

# VE-LCC 분석을 통한 철도 노선의 최적안 선정방안 연구

- 교량 선정방안을 중심으로 -

## A Study on the Optimum Selection of Railroad Line using VE-LCC Analysis

- Based on the Optimum Selection of Railway Bridge -

신태균\* 이승훈\*\* 권재성\*\*\* 구정산\*\*\* 구교진\*\*\*\* 현창택\*\*\*\*  
Shin, Tae-Kyun Lee, Seung-Hoon Kwon, Jae-Seong Koo, Jeong-San Koo, Kyo-Jin Hyun, Chang-Taek

### ABSTRACT

Railroad line design of the railroad construction project should be planned considering the variety of quantitative and qualitative factors, and needs to be selected the optimum alternative weighing from VE/LCC analysis of the planned design. The purpose of this research is for showing selecting plan of the optimum railroad line and railway bridge applying VE/LCC analysis in selecting the optimum alternative of railroad construction based on quantitative and qualitative factors, such as initial construction cost, maintenance cost, owner and user's requirements. In this research showed the application plan by each stage using data analysis, function analysis, and alternative evaluation of VE/LCC analysis with AHP and LCC analysis program for the selection. This research is proved the rationality and application of the course of selecting the optimum alternative through case application.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 국내 건설산업의 경쟁력 확보방안의 일환으로 2000년 9월 1일부터 건설기술관리법 시행령에 의해 설계의 경제성 등 검토<sup>1)</sup>를 시행하도록 하고 있다. 이로 인해 비교적 사업규모가 큰 철도건설공사에서는 가치공학(Value Engineering, 이하 VE)과 생애주기비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC)에 대한 분석의 필요성이 대두되고 있으며, VE-LCC분석은 그 실시시기가 빠를수록 가치향상의 기회가 커진다. 따라서 본 연구의 목적은 철도건설공사의 기본설계단계에서 VE-LCC분석을 실시하여 철도 노선의 최적안을 선정하는데 있으며, 세부적으로 교량 선정방안을 제시하는데 목적이 있다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

철도사업에서 노선 구성요소는 교량, 터널, 토공, 정거장 및 궤도로 비교적 명확하게 구분할 수 있다. 본 연구에서는 궤도를 제외한 부분에 대해서 VE-LCC분석을 수행하여 철도 노선의 최적안을 선정하였으며, 세부적으로 교량의 최적안 선정방안을 제시하고 실제 사례(성남~여주 복선전철 제5공구 건설공사)에 적용하는 것을 연구의 범위로 한다. 본 연구는 VE와 LCC의 개념에 대해서 간단히 알아보고, 철도 노선선정에 있어서 VE-LCC분석의 적용방안을 제시함으로써 실제 사례를 통해 최적 노선 및 교량을 선정하는 것으로 진행하였다.

\* (주)청석엔지니어링 전무이사, 정회원

\*\* 서울시립대학교 박사과정

\*\*\* 서울시립대학교 석사과정

\*\*\*\* 서울시립대학교 교수

1) 설계단계의 Value Engineering 분석을 의미한다.

## 2. VE-LCC분석 개요

### 2.1 VE분석 개념

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.<sup>2)</sup> 가치를 높이는 것이 VE활동의 목적이라고 할 수 있으며, 다음 네가지 유형이 존재한다.

$$V = \frac{F}{C} = \begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ \leftarrow & \leftarrow & \leftarrow & \leftarrow \\ \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ \leftarrow & \leftarrow & \leftarrow & \leftarrow \end{matrix} \quad 3)$$

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 개념

#### (1) LCC 정의

모든 구조물은 기획, 설계 및 건설공사로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용·관리 단계 및 폐기·처분단계로 이어지는 일련의 과정을 거치게 된다. 이를 구조물의 생애주기(Life Cycle)라고 하며, 이 기간동안 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.

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

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

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

### 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) 창조 단계

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

#### (4) 평가 단계

기능분석 단계에서 도출된 요구기능을 3점척도로 평가하는 한편, 각 요구기능들에 대한 쌍별비교를 통해 기능들의 중요도를 판단하도록 한다. 이를 종합하여 기능만족도를 평가하고(기능만족

2) 이승훈 외(2003), “설계추진단계별 설계VE의 효율적 적용 방안”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.371~374  
3) 기능을 유지하면서 비용을 감소시킬 뿐만 아니라, 어느 정도의 비용증가를 통해 더 큰 기능을 달성함으로써, 전체적인 가치는 상승하는 효과를 가져올 수 있다는 것도 고려한다.

지수 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-LCC분석 적용방안

3.1 설계 프로세스와 VE-LCC분석

기본설계 과정 중 정보분석, 기능분석 후 창조단계에서 제시된 여러 노선 대안을 평가단계에서 기능만족도와 경제성을 평가하게 된다. 이것은 각 대안이 요구기능을 어느 정도 만족하는지 그리고 어떤 대안이 가장 경제적인지를 판단하는 객관적인 평가 자료가 된다. 【그림1】은 본 연구에서 제안하고자 하는 설계프로세스와 VE-LCC분석 절차와의 관계를 도식화한 것이다.

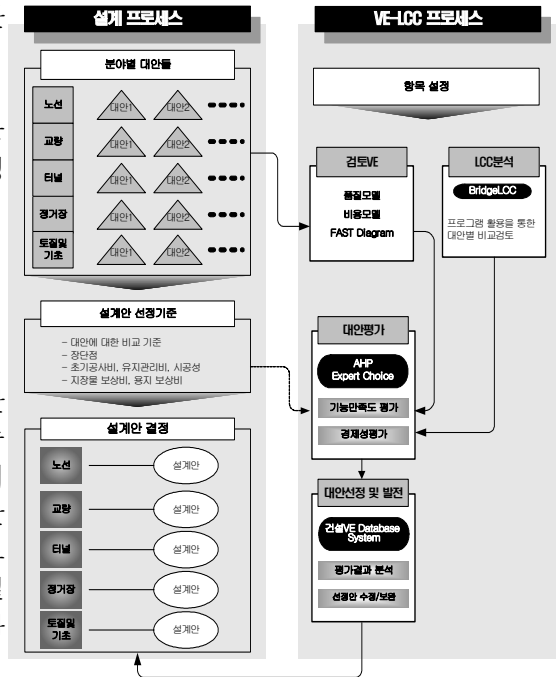


그림1. 설계프로세스와 VE-LCC분석 흐름도

3.2 노선계획의 분석 방향

노선을 계획함에 있어, 용지보상비, 지장물처리비, 공사비, 유지관리비, 민원처리비 등의 경제성 뿐 아니라, 주변환경에 최대한 융화되고 자연환경 훼손이 적으며, 철도 운영에 안전상 무리가 없는 최적의 노선을 계획하기 위하여 현 설계안에 대한 검토VE와 LCC분석을 수행하여 최적인 창출의 목적을 달성하고자 한다. 노선계획에 대한 VE-LCC분석에 있어 고려해야할 항목은 다음과 같다.

표1. 노선계획에 대한 고려사항

| 사업특성분석 | 내 용                               | 비 고                          | 기 타   |
|--------|-----------------------------------|------------------------------|---|
| 기능적 분석 | - 안전성, 효율성 확보                     |                              | - 지장물 보상비<br>- 용지 보상비<br>- 초기 공사비<br>- 유지관리비<br>- 문화유적 보호<br>- 민원발생 최소화 |
| 공학적 분석 | - 노선분석, 궤도계획, 배선계획<br>- 환경저해 요소분석 | - 지형, 지질학 분석<br>- 환기 및 방재 계획 |   |
| 시공측면분석 | - 시공장비 조합, 보수계획, 환기시설             |                              |   |
| 사업비의분석 | - 사업비 절감을 위한 항목 분석                | -선로 유지보수, 터널축소, 시토장 활용       |   |

3.3 교량계획의 분석 방향

교량은 목적에 부합되는 안전하고 심미적이며 경제적인 구조물이 되도록 시공성, 기능성, 환경성, 유지관리성, 내진성, 내구성, 조형미 등을 고려하여, 현 설계안에 대한 검토VE 및 이에 대한 LCC분석을 통해 경제성을 평가한다. 교량계획에 대한 VE-LCC분석에 있어 고려해야할 항목은 다음과 같다.

표2. 교량계획에 대한 고려사항

| 분 야 | 비교분석 및 평가항목  | 비 고  |
|-----|--|--|
| 교 량 | - 교량의 형식 및 가설공법의 적정성<br>- 부대시설(교량받침, 신축이음장치, 난간, 방호책 등) 의 적정성<br>- 가설공법 및 기초형식 | - 유지관리성<br>- 미관설계 및 주변환경과의 조화<br>- 교면 방수의 적정성<br>- 신기술신 공법의 적용 |
|     |  | - 할인율 적용<br>- 민감도 분석 실시  |

4. VE-LCC분석 사례적용

철도 노선의 최적인 선정방안을 실제 사례에 적용하여 분석을 실시하였다. 최적인 선정을 위하여 입찰안내서를 기초로 하여 품질모델을 작성하고, 노선에 대한 기능분석을 실시하고 각 기능에 대한 대안별 기능만족도를 검토하였다. 또한, 경제성 평가를 위하여 LCC분석을 실시하였다. 기능만족도와 LCC분석을 근거로 하여 『상대가치』를 도출하였다.

발주자측 요구사항을 포함하여 선형계획에 대한 고려사항을 검토한 결과 노선의 합리성, 열차운행의 안전성, 시공성, 환경/민원, 토지이용성, 경제성 등 주요 평가항목이 도출되었고 이에 대하여 각 대안별로 비교/분석을 실시하기 위하여 『가중치를 부여한 매트릭스 평가법』을 사용하였다. 그 결과 대안1이 열차운행의 안전성, 환경/민원, 토지이용성, 노선의 합리성, 경제성 등에서 우수한 것으로 판단되었다. 상대적 가치지수 역시 대안1이 가장 우수한 것으로 판단되었다. 상기의 두 평가방법에 의해 대안1의 노선계획을 최적으로 선정하였다.

이상과 같이 본 사례에서는 대안1이 최적노선으로 선정되었으며, 본 연구에서는 다음과 같이 노선의 구성요소 중 교량에 대해서 세부적으로 분석을 실시하였다.

#### 4.1 정보분석단계

정보분석단계에서는 수집한 정보를 분석하여 VE의 대상분야를 선정하는 것이 중요하며, 대상분야 선정은 VE활동의 효율성을 높이는 의미를 가진다.

품질모델은 발주자와 사용자의 요구사항을 근거로 하여 분야별 주요항목을 도출하고, 각각의 항목에 대해 설계사와 시공사 소속의 전문가들의 이론과 경험적인 판단을 근거로 정량적으로 표현한다.<sup>4)</sup>

교량에 대한 요구사항을 분석한 결과 【그림2】와 같은 품질모델을 작성하였으며, 중점적으로 고려해야 할 사항은 열차운행의 안전성, 구조적 안전성, 시공성, 공사비 등으로 나타났다.

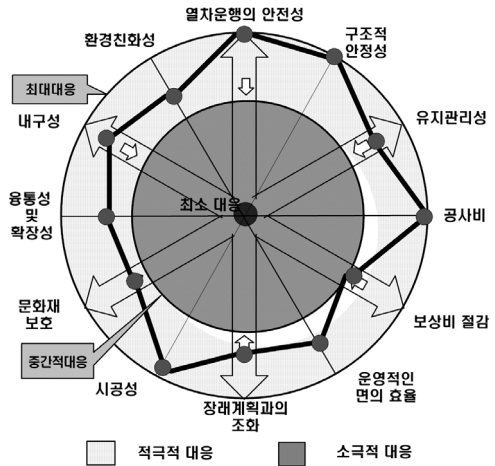


그림2. 교량계획에 대한 품질모델

#### 4.2 기능분석단계

VE대상으로 선정된 분야에 대한 각각의 기능을 분석하고, 기능들간의 연관관계를 파악한다. 기능은 ‘명사+ 동사’의 조합으로 표현한다. 분류된 기능들은 일반적으로 기능상호간의 논리적 연관성에 의해 정리된다. 이렇게 기능들을 도식적으로 정리한 것을 FAST 다이어그램(Functional Analysis System Technique Diagram)<sup>5)</sup>이라 한다. 본 연구에서는 고객중심 FAST 다이어그램을 이용하여 프로젝트의 필수기능과 지원기능을 상관관계로 정리하였다.



그림3. 고객중심 FAST 다이어그램

#### 4.3 대안평가단계

##### (1) 경제성 평가

##### 1) LCC분석 방향

교량에 대한 LCC비용항목으로 초기투자비, 유지관리비, 철거비를 선정하였다. 유지관리비와 철거비는 현가법을 이용하여 현재가치의 유지관리비와 철거비로 환산하였다. 교량에 대한 LCC분석은 spreadsheet와 BridgeLCC 2.0을 사용하여 분석하고 두 결과를 비교하였다.

##### 2) LCC 계산을 위한 기본가정과 대안개요

본 LCC분석은 2005년 3월 1일을 기준으로 분석기간 100년으로 실시하였으며 현가법을 이용하였다.

4) 품질모델은 발주자 측의 의견을 명확히 하기 위하여, 발주자가 제시한 문서를 토대로 요구사항을 취합하였다.

5) FAST 다이어그램을 국내에서는 “기능계통도”라고 부르기도 한다. 전통적인 FAST 다이어그램(Classical FAST Diagram), 고객중심의 FAST 다이어그램(Customer/Task FAST Diagram), 기술적인 FAST 다이어그램(Technical FAST Diagram) 등이 있다.

표3. 기본 가정사항

| 항 목 | 실질할인율 | 분석기준일자         | 분석대상기간 | 초기투자비 | 유지관리비      | 비용산출법 |
|-----|-------|----------------|--------|-------|------------|-------|
| 내 용 | 3.66% | 2005. 3. 1로 가정 | 100년   | 공사비   | 점검비용, 교체비용 | 현가법   |

또한 교량에 대한 개요는 <표4>과 같으며, 유지관리비 요소중 교체비용을 분석함에 있어서는 다음 <표5>의 내용과 같은 기준을 적용하였다.

표4. 교량에 대한 대안개요

표5. 교량의 교체주기 가정사항

| 대안       | 교량 형식 | 교량 길이    | 교량 폭 | 구성 요소       |              |      |        |     |
|----------|-------|----------|------|-------------|--------------|------|--------|-----|
|          |       |          |      | 초기 투자비      | 내 용          | 교체주기 |        |     |
| 대안1      | 정거장구간 | PSC CONC | 485m | 운영 / 유지 관리비 | 초기 공사비       |      |        |     |
|          |       | RC라멘     | 72m  |             |              |      |        |     |
|          | 본선구간  | PSC CONC | 385m |             |              |      |        |     |
| 대안2      | 정거장구간 | PSC CONC | 440m |             | 점검비          | 교대   | 15년    |     |
|          |       | RC라멘     | 72m  |             |              |      | 교각     | 15년 |
|          |       | STEEL    | 55m  |             |              |      | 바닥판    | 40년 |
|          | 본선구간  | PSC CONC | 500m | 교좌받침 완전교체   |              |      | 16년    |     |
|          |       | PSC CONC | 500m | 신축이음장치 완전교체 |              |      | 10년    |     |
| 대안3      | 정거장구간 | PSC CONC | 120m | 보수비         | 정기점검         | 0.5년 |        |     |
|          |       | RC라멘     | 72m  |             |              | 정밀점검 | 2년     |     |
|          |       | STEEL    | 390m |             |              |      | 정밀안전진단 | 5년  |
|          | 본선구간  | PSC CONC | 390m |             | 강교도장보수       |      | 20년    |     |
|          |       | PSC CONC | 390m |             | 콘크리트<br>주형보강 | 중양부  | 40년    |     |
|          |       | PSC CONC | 390m |             |              | 지점부  | 40년    |     |
| PSC CONC | 390m  | 가로보      | 40년  |             |              |      |        |     |

3) 각 대안별 LCC 분석

다음은 각 대안별 전체구간 LCC분석 결과이며, 유지관리비 측면에서는 대안2가 유리하나 총 LCC측면에서는 대안2가 가장 유리한 것으로 평가되었다.

표6. 교량부분 대안별 LCC분석 결과

| 구 분    | 대안1        | 대안2        | 대안3        |            |           |
|--------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 초기공사비  | 40,312,546 | 49,367,910 | 34,953,030 |            |           |
| 유지 관리비 | 교대         | 4,782      | 4,782      | 4,782      |           |
|        | 보수/보강비     | 교각         | 28,623     | 25,662     | 30,597    |
|        |            | 배수시설       | 37,056     | 37,442     | 37,442    |
|        |            | 바닥판        | 8,570,941  | 8,598,692  | 8,887,585 |
|        | 콘크리트 주형보강  | 2,995,456  | 2,700,741  | 1,646,306  |           |
|        | 강제주형도장     | -          | 48,884     | 234,423    |           |
|        | 교좌받침 교체    | 710,838    | 659,328    | 2,678,520  |           |
|        | 신축이음 교체    | 3,475,692  | 3,550,414  | 5,017,680  |           |
|        | 정기점검비용     | 14,004     | 14,004     | 14,004     |           |
|        | 정밀점검       | 13,427     | 13,427     | 13,427     |           |
|        | 정밀안전진단     | 81,289     | 81,289     | 81,289     |           |
|        | 소 계        | 14,082,590 | 13,529,117 | 19,393,872 |           |
|        | 총 L C C    | 50,078,646 | 55,949,887 | 68,350,780 |           |

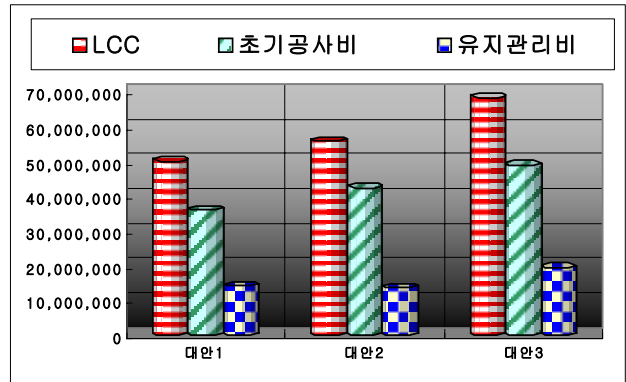


그림4. 비용항목에 따른 LCC 분석

4) 민감도 분석

본 연구에서는 3.66%를 기준할인율로 하여 LCC 분석을 실시하였으며 실질할인율의 변화에 따른 민감도 접근법을 사용하였으며, 분석결과 할인율의 변화에도 불구하고 대안간 LCC의 순위는 변하지 않았다.

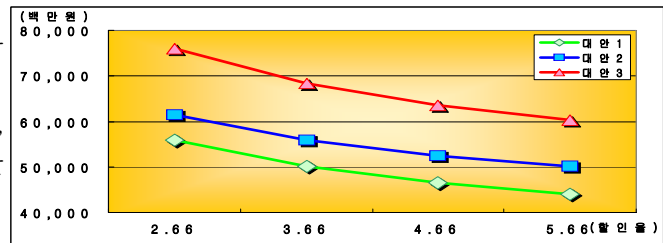


그림5. 실질할인율에 따른 LCC비교

4.4 종합평가 및 발전단계

최적안 선정기법의 목적은 경제적인 측면뿐만 아니라 시설물의 전체적인 측면에서 종합적으로 판단하여 최종적으로 가장 적절한 대안을 선정하는데 그 목적이 있다. 이때 발주자·사용자 요구측

정 단계에서 작성된 품질모델과 기능분석 단계에서 작성된 FAST 다이어그램 등을 참고로 하여 대안이 이에 부합하는지를 판단한다. 본 과업에서는 가중치부여 매트릭스 평가법을 사용하여 최적 대안을 도출한다.

매트릭스 평가법은 각 대안에 대해서 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가항목을 결정하고 각 대안별로 평가항목에 대한 만족도를 평가하여 점수를 부여한다. 점수의 범위는 가장 빈약한 것은 1점을 부여하고 가장 만족스러운 영향을 주는 대안에 5점을 부여하여, 각 대안의 합계점수가 높은 대안을 최적으로 선정한다.

매트릭스 평가법의 변형인 『가중치 부여 매트릭스 평가법』은 각 평가항목별로 1:1비교를 통하여 중요도에 따라 평가항목들에 가중치를 부여한다. 각 평가항목에 대한 대안별 평가치를 이 가중치와 곱하고 그렇게 해서 도출된 점수를 합산하여 평가를 실시하였다. 각 평가항목에 대한 상대적인 중요도를 평가하여 가중치를 부여한 결과, 궤도안정성, 경제성에 비교적 높은 가중치가 나타났으며 최종적으로 대안1이 최적으로 평가되었다.

### 평가항목 점수표

|          |     |     |     |     |  |  |  |
|----------|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| A. 궤도안정성 | A/B |     |     |     |  |  |  |
| B. 경제성   | B-2 | A-2 |     |     |  |  |  |
| C. 내구성   | C/D | B-2 | A-2 |     |  |  |  |
| D. 유지관리성 | D/E | C-2 | C-2 | B/F |  |  |  |
| E. 경관    | E/F | D-2 |     |     |  |  |  |
| F. 시공성   | F   |     |     |     |  |  |  |

가중치 측정 기준  
 5-최상위 중요  
 4-매우 중요  
 3-중요  
 2-약간중요  
 영향/영역 - 동등한 경우  
 (각영역에 1점)

| 대안평가표  | 점수 | 가중치 (0-10) |   |   |    |    |    |    |    | 총점 |    |    |           |           |
|--------|----|------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|
|        |    | 2          | 3 | 5 | 6  | 8  | 9  | 10 |    |    |    |    |           |           |
| 1. 대안1 |    | 3          | 6 | 5 | 15 | 25 | 4  | 24 | 4  | 32 | 5  | 50 | 152 (89%) |           |
| 2. 대안2 |    | 4          | 8 | 4 | 12 | 4  | 20 | 5  | 30 | 4  | 32 | 4  | 40        | 142 (84%) |
| 3. 대안3 |    | 4          | 8 | 2 | 6  | 4  | 20 | 4  | 24 | 3  | 24 | 4  | 40        | 122 (72%) |

대안의 평가치 - 유통알: 5, 아주중요: 4, 중요: 3, 보통: 2, 나쁨: 1

최종 대안 선정: 비교1안

그림6. 교량에 대한 매트릭스 평가 결과

표7. 대안별 평가결과

|     | 대안1           | 대안2           | 대안3           |
|-----|---------------|---------------|---------------|
|     |               |               |               |
| LCC | 50,078,646 천원 | 55,949,887 천원 | 68,350,780 천원 |

## 5. 결 론

본 연구는 철도노선의 교량에 대한 최적인 선정에 있어서 VE-LCC적용방안에 대해서 제안하였으며, 제시한 방안을 사례에 적용시켜 LCC를 고려한 최적인을 선정할 수 있었다. VE-LCC를 수행하면서 비용절감뿐 아니라 가치향상 요소를 고려하였고, 정보분석단계에서 기본계획안의 분석을 통해 문제점 및 개선방향을 설정하였다. 아직은 VE분석과 LCC분석에 필요한 자료가 부족한 실정이다. 향후 VE 및 LCC 분석에 필요한 Cost Data등을 체계적으로 축적할 필요가 있으며, 이를 토대로 기본계획단계에서 VE 및 LCC 분석기법에 의한 최적 노선 선정방안에 대한 연구가 요망된다.

### 참고문헌

1. 서울시립대학교, 한국건설기술연구원(2000) "건설VE의 실질적 운용기법을 위한 연구 (건설사업 VE기술 도입방안)", 건설교통부
2. 이승훈 외(2003), "설계추진단계별 설계VE의 효율적 적용 방안", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집
3. 민경석(2001), "설계단계에서의 효과적 VE적용을 위한 기능정의의 프로세스 모델", 박사학위논문, 연세대학교
4. 중앙대학교, 한국건설기술연구원(2000) "건설 VE메뉴얼 작성을 위한 연구(건설 VE기술 도입방안)", 건설교통부
5. Alphonse Dell'Isola(1997), lue Engineering : Practical Applications", RSMears