

# 확률적 LCC분석기법을 활용한 수도시설물의 설계VA모델에 관한 연구

## A Study on the Design Value Analysis Model Using Probabilistic LCC Analysis of Water Supply System Project

정 평 기\* · 서 종 원\*\* · 임 종 권\*\*\*

Jung, Pyung-Ki · Seo, Jong-Won · Lim, Jong-Kwon

### 요 약

수도건설사업은 공용이후단계에서 소요되는 운영·유지관리비용 중에서 기계설비 및 관로시설이 대부분을 차지하는 대표적인 플랜트시설로 구성되므로 일반적인 토목시설물의 LCC모델과 차별화 되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 수도건설사업에 적합하도록 비용분류체계를 제시하고, 이에 따라 수도시설의 확률적 LCC분석 모델을 개발하였다. 또한, 설계VE 활동시 기초가 되는 설계VA의 절차를 실무활용도 측면을 고려하여 개선된 설계VA 절차를 제시하였다. 제시된 설계VA 절차와 확률적 LCC분석모델을 사용하여 실제 건설사업의 설계VE활동에 있어 송수관로의 적정 선형 선정에 적용하였다. 제안된 수도건설사업의 설계VA 및 확률적 LCC분석모델은 향후 수도건설사업의 경제적·가치혁신적 대안선정과 유지관리비 예산 추정 및 적정예산 배정에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 수도시설, 가치분석, 확률적 생애주기비용분석, AHP기법, 신뢰성해석

## 1. 서론

최근 건설사업분야 중 교량, 도로, 건축시설물들을 중심으로 LCC분석(Life Cycle Cost Analysis)을 위한 이론적 모델, 표준 지침 및 소프트웨어 등이 개발되고 있으며, 이러한 분석결과와 신뢰도 향상을 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 그러나 현재 댐, 단지 및 수도시설 등의 수자원건설사업에서의 타당성조사나 설계단계에서의 경제성 평가부분에서 의사결정은 초기건설비 보다 공용 중 발생하는 유지관리 및 보수비용이 더 클 수 있음에도 불구하고 초기건설비의 규모만으로 판단하고 있는 것은 불합리적이라 할 수 있다. 이러한 이유에서 LCC분석의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 정량적인 경제성 평가를 위한 LCC관련 연구가 아직은 미흡하고, 신뢰도 있는 과거 보수이력 자료 등의 부족으로 LCC분석에 대한 연구결과와 보편성이 결여되거나 실용적 가치가 낮아 현실성 있게 적용할 수 있는 유용한 적용방안 도출에 어려움이 있었다.

따라서 본 연구에서는 수도건설사업의 투자효율화와 합리적인 의사결정수단의 지속적 개발을 유도하기 위한 수도시설의 설계 VA(Value Analysis) 절차를 제안하였다.

특히, 이러한 설계 VA 절차에서 실무활용적 측면과 신뢰도 향상을 고려한 수도시설의 확률적 LCC분석모델(Probabilistic Life Cycle Cost Analysis Model)과 과거 수자원공사의 유지보수데이터 및 전문가 설문조사 분석을 통하여 LCC분석관련데이터를 구축하였다. 여기서, 수도시설의 범위는 시설물별 즉, 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설로 하였으며, 분야별 토목 및 기계시설에 국한하여 조사·분석하였다. 또한, 본 연구의 결과를 바탕으로 하여 실제대상사업인 신규 수도시설 건설사업의 대안선정에 적용하여 타당성을 검토하였다.

## 2. 설계VA절차

기존에 일반적으로 사용되어져 오고 있는 설계 VE절차<sup>1)</sup>는 그림 1에서 보는 바와 같이 크게 준비단계, 분석단계 및 실행단계

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 종신회원, 한양대학교 토목공학과 조교수, PE, 공학박사(교신저자)

\*\*\* 정회원, (주)승화이엔씨 건설VE사업부 부장, 공학박사

1) 한국건설기술연구원, "건설VE의 운용기법", 2000.

의 3단계로 구분되어져 있다. 준비단계에서는 관련자료의 수집, 사용자 요구측정, VE대상선정 등을 수행하고, 분석단계에서는 기능정의, 기능정리, 기능평가, 아이디어 창출, 개략평가 및 구체화, 상세평가 및 대안의 구체화 등을 수행한다. 또한, 실행단계에서는 VE제안서 검토, 승인 및 후속조치를 수행한다.

건설사업에 있어서 이와 같은 VE기법에 대한 효과가 검증되었고, 국내에서는 건설기술관리법 시행령에 의해 일정 규모이상의 공공부분 공사에 있어서 “설계의 경제성 검토”라는 규정 또한 마련되었다. 그림 1에서 보여진 설계 VE 절차는 시설물의 기능에 대한 분석에 근거하여 창조적 대안 창출과 이에 대한 구체화 및 상세평가를 통하게 되며, 통상 VE 전문가를 리더로 하는 팀의 구성이 이루어져야 한다. 이상적으로는 이와 같은 VE 형태가 필요할 것이나 현재 국내의 실정을 살펴보면 공공사업부분의<sup>2)</sup> 사업 및 민자사업 등의 실무에서는 대부분의 경우 기능분석 단계를 거치지 않고 창출된 대안들에 대한 생애주기비용을 산정하여 봄으로써 경제성 검토를 수행하고 있는 실정이다. 생애주기비용 산정을 통한 경제성 분석은 기존의 초기비용분석만을 고려한 설계대안의 비교를 발전시켰지만 비교대안의 성능에 대한 고려는 하지 못하였다.

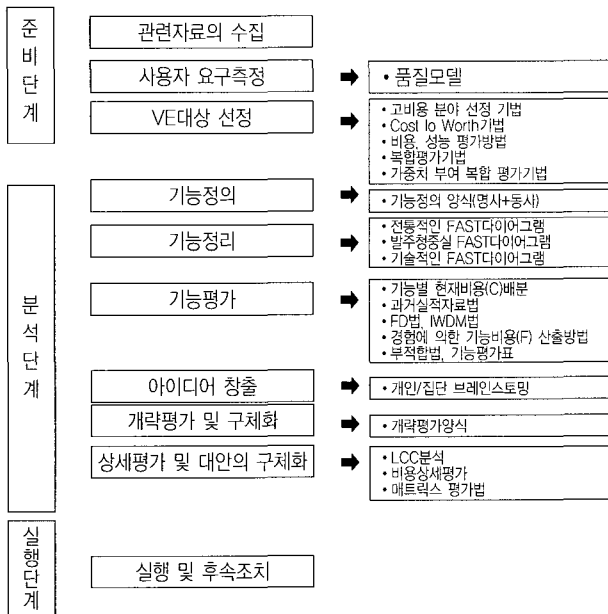


그림 1. 일반적 설계 VE 절차

본 연구에서는 기존 설계 프로세스를 고려하여 효율성과 실무 활용성을 강조하는 측면에서 VE 절차를 간소화한 설계 VA 절차를 고려하고자 하며, 분석결과에 대한 신뢰도 측면에서 설계 VA와 확률적 LCC 분석 모델과의 상관관계를 규명하여 확률적 LCC 분석을 통한 결과의 신뢰도 향상에 중점을 두어 그림 2와 같이 설계

VA 절차를 제안하고자 한다.

제안된 설계 VA 절차는 기능분석을 통한 대안도출과정이 포함되어 있지 않고 기 도출된 비교대안들의 성능비교를 위한 품질 모델을 선정하고 이를 통하여 대안의 성능평가를 수행하고, LCC 분석을 통하여 설계초기단계에서 나오는 대안에 대한 가치 분석을 수행하도록 하는 일반적인 흐름을 유지하고 있다.

그러나, 본 연구를 통하여 제안된 설계 VA 절차는 정량적 변량에 대하여 확률적 LCC 분석을 통한 대안별 LCC 분석 결과에 대한 발생확률 (Percentile)의 일관도를 체크하여 일관도를 유지하지 못할 경우 신뢰성 분석을 통한 분석 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 하였으며, 정성적 변량의 평가시 합리적이고 일원화된 평가 지표 산정을 위한 산출방안을 제시하여 평가 결과의 일관성을 도모할 수 있도록 하였다.

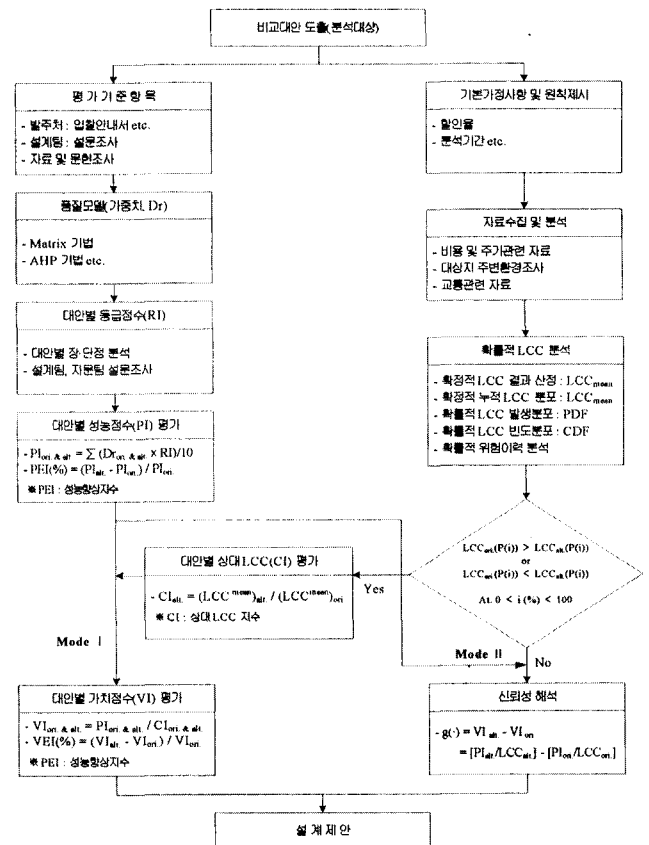


그림 2. 개선된 설계 VA 절차

그림 2에서 제안된 모델의 정량적 분석을 통한 가치평가는 확률적 LCC 분석을 통하여 분석된 결과에서 발생확률에 따른 대안별 LCC 결과값이 일관성을 유지할 경우 즉 모든 발생확률구간에 대하여 원안의 LCC 최대값인  $LCC_{cat.P(i)}$ 이 대안의 LCC 최대값인  $LCC_{cat.P(i)}$ 보다 항상 크거나 또는 항상 작을 경우는 상기 모델의 Mode I 절차에 따라 대안별 확률적 LCC 분석 결과의 평균값에 대한 상대 LCC(CI) 값을 산정하여 대안별 가치평가를 수행

2) TK TK(Turn-Key) : 설계 · 시공 일괄입찰방식

한다. 그러나, 일관성을 유지하지 못하는 경우는 Mode 2에 따라 가치평가는 확률적으로 산정된 생애주기비용을 기 평가된 성능 점수와 상관시키기 위해서 신뢰성 해석이 필요하게 되는데, 이를 위한 한계상태함수를 다음 식 1에 나타내었다.

$$g(\cdot) = VI_{alt.} - VI_{ori.} = [PI_{alt.}/LCC_{alt.}] - [PI_{ori.}/LCC_{ori.}] \quad (\text{식 1})$$

여기서,  $VI_{alt.}, VI_{ori.}$  = 대안 및 원안의 가치지수  
 $PI_{alt.}, PI_{ori.}$  = 대안 및 원안의 성능지수  
 $LCC_{alt.}, LCC_{ori.}$  = 대안 및 원안의 확률적 LCC 분포값

식 1에서 보인바와 같이 확률적 LCC 결과값의 평균(Mean)과 변동계수(COV)를 무작위변량으로 보고 신뢰성 해석을 수행하여 대안이 원안보다 가치가 높게 산정될 확률을 살펴보고 각종 입력변수에 대한 변화를 민감도 분석을 수행하여 비교대안들의 가치에 대한 평가를 입력데이터의 불확실성과 변동성을 고려하여 분석하는 것을 가능하게 해준다.

그림 2의 Mode 1을 통한 가치평가절차에서의 일관성을 유지하기 위한 평가지표를 표 1에 요약하였다.

표 1. 가치평가를 위한 평가지표

구분	산출식	범위(점)
품질모델가중치(Dr)	항목별 평가	0~10
등급점수(RI) <sup>a)</sup>	대안별 평가	0~100
성능점수(PI)	$PI = \sum(Dr \times RI) / 10$	0~100
성능향상지수(PEI)	$PEI = (PI_{alt.} - PI_{ori.}) / PI_{ori.}$	0~100
상대LCC지수(CI)	$CI_{alt.} = LCC_{alt.}^{mon.} / LCC_{ori.}^{mon.}$	$CI_{ori.} = 1.0$
가치점수(VI)	$VI = \sum(PI/CI)$	0~100
가치향상지수(VEI)	$VEI = (VI_{alt.} - VI_{ori.}) / VI_{ori.}$	0~100

주1) 하첨자 ori. 는 원안이며, alt. 는 대안임.

### 3. 수도시설 LCC분석 모델

#### 3.1 수도시설 LCC분석 절차

LCC 분석은 초기건설이후에 발생하는 비용규모가 크고 항목이 다양하여 생애주기비용이 높은 경우 분석의 가치를 가지게 된다. LCC 분석절차에 관한 선행연구를 바탕으로 표준적인 LCC 분석절차를 그림 3에 나타내었다.

LCC 분석은 주로 확정적 분석방법과 확률적 분석방법으로 대별할 수 있다. 확정적 분석방법과 확률적 분석방법의 특징<sup>a)</sup>을 표 2에 간략히 기술하였다.

3) Caltrans, "Value Analysis Report Guide", 2002.

4) 한국수자원공사, "수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC 분석기법 적용방안 연구", 2003.

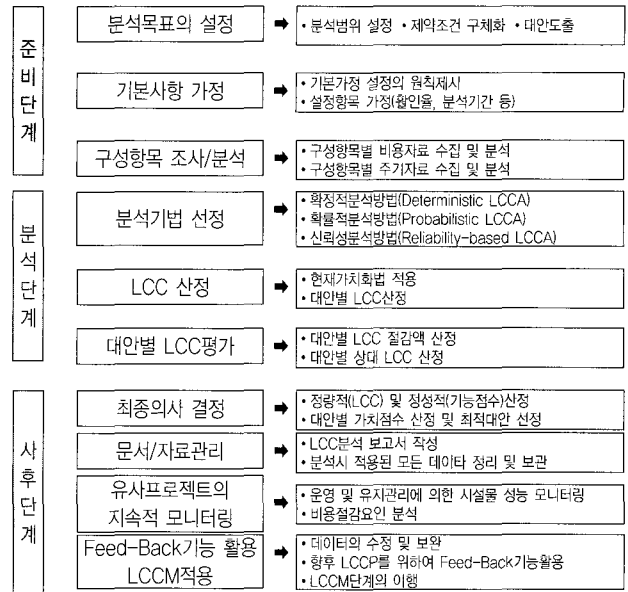


그림 3. LCC 분석절차

표 2. 확정적 분석방법과 확률적 분석방법의 특징

구분	확정적 분석방법(DLCCA)	확률적 분석방법(PLCCA)
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>수집된 데이터에 기초한 확정적 LCC 분석</li> <li>적용성은 용이하나 결과에 대한 신뢰도 미비</li> <li>민감도 분석을 통한 신뢰도 보완</li> <li>민감도 분석을 위한 주요변수 선정 어려움</li> <li>시간/비용 과대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분석시 수집된 입력데이터의 변동성을 고려한 방법</li> <li>수집된 데이터의 불확실성을 시뮬레이션(주로 MCS) 기법과 Frequency 해석에 의해 수행하므로 신뢰도 향상</li> <li>확정적 방법보다 합리적이며 과학적인 방법으로 권장하고 있는 방법</li> </ul>

확정적 분석방법은 기존에 주로 사용되어져 오고 있는 방법으로 계산이 간편하나 입력변수에 대한 불확실성을 고려하지 못하는 단점을 가지고 있어 결과의 신뢰도가 낮다고 할 수 있다. 그러나 이러한 단점을 극복하기 위해 민감도 분석을 수행하게 되지만 모든 불확실성 변수에 대해 고려하지 못하고 일부 중요변수에 대한 형식적인 민감도 분석에 그치는 경우가 많다. 이는 모든 불확실성 변수에 대한 민감도 분석을 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문이다.

반면, 확률적 분석방법은 모든 입력변수의 확률적 특성치를 확률모델에 대한 시뮬레이션을 수행하여 비용항목의 발생 가능성뿐만 아니라 비용 항목이 발생 가능한 전체 범위를 반영하게 되므로 LCC에 영향을 주는 전체 변수에 대한 변동성을 한번에 고려할 수 있어 결과의 신뢰도 및 시간과 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다.

따라서, LCC 분석시 확률적 분석방법을 사용하는 것이 보다 합리적이고 과학적인 방법이라 사료되어 본 연구에서도 확률적 분석방법을 사용하였다.

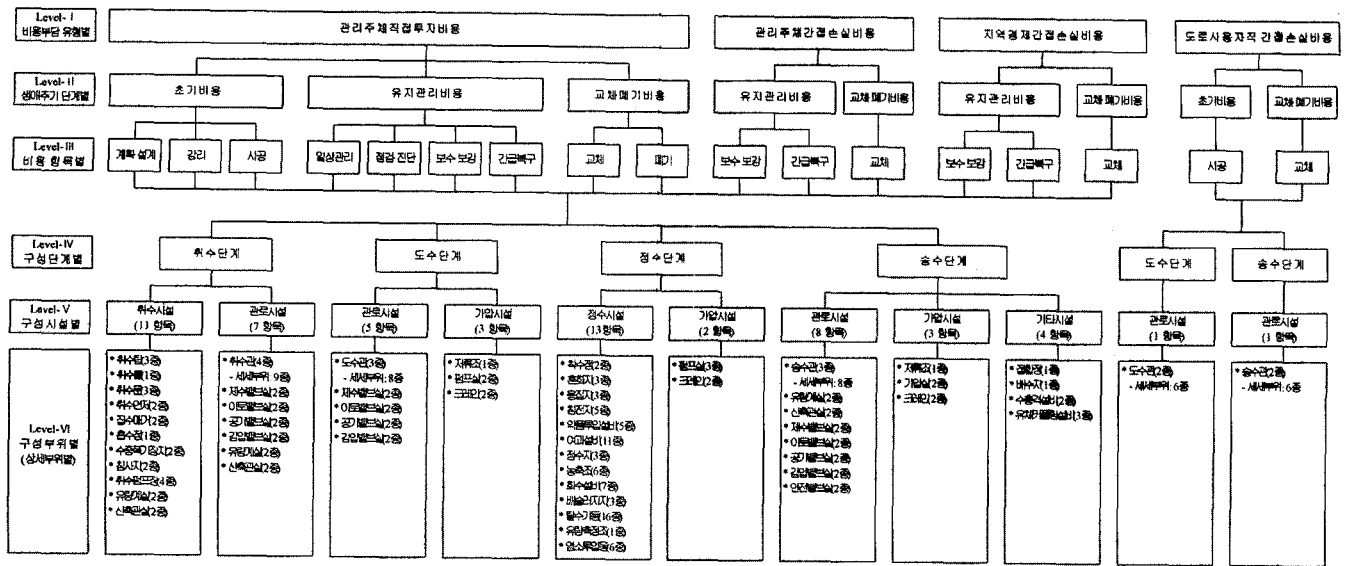


그림 4. 수도시설 LCC분석을 위한 비용분류체계

3.2 수도시설 비용분류체계

교량 및 도로시설은 대부분이 토목분야의 시설로 구성되어 있으나, 수도시설의 경우는 토목분야를 포함한 기계, 건축, 전기분야 등의 다양한 분야가 유기적으로 구성된 플랜트시설물로 구별할 수 있다.

교량구조물의 LCC분석을 위한 비용분류체계는 Level-1 분류는 비용부담주체별인 발주처비용, 사용자비용 및 제3집단비용으로 구분되며, Level-2분류는 생애주기단계별인 초기비용, 유지관리비용, 해체·폐기비용으로 구분된다. 또한, Level-3분류는 구성요소별로 분류를 하고 있다<sup>5)</sup>.

교량구조물은 사회간접시설로서 일반에서 무상으로 제공되며, 대부분이 단위구조물 즉 프로젝트 레벨로 구성되어 있어 공용수명을 다하면 해체·폐기단계를 거쳐 필요시 재가설을 하게 된다.

그러나, 본 연구에서와 같은 수도시설물의 경우는 일반에게 용수를 공급하고 연계되는 편익이 발생하며, 대부분이 유기적 관계에 의한 광범위한 시설물 즉 네트워크 레벨로 일부분이 공용수명을 다하게 되면 교체·확장·축소를 통하여 시설물의 본래의 기능을 유지하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 상기에서 언급한 수도시설을 특성을 감안하여 수도시설의 LCC분석을 위한 비용분류체계는 그림 4에서 제시하였다.

그림 4에 제시된 수도시설 LCC 비용분류체계는 Level-1단계를 비용부담유형별로 구분하여 관리주체부담 직접투자비용, 관

리주체부담 간접손실비용, 지역경제 간접손실비용, 도로사용자 직·간접 손실비용으로 구분하였다. 여기서 관리주체부담 간접 손실비용은 유지관리초치시 용수공급 중단으로 인한 용수공급자의 운영수입의 손실비용이며, 지역경제적 간접손실비용은 용수공급 중단으로 인한 용수공급대상지의 산업시설 및 상업시설에서 간접적으로 입게되는 경제손실비용을 나타낸다. 또한, 도로사용자 직·간접손실비용은 수도시설중 도수 및 송수시설의 관로 시설중 일부가 기존도로를 통과 또는 도로선형과 나란히 설치되어 있어, 시공시와 교체시에 발생하는 비용으로 분류하였다.

Level-2단계는 생애주기단계별로 구분하여 초기비용, 유지관리비용, 교체·폐기비용으로 구분하였다. 기존 교량 LCC분석모델 등에서는 교체비용을 유지관리비용의 항목으로 포함하여 구분하고 있으나, 수도시설물의 경우는 요소시설 및 기계시설의 교체비용이 상당히 큰 항목으로 분류되고 있어 유지관리비용으로 포함하는 것이 관리적 측면에서 비합리적일 것으로 판단되어 교체·폐기비용의 항으로 구별하여 분류하였다.

Level-3단계는 비용항목별 분류로서 계획·설계비용, 감리비용, 시공비용, 일상관리비용, 점검·진단비용, 보수·보강비용, 긴급복구비용, 교체비용, 폐기비용으로 구분하였다. 기존 교량 LCC분석 모델 등에서는 긴급복구비용을 고려하지 않고 있으나, 수도시설물의 경우는 장마, 홍수 등의 천재지변에 의하거나 수도시설의 일부분 고장 등에 따라 원활한 용수공급에 저해되는 경우가 발생됨으로 반드시 필요한 항목으로 수도시설 LCC분석 모델에 포함하였다.

Level-4단계는 구성단계별 분류로서 수자원공사의 시설이 광역상수도임을 감안하여 취수단계, 도수단계, 정수단계, 송수단계로 구분하였다.

5) Ehlen, M. A. & Marshall, H.E., "The Economic of New Technology Materials : A Case Study of FRP Bridge Decking", NIST, 1996.

Level-5단계는 구성시설별 분류로서 취수시설, 관로시설, 가압시설, 정수시설 및 기타시설로 구분하였다.

Level-6단계는 구성부위별 분류로서 Level-5의 구성시설별 분류의 하위부위에 해당하는 분류로서 취수시설에 해당하는 부위를 11항목 24종, 관로시설에 해당하는 부위를 7항목 21종, 가압시설에 해당하는 부위를 3항목 5종, 정수시설에 해당하는 부위를 13항목 71종으로 구분하였다.

### 3.3 수도시설 LCC산정 모델

본 연구에서의 수도시설의 LCC산정을 위한 모델은 수공 CALS<sup>®</sup>와의 연계활용성을 고려하였다. 전철 수도시설 비용분류 체계의 생애주기단계별에 따라 식 2와 같이 제시하였다.

$$E[LCC_{Total}(x, T)] = C_{INI} + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+i)^t} [E[C_{OMR}(x, t)] + E[C_{REP}(x, t)]] \quad (식 2)$$

여기서,  $LCC_{Total}$  = 총 기대생애주기비용  
 $C_{INI}$  = 초기비용  
 $C_{OMR}$  = 총 기대유지관리비용의 현재가치  
 $C_{DIS}$  = 총 기대교체비용의 현재가치  
 $x, T$  = 비용발생항목 및 비용발생시간

#### (1) 초기비용

초기비용은 수도시설물의 계획·설계, 시공 등 일반적으로 수도시설물이 준공되기 전까지 발생하는 비용으로 관리주체가 최초에 투자하는 기본적인 매개변수를 의미하며 식 3에 제시하였다.

$$C_{INI} = C^{ad}_{DES} + C^{ad}_{CSV} + C^{ad}_{CON} + C^{ud}_{CON_{\text{user}}} \quad (식 3)$$

여기서,  $C^{ad}_{DES}$  = 관리주체부담 계획·설계비용  
 $C^{ad}_{CSV}$  = 관리주체부담 감리비용  
 $C^{ad}_{CON}$  = 관리주체부담 시공비용  
 $C^{ud}_{CON_{\text{user}}}$  = 도로구간 관로시설 시공시 도로사용자 부담 간접손실비용

상기 식 3에서 도로사용자가 부담하는 간접손실비용은 도수 및 송수관로가 기존의 도로를 통과하거나 인접하여 시공시 기존 도로통행에 지장을 초래하게 됨에 의해 발생하는 비용으로 한정하였다.

#### (2) 유지관리비용

유지관리비용  $C_{OMR}$ 은 비용부담 유형별 즉 관리주체가 부담하는 직접유지관리비용, 관리주체가 부담하는 간접손실비용 및 지역경제주체가 부담하는 간접손실비용에 해당되며, 각각의 부담주체별에 따른 비용항목별 즉, 초기비용항목으로 계획·설계비용, 감리비용 및 시공비용, 유지관리비용항목으로

일상관리비용, 점검·진단비용, 보수·보강비용 및 긴급복구비용, 교체·폐기비용항목으로 교체비용과 폐기비용으로 구분하여 식 4에 제시하였다.

$$C_{OMR} = C^{ad}_{OMR} + C^{al}_{OMR} + C^{dl}_{OMR} \quad (식 4)$$

$$\text{이때, } C^{ad}_{OMR} = C^{ad}_{MAN} + C^{ad}_{DIA} + C^{ad}_{REH} + C^{ad}_{EME} \quad (식 4a)$$

$$C^{al}_{OMR} = C^{al}_{REH} + C^{al}_{EME} \quad (식 4b)$$

$$C^{dl}_{OMR} = C^{dl}_{REH} + C^{dl}_{EME} \quad (식 4c)$$

여기서,  $C^{ad}_{OMR}$  = 관리주체부담 직접유지관리비용

$C^{al}_{OMR}$  = 관리주체부담 간접손실비용

$C^{dl}_{OMR}$  = 유지관리조치시 지역경제 간접손실비용

$C^{ad}_{MAN}$  = 관리주체부담 일상관리비용

$C^{ad}_{DIA}$  = 관리주체부담 점검·진단비용

$C^{ad}_{REH}$  = 관리주체부담 보수·보강비용

$C^{ad}_{EME}$  = 관리주체부담 긴급복구비용

$C^{al}_{REH}$  = 보수·보강조치시 관리주체부담 간접손실비용

$C^{al}_{EME}$  = 긴급복구시 관리주체부담 간접손실비용

$C^{dl}_{REH}$  = 보수·보강조치시 지역경제 간접손실비용

$C^{dl}_{EME}$  = 긴급복구시 지역경제 간접손실비용

#### (3) 교체비용

교체비용  $C_{REP}$ 은 수도시설물이 가능회복을 위한 보수·보강조치가 시스템을 개축하는 것보다 경제성이 없을 경우 수도시설물을 교체하게 된다. 특히, 수도시설물의 경우는 전철에서 언급한 바에 따라 교체비용을 관리주체가 부담하는 직접유지관리비용, 교체시 관리주체가 부담하는 간접손실비용, 지역경제주체가 부담하는 간접손실비용 및 도로사용자가 부담하는 간접손실비용으로 구분하여 식 5에 제시하였다.

$$C_{REP} = C^{ad}_{REP} + C^{al}_{REP} + C^{dl}_{REP} + C^{ul}_{REP_{\text{user}}} \quad (식 5)$$

여기서,  $C^{ad}_{REP}$  = 시설물 교체시 관리주체부담 교체비용

$C^{al}_{REP}$  = 시설물 교체시 관리주체부담 간접손실비용

$C^{dl}_{REP}$  = 시설물 교체시 지역경제 간접손실비용

$C^{ul}_{REP_{\text{user}}}$  = 도로구간 관로시설 교체시 도로사용자 부담 간접손실비용

### 3.4 수도시설 LCC분석조건

수도시설 LCC분석을 위한 대안의 평가와 관리수준을 명확히 정의하고 계획목표 구현을 위한 재화와 시간의 투자범위에서 가능한 많은 대안을 도출하여 다음사항에 대한 비교가 포함되어야 하며, 분석기간과 경제지표에 대해서는 다음에 상세히 기술하였다.

- 동일한 요구 성능 및 관리수준
- 적절한 분석기간

6) 한국수자원공사, "표준분류체계 운영절차서", 2003.

• 동일한 경제지표 및 평가

(1) 분석기간

일반적으로 LCC 분석을 위한 분석기간은 그림 5에 보듯이 미국 FHWA<sup>7)</sup>의 연구보고서에서는 비교대안 중 가장 긴 수명을 가진 대안이 적어도 1번 이상의 교체가 이루어지도록 분석기간을 설정하도록 권장하고 있다.

한편, 수도시설물의 경우 예비타당성조사단계 및 타당성조사 단계에서의 시설물의 내구년한을 기본시설 50년, 기계류 15년으로 설정<sup>8)</sup>하고 있으며, 최근 연구에서 LCC분석시 분석기간을 시설물의 내구년수, 시공기간 및 FHWA의 기준을 고려하여 70년으로 분석하도록 권장하고 있다<sup>9)</sup>. 따라서, 본 연구에서도 최근의 연구결과를 사용하여 분석기간을 70년으로 분석하였다.

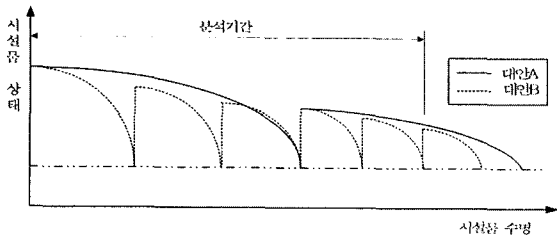


그림 5. LCC분석기간의 선정(FHWA, 1998)

(2) 할인율

할인율은 돈의 시간적 가치를 나타내는 계수로서 발생시기가 서로 다른 비용을 일정한 기준시점으로 환산하며, 시간경과에 따른 물가변동효과를 고려하여 적용하여야한다.

한편, 한국개발연구원<sup>10)</sup>에서는 공공투자사업의 할인율로서 7.5%를 제시하고 있으나, 최근 수자원공사<sup>11)</sup>의 연구에서는 장기적인 편익이 발생하는 수도시설물의 경우는 실질할인율을 6.0%로 제안하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 실질할인율을 6.0%를 적용하였다.

4. 수도시설 LCC분석 관련 데이터

수도시설물의 LCC 분석을 위해서는 수도시설의 비용항목별 기대 보수, 보강 및 교체에 대한 주기, 비율 및 비용에 대한 데이터가 준비되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기초자료를 제공하고자 데이터를 분석 제시하였다.

과거이력데이터가 축적되어 있지 않은 주기 및 비율관련정보는 수자원공사 수도시설 관리단의 5년이상 유지관리업무 실무 담당자 35인을 대상으로 설문조사를 실시하여 데이터를 분석하였다. 통계분석시 설문조사된 데이터의 경우는 삼각형분포로 가정하여 분석하는 것을 권장<sup>12)</sup>하고 있어 본 연구에서도 설문조사 데이터를 삼각형 분포로 가정하여 평균, 표준편차 및 변동계수(COV)를 산출하였으며, 오차범위 20%를 벗어나는 값은 제외하였다.

과거이력 데이터가 축적되어 있는 비용관련정보는 최근 5년간의 수자원공사의 관리연보 및 전산구축데이터를 활용하여 통계분석을 수행하였다. 통계분석시 획득된 데이터를 정규분포로 가정하여 평균, 표준편차 및 변동계수(COV)를 산출하였으며, 오차범위 10%를 벗어나는 값은 제외하였다.

본 연구에서 제시된 데이터는 일부만을 기술하였으며, 상세한 내용은 “수도건설사업 원가절감을 위한 LCC분석기법 적용방안 연구, 2003”에 제시하였다.

4.1 생애주기산정

생애주기를 산정은 상기에서 언급한 바와 같이 설문조사를 실시하여 이들의 경험 및 기술적 판단을 토대로 분석하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

(1) 비용항목별 최초보수시기

최초보수시기는 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설에 대하여 각 세부부위별로 분석하였으며, 본 연구에서는 취수 시설중 일부만을 표 3에 기술하였다. 분석결과 데이터의 변동계수(COV)가 대체적으로 0.3~0.5의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 3. 비용항목별 최소보수시기(취수시설 일부)

대분류	구 분		평균(년)	COV
	중분류	소분류		
취수탑	구체	-	11	0.287
	수문	-	6	0.362
	스크린	-	7	0.331
취수틀	구체	-	9	0.369
취수문	구체	-	10	0.343
	수문	-	6	0.375
	스크린	-	6	0.375
취수언제	구체	-	9	0.311
	스크린	-	6	0.373

7) Wall, J. III & Smith, M. R., "Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design, 1998.

8) 경제기획원, "투자심사편람-상수도", 1982.

9) 한국수자원공사, "수도시설 LCC 표준지침(안)", 2003.

10) 한국개발연구원, "예비타당성 조사수행을 위한 일반지침 연구", 2000.

11) 한국수자원공사, "수도시설 LCC분석 표준지침(안)", 2003.

12) Wall, J. III & Smith, M. R., "Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design, 1998.

(2) 비용항목별 재보수주기

재보수주기는 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설에 대하여 각 세부부위별로 분석하였으며, 본 연구에서는 도수시설만을 표 4에 기술하였다. 분석결과 데이터의 변동계수가 대체적으로 0.3~0.5의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 4. 비용항목별 재보수주기(도수시설 일부)

대분류	구 분		평균(년)	COV
	중분류	소분류		
가압시설 (펌프장)	저류조	구체	6	0.419
	가압펌프	-	3	0.474
	진공펌프	-	3	0.509
	크레인/호이스트	-	5	0.334
밸브실	제수밸브실	구체	10	0.533
		밸브	5	0.372
	이토밸브실	구체	10	0.533
		밸브	5	0.372
	공기밸브실	구체	10	0.533
		밸브	5	0.372
감압밸브실	구체	7	0.458	
	밸브	5	0.372	

(3) 비용항목별 보강주기

보강주기는 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설의 관로부위에 국한하여 분석하였다. 관로보강의 경우는 수도시설의 특성으로 관로 내부부식이 발생됨에 따라 관로내부를 타재료로 보강하게 된다.

본 연구에서는 송수관로부위만을 표 5에 기술하였으며, 분석결과 데이터의 변동계수(COV)가 대체적으로 0.3~0.4의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 5. 비용항목별 보강주기(송수시설 일부)

대분류	구 분		평균(년)	COV	
	중분류	소분류			
송수관	덕타일 주철관	700mm이상	17	0.377	
		400~700mm	14	0.337	
		400mm 이하	13	0.347	
	도복장 강관	1,000mm이상	14	0.380	
		600~1,000mm	12	0.361	
		600mm 이하	11	0.346	
	터널	1,000mm 이상	-	17	0.351
			-	17	0.351
		1,000mm 이하	-	17	0.351
			-	17	0.351

(4) 비용항목별 교체주기

교체주기는 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설에 대하여 각 세부부위별로 분석하였으며, 본 연구에서는 정수시설 중 일부만을 표 6에 기술하였다. 분석결과 데이터의 변동계수(COV)가 대체적으로 0.3~0.4의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 6. 비용항목별 교체주기(정수시설 일부)

대분류	구 분		평균(년)	COV
	중분류	소분류		
착수정	구체	-	39	0.243
	제수밸브	-	22	0.338
혼화지	구체	-	39	0.243
	혼화기	-	13	0.256
응집지	제수밸브	-	29	0.429
	구체	-	39	0.243
	응집기	-	13	0.364
	제수밸브	-	20	0.330

4.2 보수·보강비율산정

보수·보강비율은 대상구성요소에 대하여 유지관리조치를 수행할 경우 전체에 대하여 수행하지 않고 노후화나 손상도를 고려하는 부분적으로 수행하게 됨으로 보수·보강비율의 산정을 수행하였다.

보수·보강비율을 산정하기 위하여 관리단의 실무담당자 설문 조사를 실시하여 이들의 경험 및 기술적 판단을 토대로 그림 4의 비용분류체계에 따라 분석하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

(1) 비용항목별 보수비율

보수비율은 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설에 대하여 각 세부부위별로 분석하였으며, 본 연구에서는 정수시설중 일부분만을 표 7에 기술하였다. 분석결과 데이터의 변동계수(COV)가 대체적으로 0.3~0.5의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 7. 비용항목별 보수비율(정수시설 일부)

대분류	구 분		평균(%)	COV
	중분류	소분류		
농축조	구체	-	54	0.420
		-	30	0.534
	슬러지 수집기	-	24	0.481
	슬러지 인발밸브	-	38	0.602
	배수펌프	-	40	0.572
	슬러지펌프	-	40	0.572
회수설비	구체	-	49	0.400
		-	27	0.512
	역지밸브	-	27	0.512
	토출밸브	-	27	0.512
	회수조펌프	-	26	0.459
	슬러지펌프	-	28	0.437
	크레인/호이스트	-	25	0.537

(2) 비용항목별 보강비율

보강비율은 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설의 관로부위에 국한하여 분석하였으며, 본 연구에서는 취수관로부위만을 표 8에 기술하였다. 분석결과 데이터의 변동계수(COV)가 대체적으로 0.3~0.4의 범위를 갖는 것으로 분석되었다.

표 8. 비용항목별 보강비율(취수관로 부위)

대분류	구 분		평균(%)	COV
	중분류	소분류		
취수관	덕타일 주철관	700mm이상	33	0.354
		400~700mm	30	0.343
		400mm 이하	31	0.323
	도복장 강관	1,000mm이상	15	0.311
		600~1,000mm	15	0.311
		600mm 이하	18	0.359
	터널	1,000mm 이상	41	0.261
		1,000mm 이하	41	0.261

4.3 단위유지관리비용산정

단위유지관리비용을 산정하기 위하여 수자원공사의 통계자료를 토대로 그림 4의 비용분류체계에 따라 분석하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

(1) 일상관리비용

일상관리비용은 직영보수비중 돌발복구비를 제외한 환경정비비, 사업장 이토제거비, 장비·공기구 유지보수비 및 유지보수용 자재구입비와 점검정비비중 일반관리비 및 시설비로 구성된다. 이는 시설용량당 단위비용으로 산정하였으며, 그 결과를 표 9에 기술하였다.

표 9. 일상관리비용

대분류	구 분		평균 (원/년-천 <sup>3</sup> /일)	COV
	중분류	소분류		
직영보수비	시설물 환경정비비	사업장 이토제거비	92,712	0.129
		장비/공기구 유지보수비	35,352	0.347
		유지보수용 자재구입비	32,464	0.244
		일반관리비	54,455	0.397
		시설관리비	94,344	0.056
점검정비비	297,201	0.056		
년간 단위 직/간접 관리비용		606,529	0.057	

(2) 점검/진단비용

점검/진단비용은 취수시설, 도수시설, 정수시설 및 송수시설의 모든 시설에 대한 시설용량당 연간단위비용으로 추정하였으며, 그 결과는 표 10에 기술하였다.

표 10. 점검/진단비용

구 분	평균 (원/년-천 <sup>3</sup> /일)	COV
년간 단위 점검/진단비용	606,529	0.057

(3) 긴급복구비용

긴급복구비용은 직영보수비중 돌발복구비와 점검정비비중 긴급복구비용으로 구성되며, 모든 시설에 대한 시설용량당 연간단위비용으로 추정하였으며, 그 결과를 표 11에 기술하였다.

표 11. 긴급복구비용

대분류	구 분		평균 (원/년-천 <sup>3</sup> /일)	COV
	중분류	소분류		
긴급복구비용	직영보수비중 돌발복구비	점검정비비중 긴급복구비	56,787	0.350
		48,295	0.056	
년간 단위 긴급복구비용			105,083	0.206

(4) 보수비용

보수비용은 세부구성항목에 따른 보수공법 및 보수필요 요소가 너무 방대하고 각 보수필요 요소에 투입되는 비용의 변동성이 상당히 크므로 현 단계에서는 정량화하는 것이 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 각 시설별 교체비용에 보수비율을 곱하여 개략적으로 산출하여 적용하였다. 이에 대한 구체적인 연구는 향후에 반드시 필요할 것으로 사료된다.

(5) 보강비용

수도시설중 보강조치의 주 대상이 관로부위이므로 관로부위에 대한 보강비용을 기존 연구결과를<sup>13)</sup> 기반으로 하여 재분석하였으며, 그 결과는 표 12에 나타내었다.

표 12. 보강비용(관로 부위)

대분류	구 분		평균 (원/m)	COV
	중분류	소분류		
보강비용	덕타일주철관	700mm이상	107,750	0.392
		400mm-700mm이상	30,466	0.305
		400mm이하	10,707	0.396
	도복장강관	700mm이상	152,076	0.101
		400mm-700mm이상	69,378	0.298
		400mm이하	15,390	0.561

(6) 교체비용

교체비용은 관로시설, 토목시설 및 기계시설 부위로 각각 분류하였다. 관로시설은 토사구간과 포장구간에 따른 관종별로 분류하였으며, 토목시설 및 기계시설은 비용분류체계에 의해 분류하여 분석하였다. 그 결과를 각각 표 13~표 15에 나타내었다.

표 13. 관로시설 교체비용

대분류	구 분		평균 (원/단위)	COV
	중분류	소분류		
토사구간	도복장 강관	1000mm이상	2,042,088	0.477
		600mm-1000mm	534,039	0.270
		600mm이하	213,035	0.185
포장구간	도복장 강관	1000mm이상	2,963,995	0.431
		600mm-1000mm	757,369	0.217
		600mm이하	378,876	0.132

13) 한국수자원공사, 수도관 개량을 위한 의사결정 시스템 개발, 1995



표 14. 토목시설 교체비용(일부)

구분	단위	평균 (원/단위)	COV
저류조 교체	m³	260,144	0.060
착수정 교체	m³	955,963	0.054
혼화지 교체	m³	363,898	0.076
응집지 교체	m³	372,956	0.063
침전지 교체	m³	158,261	0.062

표 15. 기계시설 교체비용(일부)

구분	단위	평균 (원/단위)	COV
취수수문	대	39,874,977	0.038
취수스크린	대	201,704,807	0.057
공기압축기	대	2,628,601	0.047
취수펌프	대	46,715,783	0.364
진공펌프	대	35,327,926	0.227
배수펌프	대	1,432,583	0.094

(7) 관리주체 간접손실비용

간접손실비용은 용수공급중단에 따른 관리주체인 수자원공사의 운영수입의 손실을 의미하며, 이에 대한 비용은 수자원공사의 용수공급단가, 용수공급량 및 용수공급중단시간을 고려하여 산출할 수 있다. 이는 대상시설 분석시 현시점의 자료를 수집하여 분석하여야 한다.

5. 적용사례

5.1 분석개요

본 적용예제에서는 최근 설계완료된 수도시설 건설사업중 "OO내륙권 광역상수도 사업"의 실시설계 단계에서 낙동강을 횡단하는 송수관로 건설사업에 대하여 최적대안을 도출하고자 분석을 수행하였으며, 도출된 비교대안은 표 16와 같다.

표 16. 각 대안별 개요

구분	비교 1안	비교 2안
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>공업용수 달성공단 및 구지공단 하천 횡단관로를 별개로 횡단</li> <li>횡단개소 2개소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙동강 상류측 달성공단 하천횡단 구간을 이용하여 통합하는 방안</li> <li>횡단개소 1개소</li> </ul>
시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>송수관로(덕타일 주철관)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- D600mm, L1,180m</li> <li>- D450mm, L2,030m</li> </ul> </li> <li>낙동강 횡단(2개소)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- D600mm, L880m</li> <li>- D450mm, L660m</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>송수관로(덕타일 주철관)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- D700mm, L1,180m</li> <li>- D450mm, L4,500m</li> </ul> </li> <li>낙동강 횡단(1개소)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- D700mm, L880m</li> </ul> </li> </ul>
개념도		

5.2 분석결과 및 고찰

(1) 평가기준항목 선정

본 대상사업의 특성을 고려하여 평가항목은 시공성, 유지관리성, 사고대처성, 민원해소성, 환경영향성 및 기관연계성으로 분류하였으며, 품질모델(가중치) 산정을 위한 계층도를 그림 6에 나타내었다.

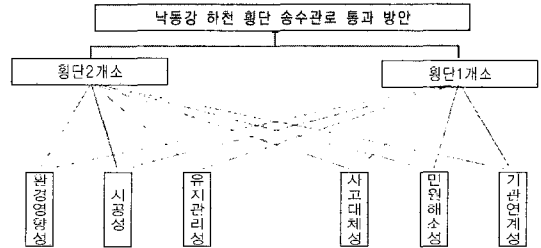


그림 6. 계층도

(2) 품질모델(가중치) 선정

상기의 그림 6에 나타난 계층도에 따라 AHP기법에 의해 선정된 품질모델은 다음 표 17 및 그림 7과 같다.

표 17. 품질모델 선정결과

평가항목	산정치	확정치(Dr)	고려사항
환경영향성	0.1197	14	• 주변 지형조건, 수질오염 등
시공성	0.3548	28	• 시공편리성 및 공기적정성 등
유지관리성	0.2184	20	• 유지관리 편리성 등
사고대처성	0.1197	15	• 사고시 긴급대처 편리성 등
민원해소성	0.0678	10	• 시공중 및 유지관리시 민원해소 등
기관연계성	0.1197	13	• 인근 자치단체/기관과의 협력성 등
계	1.0000	100	

주1) λ=6.0316, C.I.=0.0063, C.R.=0.0051

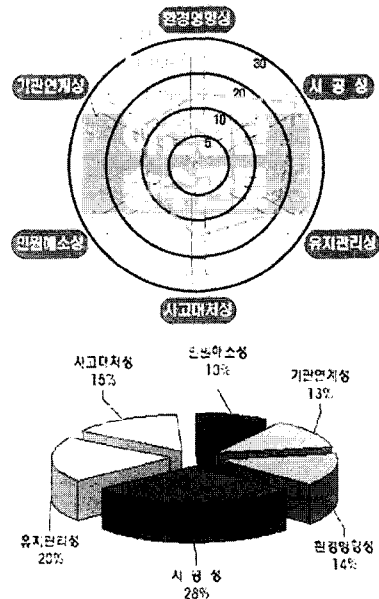


그림 7. 품질모델 선정

(3) 대안별 등급부여 부여 및 성능평가

표 16의 각 대안에 대하여 전문가 설문에 의하여 대안별 등급을 부여한 결과를 표 18에 나타내었으며, 표 17과 표 18의 결과를 그림 2에 제시한 VE절차에 준하여 대안별 성능평가를 수행하였으며, 그 결과를 표 19에 나타내었다. 표 19에서 보는 바와 같이 비교 1안과 비교 2안에 대한 성능점수가 각각 89.4점과 86.3점으로 분석되었으며, 비교 2안 대비 비교 1안의 성능우위도가 3.6% 우위인 것으로 분석되었다.

표 18. 대안별 등급(R) 부여 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	Rank	Rank Diag.	Rank	Rank Diag.
환경영향성	8		10	
시공성	9		8	
유지관리성	8		9	
사고대처성	10		9	
민원해소성	9		8	
기관연계성	10		8	

표 19. 대안별 성능점수(P) 평가 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	점수	Performance Diag.	점수	Performance Diag.
환경영향성	11.2		14.0	
시공성	25.2		22.4	
유지관리성	16.0		18.0	
사고대처성	15.0		13.5	
민원해소성	9.0		8.0	
기관연계성	13.0		10.4	
합계	성능점수 : 89.4		성능점수 : 86.3	
성능향상도	3.6% 우위		-	

(4) 대안별 LCC분석

① 입력데이터 및 가정사항

본 예제를 분석하기 위하여 분석시작년도 2006년, 분석기간 70년, 할인율 6.0%로 가정하였다.

LCC분석을 위한 비용항목은 유지관리비용중 직접비용인 관리주체부담 보수·보강비용만을 고려하였으며, 간접비용인 관리주체부담 손실비용, 지역경제간접손실비용은 대상프로젝트의 규모가 크지 않은 점과 두 대안모두 간접비용에 미치는 효과가 동일한 것으로 사료되어 분석에서 제외하였다. 이는 LCC비용의 산출이 대안비교에 있으므로 제외하여도 무난할 것으로 판단된다.

입력데이터 즉, 초기비용, 운영·유지관리비용 및 교체비용관련 정보를 다음의 표 20~표 22에 각각 정리하였다. 여기서, 초기비용 중 시공비용은 대상사업의 실시설계보고서의 견적을 사용하였으며, 설계 및 감리비용은 엔지니어링대가를 적용하였다.

운영·유지관리비용관련은 보수와 보강비용만을 고려하여 분석하였다.

이들 비용과 교체비용관련 정보는 본 연구를 통하여 제시된 데이터를 적용하였다. 특히, 하천구간의 경우는 본 연구에서 제시된 데이터가 없으므로 수자원공사의 수량산출기준과 유지보수공종별 단가집을 기준으로 적산전문가를 활용하여 비용데이터를 산출하여 적용하였으며, 주기데이터는 본 연구에서 제시된 바가 없어 설문조사에 의해 개략적으로 추정하였다.

표 20. 대안별 초기비용 정보

구분	시공비용(관료부분)		설계 비용	감리 비용	합계	
	하천구간	노상구간			비용	COV
비교1안	4,569.18	1,859.90	153.66	83.58	6,666.32	0.02
비교2안	2,610.96	3,324.60	141.86	77.16	6,154.58	0.02

주) 단위 : 백만원

표 21. 운영·유지관리비용관련 정보

구분	구분	보수	보강	보수	보강	보수	보강
		비율(%)	비율(%)	주기(년)	주기(년)	비용(원/m)	비용(원/m)
노상구간	450	14 (0.380)	30 (0.376)	14 (0.559)	17 (0.337)	36,830 (0.298)	78,920 (0.305)
	600	14 (0.380)	30 (0.376)	14 (0.559)	17 (0.337)	36,830 (0.298)	78,920 (0.305)
	700	11 (0.346)	34 (0.396)	14 (0.559)	21 (0.377)	59,040 (0.101)	182,490 (0.392)
하천구간	450	14 (0.380)	30 (0.376)	14 (0.559)	17 (0.337)	47,879 (0.243)	102,596 (0.189)
	600	14 (0.380)	30 (0.376)	14 (0.559)	17 (0.337)	47,879 (0.243)	102,596 (0.189)
	700	11 (0.346)	34 (0.396)	14 (0.559)	21 (0.377)	76,752 (0.156)	237,237 (0.164)

주) ( )안은 변동계수임.

표 22. 교체비용관련 정보

대분류	구분	소분류	주기		비용	
			년	COV	(원/m)	COV
노상구간		700mm	34	0.428	536,743	0.220
		600mm	28	0.445	263,059	0.187
		450mm	28	0.445	129,604	0.310
하천구간		700mm	34	0.428	736,806	0.186
		600mm	28	0.445	353,254	0.082
		450mm	28	0.445	276,398	0.187

② 분석결과

상기의 입력 데이터 및 가정사항을 기반으로 하여 LCC분석을 수행하였다. 표 23과 그림 8은 확정적 LCC분석의 결과를 나타내는 것이며 이는 각종 입력데이터의 평균값을 이용하여 계산된 것이다. 그림 8에 보인바와 같이 누적 LCC분포는 비교 1안이 비교 2안에 비해 다소 고가이며, 대략 10년 이후부터는 비교 1안의 유지관리비가 과다해짐에 따라 더욱 불리한 대안으로 분석되었다. 또한, 생애주기 전반에 걸쳐 비교2안이 비교1안에 비하여 9%의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

표 23. LCC 분석결과(확정적)

구분	비교 1안 비용(억원)	비교 2안 비용(억원)
초기투자비용	66.66	61.54
유지관리 비용	보수비용	9.98
	보강비용	12.42
	소 계	22.40
교체비용	21.75	20.21
LCC	111.43	101.83
LCC 절감액	-	9.6
상대 LCC (CI)	1.09	1.00

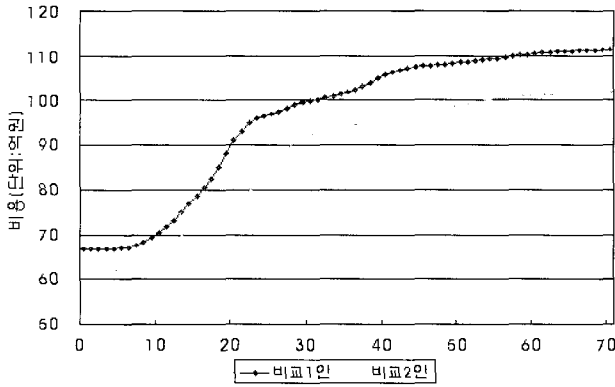


그림 8. 누적LCC분포(확정적)

그림 9, 그림 10 및 표 24는 50,000회의 Monte Carlo 시뮬레이션을 수행한 확률적 분석에 대한 결과를 나타낸다. 그림 9의 비용발생분포를 살펴보면 비교 1안이 비교 2안에 비하여 우측에 분포하여 더욱 높게 산출되는 경향을 나타내고 있다.

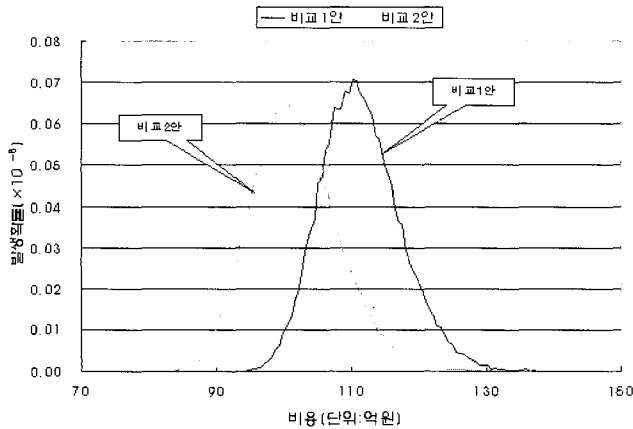


그림 9. 비용발생분포(확률적)

또한, 그림 10과 표 24에 보여진 각 발생확률구간 (Percentile)에 대해 산출된 각 대안별 비용은 발생비용의 범위값들로서 다음과 같이 해석될 수 있다.

그림 10에서 보여진 85% 발생확률에 대해 살펴볼 때 비교 2안은 LCC가 108.19원 보다 낮게 나올 확률이 85%이고, 비교 1안은 LCC가 117.09억원 보다 낮게 나올 확률이 85%인

것을 의미한다.

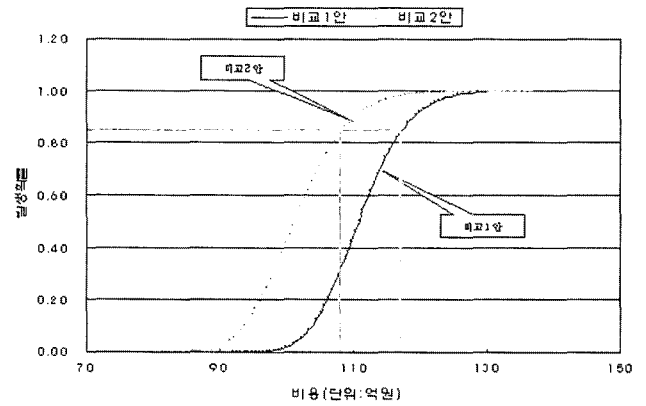


그림 10. 누적비용발생분포(확률적)

표 24에 보인바와 같이 각 대안의 최소 및 최대값은 비교 1안의 경우 99.99억원과 148.65억원이며, 비교 2안의 경우 81.38억원과 136.68억원으로 산출되었다. 또한, 변동계수는 결과값의 변동성을 보여주는 데이터로서 각 대안이 0.09와 0.10으로 각각 분석되었다.

표 24. 대안별 위험이력 분석결과

구분	생애주기비용(단위:억원)	
	비교 1안	비교 2안
기본 값		
최소 값	99.99	81.38
최대 값	148.65	136.68
평균 값	112.29	102.21
변동계수	0.09	0.10
Percentile		
5%	102.26	92.00
10%	103.97	93.67
15%	105.11	94.79
20%	106.25	95.91
25%	106.82	97.02
30%	107.39	98.14
35%	108.53	98.70
40%	109.10	99.26
45%	110.24	100.37
50%	110.81	101.49
55%	111.39	102.05
60%	111.96	102.61
65%	113.10	103.73
70%	113.67	104.28
75%	114.81	105.40
80%	115.95	107.08
85%	117.09	108.19
90%	119.37	110.43
95%	121.65	113.22

확률적 LCC분석결과 그림 10과 표 24에서 보는 바와 같이, 신뢰성해석 수행여부를 판별하기 위하여 모든 발생확률구간 대하여 LCC의 최대값을 비교해보면  $LCC_{ait1} > LCC_{ait2}$ 의 관계가 항상 성립되므로 그림 2에서 제시한 Mode 1방법에 의한 가치를 평가하게 된다.

그러나 본 연구에서는 Mode 2방법의 타당성을 검토하기 위해 데이터의 변동성을 고려한 발생확률 구간의 분포에 근거하여 LCC의 비용분포에 대한 신뢰성해석을 Monte Carlo 시뮬레이션을 통하여 수행하였다.

신뢰성해석을 위한 한계상태함수는 식 6과 같다.

$$g(\cdot) = [PI_{alt,2}/LCC_{alt,2}] - [PI_{alt,1}/LCC_{alt,1}] \quad (식 6)$$

여기서,  $PI_{alt,1}, PI_{alt,2}$  = 비교1, 2안의 성능점수(PI)

$LCC_{alt,1}, LCC_{alt,2}$  = 비교 1, 2안의 확률적 LCC 비용

식 6과 같은 한계상태함수에 의해 신뢰성 해석을 수행한 결과 비교 2안의 가치값이 비교 1안 보다 높게 산정될 확률이 77%로 분석되었으며, 분석시 Monte Carlo 시뮬레이션회수는 300,000회 이상, 오차범위는 0.5%로 나타났다.

따라서, Mode 2에 의한 방법에 의해 가치평가 수행해본 결과 비교 2안의 가치가 유리함을 알 수 있었다.

(5) 대안별 가치평가

상기에서 분석된 확률적 LCC분석결과 본 적용에는 Mode 1방법에 의해 가치평가를 수행하였다. 표 19의 성능점수와 표 23의 확정적 LCC분석결과인 상대LCC 지수(CI)를 활용하여 대안별 가치평가 결과를 표 25에 나타내었다. 분석결과 비교 2안이 비교1안에 비하여 가치향상도가 5.2% 향상된 것으로 분석되었다.

표 25. 대안별 가치점수(VI) 및 가치향상도(VE) 평가 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	점수	Value Diag.	점수	Value Diag.
환경영향성	10.3	환경영향성	14.0	환경영향성
시공성	23.1	시공성	22.4	시공성
유지관리성	14.7	유지관리성	18.0	유지관리성
사고대처성	13.8	사고대처성	13.5	사고대처성
민원해소성	8.3	민원해소성	8.0	민원해소성
기관연계성	11.9	기관연계성	10.4	기관연계성
가치점수	82.0		86.3	
가치향상도	-		5.2% 가치향상	

(6) 고찰 및 설계제안

본 적용에는 개선된 설계VA 절차에 의해 수도시설의 확률적 LCC분석결과에 따라 Mode 1방법에 의해 비교 1안과 비교 2안에 대한 가치평가를 분석해본 결과 비교 2안이 성능면으로는 다소 불리하나 LCC측면에서 상당히 유리함으로 분석되어 평가됨으로 비교 2안을 설계 제안하였다.

6. 결론

본 연구에서는 확률적 LCC분석기법을 통한 개선된 설계VA절차, 수도시설의 LCC분석모델 및 수도시설 LCC분석을 위한 기초데이터를 제시하였다. 또한, 실제대상사업인 신규 수도시설 건설사업의 대안선정에 적용하여 확률적 LCC분석기법을 통한 개선된 설계VA절차와 수도시설 LCC분석모델의 타당성을 검토하였다.

이와 같은 연구를 통하여 수도시설의 설계VE를 수행함에 있어 기초가 되는 설계VA 절차를 실무에 효율적으로 활용하여 수도건설사업의 설계, 시공 및 유지관리단계에 생애주기비용(LCC)을 고려한 설계, 시공 및 유지관리 대안의 검토를 통하여 수도건설사업의 원가절감 및 품질확보를 도모할 수 있을 것으로 기대되며, 본 연구를 기반으로 하여 향후 수도건설사업에 있어서의 보다 신뢰도가 높은 데이터의 구축을 위한 연구가 필요할 것이다. 또한 본 연구에서 제안된 확률적 LCC분석기법을 활용한 개선된 설계VA절차는 교량, 도로 및 건축시설물 등의 타분야의 설계VA절차로 활용가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 수자원공사의 「수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC분석 적용방안 연구(2003)」의 연구비 지원하에 수행되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, "건설사업 VE기술 도입방안", 2002.
2. 건설교통부/건설기술연구원, "LCC분석절차 및 기법에 관한 업무요령", 2001.12
3. 경제기획원, "투자심사편람-상하수도", 1982.
4. 한국개발연구원, "예비타당성 조사수행을 위한 일반지침 연구", 2000.
5. 한국건설기술연구원, "건설VE의 운용기법", 2000.
6. 한국수자원공사, "건설통합관리 시스템구축-표준분류체계 수립 보고서", 2002.
7. 한국수자원공사, "수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC 분석 적용방안 연구", 2003a.
8. 한국수자원공사, "수도관개량을 위한 의사결정 시스템 개발", 1995.
9. 한국수자원공사, "수도시설 LCC 표준지침(안)", 2003b.
10. 한국수자원공사, "표준분류체계 운영절차서", 2003.
11. Ang, A. H-s., Tang, W. H., "Probability Concept in

- Engineering Planning and Design, Vol II, Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, New York, 1984.
12. Caltrans, "Value Analysis Report Guide", 2002.
13. Ehlen, M. A & Marshall, H. E., "The Economic of New Technology Materials : A Case Study of FRP Bridge Decking", NIST, 1996
14. Government Asset Management Committee, "Life Cycle Cost Guideline", 2000.
15. Walls, J. III and Smith, M. R., "Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design, Interim Technical Bulletin, FHWA, US DOT, 1998.

---

### Abstract

A life cycle cost analysis model for public water supply systems should be different from the ones for other civil and architectural facilities as the operation and the maintenance cost of the water supply systems mainly come from the various mechanical systems and the pipeline systems of the collecting/treating/distributing facilities. This paper presents a cost classification scheme and a probabilistic life cycle cost analysis (PLCCA) model for public water supply systems. A value analysis (VA) procedure that is well suited for practical purposes is also presented. The presented probabilistic life cycle model and the value analysis procedure were applied to a real world project, and this case study is discussed in the paper. The model and the procedure presented in this study can greatly contribute to the value-oriented design alternative selection, the estimation of the maintenance cost, and the allocation of budget for water supply system construction projects.

**Keywords** : Water Supply System, Value Analysis, Probabilistic Life Cycle Cost Analysis, Analytic Hierarchy Process, Reliability Analysis

---