 요소를 의사결정과정에 통합하여 현실적인 의사결정이 가능케 한다.

AHP기법은 의사결정문제가 다수의 평가기준으로 이루어져 있을 때, 다수의 평가기준을 Fig. 3와 같이 계층화하여 쌍대비교(Pairwise comparison)를 통해 중요도를 산출하는 분석방법으로 합리적으로 우선순위를 도출하고 논리적 일관성을 검증할 수 있는 장점이 있다(Saaty 1980).

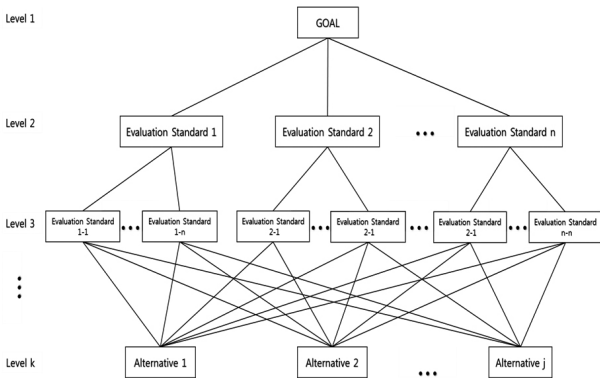


Fig. 3. Simplified Structure of An Exemplary AHP Hierarchy

AHP 가중치 추정 방법은 아래 Fig. 4와 같이 크게 4단계로 분류된다.

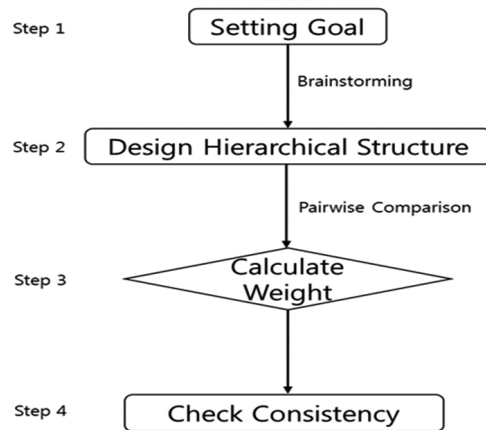


Fig. 4. Method of AHP Weight Estimation

첫 번째, 프로젝트 및 사업에 관련된 달성 목표를 설정한다 (Step 1). 두 번째, 평가기준 계층화를 실시한다(Step 2). 의사결정 요소들 간의 쌍대비교를 위한 판단자료를 수집하고, 상위계층에 있는 요소들의 목표를 달성하기 위해 필요한 직계 하위계층에 있는 요소들을 쌍대 비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위요소에 기여하는 정도를 Saaty의 9점 척도를 이용하여 평가를 실시한다(Table 1). n개의 평가항목에 대해 nC_2 회의 쌍대비교를 수행하여 상대적 가중치를 도출하고, 이를 이용하여 아래의 쌍대비교 행렬 $A_{n \times n}$ 을 구성할 수 있다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $a_{ij} = 1/a_{ji}, a_{ii} = 1, \forall i$

Table 1. Nine Scale of Pairwise Comparison Matrix in AHP

Numerical Rating	Verbal Judgement or Preference
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong importance
9	Extreme importance

The intermediate values of 2,4,6 and 8 provide additional levels of discrimination.

Reciprocals: If activity i has a specific numerical rating with respect to activity j, then j has the reciprocal value when compared to i.

세 번째, 고유 벡터법(Eigen Value)를 사용하여 평가지표간의 상대적 가중치를 추정한다(Step 3). 개별 평가자의 설문 평가를 종합하기 위해 개인의 쌍대비교행렬에 고유벡터 계산법

을 적용하여 가중치와 평점에 대한 우선순위 벡터를 구한다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n개 요소의 상대적인 가중치는 $w_i(i=1, \dots, n)$ 이고, 이 행렬은 원소 a_{ij} 에 대하여 $a_{ij}=1/a_{ji}$ 의 관계가 성립하는 역수 행렬이 된다. 일반적으로 $n \times n$ 의 쌍대비교행렬 A에 대해서, $AW=\lambda W$ 을 만족하는 스칼라 λ 와 그에 대응하는 $n \times 1$ 의 고유벡터 $W=[w_i]$ 가 존재하는데, 고유벡터 W가운데서 $\sum W_j=1$ 을 만족하는 정규화 된 고유벡터가 상대적 가중치가 된다.

쌍대비교행렬 A로부터 고유벡터 W를 구하는 방법은 식 $(A-\lambda I)W=0$ 에서 고유벡터 W가 영벡터가 아닌 해를 갖기 위해서 행렬 A는 식 $|A-\lambda I|=0$ 을 만족시켜야한다. 식 $|A-\lambda I|=0$ 에서 특성방정식의 근 $\lambda_i(i=1, 2, \dots, n)$ 중에서 최대인 λ_{max} (즉, 최대고유치)를 구한다. 이 고유치 λ_{max} 에 대응하는 고유벡터 중에서 $\sum W_j=1$ 을 만족하는 정규화 고유벡터(Normalized Eigen Vector)가 그 계층내의 요소 간의 가중치가 된다.

마지막으로, AHP기법은 주관적인 판단인 설문에 기초한 쌍대비교에 의해서 얻어지므로 평가 요소간의 상대적 중요성을 비교할 때, 설문결과의 일관성이 얼마나 유지되고 있는지가 문제가 된다. 여기서 일관성이란, 예를 들면 A, B, C라는 데이터를 비교할 때 중요성의 정도에서 A>B이고, B>C이면, A>C이 성립해야한다. 만일 주관적인 판단 과정에서 C>A로 평가한다면, 이는 일관성이 없다고 말한다(홍정만 2011).

AHP분석에서 일관성의 결여는 신뢰성의 부족을 의미하므로 결국 평가의 질(Quality)과 관련되어 있다. 이 일관성의 판단을 위해 일관성지수(Consistency Index; CI)를 계산한다. 일관성지수(CI)는 가중치나 기여도의 크기와 순서에 대한 일관성 정보를 제공한다. 일관성지수는 식

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (3)$$

을 통해 구할 수 있다. 일관성 비율(CR : Consistency Ratio)은 식

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

로 구해지며 이 때 무작위지수(RI)는 Saaty(1980)에 의해 표본크기 500으로 무작위로 발생시킨 행렬의 평균 일관성지수에 해당한다. 무작위지수(RI)는 평가기준의 개수 n의 크기에

따라 Table 2과 같은 값으로 나타난다. 일관성이 완벽할 경우 CR값은 0이 되며 일관성이 나빠질수록 CR의 값은 커진다. Saaty는 CR값이 0.1보다 작은 경우에만 신뢰 가능한 데이터로 정의하고 있다(Saaty 1980).

Table 2. RI Index

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

4. 다단계성능평가모델

4.1 성능 평가 항목 선정

AHP분석에서 평가항목은 시설물을 평가하는 기준이며, 이 항목들은 분석을 통해 달성하고자 하는 목표에 부합해야 한다. 본 연구에서는 하수처리시설의 성능평가와 AHP분석을 실시하기 위해 인천시 단월공공하수처리시설 증설사업의 설계VE 보고서, 양양군 하수도시설 설계VE 보고서, 한국 도로공사 등에서 제안한 시설물 성능평가 항목들과 토목 전문가와 시설물 이용자를 대상으로 실시한 인터뷰 결과 그리고 하수처리시설 인근에 거주하는 150명의 주민을 대상으로 수행한 설문조사 결과 등을 적용하여 최종적으로 Table 3과 같은 성능평가항목을 도출하였다. 성능평가항목은 대분류와 중분류 두 가지의 분류로 나누어 구분하였으며 대분류(Level.1)는 계획성, 시공성, 유지관리성, 안전성, 품질확보성, 환경성, 민원성과 시설물 활용성으로 선정하였다. 하수처리시설물의 보다 합리적인 평가를 실행하기 위해 각 대분류를 5~8항목의 중분류로 세분화하여 총 52가지의 중분류를 도출하였다. 이에 아울러 공종별 중분류 항목의 영향력을 반영하기 위해 기계/전기 및 상하수도/토목/건축의 공종으로 나누어 분석을 실시하였다.

Table 3. List of Performance Measurements (Level. 1, Level. 2)

Level.1	Level.2	
Appropriate Planning	P-01	Adequacy of facilities size
	P-02	Adequacy of water flow plan
	P-03	Adequacy of the method & process water treatment
	P-04	Regulations , guidelines
	P-05	Adequacy of water supply
	P-06	Adequacy of selected materials
	P-07	Adequacy of the power supply system
	P-08	Responsiveness future plans
Constructability	P-09	Adequacy of temporary facility
	P-10	Adequacy of material supply
	P-11	Adequacy of the construction method
	P-12	Adequacy of the construction period
	P-13	Adequacy of equipment selection
	P-14	Adequacy of human resources management
	P-15	Adequacy of equipment placement

Maintainability	P-16	Appropriateness of the data transmission system
	P-17	Adequacy of traffic line
	P-18	Ensuring spare equipment and special tools
	P-19	Adequacy of sensor
	P-20	Adequacy of maintenance equipment
	P-21	Linkages with existing facilities
	P-22	Ease of management system
	P-23	Adequacy of staffing management
Safety	P-24	Adequacy of safety plan
	P-25	Adequacy of disaster prevention facilities
	P-26	Plan of temporary facility measurement
	P-27	Adequacy of foundation practice
	P-28	Adequacy of disaster preparedness
	P-29	Adequacy of the structure section
Quality	P-30	Safety of facilities operation
	P-31	Adequacy of quality test
	P-32	Adequacy of waterproof/corrosion protection plan
	P-33	Durability and abrasion resistance
	P-34	Adequacy of test-operating
Environmental friendly	P-35	Adequacy of flow distribution
	P-36	Harmony with the environment
	P-37	Using green energy
	P-38	The use of eco-friendly materials
	P-39	Adequacy of the waste management
	P-40	Obstacle Protection
	P-41	Adequacy of sludge treatment
Public Opinion	P-42	Adequacy of drainage plan
	P-43	Adequacy of transport treatment plan
	P-44	Adequacy of deodorization and ventilation plans
	P-45	Adequacy of Noise & Vibration prevention plan
	P-46	Reflectivity for the required
	P-47	Adequacy of the complainant Management
Usability	P-48	The need for facilities
	P-49	Availability of facilities
	P-50	Accessibility residents
	P-51	Space diversity of space
	P-52	Satisfaction of user

비교수행자가 얼마나 일관성을 가지고 설문지에 임했는지를 확인하고 결과치의 신뢰성 확보를 위해 가중치의 일관성비율(Consistency Ratio; CR)을 계산하였고, 각 15명의 CR값이 0.1 이하로 분석되었으므로 신뢰성이 확보된 자료로 판단되어 모든 설문을 사용하여 다음 분석을 진행하였다. 총 15명의 전문가들은 하수처리시설 건설 사업에 대한 평가 기준에 대해서 유지관리성(17.9%), 민원성(16%), 안전성(14.1%), 시설물활용성(12.6%), 시공성(12.4%), 환경성(11.4%), 품질확보성(9.9%), 계획성(5.5%)의 순으로 중요성을 평가하였다(Fig. 5).

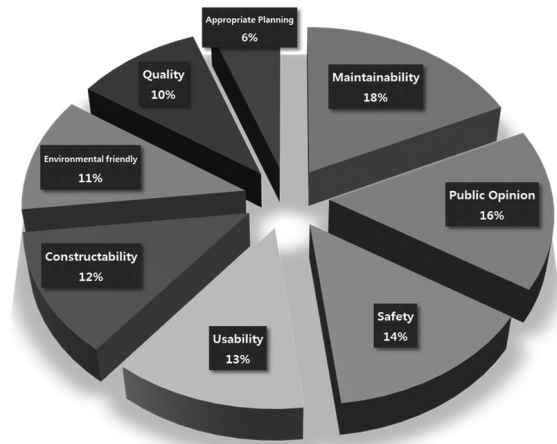


Fig. 5. The Result of Level.1 AHP Analysis

Table 5. The Result of Level.2 & Level.3 AHP Analysis

List	Level. 2		Level. 3			
	Weight data	Weight (%)	Machinery /Electrical Equip.		Water&Wastewater /Civil/Architecture	
			Ratio	Weight (%)	Ratio	Weight (%)
P-01	17.50	1.00	60.00	0.60	40.00	0.40
P-02	20.75	1.18	60.00	0.71	40.00	0.47
P-03	16.25	0.93	60.00	0.56	40.00	0.37
P-04	8.00	0.46	50.00	0.23	50.00	0.23
P-05	13.75	0.78	10.00	0.08	90.00	0.71
P-06	7.00	0.40	50.00	0.20	50.00	0.20
P-07	9.25	0.53	60.00	0.32	40.00	0.21
P-08	7.50	0.43	60.00	0.26	40.00	0.17
P-09	11.75	1.46	10.00	0.15	90.00	1.31
P-10	8.25	1.02	30.00	0.31	70.00	0.72
P-11	33.75	4.18	10.00	0.42	90.00	3.76
P-12	8.75	1.08	10.00	0.11	90.00	0.98
P-13	13.75	1.70	20.00	0.34	80.00	1.36
P-14	8.25	1.02	20.00	0.20	80.00	0.82
P-15	15.50	1.92	20.00	0.38	80.00	1.54
P-16	7.00	1.25	90.00	1.13	10.00	0.13
P-17	17.50	3.13	80.00	2.51	20.00	0.63
P-18	7.50	1.34	80.00	1.07	20.00	0.27
P-19	18.25	3.27	80.00	2.62	20.00	0.65
P-20	11.25	2.02	80.00	1.61	20.00	0.40
P-21	13.00	2.33	70.00	1.63	30.00	0.70
P-22	8.00	1.43	95.00	1.36	5.00	0.07
P-23	17.50	3.13	80.00	2.51	20.00	0.63
P-24	19.25	2.70	0.00	0.00	100.00	2.70
P-25	18.75	2.63	0.00	0.00	100.00	2.63

4.2 대분류(Level.1) 가중치 분석

AHP기법을 이용한 가중치 분석과 다음 단계(중분류, 공중별)의 가중치 분석을 위한 Data를 얻기 위해 본 논문에서는 토목시설 관련 전문가들을 대상으로 앞서 선정된 성능항목을 이용하여 심층 인터뷰를 실시하였다. 심층인터뷰 대상자들은 학계와 업계로 나누어, 총 15명의 전문가를 선정하였으며 주로 대상자들은 설계VE 경험이 있거나, 토목 시공 경험이 풍부한 인원으로 구성되었다. 직종별 구성인원은 아래의 Table 4와 같다.

Table 4. Configuration Personnel in AHP interview

Assortment	Persons
VE Expert.	5
Construction Expert.	5
Academia(Ph.D.)	5

P-26	6.75	0.95	0.00	0.00	100.00	0.95
P-27	11.25	1.58	0.00	0.00	100.00	1.58
P-28	17.00	2.39	10.00	0.24	90.00	2.15
P-29	8.25	1.16	0.00	0.00	100	1.16
P-30	18.75	2.63	80.00	2.11	20.00	0.53
P-31	22.50	2.23	95.00	2.12	5.00	0.11
P-32	19.50	1.93	10.00	0.19	90.00	1.74
P-33	18.75	1.86	40.00	0.74	60.00	1.11
P-34	17.50	1.73	80.00	1.39	20.00	0.35
P-35	21.75	2.15	50.00	1.08	50.00	1.08
P-36	14.25	1.63	10.00	0.16	90.00	1.47
P-37	14.50	1.66	20.00	0.33	80.00	1.33
P-38	11.25	1.29	10.00	0.13	90.00	1.16
P-39	23.75	2.71	80.00	2.17	20.00	0.54
P-40	8.75	1.00	20.00	0.20	80.00	0.80
P-41	27.50	3.14	80.00	2.51	20.00	0.63
P-42	11.25	1.80	40.00	0.72	60.00	1.08
P-43	13.75	2.20	10.00	0.22	90.00	1.98
P-44	22.50	3.60	90.00	3.24	10.00	0.36
P-45	20.00	3.20	40.00	1.28	60.00	1.92
P-46	17.50	2.80	40.00	1.12	60.00	1.68
P-47	15.00	2.40	50.00	1.20	50.00	1.20
P-48	16.25	2.05	20.00	0.41	80.00	1.64
P-49	25.00	3.15	20.00	0.63	80.00	2.52
P-50	21.25	2.68	20.00	0.54	80.00	2.14
P-51	15.00	1.89	20.00	0.38	80.00	1.51
P-52	22.50	2.84	20.00	0.57	80.00	2.27
Total				42.97	-	57.03

4.3 중분류(Level2) 및 공종별(Level3) 가중치 분석

전문가를 대상으로 수행한 설문 Data를 기반으로 대분류 항목에 대한 중분류 가중치 분석(Level2)과 공종별 가중치 분석(Level3)을 실시하였다. 이때, 중분류 단계(Level2)의 가중치 분석은 각 중분류가 얼마나 높은 중요성을 갖는지 1~5점의 기준으로 점수를 매겨 그 비율로 대분류에서 AHP기법으로 얻어진 가중치를 나누어주었고, 하수처리시설에 대한 주요 공종을 기계/전기와 상하수도/토목/건축으로 나누어 각 세부항목(중분류)마다 두 공종의 영향력을 평가하고 그 가중치를 분석하여 결과를 위의 Table 5에 정리하였다.

기계/전기 공종의 가중치 분석결과 유지관리성에서는 '계측설비의 적정성(2.62%)', 민원성에서는 '교통처리계획의 적정성(1.98%)', 안전성에서는 '비상시 안전대책의 적정성(2.70%)', 시설물활용성에서는 '시설의 활용성(0.63%)', 시공성에서는 '공법의 적정성(0.42%)', 환경성에서는 '슬러지 처리의 적정성(2.51%)', 품질확보성에서는 '품질시험의 적정성(2.13%)', 계획성에서는 '유량수질계획의 적정성(0.71%)'이 각각 대분류 내에서 가장 높은 가중치를 갖는 것으로 분석되었다.

상하수도/토목/건축 공종의 가중치 분석결과 유지관리성에서는 '기존시설과의 연계성(0.70%)', 민원성에서는 '탈취 및 환기계획의 적정성(3.24%)', 안전성에서는 '시설 운전의 안정성(2.11%)', 시설물활용성에서는 '시설의 활용성(2.52%)', 시

공성에서는 '공법의 적정성(3.76%)', 환경성에서는 '자연환경과의 조화(1.47%)', 품질확보성에서는 '방수방식/계획의 적정성(1.74%)', 계획성에서는 '수리계획의 적정성(0.71%)'이 각각 가장 높은 가중치를 갖는 것으로 분석되었다.

중분류(Level2)의 가중치와 공종별(Level3)의 가중치 분석 결과를 비교해보면(Table 6), 공종별로 구분했을 때의 중요한 가중치 결과 값이 변화함을 알 수 있다. 몇몇 예로 중분류(Level2)단계의 유지관리성에서는 '계측설비의 적정성(3.27%)'로 가장 중요한 항목으로 분석되었고 공종별로 구분해본 결과 기계/전기 분야에서 또한 '계측설비의 적정성(2.62%)'이 가장 중요한 가중치로 분석되었다. 하지만 상하수도/토목/건축 분야에서는 '기존시설과의 연계성(0.70%)'이 가장 중요한 세부항목으로 분석 되었다.

품질확보성의 경우, 중분류 단계에서는 '유량분배의 적정성(2.23%)'이 가장 중요한 항목으로 분석되었지만, '기계/전기'분야에서는 '품질시험의 적정성(2.13%)'이 '상하수도/토목/건축'분야에서는 '방수방식/계획의 적정성(1.74%)'이 가장 중요한 항목으로 분석됨을 알 수 있었다. 기존 사례는 대개 대분류 또는 중분류까지만 구분하여 가중치 분석을 실시하였기 때문에 많은 평가항목이 함축되어 분석되었지만 기계/전기와 상하수도/토목/건축의 공종별로 세분화함으로써 설계VE수행 시에 분야별로 고려해주어야 할 평가항목이 다를 수 있고, 그 중요성 또한 가중치 값을 기준으로 비교할 수 있어 의사 결정에 유용하게 사용될 수 있다.

Table 6. The Highest Items in Level.2 & Level.3 Weight

	Level. 1	Level. 2	Level. 3	
			Machinery / Electrical Equip.	Water and Wastewater / Civil / Architecture
1	Maintainability (18%)	P-19 (3.27%)	P-19 (2.62%)	P-21 (0.70%)
2	Public Opinion (16%)	P-44 (3.6%)	P-43 (1.98%)	P-44 (3.24%)
3	Safety (14%)	P-24 (2.7%)	P-24 (2.7%)	P-30 (2.11%)
4	Usability (13%)	P-49 (3.15%)	P-49 (0.63%)	P-49 (2.52%)
5	Constructability (12%)	P-11 (4.18%)	P-11 (0.42%)	P-11 (3.76%)
6	Env. friendly (11%)	P-41 (3.14%)	P-41 (2.51%)	P-36 (1.47%)
7	Quality (10%)	P-35 (2.23%)	P-31 (2.13%)	P-32 (1.74%)
8	App. Planning (6%)	P-03 (1.18%)	P-02 (0.71%)	P-02 (0.71%)

5. ○○군 하수처리시설 증설 사업 설계VE 적용

본 연구에서 제안한 '성능평가항목'과 다단계성능평가법을 이용하여 분석된 '가중치 값'의 적용성 확인을 위해 ○○ 하

수처리시설 증설 사업에 적용하여 설계VE를 실시하였다. 설계VE는 SAVE International에서 제시한 Job Plan(Fig. 6)을 따라 진행하였으며, 제안한 성능평가항목과 가중치는 VE Job Plan의 준비단계(Pre-Study)와 분석단계(VE-Study)의 대안의 구체화 단계 등에서 이용되었다.

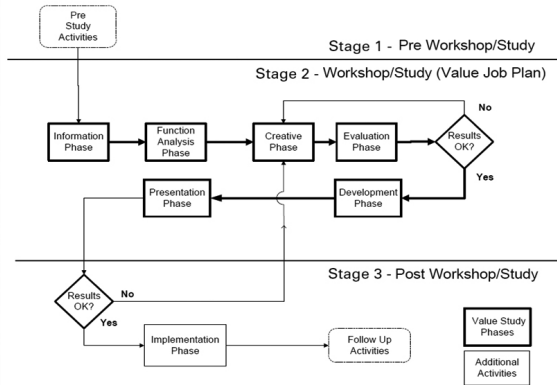


Fig. 6. VE Job Plan Suggested by SAVE International

본 연구의 사례분석대상의 총사업비는 약 170억 원, 1일 하수처리량은 1000m³이며 수질처리방법은 연속회분식반응조(Sequencing Batch Reactor :SBR)공법으로 설계되었다.

제안된 성능평가항목과 가중치 값을 이용하여 VE Workshop을 진행하였고, 기능분석, 아이디어 도출 및 평가, 대안의 구체화 과정 등을 통해 설계 VE 수행 시, 원안대비 전체 프로젝트의 성능이 약 1.31%향상될 것으로 예상되며 그 세부 성능평가항목별 성능평가 결과는 아래의 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 '공기의 적정성(10.30%)', '관리시스템의 편의성(7.63%)' 그리고 '공법의 적정성(7.55%)' 등에서 가장 두드러지게 성능이 향상 될 것으로 예상되었다. 이는 기존의 분석사례 Fig. 8과 같이 유지관리성, 안전성, 환경성 등과 같은 큰 분류로 묶어서 도출되던 성능향상의 결과가 세계

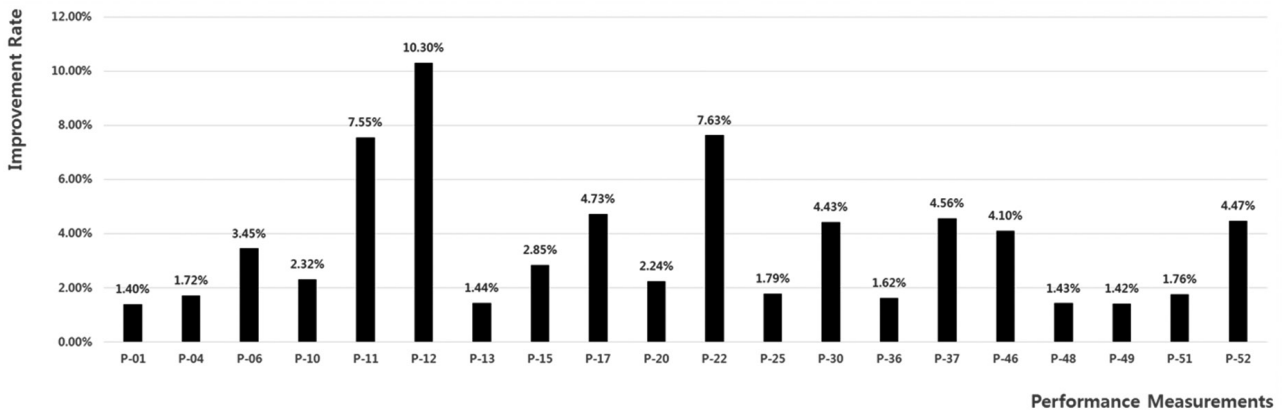


Fig. 7. The Result of Performance Improvement Rate in Level.2 (Except, The result of less than 1% data.)

하게 여러 항목으로 분해되어 분석됨으로써 기존에 객관적인 확인이 어려웠던 대분류 항목 또는 중분류 항목에서의 성능 향상 근거를 다단계성능평가법의 적용으로 보다 객관적으로 확인 할 수 있음을 알 수 있다.

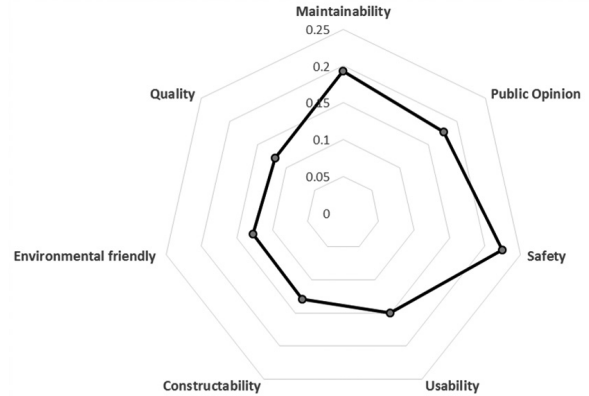


Fig. 8. The Example about Existing Performance Improvement

6. 결론

본 연구에서는 하수처리시설 사업에 대한 효율적인 VE수행을 위해 VE수행 절차 중 준비단계(Pre-study)에서 수행되는 성능평가항목을 선정하고, 가중치를 산정하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기존의 성능측정법 및 가중치 분석의 한계점을 고찰하여 보다 객관적인 평가를 위해 다단계성능평가법을 제안하였다.
- 2) 학계와 업계의 15명의 전문가를 상대로 설문조사를 시행, 가중치 분석에 적용할 data를 얻었으며, 이를 이용하여 다단계성능평가법에 AHP기법을 적용하여 가중치를 도출하였다.
- 3) 공종별 데이터 분석 결과, 기계/전기 공종의 가중치 분

석결과 '비상시 안전대책의 적정성(2.70%)'이 상하수도/토목/건축 공종에서는 '공법의 적정성(3.76%)'이 각각 가장 높은 가중치로 분석되었다. 또한, 설계VE를 수행할 때 각각 집중적으로 고려해주어야 할 평가항목이 다름을 알 수 있고, 그 중요성 또한 가중치 값을 기준으로 비교할 수 있었다.

4) 도출된 성능평가항목과 가중치의 적용성 확인을 위해 00군 하수처리시설 사업에 적용하여 설계VE를 수행하고 시설물의 성능 향상 결과를 도출함으로써 기존의 설계VE 때 제시한 성능향상의 결과보다 세세하고 객관적인 성능향상 결과를 도출하였다.

또한, 본 연구를 통해 하수처리시설의 성능평가항목과 그 가중치를 분석하여 하수처리시설 VE성능평가에 활용할 수 있는 항목별 가중치를 제시하였으며, 유사 하수처리시설에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(15RDRP-B066173-03)에 의해 수행되었습니다.

Reference

- Saaty, T.L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation". McGraw-Hill.
- Lee, C., Kim, H., Seo, M. et al. (2015). "VE practical tips in Highway (2015)". Korea Expressway Corporation.
- Korea Environment Corporation (2014). "Yangyang Sewerage Treatment Private Investment (Build-Transfer-Operation) Design VE Report". Korea Environment Corporation.
- Korea Environment Corporation (2014). "Icheon Danwol Public Sewage Treatment Expansion Project Design VE Report". Korea Environment Corporation.
- The Ministry of Environment (2013). "Sewer Statistics 2012.". (<http://webbook.me.go.kr/DLi-File/091/019/003/5566908-1.pdf>) (Oct, 01, 2015).
- Hong, J. M. (2011). "An AHP Approach for the Importance Weight of Renewable Energy Investment Criterion in the Private Sector AHP". *Korean energy economic review*, 10(1), pp. 115-142.
- Park, B., Lim, J., Kim, S. and Lee, M. (2006). "Application of Design Value Engineering for Improving Functional Performance of Highway Toll Plaza". *KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS*, p. 4.
- Lim, J., Park, M., Park, H., Kim, S. and Lee, K. (2008). "Performance Measurement Method for Efficient Value Engineering Study of Railroad Construction Project". *Korean Society for Railway*, pp. 2222-2229.
- Park, H., Kim, S., Lee, K. and Lim, J. (2009). "A Web-Based VE Supporting System Development Using Advance Value Metrics". *KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS*, pp. 865-868.
- SAVE International Value Standard (2015). "VALUE METHODOLOGY STANDARD 2015 edition".
- Yun, D., Sin, B., Jeong, Y. and Lee, S..(2005). "A Study on the Subject Selection of VE Using Decision Weights Techniques". *The Korean Institute of Building Construction*, pp. 83-90.
- Lim, J., Kim, S. and Lee, M. (2014). "Development of Web-Based VE Supporting System for Effective Workshop". *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(2), pp. 71-78.
- Lee, I., Hyun, C., Son, M., Kim, D. and Kim, Y. (2011). "Development of Function Breakdown Structure of Building Element based on Performance for Idea Connection in Design VE". *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(5), pp. 12-22.

요약 : 현재 우리나라의 대다수 공공하수처리시설들은 미래의 하수량 증가에 따른 설계기준에 대한 대비가 부족하여 현재 시설로는 향후 계획하수량의 적정처리가 곤란할 것으로 판단된다. 이에 대응하여 정부는 하수처리장 건설 사업을 꾸준히 진행하고 있는 추세다. 앞으로 건설될 하수처리시설의 효율적인 운영과 시설물의 가치 향상을 위해 본 연구에서는 주민과 하수처리시설, 토목 시공, 설계VE 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이를 바탕으로 비용 절감 뿐 아니라 시설물의 성능향상, 이용자 및 인근 주민의 만족도 등을 반영한 성능평가항목을 도출하고, 다단계성능평가법을 이용하여 효율적인 설계VE 수행을 위한 보다 객관적인 성능평가 항목의 가중치 분석을 실시하였다.

키워드 : 설계VE, 다단계성능평가법, AHP분석, 하수처리시설