

수도시설의 설계VA 및 LCC 분석모델

Design Value Analysis and LCC Analysis Model of Water Supply System Project

임종권* 정평기** 서종원*** 이재선**** 조국래*****
 Lim, Jong-Kwon Jung, Pyung-Ki Seo, Jong-Won Lee, Jae-Sun Cho, Kook-Rae

요 지

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

키워드 : 가치분석, 생애주기비용분석, 수도시설, 성능분석

1. 서론

최근 건설 사업 분야 중 교량, 도로, 건축시설물의 LCC분석을 위한 지침, Life Cycle 위험도 분석, 신뢰성 최적설계 등의 이론적 모델과 관련소프트웨어 등이 개발되고 있다. 그러나 댐, 단지 및 수도건설 사업분야에서는 정량적인 경제성 평가를 위한 LCC관련 연구가 아직은 미흡하고, 신뢰도 있는 과거 보수이력자료 등의 부족으로 LCC분석에 대한 현실성 있는 적용 방안 도출에 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 LCC분석을 위한 지속적 개발을 유도할 수 있는 기본모델 제시와 향후 기초 자료의 DB화가 체계적으로 이루어지고, 투자사업에 대한 전략적 의사결정수단으로 LCC분석 방안의 개발이 가능하도록 체계화된 모델을 제시하였고, 이를 실제 대상사업에 적용하였다.

2. 설계VA 절차

일반적인 설계VE절차는 준비단계, 분석단계 및 실행단계의 3단계로 크게 대별¹⁾하여 사용되어지고 있다. 그러나, 실무에서는 주로 분석단계를 위주로 VE기법이 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 효율성과 실무활용성을 강조한 개선된 설계 VA(Value Analysis) 절차를 다음 그림 1과 같이 제시하였다.

3. 수도시설 LCC 모델

3.1 수도시설 비용분류구조

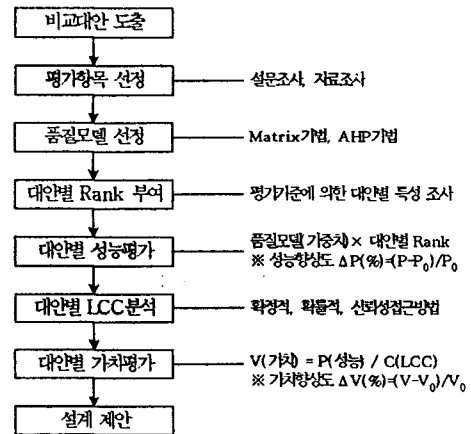


Fig. 1 개선된 설계VA 절차

수도시설의 LCC 분석을 위한 비용분류구조는 그림 2에 제시한 바와 같이 현재 개발중인 수공 CALS²⁾의 비용분류구조에 근간을 두고 생애단계로 확장하여 개발하였다.

여기서, Level-1은 생애주기단계별 분류로서 초기투자비용, 운영/유지관리비용 및 해체/교체비용으로 분류되었다. Level-2는 비용항목별 분류로서 설계비용, 시공비용, 감리비용, 관리비용, 점검비용, 보수/보강비용, 긴급복구비용 및 교체비용으로 구성되었다. 마지막으로 Level-3의 구성요소별 분류는 I, II, III단계로 구분하여 I 단계는 수공CALC의 시설물 분류체계에서 수자원 공급시설-용수공급시설에 해당하는 취수시설, 도수시설, 정수시설, 송수시설 및 급·배수시설로 구성되었으며, II 단계는 수공CALC의 부위분류체계에 따라 상수도-상수도 시설에 해당하는 관로시설(13종), 취수장시설(11종), 정수장시설(22종), 가압장시설(6종) 및 기타형태의 상수도 시설부위의 조합으로 구성되며, 본 연구에서 공간적 범위를 토목시설과 기계시설로 한정하였으므로 이에 해당되는 부위분류의 조합으로 구성되었다. 또한 III단계는 II 단계에서 제시되는 부위분류에 해당되는 세부부위로 구성하였다.

* 일반회원, 송화이엔씨 건설VE사업부 부장, 공학박사
 ** 일반회원, 송화이엔씨 건설VE사업부 건설사업관리팀 팀장
 *** 종신회원, 한양대학교 토목공학과 교수, PE
 **** 일반회원, 한국수자원공사 기술관리실 과장
 ***** 일반회원, 한국수자원공사 기술관리실 대리

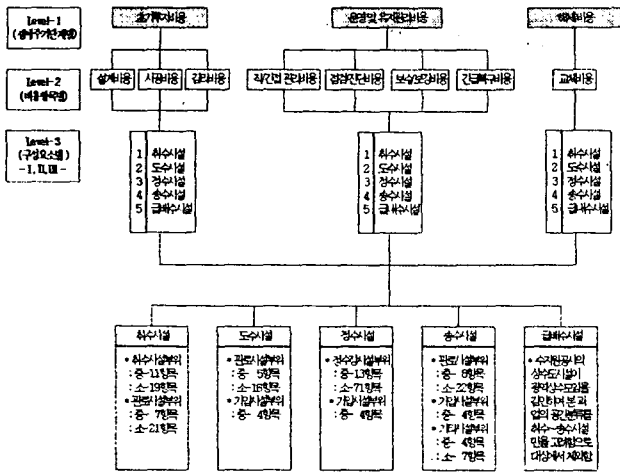


Fig. 2 수도시설 LCC 분석을 위한 비용분류구조

3.2 수도시설 LCC 모델 정식화

본 논문에서 사용된 LCC 모델은 NIST(Ehlen & Marshall, 1996)의 모델에 근간을 두고, 수도시설물에 대한 수자원CALS와의 연계활용성을 고려하여, 수도시설물의 특성에 맞게 식 1과 같이 정식화하였다. LCC 산정기법은 현재가치화법을 사용하였다.

$$LCC_{Total} = C_{INI} + C_{OMR} + C_{DIS} \quad (식 1)$$

여기서, LCC_{Total} = 총 생애주기비용

C_{INI} = 초기비용

C_{OMR} = 유지관리비용의 현재가치화비용

C_{DIS} = 교체비용의 현재가치

(1) 초기비용

초기비용 C_{INI} 는 수도시설물의 계획·설계, 시공 등 일반적으로 수도시설물이 준공되기 전까지 발생하는 비용으로 관리주체가 최초로 투자하는 기본적인 매개변수를 의미한다(식 2).

$$C_{INI} = C_{DES}^a + C_{CSV}^a + C_{CON}^a + C_{CON}^u \quad (식 2)$$

여기서: C_{DES}^a = 계획·설계비용

C_{CSV}^a = 관리주체가 부담하는 감리비용

C_{CON}^a = 관리주체가 부담하는 시공비용

C_{CON}^u = 시공 시 사용자비용

(2) 유지관리비용

유지관리비용 C_{OMR} 은 크게 비용부담주체별 즉, 관리주체, 도로사용자 및 제3집단비용(지역경제적손실)에 대한 각각의 비용항목인 직/간접 관리비용, 점검/진단비용, 보수/보강비용 및 긴급복구비용에 대한 비용의 합으로 정식화하였다(식 3).

$$C_{OMR} = C_{OMR}^a + C_{OMR}^u + C_{OMR}^d \quad (식 3)$$

이때, $C_{OMR}^a = C_{MAN}^a + C_{DIA}^a + C_{REH}^a + C_{EME}^a$ (식 3a)

$$C_{OMR}^u = C_{DIA}^u + C_{REH}^u + C_{EME}^u \quad (식 3b)$$

$$C_{OMR}^d = C_{REH}^d + C_{EME}^d \quad (식 3c)$$

여기서

C_{OMR}^a = 관리주체가 부담하는 유지관리비용

C_{OMR}^u = 유지관리 시 사용자비용

C_{OMR}^d = 유지관리에 따른 제3집단비용

C_{MAN}^a = 관리주체가 부담하는 직/간접 관리비용

C_{DIA}^a = 관리주체가 부담하는 점검/진단비용

C_{REH}^a = 관리주체가 부담하는 보수/보강비용

C_{EME}^a = 관리주체가 부담하는 긴급복구비용

C_{DIA}^u = 도로사용자가 부담하는 점검/진단비용

C_{REH}^u = 도로사용자가 부담하는 보수/보강비용

C_{REH}^d = 도로사용자가 부담하는 긴급복구비용

C_{EME}^u = 보수/보강조치에 따른 지역경제손실비용

C_{EME}^d = 긴급복구조치에 따른 지역경제적손실비용

(3) 교체비용

교체비용 C_{DIS} 는 수도시설물이 기능회복을 위한 보수/보강 및 긴급복구시 시스템을 개축하는 것보다 경제성이 없을 경우 수도시설물을 교체하게 된다. 특히, 수도시설물의 경우는 타설물 보다 기계적 구성요소가 차지하는 비율이 상당히 کم으로 타설물의 경우 기계부품의 교체를 유지관리비용으로 구분하고 있으나 수도시설물의 경우는 교체비용으로 구분하는 것이 바람직 할 것이다. 따라서 수도건설사업에 대한 교체비용을 정식화할 수 있다(식 4).

$$C_{DIS} = C_{DIS}^a + C_{DIS}^u + C_{DIS}^d \quad (식 4)$$

여기서, C_{DIS}^a = 시설물의 교체시 관리주체가 부담하는 비용

C_{DIS}^u = 시설물의 교체시 도로사용자가 부담하는 비용

C_{DIS}^d = 시설물의 교체시 제3집단비용

3.3 수도시설 LCC 분석조건

수도시설 LCC분석을 위한 대안의 평가와 관리수준을 명확히 정의하고 계획목표 구현을 위한 재화와 시간의 투자범위에서 가능한 많은 대안을 도출하여 다음사항에 대한 비교가 포함되어야 한다.

- 동일한 요구성능 및 관리수준
- 적절한 분석기간
- 동일한 경제지표 및 평가
- 동등의 신뢰도를 갖는 기초자료의 활용

(1) 분석기간

일반적으로 LCC 분석을 위한 분석기간은 미국 FHWA (1998)에 제시한 지침을 따랐다. 이 연구보고서에서는 비교 대안중 가장 긴 수명을 가진 대안이 적어도 1번 이상의 교체가 이루어지도록 분석기간을 설정하도록 권장하고 있다(그림 3).

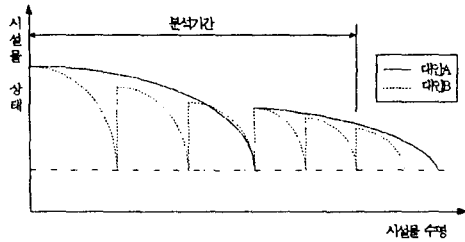


Fig. 3 LCC 분석시 분석기간의 선정(FHWA, 1998)

한편, 수도시설물의 경우 예비타당성조사단계 및 타당성조사 단계에서의 시설물의 내구년한을 기본시설 50년, 기계류 15년으로 설정하고 있다(경제기획원, 1982). 상기의 적용기준에 의하여 본 연구에서는 수도시설에 대한 LCC분석기간을 70년으로 하였다.

(2) 할인율

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

한편, 한국개발연구원(1999)에서는 공공투자사업의 할인율로서 7.5%를 제시하고 있으나, 장기적인 편익이 발생하는 수도시설물의 경우는 실질할인율을 6.0%로 제안하고 있다. 본 연구에서는 실질할인율을 6.0%를 적용하였다.

5. 응용사례

5.1 분석개요

본 연구에서는 “○○광역 상수도 사업”의 실시설계 단계에서 낙동강을 횡단하는 송수관로 건설사업에 대하여 최적대안을 도출하고자 분석을 수행하였으며, 도출된 대안은 다음 표 1과 같다.

Table 1 각 대안별 개요

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

5.2 분석결과

(1) 평가항목 및 품질모델 선정

본 대상사업의 특성을 고려하여 평가항목은 경제성, 시공성, 유지관리성, 사고대체성 및 기관연계성으로 선정하여 각 평가항목에 따른 품질모델은 표 2와 그림 4와 같다.

Table 2 품질모델(가중치) 선정결과

평가항목	산정치	확정치
경제성	5	12
시공성	35	32
유지관리성	35	27
사고대체성	20	18
기관연계성	5	11
계	100	100

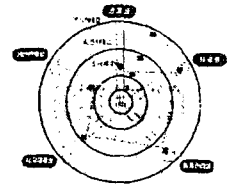


Fig. 4 품질모델 선정

(2) 대안별 Rank 부여 및 성능평가

표 1의 각 대안에 대하여 전문가 설문에 의하여 대안별 Rank가 산정되었다. 또한, 표 2와 표 3의 분석결과를 활용하여 대안별 성능평가 결과를 표 4에 나타내었다.

Table 3 대안별 Rank 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	Rank	Diagram	Rank	Diagram
경제성	8		9	
시공성	9		8	
유지관리성	8		9	
사고대체성	10		8	
기관연계성	10		7	

Table 4 대안별 성능평가 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	점수	Performance Diag.	점수	Performance Diag.
경제성	9.6		10.8	
시공성	28.8		25.6	
유지관리성	21.6		24.3	
사고대체성	18.0		14.4	
기관연계성	11.0		7.7	
합계	성능점수 : 89.0		성능점수 : 82.8	
성능향상도	-		-7% 향상	

(3) 대안별 LCC분석결과

LCC 분석시 분석기간은 90년, 할인율은 6.0%, 공급개시년도를 2006년으로 가정하여 각각 분석하였다. 이에 따른 LCC 분석결과를 다음 표 5와 그림 5에 나타내었다.

표 5 LCC 분석결과

구분	1안		비교 2안	
	비용(억원)	비율(%)	비용(억원)	비율(%)
초기투자비용	설계비용	1.54	1.14	0.94
	시공비용	64.29	47.73	59.36
	감리비용	0.84	0.62	0.77
	소계	66.66	49.50	61.55
운영/유지관리비용	보수비용	1.31	0.87	1.94
	보강비용	7.99	5.29	11.95
	소계	9.29	6.16	13.89
교체비용	80.11	53.07	54.13	40.19
LCC	129.02	100.00	115.63	100.00
LCC 절감액	-	-	26.49	-
상대 LCC	1.0	-	0.83	-

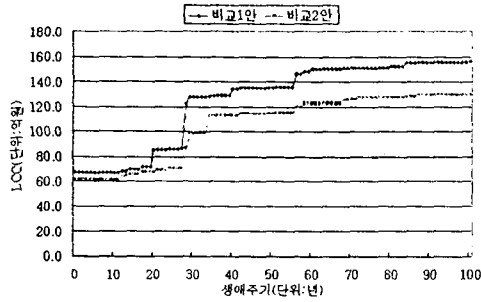


Fig 5. 생애주기단계별 LCC

위의 표 5과 그림 5에서 알 수 있듯이, 비교1안(66.06억원)이 초기비용이 비교2안(61.55억원)에 비해 다소 고가이며, 대략 20년 이내의 비용의 분포는 거의 차이를 나타내지 않는다. 그러나 20년 이후부터는 비교1안이 유지관리비가 과다해짐에 따라 더욱 불리한 대안으로 분석되었다. 또한, 생애주기 전반에 걸쳐 비교1안에 비해 비교2안이 17%의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

(5) 대안별 가치 평가

표 4와 표 5의 분석결과를 활용하여 대안별 가치평가 결과를 표 6에 나타내었다.

Table 6 대안별 가치평가 결과

평가항목	비교1안		비교2안	
	점수	Value Diag.	점수	Value Diag.
경제성	9.6		13.0	
시공성	28.8		30.8	
유지관리성	21.6		29.3	
사고대체성	18.0		17.3	
기관연계성	11.0		9.3	
합계	가치점수 : 89.0		가치점수 : 99.7	

(6) 고찰 및 설계제안

본 응용사례에서 설계VA 절차와 제안된 수도시설 LCC분석 모델을 통하여 분석된 결과는 비교 2안이 기능적으로는 다소 불리하나 LCC측면에서 상당히 유리함으로 분석되어 평가됨으로 비교 2안을 설계 제안하였다.

6. 결론

본 논문에서는 수도건설사업에 있어 설계VA의 절차 및 LCC분석모델을 제시하였고 이를 실제 수도건설사업에 적용해 보았다.

이와 같은 연구를 통하여 설계VE를 수행함에 있어서 기초가 되는 설계VA의 절차를 실무에 효율적으로 활용하여 수도건설사업의 설계, 시공 및 유지관리단계에 생애주기비용(LCC)을 고려한 설계, 시공 및 유지관리의 대안 검토를 통하여 수도건설사업의 원가절감 및 품질확보를 도모하는데 큰 의의를 둘 수 있다. 또한, 본 연구를 기반으로 하여 향후 확충적 LCC기법, 신뢰성해석기법 등을 적극 활용하여 LCC평가의 신뢰도를 지속갱신 시켜나가야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 수자원공사의 「수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC 분석 적용방안 연구」의 연구비 지원하에 수행되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, "건설사업 VE기술 도입방안", 2002.
2. 한국수자원공사, "건설통합관리 시스템구축-표준분류체계 수립 보고서", 2002.
3. 건설교통부/건설기술연구원, "LCC분석절차 및 기법에 관한 업무요령", 2001.12
4. 임종권, "구조수명간 최소기대비용에 기초한 교량의 최적내진안전수준의 결정을 위한 신뢰성 해석기법", 한양대학교 박사학위논문, 1999.
5. 한국수자원공사, "수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC분석 적용방안 연구", 2003.
6. 한국수자원공사, "수도시설 LCC 표준지침(안)", 2003.
7. Government Asset Management Committee, "Life Cycle Cost Guideline", 2000.
8. 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 life cycle cost analysis model for public water supply systems. A value analysis (VA) procedure that is well suited for practical purposes is also presented. The presented 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 : Value Analysis, Life Cycle Cost Analysis, Water Supply System, Performance Analysis