

VE-LCC 분석을 통한 철도의 최적노선 선정방안 연구

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

신태균*
Shin, Tac-Kyun

손석구**
Son, Seok-Ku

이승훈**
Lee, Seung-Hoon

구교진***
Koo, Kyo-Jin

현창택***
Hyun, Chang-Taek

ABSTRACT

Selecting a railroad line requires the comparative evaluation of various elements. As a systematic approach to this selection it will be necessary to apply the VE study and the LCC analysis. This study proposes a methodology for selecting the optimum line of the railroad using VE-LCC analysis. The VE study is performed by following four steps : Information analysis, Function analysis, Alternative evaluation, and Optimum plan selection. The economics evaluation in VE study is using LCC analysis and Sensitivity analysis. Cost items in LCC analysis are classified into bridge, tunnel, rail, and earthwork. We could select the optimum alternatives considering not only cost elements but also various evaluation element in VE-LCC analysis. The synthetic evaluation process is composed of relative value composition and weighted matrix evaluation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 국제화 시대에 대비하여 국내 건설산업의 경쟁력 확보방안의 일환으로 2000년 9월 1일부터 건설기술관리법 시행령에 의해 설계의 경제성 등 검토¹⁾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 있다. VE-LCC분석은 그 실시시기가 빠를수록 가치향상의 기회가 커지므로, 설계단계의 VE-LCC는 설계초기단계 즉, 기본설계단계에 적용함으로써 큰 효과를 기대할 수 있다. 본 연구의 목적은 철도건설공사의 기본설계단계에서 VE분석과 LCC분석을 실시하여 최적노선을 선정하는 방안을 제시하는데 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

(1) 연구의 범위

철도사업에서 노반 구성요소는 교량, 터널, 토공, 정거장 및 궤도로 비교적 명확하게 구분할 수 있다. 본 연구에서는 각 구성요소별로 VE-LCC분석을 수행하였으나, 세부적인 분석과정에 대한 설명은 지양하고 그 결과만을 노선의 VE-LCC분석에 반영하는 것으로 한다. 따라서, 노선 전체에 대한 VE-LCC를 수행하고 최적 노선을 선정한다. 본 연구에서 철도사업에 있어서 최적의 노선을 선정하는 방안을 제시하고 실제 사례에 적용하는 것을 연구의 범위로 한다.

(2) 연구의 방법

본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행한다.

- ① VE와 LCC에 대한 개념을 알아보고 그 수행절차와 기법에 대해 고찰한다.
- ② VE-LCC 분석절차와 적용 프로그램에 대해서 살펴본다.
- ③ 철도 노선선정에 있어서 VE-LCC분석의 적용방안을 제시한다.
- ④ 제안한 VE-LCC분석절차에 따라 실제 사례에 적용하여 최적안을 선정한다.

* (주)정석엔지니어링 전무이사, 정회원

** 서울시립대학교 석사과정

*** 서울시립대학교 교수

1) 설계단계의 Value Engineering 분석을 의미한다.

2. VE-LCC분석 개요

2.1 VE분석 개론

(1) VE의 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.)

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

V : Value, 가치지수, C : Life Cycle Cost(총비용)

F : Function, 필요한 기능을 위한 최저 비용,

(2) VE분석 절차

VE의 수행은 정보분석, 기능분석, 창조, 대안평가, 대안도출 및 발전단계로 구성되며 그 절차와 주요 업무내용은 【그림1】에서 보는 바와 같다.

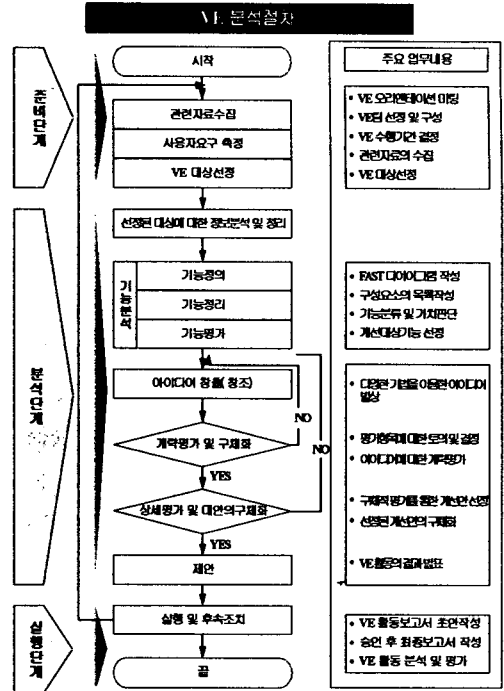


그림1. VE추진절차 및 주요 업무내용

2.2 LCC분석 개론

(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 현재가치로 환산할 수 있다. 현가에 기반하여 대안들의 이익과 비용 등을 등가 균일년가로서 나타낼 수 있다. 식(1)과 식(2)는 현가(P)와 연가(A)를 구하는 방법을 설명하고 있다.

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

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

P : 미래에 발생하는 현금의 현재가치

F : n년 후에 발생하는 비용

A : 매년 동일하게 발생하는 년간비용

(3) LCC분석 절차

건설공사의 LCC분석 과정은 【그림2】과 같은 절차로 이루어진다.

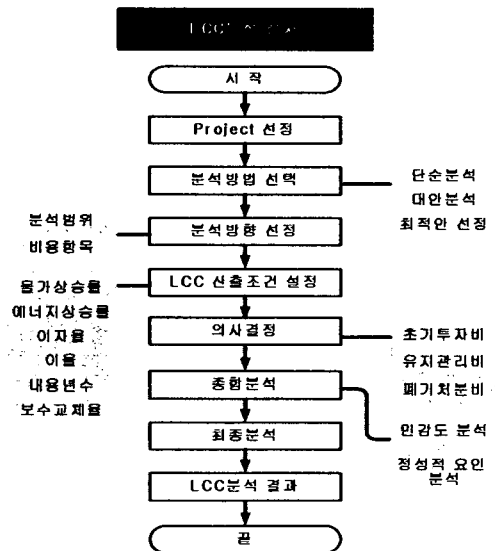


그림2. LCC분석 절차

- 이승훈 외(2003), "실제추진단계별 설계VE의 효율적 적용 방안", 대한건축학회의 춘계학술발표대회 논문집, pp. 371~374
- 기능을 유지하면서 비용을 감소시킬 뿐만 아니라, 어느 정도의 비용증가를 통해 더 큰 기능을 달성함으로써, 전체적인 가치는 상승하는 효과를 가져올 수 있다는 것도 고려한다.

2.3 VE-LCC분석 절차

(1) 정보분석 단계

발주자의 요구사항을 파악하여 품질도표를 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(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. 철도 노선에 대한 VE-LCC분석 적용방안

3.1 철도 설계 프로세스와 VE-LCC분석

철도 노선의 기본설계 과정 중 정보분석, 기능분석 후 창조단계에서 나온 여러 노선 대안을 평가단계에서 기능만족도와 경제성을 평가하게 된다. 이것은 각 대안이 요구기능을 어느 정도 만족하는지 그리고 어떤 대안이 가장 경제적인지를 판단하는 객관적인 평가자료가 된다. 【그림4】는 본 연구에서 제안하고자 하는 설계프로세스와 VE-LCC분석 절차와의 관계를 도식화 한 것이다.

3.2 선형계획의 분석 방향

운전 운영의 기능적 분석을 통한 노선계획과 용지보상비, 지장물처리비, 공사비, 유지관리비, 민원처리비 등의 경제성뿐 아니라, 주변환경에 최대한 조화되고, 자연환경 훼손이 적으며, 철도 운영에 안전상 무리가 없는 최적의 선형을 계획하기 위하여 현 설계안에 대한 VE와 LCC분석을 수행하여 최적인 창출의 목적을 달성하고자 한다. 선형계획에 대한 VE-LCC분석에 있어 고려해야할 항목은 다음과 같이 설정되었다.

표1. 선형계획에 대한 고려사항

차별 항목	내 용	항 목
기능적 분석	- 운전·운영 기능성, 효율성 확보	- 지장물 보상비
종합적 분석	- 선형분석, 궤도계획, 배선계획	- 용지 보상비
	- 환경지해 요소분석	- 초기 공사비
시공측면분석	- 시공장비 조합, 보수계획, 환기시설	- 유지관리비
사업비의분석	- 사업비 절감을 위한 항목 분석	- 문화유적 보호
		- 민원발생 최소화
		- 선로 유지보수, 터널축수, 사도장 활용

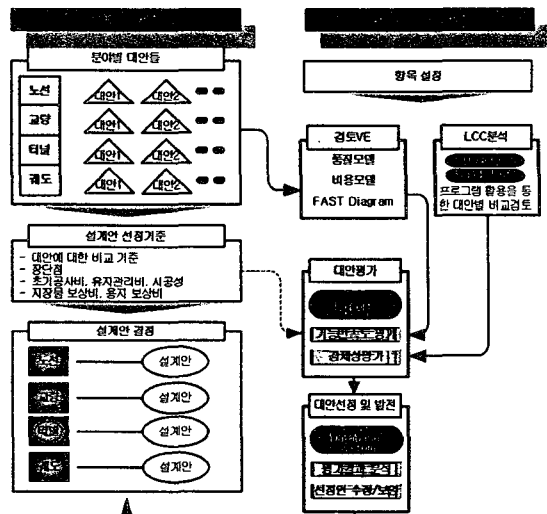


그림4. 설계프로세스와 VE-LCC분석 흐름도

4. VE-LCC분석 사례적용

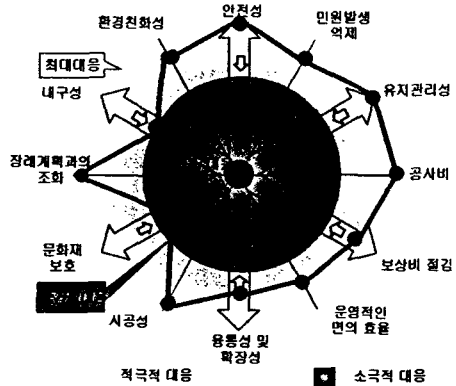
노선연장 9.607km, 교량 3개소, 터널 4개소의 사례를 선정하여 제시한 VE-LCC분석을 실제로 적용하여 보았다. 분석 프로세스와 결과는 다음과 같다.

4.1 정보분석단계

정보수집단계에서는 수집한 정보를 분석하여 VE의 대상분야를 선정하는 것이 중요한 과제이다. VE활동에서 대상을 선정하는 의미는 VE팀의 인원과 시간을 감안해 VE대상 프로젝트 중에서 가장 가치향상의 여지가 많은 분야로 VE활동의 범위를 한정함으로써, VE활동의 효율성을 높이는 것이다.

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

노선에 대한 요구사항을 분석한 결과 중점적으로 고려해야 할 사항은 열차운행의 신속성과 안전성, 관련기관 개발계획, 각종시설물, 문화재 등을 고려한 노선선정, 민원에 대한 대책여부, 주변환경과의 조화를 위한 환경친화적 철도건설 등이다. 이상의 항목을 근거로 해서 【그림 5】와 같이 품질모델을 작성하였다.



4.2 기능분석단계

VE대상으로 선정된 분야에 대한 각각의 기능을 분석하고, 기능들간의 연관관계를 파악한다.

기능은 ‘명사+동사’의 조합으로 표현한다. <표>의 두 번째 칸의 내용은 노선에 대한 기능정의의 나타낸 것이다. 정의된 기능들을 크게 주기능과 부기능으로 분류한다.

분류된 기능들은 일반적으로 기능 상호간의 논리적 연관성에 의해 정리된다. 이렇게 기능들을 도식적으로 정리한 것을 FAST 다이어그램 (Functional Analysis System Technique Diagram)⁵⁾이라 한다.

본 선형계획에서는 고객중심 FAST 다이어그램을 이용하여 프로젝트의 필수기능과 지원기능을 상관관계로 정리하였다.

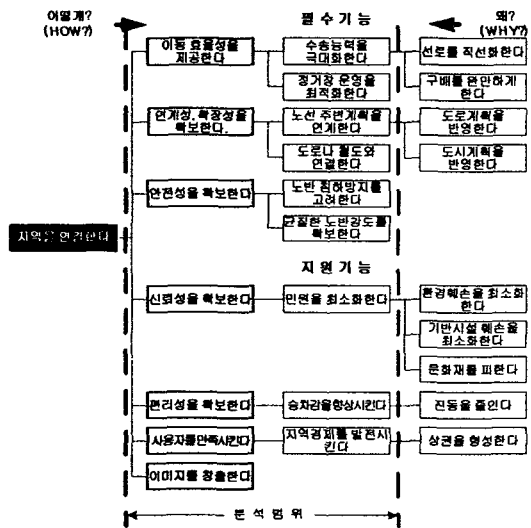


그림6. 고객중심 FAST 다이어그램

4.3 대안평가단계

기능분석단계에서 정의한 여러 기능에 대해 각 대안별로 기능만족도를 산출한다. 각 기능에 대한 만족도는 AHP기법⁶⁾으로 구하게 된다. 기능만족도와 더불어 이 단계에서는 경제성을 평가하게 된다. 경제성 평가서에는 각 대안별로 LCC를 분석/비교하게 된다.

(1) 기능만족도 평가

기능만족도를 평가하기 위한 기준이 될 기능들은 기능계통도에 도식화된 기능 중에서 분석범위 내에 있는 기능들 중에서 중요한 기능들이 선정되었다. 이렇게 선정된 기능은 1:1비교를 통하여 가중치를 산정하게 된다. AHP평가를 용이하게 할 수 있는 전산 프로그램인 ExpertChoice

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.
 6) AHP(Analytic Hierarch Process : 계층화 의사결정)는 다기준 결정분석(Multicriteria decision analysis methodology)방법론으로서, 대안의 우선순위 설정을 위한 도구이다. 이것은 평가기준이 정성적 성격을 띠고 있는 경우에 유용하며, 개별비교를 사용하여 전문가가 주관적으로 평가한 결과의 일관성을 검증할 수 있다.

2000을 사용하여 1:1비교를 실시한 결과와 가중치를 산정한 결과는 【그림7】, 【그림8】과 같다. 이런 과정으로 도출된 가중치에 의해 각 대안별 기능만족도를 산정하게 된다.

기능별 가중치	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6	대안7
시도별 연결성	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
이동효율성	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
수송능력	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
도로계획	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
도시계획	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
환경계획	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
에너지계획	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
안전성	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
편의성	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

그림7. 기능별 가중치 산정을 위한 매트릭스

지역별 연결성	가중치
수도권 지역	0.336
수도권 외 지역	0.049
도시 지역	0.049
화장성	0.133
연계성	0.133
이동효율성	0.219
수송능력	0.080

그림8. 기능별 가중치

표2. 기능만족도 평가

구분	기능	대안1	대안2	대안3	대안4
1	지역을 연결한다.	0.336	2	2	2
2	도로계획을 연계시킨다.	0.049	1	3	3
3	도시계획을 연계시킨다.	0.049	2	3	2
4	화장성을 확보한다.	0.133	2	2	2
5	연계성을 확보한다.	0.133	2	3	2
6	이동효율성을 제공한다.	0.219	2	2	2
7	수송능력을 극대화한다.	0.080	2	2	2
합 계		1.000	1.87	2.23	2.05

1~3점 척도 평가: 1-충족못함, 2-일부 충족함, 3-완전히 충족함

(2) 경제성 평가

1) LCC 계산을 위한 기본가정과 대안개요

표3. 기본 가정사항

구분	가정사항	구분	가정사항
실질할인율	4.5%	전기사용요금	산업용(병) 고압A
분석대상기간	100년(교량기준)	경계장 공사비	LCC분석에서 제외
1일 열차운행횟수	여객12회, 화물1회	비용산출법	현가분석법

표4. 대안개요

구분	대안1	대안2	대안3	대안4
전체 노선길이	10.616m	9.538m	9.507m	9.507m
교량개소(총연장)	3(1,800m)	2(1,915m)	2(1,875m)	2(1,875m)
터널개소(총연장)	4(4,160m)	4(4,770m)	3(4,497m)	3(4,497m)
총궤도길이	20,213m	20,075m	20,003m	20,003m

2) 각 대안별 LCC 분석

구분	기본가 (15)	대안1 (14)	대안2 (15)
Total (\$)	\$151,453,577	\$158,411,288	\$158,198,853
Costs by issuer			
Agency	\$151,453,577	\$158,411,288	\$150,193,853
Costs by financing			
Initial Construction	\$119,459,148	\$124,435,786	\$117,463,753
O, M, and R	\$31,994,428	\$33,975,502	\$32,735,200

그림9. 대안별 초기공사비 분석 결과 (단위:천원)

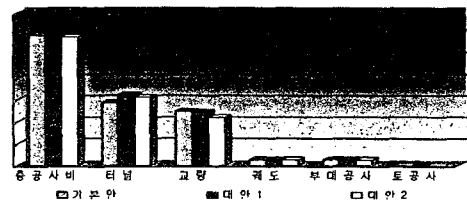


그림10. 대안별 초기공사비 비교

전체 선형의 공사비 중에서 교량과 터널이 차지하는 비중이 크다는 것을 알 수 있다. 기본 계획안이 다른 대안과 비교하여 터널을 제외한 모든 부분에서 초기공사비가 많다. 대안 1이 터널, 교량, 궤도에서는 유지관리측면에서 불리하나 중단선형이 개선되어 열차 운행에 따른 에너지 소비량이 기본계획안보다 적게 나왔다.

3) 민감도 분석

본 연구에서는 4.5%를 기준할인율로 하여 LCC 분석을 실시하였다. 여기서는 4.5%외에 3.5, 5.5, 6.5, 7.5% 등 실질할인율 변화에 따른 총LCC의 변화를 분석하였다.

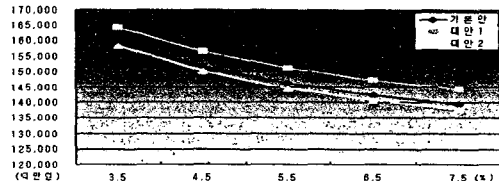


그림11. 할인율에 따른 민감도분석

4.4 종합평가 및 발전단계

(1) 상대가치를 이용한 최적안 선정

상대적 가치는 각 대안별 기능만족도 점수(F)와 이에 대한 각 대안별 실제소요비용(C)의 비로 나타낼 수 있다. 여기서, 구해진 가치지수는 상대적 비교를 위하여 기본계획안을 "1.00"로 하고 다른 대안의 값을 기본계획안과 비교하여 산정하였다. 각 대안의 기능만족여부와 경제성을 종합한 평가방법이라 할 수 있다.

이러한 평가결과 대안1이 상대적으로 가장 우수한 것으로 나타났다.

표5. 대안별 상대가치

구분	기능만족도(F)	LCC(C)	F/Cx100,000	상대가치 순위
기본계획안	1.87	151,454 백만원	1.23	1.00 3
대안 1	2.23	156,411 백만원	1.43	1.16 1
대안 2	2.05	150,199 백만원	1.36	1.11 2

(2) 가중치 부여 매트릭스를 이용한 대안 선정

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

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 평가결과가 나오게 된다.

본 연구에서 가중치 부여 매트릭스 평가결과는 다음과 같은 결과가 도출되었다. 대안1이 평가 점수가 가장 높게 나타났다.

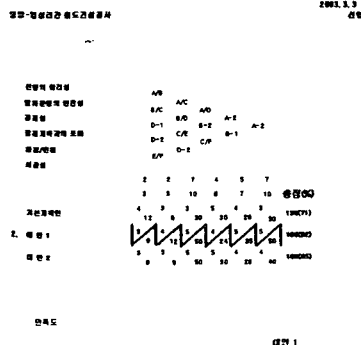


그림12. 철도 노선에 대한 매트릭스 평가 결과

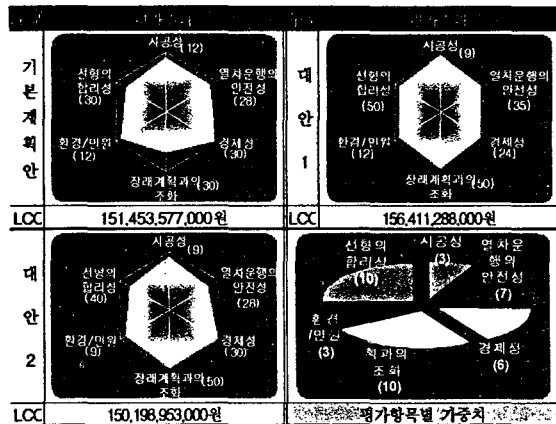


그림13. 평가항목별 점수

(3) 최적인 선정

상대가치를 이용한 평가와 가중치 부여 매트릭스를 이용한 평가 결과, 대안1이 가장 우수한 것으로 판단되었다. 따라서 대안1을 최적으로 선정하였다.

5. 결론

기본계획단계에서 VE 및 LCC 분석기법에 의한 최적 노선 선정방안 연구가 요망된다. 철도 최적 노선 선정에 있어서 VE-LCC적용방안에 대해서 제안하였다. 제시한 방안을 사례에 적용시켜 그 효과를 확인할 수 있었다. VE-LCC를 수행하면서 비용절감뿐 아니라 다른 중요한 요소를 고려하기 때문에 최적인을 도출할 수 있었고, 철도건설공사의 경우 정보분석단계에서 기본계획안을 분석하므로 해서 문제점이 무엇이었는지 기본계획안에서 고려하지 않은 항목은 무엇이 있었는지를 확인할 수도 있었다. 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 기능정의 프로세스 모델", 박사학위논문, 연세대학교
4. 중앙대학교, 한국건설기술연구원(2000) "건설 VE매뉴얼 작성을 위한 연구(건설 VE기술 도입방안)", 건설교통부
5. Alphonse Dell'Isola(1997), "Value Engineering : Practical Applications", RSMears