# VE/LCC 분석을 통한 도시철도 지하구조물 상부 되메우기의 최적대안 선정에 관한 연구

# A Study on the optimal selection of backfill method using VE/LCC Analysis for Urban Underground Railway

김경호* 신민호** 박종관 ***
Kim, Kyong-Ho Shin, Min-Ho Park, Jong-Kwan

**ABSTRACT**

Road on the urban underground railway has been repaired for several years right after completion caused by the settlement of backfill and the damage of utility lines, which demands the practical application of life-cycle cost on design of backfill. This study perform the VE and LCC Analysis to select a optimal method of backfill and present the models and factors of VE process in the consideration of specialists' opinion and judgement on the category of critical maintenance items.

## 1. 서 론

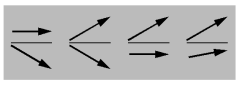
도시철도는 1974년 서울지하철 제1호선 개통 이래 대도시를 중심으로 지속적으로 확대되고 있으며, 기존에 개통된 노선도 점차 일반철도와 연결 또는 연장되며 도시교통의 중추적인 역할을 담당하고 있다. 이러한 흐름에 보조를 맞추어 최적의 기술 및 공법개발을 통해 투자자원의 효율적 관리가 매우 중요한 과제이다. 특히, 도시철도 시설물은 운행중의 유지관리시 보수보강 및 교체작업에 지속적인 비용이 발생한다. 이중 도시철도 구조물 상부의 도로는 되메우기와 지하지장물의 처리 방법에 따라 유지관리의 정도에 지대한 차이가 발생한다. 이러한 점을 고려하여 계획 및 설계단계에서 부터 도로의 생애주기에 대한 비용검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 도시철도 지하구조물 상부 도로의 되메우기에 대하여 VE 및 LCC 분석을 실시하여 최적의 되메우기 공법을 선정하는 요소와 방안을 제시하고, 실제사례(서울 지하철 9호선 905공구 건설공사)에 적용코자 한다.

## 2. VE/LCC분석 개요

### 2.1 VE/LCC 개론

국내 건설기술을 합리화,선진화하고 건설사업 진행과정의 예산낭비 요인과 비효율적인 요인을 제거하여 생산성을 향상 시키고 건설사업의 효율성을 제고하기 위한 대안으로 VE(Value Engineering)가 공공부무에도 제도화하여 2000년 건설기술관리법에도 도입되었다. VE란 요구되는 성능, 신뢰성, 품질, 안전성을 만족시키고, 가장 저렴한 생애주기비용으로 필요한 기능을 확보하기 위해 기능을 분석하고 설계내용에 대한 경제성, 기술적인 실현가능성을 기능별, 대안별로 검토하는 조직적인 노력이다. 가치를 높이는 것이 VE활동의 목적이라고 할 수 있으며, 다음 네가지 유형이 존재한다.

* 정회원, 한진중공업, 지하철 905공구소장, 철도전문대학원 석사과정
E-mail : operara-kim @ hanmail.net
Tel : 02 - 3662 - 7468
** 정회원, 부회장, 한국철도기술연구원 수석연구원, 철도전문대학원 겸임교수
*** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

$$V = \frac{F}{C} =$$ 

V : Value, 가치지수,  C : Life Cycle Cost(총비용)
F : Function, 필요한 기능을 위한 최저 비용

VE의 수행은 정보분석, 기능분석, 창조, 대안평가, 대안도출 및 발전단계로 구성되어 실시한다.

### 2.2 LCC분석 개론

(1) LCC 정의

모든 구조물은 기획, 설계 및 건설공사로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용관리 단계 및 폐기・처분단계로 이어지는 일련의 과정을 거치게 된다. 이를 구조물의 생애주기(Life Cycle)라고 하며, 이 기간 동안 구조물에 투입되는 비용의 합계를 LCC라 한다.

(2) 현가분석 및 연가분석

현가 분석은 대안의 현재와 미래의 모든 비용을 현재의 가치로 환산하는 방법이다. 초기의 비용은 이미 현가로 표현되어 있으며 미래에 발생하는 비용은 다음의 (1)번식을 통해 현재가치로 환산할 수 있다. 연가 분석은 대안들의 이익과 비용 등을 등가 균일년가로서 나타내는 것이다. 식(1)과 식(2)는 현가(P)와 연가(A)를 구하는 방법을 설명하고 있다.

$$P = F \cdot \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) = F \cdot PW \quad \cdots\cdots (1)$$

$$A = P \cdot \left( \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad \cdots\cdots (2)$$

P : 미래에 발생하는 현금의 현재가치
F : n년 후에 발생하는 비용
A : 매년 동일하게 발생하는 년간비용

### 2.3 VE/LCC분석 절차

(1) 정보분석 단계

발주자의 요구사항을 파악하여 품질모델을 작성한다. 이것을 통해 파악된 기능성(경제외적 요소)과 경제성의 중요도는 대안선정 단계에서 기능만족지수와 경제성지수에 대한 가중치로서 작용하게 된다.

(2) 기능분석 단계

각 분석대상에 대한 기능정의, 기능분류, 기능정리를 통해 각 분석대상의 고유한 요구기능을 도출한다. 그리고, 기능들간의 위계를 파악한다.

(3) 아이디어 창출

기능분석단계에서 선정한 대상기능에 대하여 팀 구성원의 창의력을 바탕으로 주요한 기능을 만족하는 대안들을 도출하기 위한 아이디어를 창출하는 단계로서 주로 브레인스토밍법, 체크리스트법, Delphi 기법을 활용한다.

(4) 평가 단계

기능분석 단계에서 도출된 요구기능을 3점척도로 평가하는 한편, 각 요구기능들에 대한 쌍별비교를 통해 기능들의 중요도를 판단하도록 한다. 이를 종합하여 기능만족도를 평가하고(기능만족지수 산정), LCC분석을 통해 경제성평가를 실시한다.(경제성지수 산정)

(5) 대안선정 및 발전단계

평가 단계에서 선정된 아이디어들에 대한 조사 분석을 통하여 아이디어를 구체화시켜 대안으로 확정하고 제안서를 작성해가는 과정이다.

## 3. VE/LCC를 이용한 최적대안 선정

### 3.1 기존 되메우기 공법의 문제점

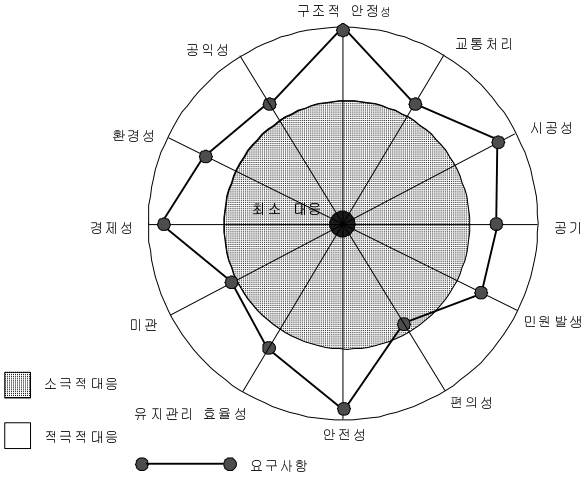
도시철도 지하구조물이 완료된 후 5년은 상부의 도로에 유지보수가 빈번하게 이루어져 교통체증과 함께 도시의 기반시설인 상수도/도시가스/하수도등이 손상되어 시민불편과 경제적인 손실이 발생하고 있다.

이것은 복합적 원인의 결과이나, 근본적인 것은 지하구조물 상부의 되메우기 다짐불량이다. 도시철도는 대도시의 주요도로 하부에 주로 건설이 되기 때문에 도시민의 기반시설인 상수도/하수도/전기/통신/난방/도시가스등 많은 지하지장물을 공사중과 완료시에 처리가 매우 난이한 문제이며, 특히 완료시에는 지하지장물의 침하방지를 위한 콘크리트받침 구조물과 토류 가시설로 인해 다짐의 시공성이 매우 불량하여 침하의 가장 큰 원인이 되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 도시철도 경험이 많은 발주처/감리사/시공사/학계등 전문가의 판단과 의견을 토대로 VE/LCC기법을 이용하여 최소의 유지관리비가 소요되는 최적의 되메우기 공법을 선정하고자 한다.

### 3.2 대상선정

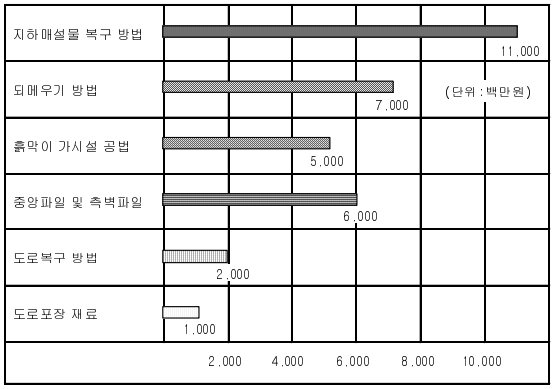
도시철도 공사 완료 후, 구조물 상부 도로의 유지보수비용 최소화를 위한 설계시 고려사항에 대하여 사용자인 발주처의 요구를 측정하기 위하여 품질모델을 활용하였다. 전문가 의견, 공사현장 여건 및 계약서 등을 분석하여 구조적 안정, 시공성, 안전성, 유지관리 효율성 등 12개 항목을 선정하고 설문조사를 통하여 빈도가 높은 항목 6개와 가중치를 결정하였다. 가중치 도출결과 구조적 안정성 35%, 시공성 23%, 경제성 18%, 환경성 15% 및 공기단축 9%로 조사되었다.

품 질 모 델




VE대상은 되메우기의 침하에 영향을 미치는 공정을 후보로 하여 전문가와 협의 후보를 결정하여 가중치부여 복합평가기법에 의하여 VE대상을 선정하였으며 공정표 및 계약서를 검토하여 고비용분야 선정기법으로 검토하여 VE대상을 되메우기방법과 지하지장물 복구방법 개선으로 결정하였다.

고비용분야 선정 기법




가중치부여 복합평가 기법

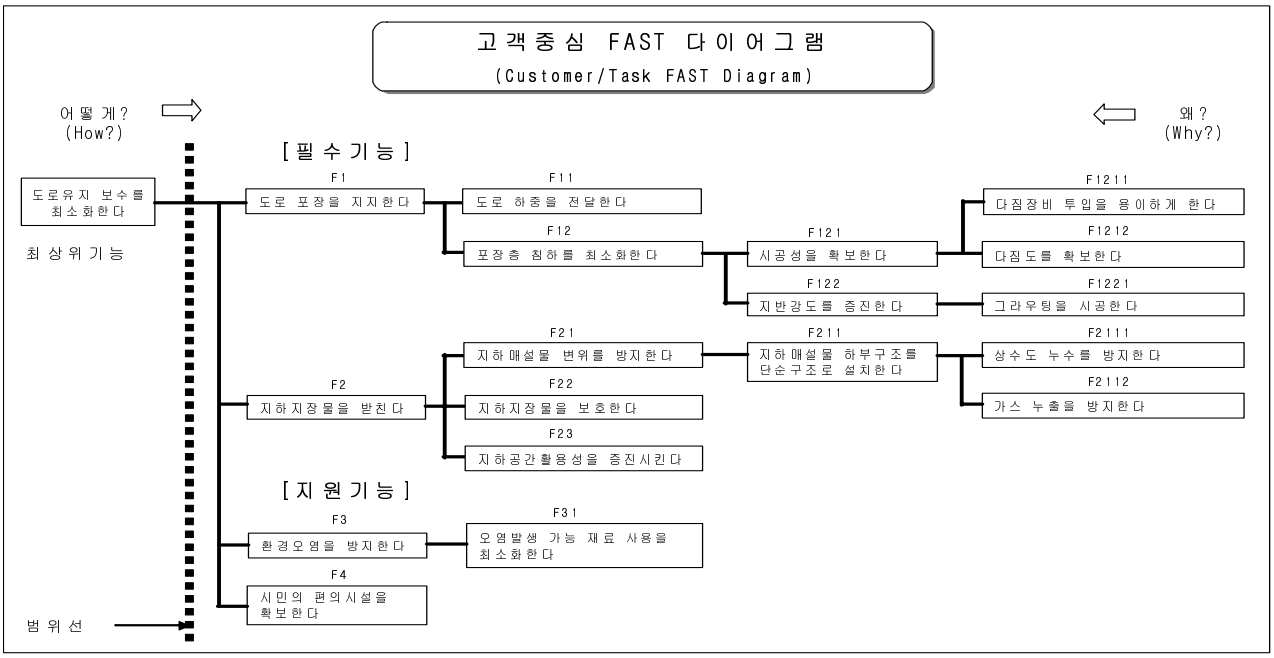
| 번호 | 후보 대상명 | 평 가 항 목 | | | | | | | | | | | | 총점 | 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 구조적 안정성 | | 경제성 | | 공기 단축 | | 안전성 | | 시공성 | | 환경성 | | | |
| | | 가중치 25 | | 가중치 10 | | 가중치 10 | | 가중치 25 | | 가중치 15 | | 가중치 15 | | | |
| 1 | 지하매설물 복구 방법 개선 | 4 | 100 | 4 | 40 | 2 | 20 | 5 | 125 | 3 | 45 | 1 | 15 | 345 | 2 |
| 2 | 되메우기 방법 개선 | 4 | 100 | 2 | 20 | 1 | 10 | 5 | 125 | 4 | 60 | 3 | 45 | 360 | 1 |
| 3 | 흙막이 가시설 공법 개선 | 2 | 50 | 3 | 30 | 4 | 40 | 4 | 100 | 5 | 75 | 1 | 15 | 310 | 5 |
| 4 | 중앙파일 및 측벽파일 존치 여부 및 방법 개선 | 2 | 50 | 4 | 40 | 4 | 40 | 3 | 75 | 5 | 75 | 1 | 15 | 295 | 6 |
| 5 | 도로복구 방법 개선 | 5 | 125 | 4 | 40 | 3 | 30 | 2 | 50 | 4 | 60 | 1 | 15 | 320 | 4 |
| 6 | 도로포장 재료 변경 | 3 | 75 | 3 | 30 | 2 | 20 | 5 | 125 | 4 | 60 | 1 | 15 | 325 | 3 |

### 3.3 기능분석

VE대상에 대하여 중점적으로 개선해야 할 기능을 도출하게 되며, 기능을 정의하고 정리한 후 평가하는 단계를 거쳐 대안을 만들기 위한 아이디어 창출의 근본이 된다.

기능정의는 아이디어 도출을 쉽게 하고 필요한 기능을 명확히 하기 위한 것으로, '명사+동사'의 조합으로 표현한다. 기능들의 상호관계를 명확히 하고 레벨의 결정을 위해 도식적으로 정리한 것을 FAST 다이어그램(Functional Analysis System Technique Diagram)이라 한다. 본 연구에서는 고객중심

FAST 다이어그램을 이용하여 필수기능과 지원기능의 상관관계를 정리하여 개선을 위한 근본적이고 본질적인 접근을 가능하게 하였다.




FAST 다이어그램상의 기능들은 중점개선 대상기능을 선정하기 위해 각 기능에 현재비용(C)과 그 기능을 수행하는데 필요한 최소비용인 기능비용(F)을 산정하고, V=F/C로 비교·평가하여 각 기능들의 가치지수(Value Index)를 산정한다. 가치지수가 적으면 절감의 가능성과 가치향상의 가능성이 크다. 본 연구에서는 기능 상호간의 중요성을 평가하는 강제결정법(FD법-Forced Decision)과 FD법에서 정해진 기능의 순위대로 기능의 중요도, 누적치, 가중치를 구하여 기능비용을 구하는 IWDM법을 이용하였다.

FD법

| 기능 | 기능내용 | F12 | F121 | F1211 | F21 | F23 | F3 | 점수 | 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F12 | 포장층 침하를 최소화한다 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 |
| F121 | 시공성을 확보한다 | 0 | | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| F1211 | 다짐장비 투입을 용이하게 한다 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 1 | 2 | 4 |
| F21 | 지하매설물 변위를 방지한다 | 0 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 4 | 2 |
| F23 | 지하공간활용성을 증진시킨다 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 6 |
| F3 | 환경오염을 방지한다 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | 1 | 5 |

IWDM 법

| 기능 | 상대평가 | | | | | 중요도 | 누적치 | 가중치 | 보정치 | 확정 가중치 (%) | 현재 비용 (백만원) | 기능 비용 (백만원) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F12 | 2 | | | | | 2 | 8 | 47.0 | -3.5 | 43.5% | 5,150 | 4,785 |
| F121 | 1 | 2 | | | | 2 | 4 | 23.5 | 1.5 | 25.0% | 2,650 | 2,750 |
| F1211 | | 1 | 2 | | | 2 | 2 | 11.8 | 0.2 | 12.0% | 1,200 | 1,320 |
| F21 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 5.9 | 0.6 | 6.5% | 700 | 715 |
| F23 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 5.9 | 1.1 | 7.0% | 700 | 770 |
| F3 | | | | | 1 | | 1 | 5.9 | 0.1 | 6.0% | 600 | 660 |
| 총액 | | | | | | | 29 | 100 | 0.0 | 100% | 11,000 | 11,000 |

기능별 착수순위 결정표

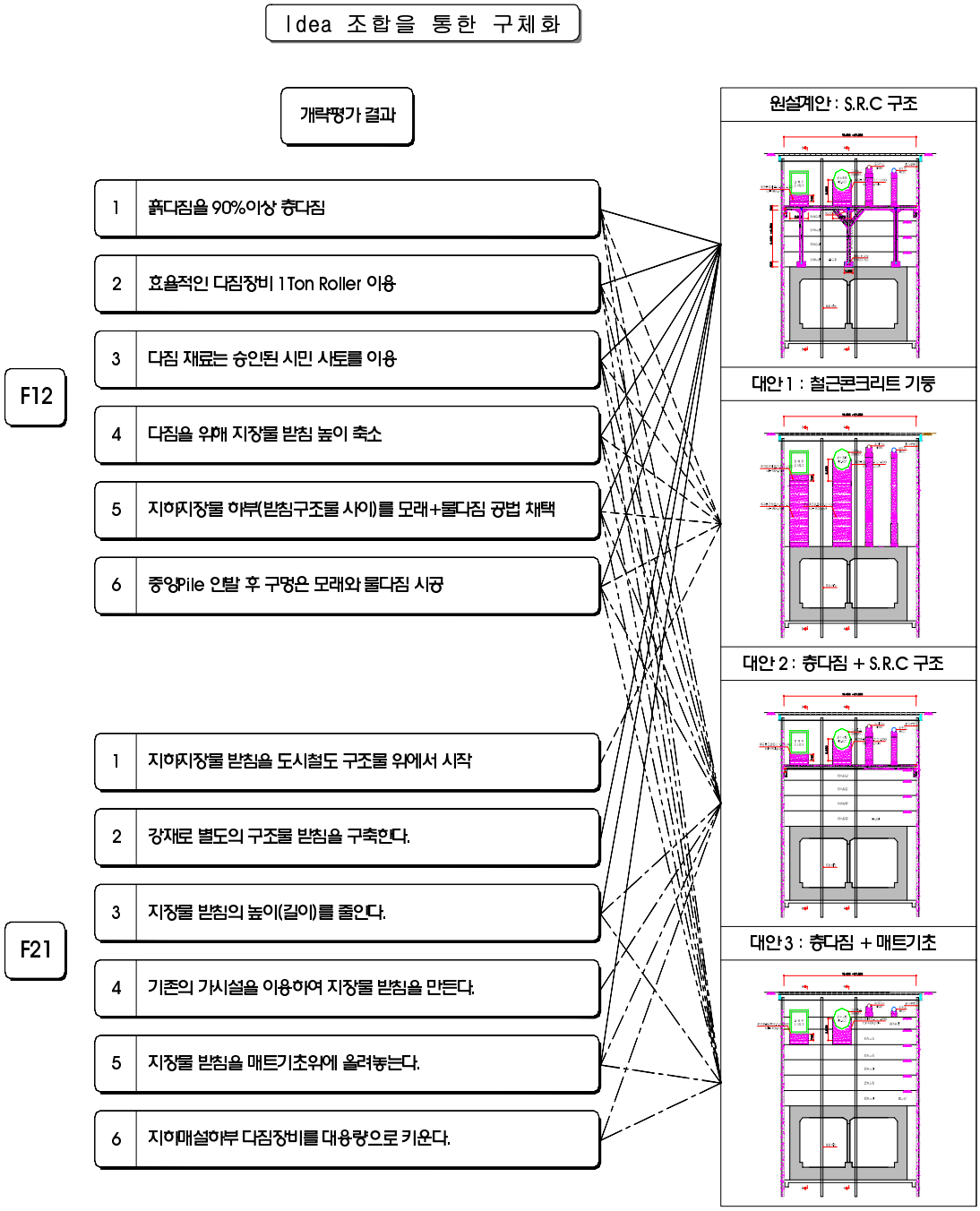
| 기 능 | 현재비용 (C) | 기능비용 (F) | V=F/C | C-F | 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| F12 | 5,150 | 4,785 | 0.93 | 365 | 1 |
| F121 | 2,650 | 2,750 | 1.04 | -100 | 3 |
| F1211 | 1,200 | 1,320 | 1.10 | -120 | 6 |
| F21 | 700 | 715 | 1.02 | -15 | 2 |
| F23 | 700 | 770 | 1.10 | -70 | 5 |
| F3 | 600 | 660 | 1.10 | -60 | 4 |
| 총액 | 11,000 | 11,000 | | | |

### 3.4 아이디어 창출 및 대안선정

준비단계에서 수집된 정보와 기능분석을 통하여 가시화되고 식별된 중점개선 대상기능을 바탕으로 대체방안을 위한 아이디어를 창출하여 가능한 것들을 선정하는 과정이며 아래의 단계를 거친다.

아이디어 창 출 → 아이디어 개략평가 → 아이디어 구체화 → 대안선정 → 각대안의 상세평가 → 최적대안 선 정

본 연구에서는 시공사의 전문가를 중심으로 개인 브레인스토밍(Brainstorming)을 통하여 아이디어를 수집하여 개략적으로 몇 가지 기준으로 평가하였다. 평가기준은 시공성, 경제성, 기술성, 안전성 및 유지관리로 정하여 개략평가 하였으며, 구체적인 대안으로 발전시키기 위하여 유사한 것이나 관련이 있는 것을 몇가지 그룹으로 묶어 구체화된 대안을 표출하였다.



### 3.5 대안의 LCC분석

(1) LCC분석이란 설비 및 시설물에 대하여 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합 즉, 총비용을 비교하기 편리한 일정한 시점으로 등가환산한 가치로써, 경제성을 평가하는 방법으로 초기공사비와 유지관리비까지 고려하여 경제성을 평가하므로 실질적으로 경제적인 안을 선택할 수 있다. 도출된 대안의 유지관리비 분석에 있어서, 대안 중에는 도시철도에서 시공되지 않은 경우가 있고, 시공경험이 있는 경우에도 유지관리에 관한 자료를 구득할 수 없어, 전문가그룹의 경험과 판단을 근거로 작성하였다.

LCC(생애주기비용) 분석

(단위:백만원)

| LCC 분석표 | | | 원설계안 | | 대 안 1 | | 대 안 2 | | 대 안 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VE대상명 : 지하매설물 복구 및 되메우기 방법 개선 | | | | | | | | | | |
| 할인율 : 2.42% | | | S.R.C구조 | | 철근콘크리트 기둥 | | 층다짐+S.R.C구조 | | 층다짐+매트기초 | |
| 내용연수 : 10년 | | | 추정비용 | 현재가치 | 추정비용 | 현재가치 | 추정비용 | 현재가치 | 추정비용 | 현재가치 |
| 초기투자비 | | | | | | | | | | |
| A) 지하매설물 복구 | | | 10,200 | 10,000 | 11,000 | 11,000 | 9,550 | 9,550 | 8,200 | 8,200 |
| 초기투자비용 | | | | 10,200 | | 11,000 | | 9,550 | | 8,200 |
| 도로 유지 보수비 | 년수 | 현재 가치계수 | | | | | | | | |
| A) 1회 보수 | 1년 | 0.976372 | 20 | 19 | 19 | 18 | 18 | 17 | 17 | 16 |
| B) 2회 보수 | 2년 | 0.953302 | 12 | 11 | 11 | 10 | 10 | 9 | 10 | 9 |
| C) 3회 보수 | 3년 | 0.930777 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| D) 4회 보수 | 5년 | 0.887312 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| 유지보수 비용 | | | | 38 | | 38 | | 38 | | 38 |
| 생애주기비용 합계 | | | | 10,238 | | 11,034 | | 9,582 | | 8,231 |
| 생애주기비용 절감액 | | | | | | -796 | | 656 | | 2,007 |

### 3.6 매트릭스 평가

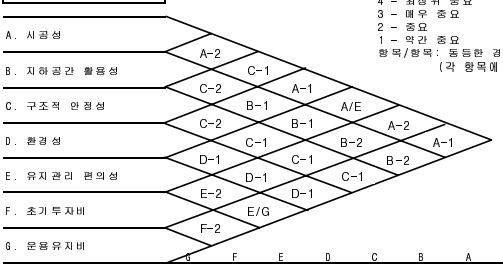
매트릭스 평가법은 각 대안에 대하여 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가항목을 결정하고 각 대안별로 평가항목에 대한 만족도를 평가하여 점수를 부여한다. 점수의 범위는 최저 1점에서 최고 5점으로 각 대안의 합계점수를 구해 최고점수의 대안을 최고안으로 한다. 매트릭스 평가법에서는 "각 평가항목의 중요도가 같다"라는 전제가 있다. 이런 경우는 드문 경우이므로 각 평가항목에 가중치를 부여한 가중치부여 매트릭스 평가법을 이용하였다. 본 연구에서는 철근콘크리트기둥 방법(대안1)이 가장 적은 기능점수를, 층다짐+매트기초 방법(대안3)이 최고의 기능점수를 보였다.

매트릭스 평가표

| 아이디어 대상 | F12. 포장층 침하를 최소화한다.<br>F21. 지하매설물 변위를 방지한다. |
|---|---|

평가항목 점수표

가중치 평가척도
4 - 최상위 중요
3 - 매우 중요
2 - 중요
1 - 약간 중요
항목/항목: 동등한 경우 (각 항목에 1점)




| 대안 평가표 | 점수 | G | F | E | D | C | B | A | 총점 | 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 가중치(0-10) | 1 | 3 | 5 | 4 | 10 | 8 | 9 | | |
| 1. 원안 (S.R.C구조) | | 3 / 3 | 4 / 12 | 3 / 15 | 4 / 16 | 4 / 40 | 3 / 24 | 3 / 27 | 137 | |
| 2. 대안 1 (철근콘크리트 기둥) | | 3 / 3 | 3 / 9 | 3 / 15 | 3 / 12 | 5 / 50 | 3 / 24 | 2 / 18 | 131 | |
| 3. 대안 2 (층다짐+S.R.C구조) | | 4 / 4 | 3 / 9 | 4 / 20 | 3 / 12 | 4 / 40 | 4 / 32 | 3 / 27 | 144 | |
| 4. 대안 3 (층다짐+매트기초) | | 4 / 4 | 5 / 15 | 4 / 20 | 4 / 16 | 4 / 40 | 5 / 40 | 4 / 36 | 171 | 선정 |

5-매우우수, 4-우수, 3-보통, 2-열등, 1-매우열등

### 3.7 VE/LCC 결과

VE기법 LCC분석에 의한 결과로 가치점수(V=F/C)를 구한다.

(단위:백만원)

| 기 능 | | 원안 (S.R.C구조) | 대안 1 (철근콘크리트 기둥) | 대안 2 (층다짐+S.R.C) | 대안 3 (층다짐+매트기초) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 비용 분석 (C) | 초기투자비 | 10,200 | 11,000 | 9,550 | 8,200 | |
| | 유지관리비 | 38 | 34 | 32 | 31 | |
| | 계 | 10,238 | 11,034 | 9,582 | 8,231 | |
| 성능점수(F) | | 137 | 131 | 144 | 171 | |
| V=F/C | | 1.34 | 1.19 | 1.50 | 2.08 | |
| 향상도 | | - | -11% | 12% | 55% | |
| 최적대안 | | | | | ◎ | |

분석결과 원안(S.R.C구조)과 비교하여 대안1(철근콘크리트 기둥)은 성능 및 비용면에서 상대적으로 불리한 결과를 나타내었으며, 대안3(층다짐+매트기초)의 방법이 LCC와 성능점수에서 유리하며 가치점수가 가장 높은 것으로 조사되었다.

## 4. 결 론

본 연구는 도시철도 지하구조물 완료 후 상부도로의 최소의 유지보수를 위하여 VE/LCC 적용방안에 대하여 제안하였으며, LCC를 고려한 최적대안을 선정하였다. VE/LCC를 통하여 비용절감외에 가치향상 요소를 고려하였고, 문제점 및 개선방향을 설정하였다.

VE기법 수행시 도시철도의 특성을 반영할 수 있는 세부 평가항목 도출을 위하여 계약서류의 분석, 공사여건에 대한 조사 및 전문가와의 협의를 통한 방법과 최적안 도출 방법을 제시하였다.

그러나, VE/LCC 수행시 필요한 유지관리 실적 및 Cost Data가 부족하여, 그 부족 부분은 많은 전문가의 의견과 판단을 근거로 Data를 보완하였다. 따라서 근본적인 자료의 지속적이고 체계적인 축적이 필요하며, 향후 되메우기의 공법선정시에는 설계단계에서부터 VE/LCC기법을 이용하는 경제성 검토가 요망된다.

## 참 고 문 헌


1. 서울시립대학교, 한국건설기술연구원(2000), “건설VE의 실질적 운용기법을 위한 연구(건설사업 VE기술 도입방안)”, 건설교통부.
2. 김이현(2008), “철도교량의 노선수준 생애주기비용기반 유지관리 전략”, 박사학위논문, 한양대학교.
3. 윤순종, 김홍택, 주형중, 김경호, 탁승국(2005), “지하지장물 진동계측관리와 되메우기 방법에 따른 구조물의 거동 영향 분석”, 한국토목학회 02, 춘계학술대회 논문집
4. 신태균, 이승훈, 권재성, 구정산, 구교전, 현창택(2005), “VE-LCC분석을 통한 철도노선의 최적안 선정방안 연구-교량 선정방안을 중심으로-”, 한국철도학회(2005) 추계학술대회 논문집
5. 이동욱, 이태식(2004), “최적 철도노선 선정을 위한 VE/LCC 평가모델 개발”, 한국철도학회논문집(2004)
6. 소병춘, 최영민, 조선규, 신경철, 정재동(2004), “확률적 방법에 의한 철도시설물의 LCC분석”, 한국철도학회 04추계학술대회 논문집(2004)