

철도노선선정에 영향을 미치는 주요환경항목 정량화에 관한 연구

Study on the Quantitative Analysis of the Major Environmental Effecting Factors for Selecting the Railway Route

김동기* · 박용걸** · 정우성***

Kim, Dong-ki · Park, Yong-Gul · Jung, Woo-Sung

Abstract

The energy efficiency and environment-friendly aspect of the railway system would be superior to other on-land transportation systems. In a preliminary feasibility study stage and selection of optimal railway route, the energy efficiency and problems related to environment are usually considered. For the selection of optimal railway route, geographical features and facility of management are generally considered. Environment effect factors for the selection of environment-friendly railway router are focused and studied in this paper. In this study, various analysis of opinion of specialists (railway, environment, transport, urban planning, survey) and the guideline for construction of environment-friendly railway were accomplished. From these results of various analysis, 7 major categories (topography/geology, flora and fauna, Nature Property, air quality, water quality, noise/vibration, visual impact/cultural assets) were extracted. To select environment friendly railway route, many alternatives should be compared optimal route must be selected by a comprehensive assessment considering these 7 categories. To solve this problem, the selected method was AHP which simplifies the complex problems utilizing hierarchy, quantifying qualitative problems through 1:1 comparison, and extracting objective conclusions by maintaining consistency. As a result, a GUI-based program was developed which provides basic values of weighted parameters of each category defined by specialists, and a quantification of detailed assessment guidelines to ensures consistency.

Keywords : *environment friendly railway route, environmental effect factor, EIA (Environment Impact Assessment), environmental weight factors, preliminary feasibility study, environmental weight factor, AHP (Analytic Hierarchy Process), consistency ratio, GUI(Graphical User Interface), paired comparison*

요 지

철도는 다른 육상교통수단보다 에너지 효율성이 높은 환경 친화적인 교통수단이다. 예비타당성조사와 철도노선 선정 과정에서 에너지 효율성과 환경에 관한 문제들이 일반적으로 고려되고 있다. 철도노선 선정에서는 지형적인 특성 그리고 시설물의 관리와 운영을 중심으로 선정되고 있다. 철도노선선정에 영향을 미치는 환경관련 문제에 대해서 본 연구는 집중적으로 검토 분석하였다. 본 연구는 철도 및 환경전문가 그리고 철도 노선선정에 관련된 전문가 의견을 검토 분석하여 환경에 영향을 미치는 주요 항목의 가중치를 선정하였다. 환경 친화적인 철도노선을 선정하기 위하여 여러 대안이 비교되어야 하고 각 대안의 평가는 환경성을 검토하여야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 계층구조를 이용하여 복잡한 문제를 간단하고 객관적으로 결론 내리는데 용이한 AHP 기법을 이용하였다. 이에 따라 전문가에 의한 환경평가항목의 가중치를 기본값으로 정하고 GUI를 활용한 정량화 시스템을 개발하였다.

핵심용어 : 환경친화적, 철도노선, 환경항목, 환경영향평가, 예비타당성, 환경가중치, AHP, 일관성비율, GUI, 일대일비교

1. 서 론

우리나라의 경제발전을 위한 필수적인 요건으로 교통수요의 상승이 요구되어지고 있으며 이로 인하여 각종 건설 사업과 물류유통이 많아짐에 따라 필연적으로 여러 가지 환경문제를 야기하고 있다. 이에 대한 해결방안으로서 광역·대량·고속 수송, 안전성, 정시성, 경제성, 에너지효율성 및 환

경친화성 등에서 우수한 장점이 있는 철도교통을 중심으로 정책수립이 장려되어야 한다. 철도건설 사업은 예비타당성조사단계, 기본계획 및 기본설계단계, 그리고 실시설계단계를 거쳐 시공이 이루어진다.

철도노선 선정은 사업계획의 구상단계인 타당성 조사단계에서 시작하여 기본설계단계에서 대부분 확정되기 마련인데, 이때의 중요한 선정 기준은 경제성, 기술성, 안정성, 환경성

*정회원 · 교신저자 · 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 박사과정 수료 (E-mail : dgkim54@hanmail.net)

**정회원 · 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수 (E-mail : ygpark@snut.ac.kr)

***한국철도기술연구원 철도환경연구실장 (E-mail : wsjung@krii.re.kr)

등이 있다. 그러나 타당성 조사단계에서는 경제적 편익, 교통소통효과, 이용자의 편익 위주로 검토되기 때문에 단기적으로 경제성 분석이 어려운 환경보전에 따른 편익의 검토는 거의 무시되고 있는 실정이다.

우리나라에서 현재 진행되고 있는 철도건설 사업에서 환경문제로 인한 논란이 제기되지 않는 곳이 거의 없다. 이에 따라 해당지역 주민이나 시민환경단체의 반발에 부딪혀 사업 진행 자체가 차질을 빚거나 난항을 겪고 있는 곳도 적지 않다.

노선선정 단계에서 시행하는 사전환경성 검토제도는 타당성 조사 등 계획 초기단계에서 입지의 타당성, 주변 환경과의 조화 등 환경에 미치는 영향을 검토하는 것이며, 노선선정 후에 시행하는 환경영향평가는 철도건설 사업을 시행하는 과정에서 환경에 미치는 부정적인 영향을 미리 예측·분석하고 그에 대한 저감방안을 강구하는 제도이다. 이러한 환경영향평가단계의 평가기법은 완전하지는 못하나 어느 정도 자료가 축적되어 있는 상태이다. 하지만 노선을 선정하는 단계에서 시행하는 사전환경성 검토기법은 이에 대한 경험과 연구결과가 부족한 것이 사실이다.

일반적으로 철도노선선정 과정은 여러 개의 예비노선을 선정하여 노선별로 평가기준이 다른 다수의 환경항목이 존재한다. 또한 각각의 평가항목이 다른 항목과 정량적으로 종합 비교 판단하여 최적노선을 선정해야 하는 어려움이 있다.

본 연구에서는 노선선정단계에서 정성적인 환경성 평가를 정량적으로 평가 하는 시스템을 개발하여 철도노선선정에 활용 할 수 있도록 연구하였다.

1.1 연구배경 및 목적

철도건설공사에서 철도의 노선선정은 대부분 예비타당성조사 및 기본계획 과정에서 선정되고 기본설계에서 보완하고 있는 실정이다.

이에 따라 한국개발연구원은 “도로 철도 부문사업의 · 예비타당성조사 표준지침”에서 환경비용 절감 편익을 검토토록 하고 있으나 실제 검토범위는 도로와 비교되는 대기질과 소음·진동 등 환경영향평가 항목 중 극히 일부분만 비교 검토 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 예비타당성 조사 또는 기본계획과정의 대안 노선선정 및 기술적 검토과정에서 환경성 검토 반영이 필요하다고 판단하였다.

이 과정을 수행하기 위해서는 사전 환경성 조사, 환경영향평가에서 수행하는 정성적인 평가 항목을 정량적으로 평가 할 수 있는 기법의 선정이 필요하였다.

선정된 정량적 평가 기법을 이용하여 대안노선선정 과정에서 환경성 검토가 가능한 정량화 시스템을 개발하여 노선확정 후 수행하는 환경영향평가나 건설사업 중 발생하는 환경성 민원에 대한 영향을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이에 따라서, 본 연구의 목적은 철도특성에 맞는 환경성을 고려한 최적의 노선을 선정할 수 있는 환경항목 정량화 시스템 개발로 정하였다.

1.2 연구 내용 및 범위

본 연구는 예비타당성 조사의 대안노선선정 및 기술적 검토

토부분에 적용하여 노선선정 후 시행하는 환경영향 평가 영향을 최소화 하도록 하였다.

연구의 범위는 4계절에 걸쳐 장기간 수행하고 6개분야 20개의 많은 환경항목을 철도노선 선정 시 수행하기는 불가능하며 또한 정성적인 환경항목을 정량적으로 상호 비교 평가하여 반영 할 수 없는 한계성을 고려하여 철도노선선정에 직접적인 영향을 미치지거나, 한번 훼손하면 회복이 불가능한 주요 환경항목에 대한 우선순위를 검토하여 평가 대상 항목으로 선정하였다.

그리고 선행연구 및 예비타당성조사에서 활용하고 있는 평가기법을 비교분석하여 철도특성 및 환경의사결정에 가장 적합한 정량화기법을 선정하였다.

또한, 정량적 평가기법에 필요한 환경영향평가 항목을 선정하기 위해 철도노선선정에 경험이 풍부한 관련기관 및 업체의 전문가 설문조사하였다. 전문가 설문조사 결과를 이용하여 철도노선선정에 필요한 주요 환경영향 평가항목과 각 항목간의 가중치(중요도)를 설정하였다.

선정된 정량화 기법과 전문가 설문조사를 적용하여 대안노선 선정 시 환경성을 고려한 정량적인 평가시스템을 개발하여 선행 연구 자료와 비교분석 하였다.

2. 관련이론 및 선행연구 고찰

2.1 선행연구 동향

건설사업 시 여러 가지 형태로 최적 대안 선정기법과 정성적인 환경성 평가에 대한 연구가 진행되고 있다.

도로분야의 경우 2000년대 이후 양인태(2001), 최준규(2002), 김상석(2006), 김관중(2007), 강재수(2008) 등이 환경성과 최적노선선정에 대한 연구를 수행하였으며, 정인수(2007)는 택지개발 분야에 대해 환경친화적인 대안평가방법론을 연구하였다.

철도분야의 경우 안장원(2004)이 철도노선 계획시 VE평가를 위한 AHP기법의 활용을 연구하였다.

2.2 철도노선선정과 환경성 검토

철도노선계획은 일반적으로 예비타당성 조사에서 대안노선을 선정하고 선정된 노선에 대해서 경제성 분석과 재무성분석 그리고 정책성 분석을 통하여 유리한 노선이 선정된다.

기본계획 시에는 선정된 노선을 비교 분석하고 사업이 사전환경성 검토 대상일 경우에는 기본계획 노선에 대하여 환경성 검토를 1~2계절에 걸쳐 수행하고 확정된 노선에 대해서는 기본설계 수행 시 환경영향평가를 4계절에 걸쳐 수행한 후 환경영향평가 결과를 제시하면 실시 설계 시에 보완, 반영하고 있다.

이와 같은 절차에 의해 수행하는 환경성검토는 예비타당성 조사에서 선정된 유효한 철도노선에 대해 수행하는 것이다. 예비타당성조사는 경제성 위주의 노선선정과정이므로 환경성 검토가 미흡할 경우가 있을 수 있다. 이렇게 확정된 노선을 기준으로 건설사업 추진 시 예상치 못한 민원성 환경문제가, 돌이킬 수 없는 환경영향 문제가 발생할 경우 건설사업 추진에 막대한 지장이 발생된다.

따라서 대안노선 선정 및 기술적 검토 과정에서 추가로

환경성을 동시에 검토하여 반영 할 경우 철도건설사업 및 관련법규에서 규정한 사전환경성 검토 또는 환경영향 평가의 결과에 따라 발생하는 환경문제는 사전에 원만히 완화시킬 수 있다.

2.3 철도건설사업과 환경영향평가

철도건설 사업시 환경영향 평가항목은 ‘환경영향평가서 작성 등에 관한 규정(환경부 고시 제 2006-226, 2007.1.5개정)’에 따라 6개 분야 20개 항목 중에서 7개 항목을 중점적으로 검토하도록 규정하고 있다.

그리고 환경정책평가연구원에서 76건의 철도사업 환경영향평가서 검토의견을 분석한 결과 16개 항목이 제시되었으며, 그중 5% 이상인 8개 항목이 전체의 86%를 차지하고 있다(그림 1 참조).

2.4 환경의사 정량화 평가기법 비교 분석

환경과 관련된 대부분의 의사 결정 내용은 정성적이며 항목 상호간 정량적 비교가 매우 곤란하다.

일반적인 의사결정기법은 평점모형법, 목표달성평가법, 다속성 효용함수법, Out Ranking Method, AHP기법, ANP기법 등이 있다(표 1 참조).

건설 분야의 대안선정기법에 관한 선행연구 현황을 분석하면 대부분 AHP기법을 사용하고 있다. 그리고 “도로 철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침”에서 제시하는 종합평

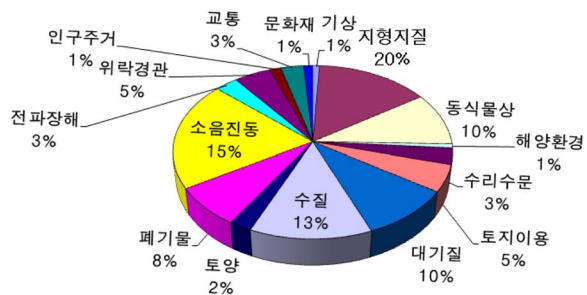


그림 1. 환경영향평가 검토의견서 현황

가 방안에서도 AHP분석을 이용하고 있다. 따라서 본문에서는 AHP기법을 연구에 활용하였다.

3. 환경성 정량화 시스템 개발

환경성 정량화 시스템의 정의는 철도노선 선정에 영향을 미치는 주요 환경영향 항목에 대해서 환경 및 노선선정 전문가 설문조사에 의한 산출된 환경가중치를 설정 부여하여 노선 선정 시 환경성을 개관적으로 평가 반영 할 수 있는 시스템이다. 시스템을 이용하여 환경성을 적용함으로써 선정된 노선에 대한 객관적이고 합리적인 설명이 가능하도록 하였다.

3.1 전문가 설문조사

환경성 정량화 시스템을 개발하기 위해 철도노선선정에 영향을 미치는 주요 환경영향 항목과 가중치(중요성)를 설정하여야 한다. 이를 위해서 철도노선선정에 경험이 풍부한 전문가 그룹을 구성하였다.

설문참여 전문가는 철도 건설사업 전반에 걸쳐 수행하는 예비타당성조사, 기본계획, 기본설계, 실시설계, 환경영향평가, 교통영향평가, 정거장 및 차량기지 등에 참여하는 전문가로 20년이상 경력의 설계관리감독, 참여기술자, 관련기관 연구원 및 전문가로 구성하였다. 전문분야의 배분은 국토해양부의 “용역업자의 사업수행능력평가서 작성지침 및 평가기준”과 한국철도시설공단의 “설계 등 용역사업 수행능력 평가기준”을 기준으로 철도노선선정에 직접적으로 참여하는 분

표 2. 설문 참여 전문가 현황

구분	철도	환경	교통	측량	도시계획	계
20년 이상	10	2	2			14
15년 이상	10	5	3	4	2	24
10년 이상	5	5	3	4	3	20
계	25	12	8	8	5	58

표 1. 다속성 의사결정기법의 비교

구분	개요	장점	단점
평점모형 (scoring method)	평가항목별 순위를 부여하여 가중치를 산정하고 가중치에 따라 부여된 점수를 합산하여 대안을 평가	• 간단함	• 가중치 부여방법이 정립되지 않음 • 점수부여 방식이 주관적임
목표달성 평가법(GAM)	평가항목별 목표의 충족도를 계층별로 평가하고, 이를 종합하여 대안을 평가	• 개념적으로 쉽게 이해 • 대안이 각 집단에 미치는 영향을 고려	• 평가항목간 · 집단간 가중치 부여 방법이 주관적임
다속성 효용 함수법(MAUT)	반복질문을 통하여 도출한 의사결정자의 효용 함수에 근거하여 대안을 평가	• 정성적 평가항목의 계량화	• 효용함수 도출이 복잡 응답의 일관성 검증이 어려움
Out ranking Method	평가항목별 가중치를 부여하고, 대안간 평가항목별 순위를 결정 후, 기준을 충족시키지 못하는 대안을 제거해 나가 대안의 우선순위 판정	• 정성적 요인 계량화 • 척도의 통일	• 가중치 부여방법이 주관적임 • 대안제거 기준설정의 자의성 • 집단 의사결정방법이 없음
AHP 기법	평가항목별 계층구조를 형성하고 쌍대비교를 통하여 대안을 평가	• 계층적 평가 구조 • 가중치산정방법이론간단 • 집단의사결정방법제공	• 계층구조 형성에 대한 이론적 기초 부족
ANP 기법	평가항목별 네트워크 구조를 형성하고 요소간 시너지 효과와 피드백효과를 종합하여 대안을 평가	• 이론적으로 AHP기법에 비해서 정교함	• 연산절차가 복잡함 • 군집을 설정하는데 많은 노력과 시간이 요구됨

야인 철도, 환경, 측량 및 지형공간정보, 도시계획 5개 분야의 참여정도에 따라 58명을 선정하였다(표 2 참조).

설문조사 방식은 AHP기법 적용을 위한 9점 척도 양식에 가중치를 부여하는 형식으로 인터넷 또는 방문하여 설문조사하였다.

3.2 주요환경영향 항목 설정

철도노선선정에 영향을 미치는 주요환경영향 항목의 우선순위를 선정하기 위해 관련 규정과 선행연구를 비교 분석하였다. 법령에 의한 환경영향 평가항목은 6개 분야 20개 항목으로 규정하고 있다.

철도사업의 경우 환경부 고시 “환경영향평가서 작성 등에 관한 규정”에서 중점항목을 7개로 제시하고 있으며, 한국철도시설공단의 “환경 친화적인 철도건설지침”의 경우에도 중점검토사항을 7개로 제시하고 있다.

한국 환경정책평가연구원에서 검토하는 환경영향평가 검토의견서중 철도사업에 관련된 76건을 비교 분석한 결과 항목은 16개이며, 그중 8개 항목이 전체의 86%를 차지하고 있다. 전문가 설문조사에서도 8개 항목 정도 의견이 제시되었다.

설문참여자의 우선순위 산출방법은 각 환경항목에 대해 우선순위를 선정한 후 역순위로 산술평균 구하였다(표 3 참조).

표 3. 설문 참여자들의 우선순위에 대한 가중치

구분	철도	환경	교통	도시계획	측량	종합순위
대기질	5.84	2.25	2.75	2.80	2.00	3.88 (6)
수질	3.52	2.73	3.88	1.60	2.75	3.13 (8)
지형지질	6.00	6.33	6.38	6.60	7.00	6.31 (2)
동식물	5.92	7.31	6.75	5.60	6.75	6.41 (1)
자연환경자산	4.92	5.53	4.63	4.00	6.38	5.13 (4)
소음진동	5.08	5.98	5.50	5.60	3.75	5.19 (3)
문화재경관	3.72	4.77	2.88	4.00	3.25	3.78 (7)
토지이용	4.24	4.09	3.25	5.80	4.13	4.19 (5)

분야별 전문가 설문조사에 의해 선정된 주요 환경항목을 법령과 타 분야의 선행 연구 자료와 종합비교 분석한 결과 대부분 일치하였으며, 기존의 사업수행 결과 등을 고려하여 철도노선선정 분야에 직접적으로 영향을 미치고 훼손되면 복구가 어려운 대표성이 있는 주요 환경항목 7개를 선정하였다(표 4 참조).

선정된 환경항목과 타 분야 유사 선행연구에서 제시된 주요환경항목을 비교하였다. 비교 결과 분야별 특성에 따라 5개에서 7개 정도가 선정되었으며, 특히 도로분야와 철도분야의 선정항목이 유사하게 나타났다(표 5 참조).

주요환경항목간의 가중치를 설정하기 위해서는 환경 항목 간 상호 비교가 가능하도록 세부평가 항목을 추가 하였다. 세부평가 항목의 선정은 한국 환경정책평가연구원에서 수행한 철도사업 환경영향평가 검토서 76건을 분석하여 철도노선선정에 직접적으로 영향을 미치는 검토기준을 설정하였다(표 6 참조).

표 4. 관련규정과 지침에 의한 주요환경항목 비교 현황

구분	항 목	관련 규정	지침	검토 의견	설문 의견	선정
대기환경	기상			○		
	대기질	○	○	○	○	●
	악취			○		
수환경	수질(지표지하)	○	○	○	○	●
	수리수문			○		
	해양환경			○		
토지환경	토지이용			○	○	
	토양			○		
	지형지질	○	○	○	○	●
자연생태 환경	동식물상	○	○	○	○	●
	자연환경자산	○	○		○	●
생활환경	친환경적자원순환			○	○	
	소음진동	○	○	○	○	●
	위락경관	○	○	○	○	●
	위생보건			○		
	전파장해			○		
사회경제	일조장해			○	○	
	인구					
	주거					
	산업					
계		7	7	16	10	7

표 5. 타 분야의 주요환경항목과 비교 현황

구분	항 목	도시 개발	도로	공항	항만	철도
대기환경	기상			○		
	대기질	○	○		○	○
	악취					
수환경	수질(지표지하)	○	○			○
	수리수문				○	
	해양환경					
토지환경	토지이용			○		
	토양					
	지형지질	○	○	○	○	○
자연생태 환경	동식물상	○	○	○	○	○
	자연환경자산		○	○	○	○
생활환경	친환경적자원순환					
	소음진동		○	○	○	○
	위락경관					○
	위생보건					
	전파장해			○		
	일조장해					
계		5	6	7	6	7

선정된 세부평가항목의 적정성을 확인하기 위해서 “호남고속철도 분기 역 평가” 사례와 “환경 친화적인 철도 건설지침”에서 제시한 세부평가내용과 비교한 결과 적정하였다.

표 6. 주요 환경항목 및 세부평가항목

구분	평가항목	세부항목	검토기준
대기환경	대기질	환경기준	목표연도에 환경기준을 초과 여부
수환경	수질 (지표지하)	상수도보호	상수원보호구역 통과 개소수
		하천/호소	하천/호소 횡단 개소 및 연장
토지환경	지형지질	특이지역	특이지역 유무 및 통과 개소수
		절토	20m이상 절토구간 연장
		성토	10m이상 성토구간 연장
자연생태 환경	동식물상	법적보호종	법적보호종 서식유무 및 서식 지역의 수
		녹지단절	녹지축 단절지역 발생연장
		녹지자연도	녹지자연도 7등급이상 훼손 통과 구간
	자연환경 자산	보존/보호	보존 및 보호지역 통과 개소수
		단절지역	지역단절구간 개소수
		기존용지활용	기존철도용지의 활용여부
생활환경	소음진동	환경기준	목표연도에 환경기준을 초과 여부
		문화재	주요문화재 통과여부
	위락경관 (문화재)	경관위해성	경관영향을 받는 조망지역(마을, 도로)의 수
		경관구조물	경관변화를 유발하는 구조물(터널, 교량)의 수

3.3 환경 항목간 가중치(중요도) 설정

상호 상이한 정성적인 환경영향 평가항목을 정량적으로 평가하기 위하여 평가항목간의 중요도(가중치)를 AHP기법을 이용하여 산출하였다. 평가항목간의 가중치는 9점 척도에 의해 일대일 비교한 판단자료를 설문조사하였다.

조사된 자료는 AHP 프로그램인 Expert-Choice 11.5를 이용 58인에 대한 각각 개별 가중치와 일관성 비율을 동시에 산출하였으며, 개별 가중치에 대한 일관성비율이 유효한 설문자료 24개만 적용하였다.

24개의 자료에 대해서는 다시 Excel을 이용하여 각각 9점 척도에 의해 일대일 비교한 평가 자료를 기하평균으로 수치 통합하여 정리하였으며, 1개의 자료와 마찬가지로 Expert-Choice 11.5 프로그램에 의한 최종가중치와 일관성 지수를 산출하였다. 이때의 일관성 비율이 0.007로서 일관성비율 허용기준 0.1에 비해서 상당히 신뢰성이 높은 것으로 나타났다(표 7 참조).

주요환경항목의 가중치 산출방법과 동일한 방법으로 세부 환경평가기준 항목에 대한 가중치를 산정했다. 세부항목간의 비교 평가한 자료는 전문가 설문조사에 의해 자료가 만들어졌으며 일관성 비율이 유효한 24개의 자료를 기하평균에 의해 수치 통합하였다. 이 경우에도 1개의 자료와 마찬가지로 AHP전용 프로그램인 Expert-Choice 11.5를 이용하여 세부 평가 항목에 대한 가중치를 산출하였다(표 8 참조).

타 분야의 선행연구와 비교 분석한 결과 분야별 특성에 따라 가중치의 수치가 상이했으나, 평가항목에 대한 우선순위는 각 분야가 유사하였다. 각 분야에서 동식물성과 지형지질 그리고 자연환경 자산이 비교적 중요하게 나타났다. 도로 분야의 경우 철도분야 보다 대기질 항목이 비교적 중요하게

표 7. 환경항목별 가중치 산출결과

구분	대기 질	수질	지형 지질	동식 물	자연 환경 자산	소음 진동	위락 경관	가중치 (순위)
대기질	1	1/1.58	1/4.18	1/4.25	1/3.25	1/3.42	1/2.87	0.047(7)
수질	-	1	1/3.99	1/4.36	1/2.98	1/3.31	1/2.51	0.055(6)
지형지질	-	-	1	1/1.69	1.10	1.14	1.85	0.192(2)
동식물	-	-	-	1	1.76	1.78	1.86	0.259(1)
자연환경 자산	-	-	-	-	1	1/1.34	1.26	0.152(4)
소음진동	-	-	-	-	-	1	1.19	0.167(3)
위락경관	-	-	-	-	-	-	1	0.128(5)

표 8. 환경항목과 세부평가 항목의 가중치 현황

구분	주요 평가 항목 (%)	주요 평가 항목(%)	백분율	비고	
대기 환경	대기질	4.9	환경기준	100.0	4.7
	수 환경	수질 (지표, 지하) 5.5	상수도보호	69.5	3.8
	하천/하도		30.5	1.7	
토지 환경	지형, 지적	19.2	특이지역	60.5	11.6
			절토	20.1	3.9
			성토	19.5	3.7
자연 생태 환경	동 식물상	25.9	법적보호종	57.1	14.8
			녹지단절	23.4	6.1
			녹지자연도	19.4	5.0
	자연환경 자산	15.2	보존/보호	44.8	6.8
단절지역	35.6		5.4		
기존용지활용	19.6		3.0		
생활 환경	소음 진동	16.7	환경기준	100.0	16.7
	위락 경관 (문화재)	12.8	문화재	58.7	7.5
			경관기해성	26.4	3.4
	경관구조물	14.9	1.9		
합 계		100.0		100.0	

표 9. 타 분야와 가중치 비교 현황

평가항목	도로1	도로2	택지	호남고속 (철도)	시스템 (철도)
대기질	0.090	0.090	0.187		0.047
수질	0.160	0.140	0.103	0.180	0.055
지형지질	0.220	0.220	0.357	0.120	0.192
동식물상	0.380	0.360		0.270	0.259
자연환경자산	0.050	0.100	0.185	0.130	0.152
소음진동	0.090	0.090	0.168	0.140	0.167
위락경관				0.160	0.128
계	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
정합비율	0.058	0.061	0.097	0.298	0.007
평가항목 수	6개	6개	5개	6개	7개
사용 시스템	기존방법	기존방법	기존방법	Expert-Choice	개선개발
전문가조사 (인)	환경 (7인)	약간명	환경 (7인)	환경 (40인)	환경(12인) 각분야(46인) 계(58인)

나타났으며, 택지분야는 동식물성 항목이 없으며 지형지질이 높게 나타났다(표 9 참조).

선행연구와 비교해서 새로운 내용은 본 시스템의 일관성 비율이 0.007로서 가중치에 대한 신뢰성이 현저히 높으며, 평가항목수도 7개로 타 분야 보다 정확한 환경성 평가를 할 수 있다. 또한 전문가 조사방법도 관련규정을 근거로 철도노선선정에 경험이 풍부한 각 분야 전문가의 설문자료를 활용함으로써 타 분야의 선행연구보다 신뢰성이 우수하고 정밀도가 높은 철도분야 전용의 환경성 정량화시스템을 개발 할 수 있다.

3.4 정량화 시스템 개발 및 실행

환경영향평가 정량화 시스템 개발은 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하며, 주관적 판단과 시스템 접근을 혼합한 문제 해결형 의사결정방법이다.

정량화 시스템 개발에 대한 개요는 환경성 평가항목 및 평가내용을 단순화시켰으며, 노선선정의 환경성 평가에 필요한 의사결정 계층구조에 대하여 적용하였다. 또한 컴퓨터 사용이 쉬운 GUI(Graphical User Interface)를 채택한 컴퓨터 프로그램으로 개발하였으며, 각 항목의 가중치에 대하여 전문가들에 의해 작성된 기본값(default values)으로 제시하였다. 여기서 대안노선 비교 시 일관성비율 기준치 0.1을 초과할 경우 재입력을 요구하여 운영자의 임의 조정을 사전에 차단하였다.

그림 2는 AHP기법 적용을 위한 계층도로서 4단계로 구성하였다.

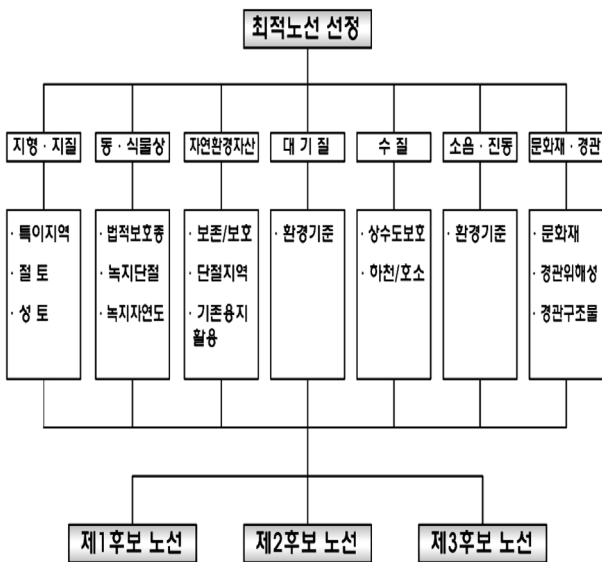


그림 2. AHP기법 적용을 위한 계층도

시스템의 개발환경은 PC기반 Microsoft사의 Window 9x, Me, 2000, XP 환경 하에서 개발하였으며 GUI(Graphical User Interface)형태의 프로그램으로 개발하였다.

프로그램은 4단계로 나눌 수 있으며, 제1,2단계는 주요 환경항목 가중치 및 세부 환경항목 가중치 설정단계로서 전문가에 의해 산출된 기본 값이 내장되어 사용자가 임의로 가중치 설정을 불가능하게 하였다(그림 3 참조).

3단계는 그림 4에서와 같이 총 16개의 세부항목에 대하여

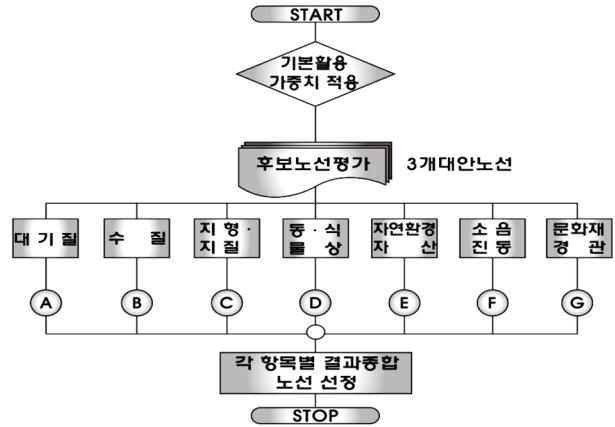


그림 3. 주요 환경영향 평가항목 흐름도

각 대안노선별 일대일 비교를 통해 노선별 중요도를 선정하여 우선순위를 산출하여 그 결과에 따라 최적노선을 선정할 수 있도록 하였다. 그리고 대안노선별 일대일 평가 비교 시 일관성 비율도 같이 산출하여 허용 값(0.1) 이상일 경우 재입력하도록 프로그램을 개발하였다. 4단계는 결과보기 화면으로서 각 대안노선에 대한 평가 항목별 가중치와 일관성 비율을 종합하여 나타날 수 있도록 개발하였다(그림 4 참조).

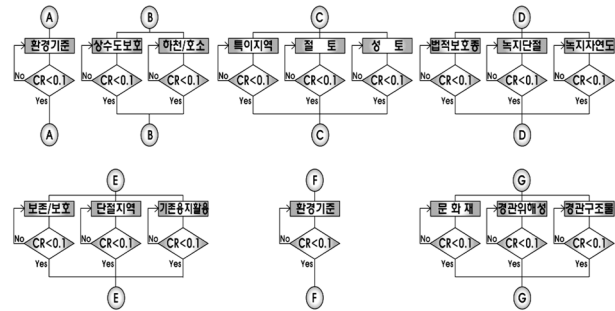


그림 4. 세부 환경영향 평가항목 흐름도

정량화 시스템의 메인화면의 구성은 상단 왼쪽에 1단계 항목 가중치 설정단계로서 기본 값으로 제시된 주요환경영향 평가에 대한 가중치를 수치와 그래프로 나타내었다. 상단 오른쪽은 2단계 가중치 속성/후보노선 설정단계로서 항목 버튼을 클릭하면 세부 환경항목에 대한 가중치와 노선별로 일대일 평가할 수 있도록 개발하였다. 하단의 왼쪽화면은 가중치 설정결과로서 기본 값으로 제시된 주요환경영향항목과 세부 항목의 가중치를 나타내었다. 하단 오른쪽의 후보노선 선정의 화면은 노선별로 평가결과에 따른 우선순위를 수치와 그래프로 나타내었다(그림 5 참조).

그림 6은 AHP기법을 정량화 시스템에 적용하기 위하여 대안별 일대일비교 자료를 입력하는 화면이다.

그림 7은 정량화시스템의 결과를 나타낸 화면이다. 상부의 화면은 주요환경항목에 대한 노선별 평가 결과이며, 아래부분의 화면은 세부항목별로 대안노선을 상호 비교 한 결과를 나타내었다.

3.5 시스템 비교분석

본 프로그램의 수치적 결과를 검증하기 위하여 본 프로그램에 적용한 기본 값과 동일하게 MATLAB, Expert Choice11.5

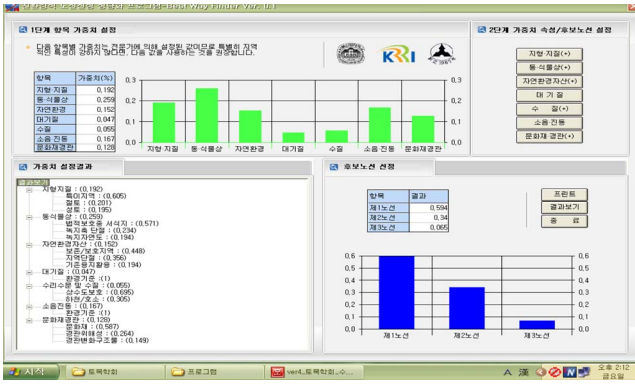


그림 5. 정량화 시스템 메인화면



그림 7. 대안노선 일대일 비교 평가 결과화면

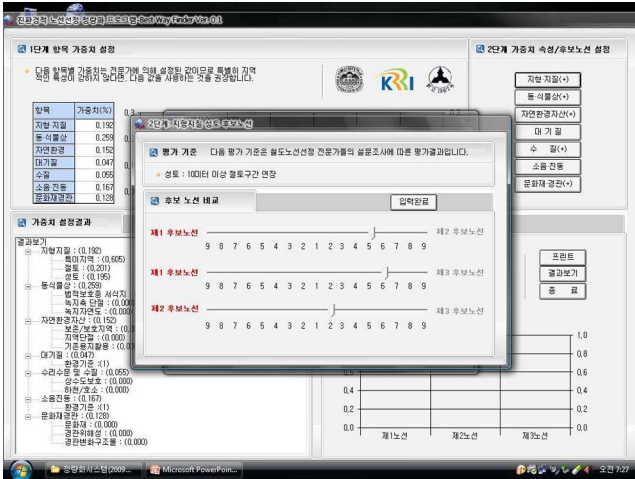


그림 6. 대안노선 일대일 비교 자료 입력화면

표 10. 프로그램별 가중치 산정결과 비교

평가항목	MATLAB (A)	Expert Choice (B)	개발 System (C)		
	가중치	가중치	가중치	(C)-(B)	(C)-(A)
대기질	0.0466	0.047	0.046	-0.001	-0.0006
수질	0.0551	0.055	0.055	0.000	-0.0001
지형 지질	0.1920	0.192	0.192	0.000	0.0000
동식물상	0.2587	0.259	0.258	-0.001	-0.0007
자연환경자산	0.1523	0.152	0.153	0.001	0.0007
소음 진동	0.1671	0.167	0.167	0.000	-0.0001
위락 경관	0.1282	0.128	0.129	0.001	0.0008
계	1.0000	1.000	1.000	0.000	0.0000
일관성 비율	0.007	0.007	0.007	0.000	0.0000

프로그램에 적용하여 계산한 결과 일치하였다(표 10 참조).

표 10에서와 같이 개발시스템과 비교한 결과 0.001이하의 차이가 있었다. 이것은 소수점 단위처리에 따른 결과이며 본 프로그램의 운영상 허용오차 범위 내에서 유효하였다.

타 분야의 선행연구에서 개발된 시스템과 프로그램의 성능을 비교 분석하였다. 철도분야에서 환경성 정량화 시스템의 개발은 전혀 없었으며 분야 간 연구 실적에서 상당한 차이가 있었다. 따라서 타 분야 선행연구와 비교분석하여 철도노선 선정 특성과 환경성 검토에 적합한 시스템을 개발하였다.

선행연구를 기준으로 새로운 내용은 철도특성을 고려한 정량화시스템을 처음으로 개발하였으며, 개발내용 중 기존 연구에 비해 개선된 사항은 최초로 주요평가 항목 수(7개)와 세부 평가항목 수(16개)가 다른 시스템보다 많게 개발하였다. 또한 시스템의 신뢰성과 정밀도를 향상시키기 위하여 많은 인원의 전문가 설문조사를 수행하였다. 그리고 AHP기법의 단계(Level)수를 늘리고 전문가에 의해 산출한 가중치를 기본 값으로 제시하여 성능을 개선하였다(표 11 참조).

개발 시스템은 국내 처음으로 철도사업 전문가들이 노선선

표 11. 타 분야 선행연구 시스템과 성능비교 현황

평가항목	측량분야	도로1	도로2	택지분야	도로3	시스템(철도)
개발년도	2001	2002	2006	2007	2007	2008
개발언어	Visual Basic	Visual Basic	Visual Basic	Visual C++	Visual C++	Visual Basic
의사결정기법	AHP+GSIS	AHP	AHP+GIS	AHP+퍼지추론	AHP	AHP
PC 기반	MS2000, XP	MS2000, XP	MS2000, XP	MS2000, XP	MS2000, XP	MS2000, XP
프로그램환경	GUI	GUI	GUI	GUI	GUI	GUI
단계(Level)수	3	3	3	4	4	4
기본가중치설정	없음	제시	제시	없음	없음	제시
일관성 범위	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
항목 수	4	6	6	5	3	7
세부 항목 수	없음	없음	없음	14	8	16
대안 적용 수	4개	3개	3개	3개	4개	3개
전문가조사(인)	없음	환경(7)	약간명	환경(7)	교통(10) 도로(10)	각분야 58인

표 12. 타 프로그램과 운영성 및 적용성 비교

구분	상용프로그램		타분야 개발 프로그램		시스템개발 (철도)
	Expert-Choice	MS Excel	시스템개발	시스템개발	
프로그램형식	AHP 전용 프로그램	스프레드시트	GUI Visual Basic	GUI Visual C++	GUI Visual Basic
적용성	모든 분야	모든 분야	도로분야	도로/택지	철도분야
의사결정	보통	복잡	간단	보통	간단
대안 수	3~9개	무한대	3개 고정	임의가능	3개씩 가능
전문성	프로그램운용	수치원리 운용	문답식으로 운영	타 프로그램과 연동	문답식으로 운영
사용성	전문가	전문가	일반인	전문가	일반인
확장성	불가능	계산 가능	불가능	가능	불가능
주관성	적용	적용	일부 제한	적용	제한

정 과정에서 정성적인 환경성 검토를 간단하게 정량적으로 평가 할 수 있도록 철도분야 전용을 목적으로 시스템을 개발하였다. 특히 전문가 설문에 의해 산출된 환경성 가중치를 프로그램에 내장하여 기본 값으로 제시함으로써 사용자가 임의로 가중치를 조정 할 수 없도록 하였다. 그리고 대안노선 간 비교 시에도 사용자가 입력하는 비교 값의 일관성비율이 허용 값 이상일 경우에는 프로그램에서 자동으로 재입력하도록 개발하여 다른 프로그램보다 신뢰성과 정밀성을 한 단계 높도록 하였다(표 12 참조).

4. 사례적용 및 비교분석

개발된 정량화 시스템의 운영결과를 검증하기 위해 “호남고속철도 분기역 평가” 자료와 비교 분석하였다.

호남선 분기역 평가는 국토개발연구원에서 분기역을 선정하고, 호남고속철도노선을 확정하기 위하여 2004년에 이루어졌던 “신행정수도 후보지 평가”방식을 준용하여 2005.06.10(금)부터 2005.06.21(화)까지 12일 동안 분석적 계획기법인 AHP기법을 이용하여 평가를 시행하였다.

철도분야에서는 유일하게 본 정량화 시스템과 비교 분석이 가능한 선행연구 자료로서 평가항목 중 환경성 평가 부분만 발췌하여 당시의 평가조건과 동일하게 본 시스템에 그대로 적용하였다.

환경성 평가항목의 개수가 호남고속철도의 분기역 평가에서는 대기질항목이 생략되었으므로 본 시스템에 적용하기 위해서는 대안별 우선순위를 동일하게 하기 위하여 가중치와

표 13. 선행연구와 대안노선 평가 비교분석현황

구분	호남고속분기역 평가				정량화 평가 시스템			
	가중치	대안1	대안2	대안3	가중치	대안1	대안2	대안3
생태계	26.9	17.4	24.8	15.6	25.9	16.7	23.8	15.0
수질	17.6	9.8	16.1	12.7	5.5	3.1	5.0	4.0
소음진동	14.1	8.6	13.2	7.2	16.7	10.2	15.6	8.5
경관	16.1	7.7	13.5	13.4	12.8	6.1	10.8	10.7
토지이용	13.2	8.4	11.9	8.5	15.2	9.7	13.7	9.8
지형지질	12.0	6.5	11.1	7.3	19.2	10.4	17.7	11.6
대기질					4.7	4.7	4.7	4.7
노선점수		58.4	90.6	64.7		60.8	91.3	64.3
노선점수	100.0	27.3	42.4	30.3	100.0	28.1	42.2	29.7

같은 점수를 부여했다. 가중치는 각각의 전문가 설문조사에 의해 산정된 값이 상이하므로 각각 적용하였다.

호남고속철도 분기역 평가사례를 본 시스템에 같은 조건으로 적용하여 비교 분석한 결과, 대안노선별 우선순위 점수가 대안1에서는 27.3과 28.1 대안2에서는 42.4와 42.2 대안3에서는 30.3과 29.7로 유사하게 나타났다. 그리고 환경 분야 가중치를 비교 분석한 결과 호남고속철도 분기역 평가 사례의 경우 대기질 항목을 생략하였지만 나머지 항목은 매우 유사하였으며, 수질과 대기질의 가중치 합이 양쪽사례에서 유사하게 나타났다(표 13 참조).

추가된 대기질의 가중치는 수질의 가중치에서 보완 된 것으로 나타났다.

호남고속철도 분기역 평가 사례 비교 분석

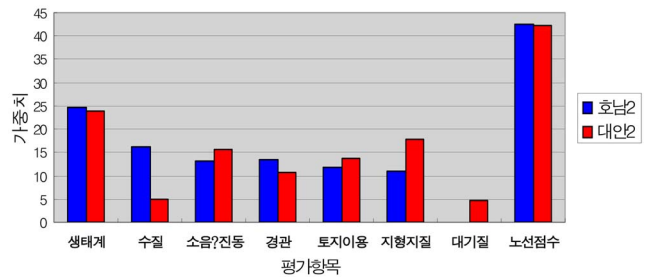


그림 8. 호남고속철도 분기역 평가사례비교 분석

개발 시스템을 호남고속철도 분기역 평가사례와 비교 분석한 내용을 검토하면 대안노선선정의 결과는 일치하였다(그림 8 참조).

5. 고 찰

관련이론과 선행연구에 따르면 도로분야에서는 대안노선선정에 대한 여러 가지 연구가 활발히 진행되고 있으며 택지 분야에서도 연구가 진행되고 있다. 철도분야의 연구를 추진하기 위해서는 우선 많은 연구경험과 성과가 있는 도로분야와 비교연구가 추진되어야한다.

철도노선선정을 하는 기술적 검토과정에서 환경성을 반영하여 철도노선 확정 후 수행하는 환경영향평가 과정과 건설공사 추진과정에서 노선과 환경문제를 원만히 처리할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

정성적인 환경항목에 대하여 정량적으로 평가하여 철도노선 선정에 객관적으로 반영 할 수 있는 환경의사결정기법은 선행연구과정과 예비타당성조사의 종합평가에서 적용하고 있으며, 이론적으로 정립된 선행연구 결과와 비교 분석이 용이한 AHP기법을 적용하였다.

또한 노선선정단계에서 검토하는 환경항목은 노선선정 후 환경영향 저감대책을 검토하는 환경영향평가항목과 달리 노선선정과정에 직접적으로 영향을 미치고, 한번 훼손하면 복구나 저감대책이 어려운 환경항목위주로 선정하였다. 선정방법은 환경관련 각종 법규와 선행연구, 환경영향평가서 검토 내용을 비교 분석하고 전문가의 설문조사와 타 분야에서 선정된 환경항목과 비교 분석하여 7개를 선정하였다.

선정된 환경항목을 보완할 수 있도록 하부에 세부검토항목 16개를 정한 후 전문가 설문조사에 의해 중요도(가중치)를 설정하였다. 설정방법은 AHP전용 프로그램인 Expert-Choice 11.5을 이용하였으며 일관성 비율도 0.007로 기준값 0.1보다 적게 나타났다.

설문서 작성에 참여한 전문가는 철도노선선정에 참여 한 경험이 있으면 관련분야에 20년 이상 경력이 있는 관리감독 기관, 연구기관, 설계업체 등에서 58명을 선정하였다. 관련 분야는 철도노선선정에 참여하는 철도, 환경, 교통, 도시계획, 측량 및 지형공간정보 5개 분야에서 국토해양부 및 한국철도시설공단 지침에서 정한 참여 배분을 고려하여 분야별로 선정하였다.

정량화 시스템 개발은 컴퓨터 사용이 쉬운 GUI(Graphical User Interface)를 채택한 컴퓨터 프로그램으로 개발하였으며, 각 항목의 가중치에 대하여 전문가들에 의해 작성된 기본 값(default values)으로 제시하였다. 대안노선 비교 시 일관성지수 기준치 0.1을 초과할 경우 재입력을 요구하여 운영자의 임의 조정을 사전에 차단하였다.

환경영향평가 정량화 시스템을 개발하여 다른 프로그램과 비교한 결과, 수치가 일치하였으며, 선행연구에서 개발된 정량화 시스템과 비교하여 철도특성에 적합한 최신의 정량화 시스템을 개발하였다.

개발시스템을 검증하기 위하여 호남고속철도 분기 역 평가 선행연구를 개발한 정량화 시스템을 이용하여 비교 분석한 결과 일치하였다.

본 연구는 철도분야에서 처음으로 연구 되었으며 타 분야의 선행연구보다 더 진척된 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 철도노선선정 과정에서 중요하고 철도특성에 적합한 환경영향항목 7개와 세부평가항목 16개를 국내 최초로 도출하였다.

둘째, 환경전문가 및 철도노선전문가들의 설문을 통하여 환경영향항목과 세부평가항목에 대한 가중치를 철도특성에 맞추어 설정함에 따라 시스템에 대한 신뢰성을 향상시켰다.

셋째, AHP기법으로 이용하여 개발한 타 분야의 정량화 시스템에 대해서 비교 분석한 후 각각의 장점과 최신연구내용을 모두 종합적으로 적용하여 성능, 운영, 적용성 등에서 우수한 시스템을 개발하였다.

넷째, 입력된 자료 전반에 대한 일관성 여부를 확인 할 수 있도록 일관성비율(CR)을 0.1이하로 정하고 이를 넘어설 경우에는 재입력 하도록 하는 프로그램을 내장하여 특정한

항목에 대하여 편중된 가중치를 부여할 수 없도록 하여 객관성과 정밀성을 확보하였다.

다섯째, 환경 친화적인 철도노선선정을 위한 주요환경영향인자 정량화 시스템을 개발하여 노선선정 의사 결정자들이 환경성에 대해서 쉽고 빠르고 객관적으로 정확한 의사결정이 가능하도록 하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

철도건설사업 수행 시 관련 법규에 의해 시행하는 사전 환경성 검토나, 환경영향평가에 앞서 예비타당성 조사의 대안노선선정의 기술검토 과정에 환경성을 추가 검토 반영함으로써 확정된 노선에 대해서 수행하는 환경영향평가결과에서 제시하는 환경의 문제점을 사전에 완화시킬 수 있는 시스템 개발이 가능하였다.

AHP기법을 이용하여 국내 최초로 철도노선선정 과정에서 환경성을 검토 적용할 수 있는 정량화 시스템을 개발하였으며, 선정된 노선에 대한 객관적이고 합리적인 설명이 가능하도록 하였다.

적용분야에 따라서는 설계·시공일괄입찰공사, 대안입찰공사, 제안사업 등에서 대안노선 검토과정과 새롭게 노선선정을 검토 제시하는 민간 제안사업에서 객관적 적용이 가능하다.

본 연구의 한계점과 향후 연구과제는 다음과 같다.

본 연구의 경우 철도노선 선정을 위한 환경적인 요인만 고려하고 있지만, 철도노선 선정은 환경성 평가 이외 경제성, 수송효율성, 시공성, 건설비, 철도사업네트워크 효과, 사회갈등 등 다양한 요소를 모두 검토 평가 반영하여야만 한다는 한계점이 있다.

또한 환경영향평가에서는 6개 분야 20개 항목에 대해서 4개월 동안 검토하도록 하고 있으나 본 논문에서 철도노선선정에 영향이 미치는 주요환경항목을 선정 적용하여 노선선정 후 수행하는 환경영향 평가의 영향을 최소화 하도록 하였다.

향후 연구과제는 환경성 이외 경제성, 기술성, 안전성 등 철도노선 선정에 반영 되는 모든 분야에 적용 할 수 있는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국철도시설공단에서 한국환경정책평가연구원 에 위탁한 환경 친화적 철도설계기법사업의 연구결과로서 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

- 김관중(2007) 도로계획 및 설계시 최적노선대 선정을 위한 전산 모형 적용성 연구, 박사학위논문, 한양대학교.
- 김동기(2006) 해외철도노선 선정에 대한 연구, 대한토목학회 정기 학술대회 논문집 pp. 322-325.
- 김동기(2007) 환경친화적인 철도노선선정에 대한 평가 기법사례, 대한토목학회 2007년도 정기 학술대회 논문집, pp. 961-964.
- 김동기(2009) 환경친화적 철도노선대 선정을 위한 주요 환경인자

에 관한 연구, **대한환경공학회지**, 대한환경공학회, 제31권 제 2호 pp. 132-138.

김동기(2009) 환경친화적인 철도노선선정을 위한 주요환경인자 정량화 시스템 개발에 관한 연구, **한국철도학회 논문집**, 한국 철도학회, 제12권 1호 pp. 144-150.

김성희 외 2인(2006) **의사결정 분석및 응용**, 영지문화사

정인수(2007) 퍼지추론과 AHP기법을 이용한 택지개발 사업의 환 경친화적인 대안평가 방법론, 공학박사학위논문, 인천대학교.

조근태 외 2인(2005) **계층분석적 의사결정**, 동형출판사.

최준규(2002) **환경친화적 도로노선 선정을 위한 정량적 평가기법 개발에 관한 연구**, 박사학위논문, 건국대학교.

한국개발연구원(2002) **교통부분사업 예비타당성 조사의 환경비용 추정 연구**.

한국철도시설공단(2006) **호남고속철도 기본계획 조사 연구용역**, pp. 639-686.

한국철도시설공단(2007) **환경친화적 철도설계기법연구 용역**.

한국철도시설공단(2007) **환경친화적인 철도설계편람**.

한국환경정책평가연구원(2004) **철도건설사업의 주요환 경영향에 관한 연구**.

환경부, 건설교통부(2007) **환경친화적인 철도건설지침(안)**.

환경영향평가 정보지원시스템, <http://eiass.go.kr>

환경정책평가연구원, <http://www.kei.re.kr/>

Expertchoice사, <Http://www.expertchoice.com>

(접수일: 2008.8.25/심사일: 2008.9.25/심사완료일: 2009.10.19)