

VE/LCC 분석을 통한 노선 평가 및 최적노선 선정

Selection of Optimal Railway Line by Analyzing of VE/LCC

이동욱* 광동구** 이태식***

Lee, Dong Wook Kwak, Dong Koo Lee, Tai Sik

ABSTRACT

Selection of optimal railway line is taken into consideration include of the purpose of railway, geographical features and facility of management. This study performed opinions of specialists, checking of industrial environment, analysis of bid guideline to select the optimal line and executed AHP method to make quality model and choose weight factors. Therefore, this study executed about six categories which are the efficiency of transportation, facility of planning and construction, economical efficiency, coincidency of planning, the civil appeal and environmental standards, connection with system, and indicated the differences of other method by analyze into specific factors of each categories.

1. 서론

철도의 최적 노선 선정은 설계단계에서 가장 중요한 사항 중의 하나로, 이는 시공비용 측면뿐만 아니라 철도 건설 목적이나 지역 및 지형적 특징, 시공관리의 용이성 등을 고려하여 종합적으로 평가 실시되어야 한다. 최근 설계단계에서의 최적 노선 선정은 VE/LCC(Value Engineering/Life-Cycle Cost) 기법을 이용하여 대안들을 비교 분석하여 실시하고 있다.

본 연구에서는 최적 노선 선정을 위한 품질모델을 개발하기 위한 연구로, 기존의 설계단계에서의 최적 노선 선정 방식을 살펴보고, 전문가의 의견 수렴, 주변산업단지 조사 등을 통한 품질 모델 및 가중치 선정을 위하여 AHP 분석기법을 활용하고자 한다. 특히 기존의 최적 노선 선정 방식에서의 AHP기법의 적용에 있어서의 문제점을 분석해 보고 보다 합리적이고 세분화된 평가요소를 도출함으로써 기존의 분석 방법과의 차별화를 시도하고자 한다.

* 한양대학교 토목환경공학과 BK21건설사업단 공학박사, 정회원

** 한국CM건설링 대표이사, 정회원

*** 한양대학교 토목환경공학과 교수, 정회원

2. 설계단계 VE/LCC

2.1 설계단계 VE/LCC의 목적

설계단계에서의 VE/LCC의 적용은 공사비 절감을 통한 공공사업의 효율적 추진을 도모하기 위한 것으로, 창조적 대안 창출을 통한 계획·설계단계에서의 부실설계를 방지하고 품질 및 사용자 편익을 최대화함과 동시에 공사비 및 유지관리비 등 생애주기비용을 절감하기 위한 것이다.

계획, 기본 및 실시설계 단계에서 발주자가 당초 설계시 프로젝트에 참여하지 않는 사람들로 하여금 새로이 VE 검토팀을 구성케 하여 발주처 및 사용자 요구기능을 만족시키고 프로젝트의 생애주기비용(Life-Cycle Cost)을 절감하기 위하여 당초 설계를 재검토하여 대체안을 작성하는 것이 원칙이다. 이론과 경험을 토대로 확립된 기법을 체계적으로 사용하여 설계자에 의하여 작성된 프로젝트의 설계내용을 설계자 이외의 사람들이 그 프로젝트의 요구기능과 비용의 관점에서 재분석하여 가치향상이 될 수 있는 방안에 대하여 구체적으로 검토하고 그것을 정리하여 VE 제안을 통하여 실제 설계에 반영하고자 하는 것이다(그림 1).

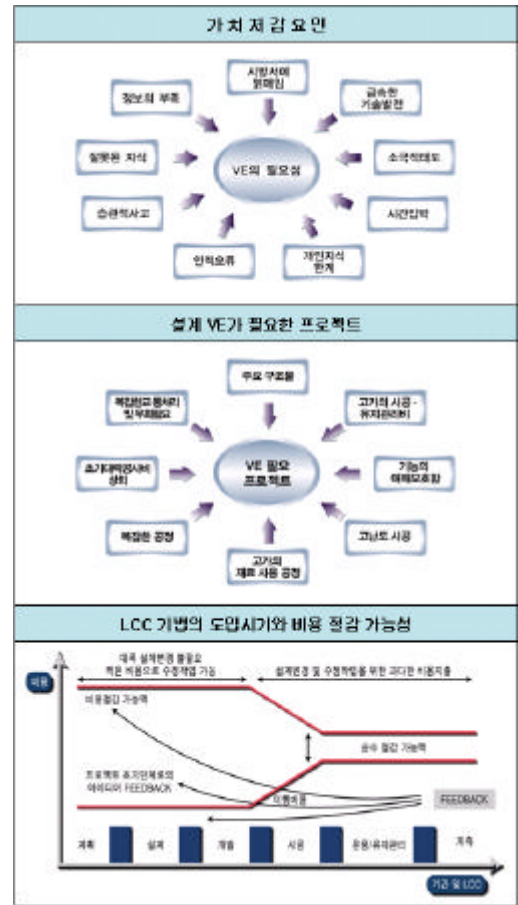


그림 1. 설계 VE/LCC 목적

2.2 VE/LCC의 법적 제도화

국내에서는 80년대 중반부터 VE제도를 도입하려 하였지만 가장 효과가 높은 기획·설계단계에서 적용되지 못하였고, 시공단계에서만 부분적으로 적용되어왔다. 이후 2000년 건설교통부의 '공공건설사업 효율화 종합대책'의 일환으로 설계단계에서의 VE 적용을 위한 실무 시행령에 의한 설계 VE의 적용이 법제화(건설기술관리법시행령 제38조의 13)됨으로써 설계 VE 검토시 LCC 검토가 의무화되게 되었다. 설계의 경제성 검토가 필요한 공사로는 총공사비 500억원 이상의 건설공사로서, 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제2조 제2호의 규정에 의한 1종 시설물이 포함된 건설사업, 신공법 또는 특수공법에 의하여 시공되는 건설사업, 기타 발주청이 필요하다고 인정하는 사업이 이에 해당한다.

미국에서는 1991년 미육상운송효율화법(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act : ISTEA) Sections 1024, 1025에서 주정부의 교량, 터널, 포장 등의 설계 및 시공 LCC를 검토하도록 법적으로 의무화하고 있다. 또한 1994년 US DOT의 Executive Order 12893에 의하여 연방정부의 기간시설물 투자를 위한 LCC 평가를 의무화하고 있으며, 1995년 NHS Designation Act에 의하여 2,500만불의 정부공공 발주공사에 대하여 LCC 분석을 의무화하고 있다. 일본 건설성의 경우도 2000년부터 공공공사에 LCC 검토를 포함한 대안입찰 방식을 채택하고 있다.

2.3 설계 VE/LCC 분석 절차

미국에서 그동안 오랜 연구와 경험을 통하여 VE 효과를 높이기 위하여 VE 검토를 위한 수행절차와 각각의 절차에 대한 세부작업 내용에 대한 지침이 확립되어 있어 그 성과를 올리고 있으

며, 이러한 VE 검토 절차 및 내용을 VE 수행계획(Job plan)이라고 하고 있다. 프로젝트의 종류, 규모, 복잡성 등에 따라 설계 VE 추진절차를 간소화하거나 그 방법을 달리할 수 있으며, VE 검토를 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 VE 검토(VE Study)에 앞서 충분한 사전조사(Pre-study)를 함과 동시에 VE 제안을 효과적으로 활용할 수 있도록 할 사후조사(Post-study)가 필요하다.

VE 절차는 VE 연구를 위한 대상 프로젝트의 정의를 시작으로 하여, 설계 지식 획득 및 주요 기능 평가, 조사단계에서 도출된 설계요소의 기능에 대한 자유로운 토론, 각 기능에 대한 선택대안의 개발을 통한 최상의 아이디어 선정으로 순서로 진행된다. 특히 LCC 분석에 있어서는 분석방향 설정(분석범위, 비용항목, 분석부위, 인자에 대한 기준)의 설정과 LCC 변수(할인율, 분석기간, 비용항목)의 설정을 실시한 후에, 대안의 요구성능 분석, 비용항목의 계량화, 기회손실 비요의 산정 및 각 대안의 LCC 산정을 통한 종합적인 평가(할인율에 따른 민감도 분석, 컴퓨터 시뮬레이션 기법에 의한 비용항목의 발생 분포도 해석)의 순서로 이루어진다(그림 2).

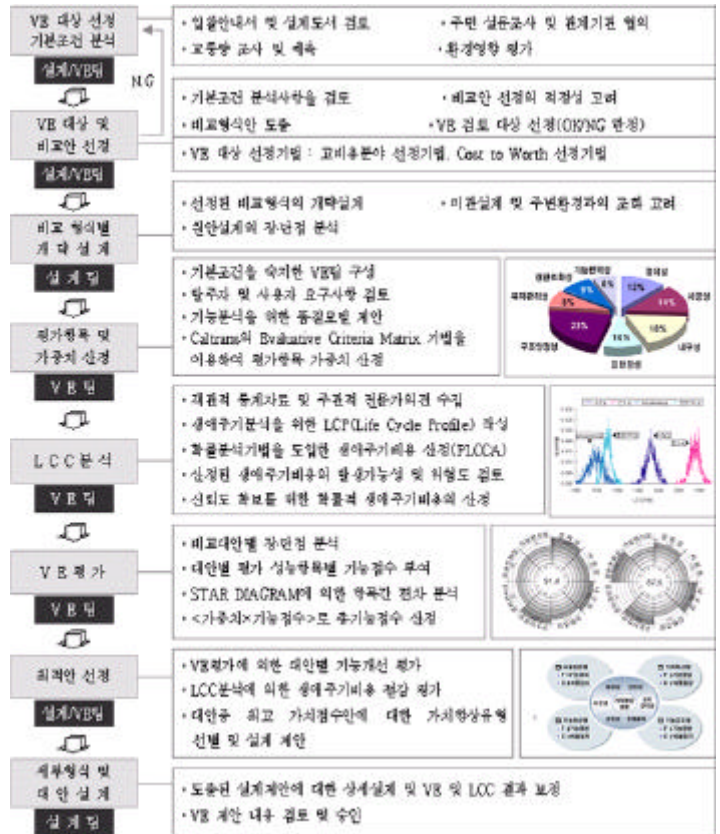


그림 2. 설계 VE/LCC 분석 절차

3. 철도의 노선 선정 절차

기존의 철도의 노선 선정에 있어서 VE 검토(평면선형 및 중단선형 검토) 기본방향은 (1) 선형 설계 분야의 기능분석을 통한 합리적인 대안 선정, (2) 경제적 측면 뿐만 아니라 사회, 환경 등 비경제적 요소를 종합적으로 평가하여 최적의 대안 도출, (3) 설계 개선사항을 도출하여 기능향상과 비용절감을 도모, (4) 평가항목 가중치 산정시 매트릭스 평가법의 적용 등으로 요약할 수 있다.

중단선형 VE 설계 검토의 예를 살펴보면, 철도의 주요한 기능(주기능, 부기능, 필수기능)을 나열하고, 이를 통하여 품질모델 선정과 기능정의를 통한 평가 기준을 도출하게 된다. 평가항목간의 가중치를 산정하기 위하여 매트릭스 결정법에 의하여 상대적인 가중치를 산정하고, 이를 통하여 기본설계안과 대안에 대한 각 평가항목별 등급을 도출하게 되며, 가중평가치(가중치×등급)을 통해 기능점수(F)를 도출하게 된다. 또한 각 대안별 LCC 분석을 통해 LCC 상대점수(C)를 도출하고 이를 통해 종합적인 가치점수(V=F/C)를 도출하며, 각 대안별 가치점수의 비교를 통해 가장 최적안의 선형을 도출하게 된다(그림 3).

(1) 기능 정의

주기능	부기능	할수기능
F1. 안전한 수송할 목표	F11, 열차주행의 안전성 확보	F111, 열차주행에 적합한 구배연장선의 확보 F112, 운전호흡실용 고령한 근무자 배제
	F12, 관리성을 확보	F121, 적절한 구배 확보로 일정한 배수성 확보
	F13, 지반의 안정성 확보	F131, 부력에 대한 안정성 확보 F132, 토질에 대한 안정성 확보
F2. 시공의 용이성 추구	F21, 시공의 편리성 확보	F211, 시공장비의 적임성 만족 F212, 공장의 복잡성 및 공사 고려
	F22, 지장을 처리 편리성 확보	F221, A교량의 노선과 간섭 최소화 F222, B부의 현상 및 위치에서의 안정성 확보

(2) 기능 점의를 통한 평가기준의 선정

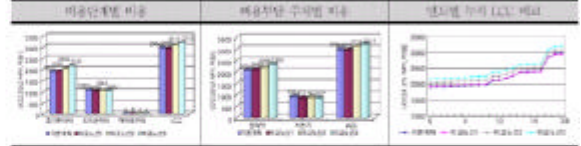
평가항목	비교평가요소
A. 경제성	생애주기비용(LCC) 측면에서 유리한 노선을 고려하여 선정
B. 시공성	건설시 교차, 터널, 지장물 등 공사의 난이도를 고려하여 노선 선정
C. 민원성	노선 주변 생활권의 피해여부, 민원소지 여부를 고려하여 선정
D. 환경성	자연환경 및 생활환경에 대한 주요 영향의 조사 결과
E. 교통안전성	중단선형 및 평면선형 검토, 기존 도로의 통행량 현안 관계 및 소용 역안 고려
F. 기능성	시정 시정해 비표 및 차량의 차의 접근성, 기존 계획과의 편협성 고려
G. 유지관리성	승용기간 중인의 도로면의 및 구조물 유지관리 용이성 고려

(3) 평가항목 가중치 선정

평가항목	A	B	C	D	E	F	G	점수	가중치
A. 경제성	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	4.0	10.0
B. 시공성	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	3.5	16.7
C. 민원성	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	2.0	9.0
D. 환경성	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	2.0	8.0
E. 교통안전성	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	4.0	16.0
F. 기능성	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	3.0	11.0
G. 유지관리성	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	2.5	11.0
합계								10.0	100

(4) 대안별 LCC 분석

구분	비교노선	비교노선 구간			
		비교노선 1구간	비교노선 2구간	비교노선 3구간	비교노선 4구간
LCC (억원)	초계동차	1,891.0	1,910.0	3,842.0	2,151.0
	중계동차	1,980.0	1,850.1	1,801.0	1,451.0
	배차동차	5.8	3.7	3.7	5.7
	합계	2,981.8	2,963.7	3,118.4	3,211.0
상대평가비용(%)	-	1.19	-1.01	-1.09	
상대평가비용(상대값)	1.01	1.000	1.030	1.098	



(5) 가중비교 매트릭스(Weighted Comparison Matrix)

평가항목	가중치 (C)	비교노선 1구간				비교노선 2구간				비교노선 3구간			
		당첨 (D)	점수 (E)	점수 (F)	점수 (G)	당첨 (D)	점수 (E)	점수 (F)	점수 (G)	당첨 (D)	점수 (E)	점수 (F)	점수 (G)
경제성	10	0	171	10	190	8	162	7	153	0	171	10	190
시공성	16.7	8	128	8	134	8	134	8	128	0	171	10	190
민원성	9.0	0	36	8	80	8	80	0	36	0	171	10	190
환경성	8.0	8	64	8	64	8	64	8	64	0	171	10	190
교통안전성	16.0	7	112	10	160	8	128	8	128	0	171	10	190
기능성	11.0	8	88	10	110	10	110	10	110	0	171	10	190
유지관리성	11.0	8	88	10	110	10	110	10	110	0	171	10	190

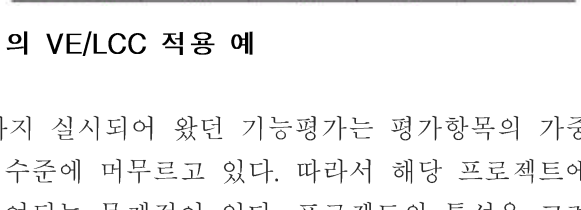


그림 3. 철도 노선 선정의 VE/LCC 적용 예

그러나 그림 3의 예시에서 알 수 있듯이 지금까지 실시되어 왔던 기능평가는 평가항목의 가중치 산정에 있어서 1단계의 비교 항목을 도출하는 수준에 머무르고 있다. 따라서 해당 프로젝트에 대한 기능적인 평가에 있어서 객관적인 평가가 결여되는 문제점이 있다. 프로젝트의 특성을 고려하여 각 평가항목별로 고려되어야 할 세부적인 평가항목이 고려되지 않음으로써 평가자별로 상이한 관점에서 기능평가를 실시하게 되고, 각 대안에 대한 객관적인 비교가 되지 못하는 단점을 내포하고 있다. 이를 개선하기 위해서는 해당 프로젝트별로 1단계 기능평가 항목을 도출하고 각 평가항목별로 고려되어야 할 해당 프로젝트의 세부적인 평가 항목을 도출하고, 각 세부항목에 대한 상대적인 가중치를 도출하는 노력이 필요하다. 이러한 절차를 고려해야만 해당 프로젝트의 특성이 제대로 반영된 기능 평가가 가능하다.

4. 기능평가의 세분화를 통한 철도노선 선정의 VE/LCC 분석

기존의 VE/LCC 단계에서의 기능분석의 문제점을 해결하기 위해서 전문가 의견 조사, 주변 산업단지 의견, 입찰 안내서 분석 등을 통하여 품질모델 및 가중치를 선정하였다. 또한 각 평가항목별 세부 평가항목을 도출하고 세부기능평가 및 LCC분석을 통하여 최적 노선을 선정하고자 하였다(그림 4). 이러한 최적 노선 선정방법을 실제 프로젝트에 적용하였다. 이를 통해 프로젝트의 특성을 반영할 수 있는 최적 노선 선정이 이루어질 수 있도록 하였다.

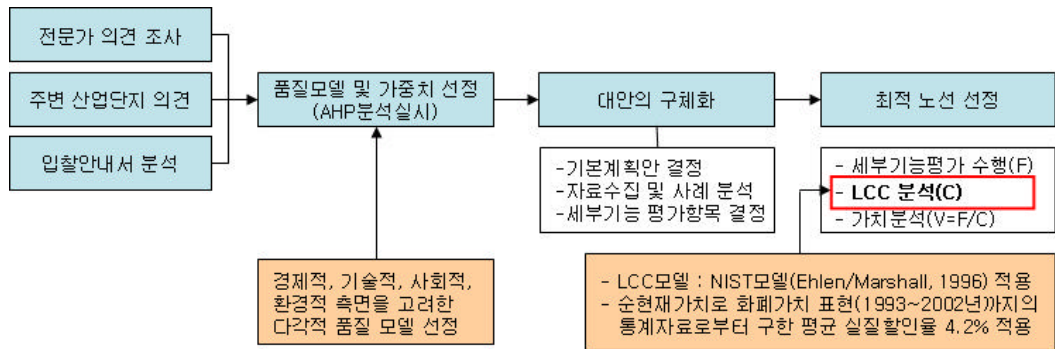


그림 4. 품질모델 및 가중치 결정

먼저 입찰안내서 분석을 통해 발주자의 프로젝트 요구사항(노선 및 시설계획의 운영 성능, 관련 기관 장래계획을 감안)하고, 주위 산업단지 등 공사구간을 고려함과 동시에 용지 보상 및 지장물이설비가 최소화될 수 있는 노선을 선정하기 위한 품질 모델을 선정하고자 하였다. 이를 통해 6개 항목(열차운행의 효율성, 합리적 구조물 계획 및 시공 용이성, 경제성, 관련 계획의 부합성, 민원 및 환경 친화성, 시스템 분야와의 연계성)으로 구성된 품질 모델을 도출하였다(그림 5)

(1) 평가항목의 도출 및 가중치 결정

평가항목 도출	VE 팀 구성	실제 및 임의 조건 속성	VE 검토 세부 항목 설정	성분자별 가중치 부여	평가 매트릭스작성	가중치 검토	최종가중치 산정
평가항목 도출	별도 전문가	선제 검토를 평가기준에 대한 세부항목 결정	평가항목별 필수/선택 항목 결정	가중치 산정도 작성			

평가기준 매트릭스		A	B	C	D	E	F	합계	가중치			
A. 운영효율성	A/B	1	A	2	A/D	1	A/E	1	A/F	1	6	19%
B. 시공성	B/C	1	D	3	E	2	B	2	4	13%		
C. 경제성	C/D	1	C/E	1	C	2	5	16%				
D. 관련계획과의 연계성	D/E	1	D/F	1	7	23%						
E. 민원/환경결정	E/F	1	6	19%								
F. 시스템 분야와의 연계성		3	10%									
합계		31	100%									

(2) 평가항목별 세부항목의 도출 및 등급 평가

<열차의 운행효율성>

구분	비중	기본계획	등급	대안 1	등급	대안 2	등급	대안 3	등급
최고속도(km/h)	25%	300~250km	8	300~250km	8	300~250km	8	300~250km	8
곡경계속(%)	25%	12.5%	8	12.5%	8	12.5%	8	12.5%	8
노선 길이(km)	25%	200~100km	8	200~120km	10	200~120km	9	200~120km	8
I-P-S		난관(상행)1, 하행(상행)2, S		난관(상행)1, 하행(상행)2, S		난관(상행)1, 하행(상행)2, S		난관(상행)1, 하행(상행)2, S	
에너지(kWh/km·h)	25%	3.0~ 3.5	8	3.0~ 3.5	10	3.0~ 3.5	9	3.0~ 3.5	9
속도(km/h)		129.87, 111.66		111.71, 117.12		112.77, 117.99		112.61, 117.74	
평균 등급		56.2	37.95	60.28	37.9	60.2	37.9	60.28	37.9

<합리적 구조물 계획 및 시공용이성>

구분	비중	기본계획	등급	대안 1	등급	대안 2	등급	대안 3	등급
교차로불가부	10%	0003~0005 교차로 내 교차상행	4	0003~0005 교차로 내 교차상행	7	0003~0005 교차로 내 교차상행	7	0003~0005 교차로 내 교차상행	7
해상교량	30%	005~007 해상교량 구간 400m 및 기존교량 신도 건설	5	005~007 해상교량 구간 400m 및 기존교량 신도 건설	9	005~007 해상교량 구간 400m 및 기존교량 신도 건설	6	005~007 해상교량 구간 400m 및 기존교량 신도 건설	10
00 하천주위	30%	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	6	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	6
남면철교부	30%	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	6	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8
철교교속부	30%	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	6	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8	00하천 제방이 붕괴 → 사일링 대응방안	8
평균 등급		5.5		8.2		7.3		8.1	

<경제성의 확보>

구분	기본계획	대안 1	대안 2	대안 3
초기투자비	106,302.0 백만원	100,973.0 백만원	104,736.0 백만원	101,900.0 백만원
유지보상비	2,912.5 백만원	2,911.7 백만원	2,891.1 백만원	2,953.7 백만원
유지보수비	61,556.9 백만원	56,752.9 백만원	63,685.1 백만원	58,851.1 백만원
해제비	61.5 백만원	57.8 백만원	56.3 백만원	59.2 백만원
사용자비용	37,168.2 백만원	37,919.1 백만원	37,791.1 백만원	37,506.6 백만원
LCC	208,010.1 백만원	199,072.8 백만원	207,072.2 백만원	200,717.6 백만원
평균 등급	8	8	7	8

<민원 및 환경 친화성>

구분	비중	기본계획	등급	대안 1	등급	대안 2	등급	대안 3	등급
산입단차량양성	30%	001~002 차량양성	6	001~002 차량양성	6	001~002 차량양성	8	001~002 차량양성	6
00 하천 임의	30%	00하천 교차상행 구간 100m 이상	5	00하천 교차상행 구간 100m 이상	10	00하천 교차상행 구간 100m 이상	10	00하천 교차상행 구간 100m 이상	6
00 수로 임의	30%	00하천 교차상행 구간 100m 이상	5	00하천 교차상행 구간 100m 이상	3	00하천 교차상행 구간 100m 이상	7	00하천 교차상행 구간 100m 이상	7
평균 등급		5.0		8.1		8.0		6.1	

<시스템 분야와의 연계성>

구분	비중	기본계획	등급	대안 1	등급	대안 2	등급	대안 3	등급
신호통신공과	30%	001~002 신호통신공과	6	001~002 신호통신공과	9	001~002 신호통신공과	9	001~002 신호통신공과	9
전기설비	30%	001~002 전기설비	6	001~002 전기설비	9	001~002 전기설비	9	001~002 전기설비	9
전력공급	30%	001~002 전력공급	6	001~002 전력공급	9	001~002 전력공급	9	001~002 전력공급	9
평균 등급		6.0		8.0		8.0		8.0	

(3) A철도의 최적 노선 VE/LCC 평가결과

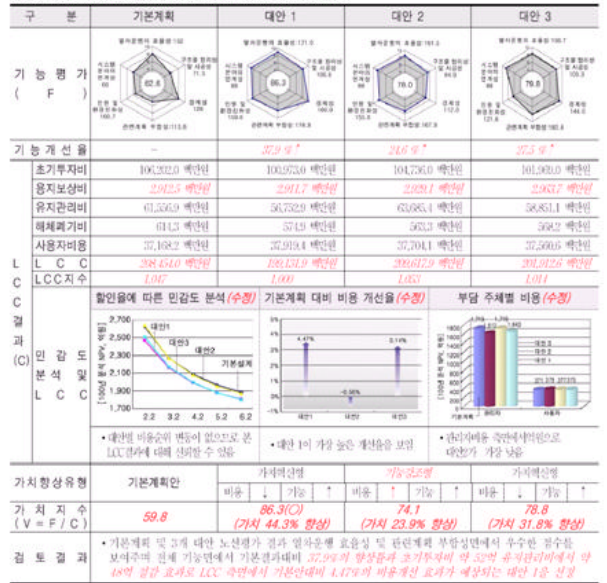


그림 5. 기능평가의 세분화를 통한 철도 최적 노선 선정 예

AHP기법을 통해 6개 평가항목에 대한 상대비교(매우중요:3, 중요:2, 동등:1)를 실시하여 각 항목별 가중치를 도출하였다(그림 5의 (1)). 그리고 각 항목별로 프로젝트의 특성을 반영한 세부항목의 도출 및 세부항목에 대한 대안별 등급결정은 철도분야 전문가의 협의에 따라 결정할 수 있도록 하였다. 세부항목에 대한 평가 등급은 10단계(1:매우치명~10:탁월)를 원칙으로 하였다.

첫 번째 평가항목(열차운행의 효율성)은 3급선 설계기준의 선형확보, 노선 연장의 단축, 운전성 확보에 관점에서 4가지 세부평가항목을 도출하였으며, 각 세부항목별 상대비중은 전문가의 협의를 통해 동등한 수준으로 결정되었다. 두 번째 평가항목(합리적 구조물 계획 및 시공 용이성)은 기존의 구조물(산업단지, 도로, 하천, 교량)을 고려하여 5가지 세부평가항목을 도출하였다. 세 번째 평가항목(경제성의 확보)은 선형 연장의 최소화 및 특수 교량의 연장 최소화, 용지 보상비 등을 고려하였으며, 이를 토대로 6가지 세부평가항목(초기투자비, 용지보상비, 유지보수비, 해체폐기비, 사용자비용, LCC)에 대한 각 대안별 공사비용을 산정하였으며, 각 대안별 등급산정은 전체 공사비의 합계를 토대로 산정하였다.

이와 같은 절차를 통해 각 대안별 VE/LCC 평가를 실시하였다. 대안별 비교에 있어서 기능 개선의 효과와 LCC 결과를 통한 가치($V=F/C$)를 도출함으로써 최적 노선을 결정할 수 있었다.

5. 결론

기존의 철도노선 선정을 위한 VE/LCC 분석은 평가항목의 가중치 산정에 있어서 1단계의 비교 항목의 도출 수준에서 머무르고 있다. 따라서 해당 프로젝트의 특성을 반영하지 못하는 문제점뿐만 아니라, 평가자가 서로 다른 평가기준을 가지고 평가하는 단점을 안고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 입찰안내서의 분석, 공사현장여건에 대한 조사 및 철도전문가의 의견을 토대로 평가항목을 도출하고, 또한 해당 프로젝트의 특성을 반영할 수 있도록 세부평가항목을 도출하였으며, 세부평가항목에 대한 전문가들의 협의를 통한 평가를 통해 최적 안을 선정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 세부항목의 도출 및 평가를 통한 최적 노선 선정방식을 실제 공사에 적용함으로써 평가의 적용 가능성을 검토해 보았다.

각 프로젝트의 특성상 평가항목과 세부항목은 가변성을 지니고 있다. 그러나 항목 도출 및 각 항목에 대한 평가는 프로젝트의 특성을 반영할 수 있을 뿐만 아니라 평가자의 주관적인 평가의 문제점을 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 물론 평가 등급설정 및 세부평가항목 도출 및 평가는 전문가들의 토론으로 도출이 가능하다. 본 평가방식을 검증하기 위해서는 본 평가방식을 활용한 실제 적용 사례의 수집과 기존방식과의 비교가 필요하며, 이는 사례 수집을 통해 향후 검증하고자 한다.

참고문헌

1. 건설산업연구원 (1999), “건설사업의 LCC 분석 및 적용방안”
2. 안장원 (1998), “공공공사에 대한 VE 제안 제도의 활성화 방안에 관한 연구” 석사학위논문, 중앙대학교
3. 안장원 (2002), “Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량의 경제성 분석 - PSCI, STB, PSCB 교량을 중심으로 한 사례연구 -”, 박사학위논문, 중앙대학교
4. 한국도로공사 (2002), “고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용분석 연구”
5. 한국시설안전기술공단 (2001), “LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구”
6. 한국시설안전기술공단 (2002), “교량의 LCC 분석모델 개발 및 DB 구축방안 연구”