

지속가능한 고속철도망 계획을 위한 분석방법론 연구:  
다원-속성 효용이론을 이용하여

**Analysis Methodologies for Planning A Long-term Sustainable High-speed Rail  
Network using Multi-attribute Utility Theory**

박진경\*  
Park, Jinkyung

엄진기\*\*  
Eom, Jin Ki

이준\*\*\*  
Lee, Jun

노학래\*\*\*\*  
Rho, Hak Lae

---

**ABSTRACT**

With the growing international consensus regarding sustainable development of transportation, the plan of transportation infrastructure needs to meet various requirements toward enhancing environmental conditions. Accordingly, the upcoming long-term plan of high-speed rail network has to be reflecting the sustainability of transportation systems.

In this paper, we propose methodologies based on multi-attribute utility theory for determining priorities of sustainable high-speed rail investment. The proposed methodologies identify indicators for sustainable transportation systems such as economic, environmental, social, and transportation-related ones and then, explain the way how to evaluate the overall sustainability by comparing the relative importance among indicators. This will help transportation agencies to prioritize high-speed rail investment toward sustainable transportation systems.

---

**국문요약**

고속철도 서비스 수혜지역의 확대 요구에도 불구하고, 현재 국가 철도망 관련 상위계획 상에서 제시된 장래 국가 철도망은 수송애로구간 및 수송수요 분석에 의한 개략적인 노선계획이라 할 수 있으며, 합리적이고 장기적인 국가 고속철도망 구축방향은 마련되어 있지 않은 상황이다. 더욱이 기존 철도망의 투자우선순위 평가항목은 경제적 타당성 및 수송수요 규모 등으로 대표되는 투자 효율성, 기존 철도망과 연계될 수 있는 네트워크 연결성, 정책적 타당성으로 획일화 되어 있으며, 이중 대부분의 철도망 계획에 가장 큰 영향을 미치는 항목은 B/C 비율로 대표되는 투자 효율성 측면이라 할 수 있다.

이에 본 연구는 우리나라의 중장기적 고속철도망 계획과 투자우선순위를 전통적인 평가기법에서 벗어나 지속가능한 교통(sustainable transportation)의 관점에서 이를 분석할 수 있는 방법론을 제안하는데 그 목적이 있다. 본 연구는 먼저 지속가능한 교통에 대한 정의를 내리고, 이를 측정할 수 있는 지속가능한 교통 지표를 교통 효과성 지표, 환경지표, 경제지표 및 사회지표로 제시한 다음 지속가능한 고속철도망 평가를 위한 목표와 성과 척도를 선정하였다. 그리고 지속가능한 교통의 관점에서 우리나라 고속철도망의 계획과 투자우선순위를 분석할 수 있는 다원-속성 효용이론(multi-attribute utility theory)을 이용한 다원-기준 의사결정방법론을 제안하였다.

---

\* 한국철도기술연구원, 철도정책물류연구본부, 교통계획연구팀, 정희원  
E-mail : jinny23138@dreamwiz.com  
TEL : (031)460-5463 FAX : (031)460-5499

\*\* 한국철도기술연구원, 철도정책물류연구본부, 교통계획연구팀

\*\*\* 한국철도기술연구원, 철도정책물류연구본부, 교통계획연구팀

\*\*\*\* 한국철도기술연구원, 철도정책물류연구본부, 교통계획연구팀

## 1. 서론

현재 우리나라는 철도 투자를 효율적이고 체계적으로 수행하기 위해 철도건설법 제4조에 의거한 법정계획인 『국가철도망 구축계획(2006~2015)』을 수립하여 이를 고려한 철도투자사업을 추진하고 있다. 국가철도망 구축계획의 목표는 전국적으로 고속화<sup>1)</sup>된 국가 철도망을 확충하고, 주요 대도시를 기점으로 목적지까지 편도 기준 3시간 이내로 이동가능한 만나질 생활권을 구축하며, 접근성을 개선<sup>2)</sup>하여 안전하고 친환경적이며 쾌적한 철도망을 구축하는 데 있다<sup>3)</sup>. 전국적으로 고속화된 국가 철도망이란 오송역을 중심으로 경부와 호남고속철도가 국가 철도망의 대골격을 구성하고, 남북 6개축과 동서 6개축이 고속철도와 연계하여 고속화된 간선철도망을 구성하는 X자형(2+6×6) 철도망을 의미한다. 이러한 X자형 국가 철도망의 완성을 위해 정부에서는 정부와 호남고속철도 건설사업<sup>4)</sup>을 조속히 마무리 하고 이러한 고속철도축과 연계할 수 있는 기존선을 개량하여 고속화하거나 신선건설을 도모하고 있는 실정이다.

이러한 철도투자사업에 있어 가장 시급한 사항은 철도망 구축 사업시 고려되어야 하는 투자우선순위 선정기준 및 이에 따른 단계별 사업추진계획이라 할 수 있다. 즉, 기존 2개의 경부 및 호남축과 연계되는 철도망의 기능 정립에 따른 노선별 도입시스템 결정, 연차별 투자계획 수립 등을 위한 정책적 판단 기준 및 합리적인 의사결정과정에 대한 명확한 정의가 반드시 선행되어야 한다.

그러나 국가기간교통망 구축계획이나 국가철도망 구축계획에 제시된 장래 국가 철도망 구축계획은 수송애로구간 및 수송수요 분석에 의한 개략적인 노선계획이라 할 수 있으며, 특히 고속철도 서비스 수혜지역의 확대 요구가 증가하고 있음에도 불구하고 합리적이고 장기적인 국가 고속철도망 구축방향은 마련되어 있지 않은 상황이다. 다만 국가철도망 구축계획 상에 정부와 호남고속철도, 동서축 고속철도(서울~속초), 서해축 고속철도(인천~여수), 중앙축 고속철도(서울~경주), 남해축 고속철도(부산~목포), 그리고 동해축 고속철도(부산~속초)가 장래 고속철도망으로써 개괄적으로 제시되어 있을 뿐이다. 더욱이 기존 철도망의 투자우선순위 평가항목은 경제적 타당성 및 수송수요 규모 등으로 대표되는 투자 효율성, 기존 철도망과 연계될 수 있는 네트워크 연결성, 정책적 타당성으로 획일화 되어 있으며, 이 중 대부분의 철도망 계획에 가장 큰 영향을 미치는 항목은 B/C 비율로 대표되는 투자 효율성 측면이라 할 수 있다. 장래 국가 철도망, 특히 국가 철도망의 대골격이 되는 고속철도망의 구축단계에 있어 투자우선 순위는 투자 효율성뿐만 아니라 경제·사회·환경 등 다양한 측면을 종합적으로 고려하여 객관적이고 합리적으로 선정될 필요성이 있다.

이에 본 연구는 우리나라의 중장기적 고속철도망 계획과 투자우선순위를 전통적인 평가기법에서 벗어나 지속가능한 교통(sustainable transportation)의 관점에서 이를 분석할 수 있는 방법론을 제안하는데 그 목적이 있다. 철도망 계획을 포함한 전반적인 교통계획단계에서는 다양한 목적과 이해관계를 종합적으로 고려함으로써 상충되는 다양한 목적을 합리적으로 충족시킬 수 있도록 평가체계가 구축되어야 한다. 우리나라에서 교통사업의 대안을 대부분 비용편익분석과 정책적 분석으로 평가하고 있는 현 시점에서 최근 대두되고 있는 지속가능한 교통 측면에서의 대안 평가 방법을 고찰하는 것은 큰 의의가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 먼저 제2장에서 지속가능한 개발(sustainable development)과 지속가능한 교통에 대한 정

- 1) 고속철도는 설계속도 370km/hr 이상, 주요 간선철도는 설계속도 200km/hr 이상으로 고속화하여 타 교통수단과의 속도 경쟁력을 강화시키고자 한다. 건설교통부(2006) 참조.
- 2) 주요 철도역에 30분 이내 접근할 수 있도록 철도중심의 연계교통체계를 구축하고, 고속철도 서비스의 수혜지역을 확대시키기 위해 고속철도역 중심의 연계교통체계를 확충한다.
- 3) 『국가철도망 구축계획(2006~2015)』의 상위계획은 20년 단위의 최상위 장기종합교통계획이라 할 수 있는 『국가기간교통망 구축계획(2000~2019)』이다. 2007년 현재 국가기간교통망 구축계획은 『국가기간교통망 수정계획(안)』이 추진 중에 있으며, 글로벌 시대에 대응하는 교통기반시설의 확보와 제도 정비, 효율적이고 지속가능한 종합교통체계 구현 및 교통기술개발과 교통·물류산업의 교통정책 강화를 목표로 한다. 한국교통연구원(2007) 참조.
- 4) 먼저 경부고속철도(서울~부산, 448.8km)는 1단계 사업(서울~동대구, 281.6km)이 2004년 4월 1일에 개통되었으며, 2단계(동대구~경주~부산 및 대전·대구 도심구간, 167.2km) 사업은 2007년 현재 건설 중에 있으며, 2010년 12월에 완공될 예정이다. 다음으로 호남고속철도(오송~목포, 230.9km)는 2005년에 기본계획 수립용역이 완료되었으며, 1단계 사업(오송~광주)은 2015년에, 2단계 사업(광주~목포)은 2017년에 완공될 예정이다.

의를 내리고, 이를 측정할 수 있는 지속가능한 교통 지표(indicators for sustainable transportation)를 제시하며, 지속가능한 고속철도망 평가를 위한 목표와 성과 척도를 선정한다. 제3장에서는 지속가능한 교통의 관점에서 우리나라 고속철도망의 계획과 투자우선순위를 분석할 수 있는 다원-속성 효용이론(multi-attribute utility theory)을 이용한 다원-기준 의사결정방법론을 제안한다. 마지막으로 제4장에서는 결과를 요약하고 향후 연구 과제를 제시한다.

## 2. 지속가능한 교통 지표

지속가능한 개발이라 함은 광의로써 “현 세대의 필요성 때문에 미래 세대의 역량을 손상시키지 않는 개발”로 정의 된다<sup>5)</sup>. 지속가능성이란 더 나은 미래를 창조하고 영속적인 유산을 물려주려는 인간의 바람을 반영한 개념으로 인간 활동의 통합된 특성을 강조한다. 따라서 지속가능한 계획은 사회전체의 장기적인 목표를 고려해야 한다. 그렇다면 교통 부문의 지속가능성이란 무엇이며, 어떻게 측정되는가? Litman(2007)에 따르면, 지속가능한 교통에 대한 정의는 보편화되어 있지 않지만 경제적, 환경적으로 그리고 사회적으로 잘 갖춰진 교통 시스템의 영향으로 정의되며, 3가지 요소의 영향은 지속가능한 교통 지표를 이용하여 측정할 수 있다고 하였다.

### 2.1 일반적인 지속가능한 교통 지표

지속가능한 교통 지표에 대한 연구는 대표적으로 Litman(2007)과 Black(2000)을 들 수 있는데, 먼저 Litman은 개별통행자의 특성과 전체 교통 시스템의 성과에 이르는 여러 권장 지표를 제안하였다. 첫째, 경제적 지표로 이동성과 수단선택, 통행시간과 정시성, 혼잡비용 및 통행비용 등이며, 둘째, 사회적 지표로는 사고 사상자수, 약자를 위한 교통서비스의 질, 교통비 지불능력, 그리고 교통 서비스 만족도 등이다. 마지막으로 환경적 지표는 수단별 1인당 에너지 소비량, 수단별 대기오염물질 배출량, 1인당 교통시설, 및 대기오염/소음 노출도이다. 반면 Black은 석유의 연료의존도, 대기오염과 인간의 건강에 오염물질 배출량이 미치는 영향, 사고에 의한 사상자수, 혼잡, 그리고 타 수단의 이용 가능성을 고려하여 지표를 제안하였다. Litman의 지속가능한 교통 지표는 보다 개별적이며 가계 중심의 통행특성에 바탕을 두고 있는 반면 Black의 지속가능한 교통 지표는 보다 국가적인 차원에 바탕을 두고 있다.

한편 Jeon and Amekudzi(2005)와 Jeon et al.(2007)은 북미, 유럽, 호주 및 뉴질랜드를 포함한 전 세계의 지속가능성 지표에 대한 정의를 고찰한 다음 4가지의 주요 지속가능한 교통 지표를 제시하였다. 주요 지속가능한 교통 지표는 교통 효과성 지표(transportation system effectiveness-related indicators), 환경지표(environmental indicators), 경제지표(economic indicators) 및 사회-문화/형평성 관련지표(socio-culture/equity related indicators)로 <표 1>에 제시하였다.

5) Jeon and Amekudzi(2005)에 따르면, Brundtland Commission에서 이와 같이 정의한 개념이 가장 널리 이용되고 있다고 하였다; “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.

표 1. 일반적인 지속가능한 교통 지표

구분	지표	
교통효과성 지표	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철도연장, 도로연장, 주차시설</li> <li>· 수단별, 목적별 승객 인キロ</li> <li>· 수단별, 목적별 화물 톤キロ</li> <li>· 대중교통 승객 인キロ</li> <li>· GDP당 승객 인キロ와 화물 톤キロ</li> <li>· 차량 주행거리</li> <li>· 수단별 구간 교통량</li> <li>· 아침 첨두시 승용차 점유율</li> <li>· 아침 첨두시 대중교통 수단분담율</li> <li>· 교통수단별 총 외부비용</li> <li>· HOV의 통행거리(HOV lane-km)</li> <li>· 아침첨두시 대중교통 좌석-km</li> <li>· 소득그룹별 1인당 교통관련 비용</li> <li>· 통근통행의 주요 교통수단</li> <li>· 전일 승객 통행량</li> <li>· 화물교통 통행량의 비율</li> <li>· 대중교통 지출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 목적별 평균 가정기반 통근통행거리/시간</li> <li>· 수단분담율(수단전이량)</li> <li>· 대중교통 네트워크 연장</li> <li>· 경차대수</li> <li>· 자전거 대수</li> <li>· 디젤 차량대수</li> <li>· 승용차 수단을 제외한 통행 비율(%)</li> <li>· 다 수단 통행량</li> <li>· 고속도로 주행거리</li> <li>· 간선도로 주행거리</li> <li>· 도로지출</li> <li>· 대중교통 서비스의 질</li> <li>· 운송서비스의 질</li> <li>· CBD에서 아침첨두 승용차 수단분담율</li> <li>· 전일 간선도로 1인당 차량キロ</li> <li>· 휘발유와 경유 가격</li> <li>· 요금수입/운영과 유지보수 예산</li> </ul>
환경지표	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수단별 CO<sub>2</sub>(온실가스)배출량</li> <li>· 화석연료 소비량</li> <li>· 오염물질(CO, VOC, NOx, 오존)배출량</li> <li>· 1인당 에너지 소비량</li> <li>· 에너지 효율성</li> <li>· 환경보전 투자액의 합</li> <li>· 생태파괴범위</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1인당 교통 에너지 소비량</li> <li>· 자동차에 의한 화석연료 사용량</li> <li>· 소음수준/소음비용</li> <li>· 비-화석 연료 소비량(대체 에너지)</li> <li>· 대기오염 비용</li> <li>· 도시의 스프롤현상</li> <li>· CH<sub>4</sub> 배출량</li> </ul>
경제지표	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 인구밀도(인/ha)</li> <li>· 경제적 효율성</li> <li>· 고용</li> <li>· 경제개발척도: 통행비용절감, 시간절감, 접근성 향상으로 고려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중심지의 고용-인구 비율</li> <li>· GDP</li> <li>· 단위 에너지 사용당 GDP</li> <li>· 세금지출</li> <li>· 공공지출</li> </ul>
사회지표 (형평성지표 포함)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1인당 도로 사고 사상자수</li> <li>· 대중교통 접근성</li> <li>· 승용차를 보유하지 않은 사람들의 접근성</li> <li>· 주차 인접성</li> <li>· 주거지에서 도보로 접근 가능한 주요 서비스 수</li> <li>· 세금</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 항공 소음에 노출된 거주 인구수</li> <li>· 도로교통 소음에 노출된 거주 인구수</li> <li>· 소득 형평성</li> <li>· 이용자 편익 형평성</li> <li>· 저소득자의 대중교통 서비스 지불능력</li> </ul>

## 2.2 지속가능한 고속철도망 평가를 위한 지표의 선정

위에서 제시한 지속가능한 교통 지표로부터, 우리나라의 지속가능한 고속철도망 계획을 위한 교통 지표를 제시하면 다음과 같다. 지속가능한 고속철도망을 계획하기 위해서는 고속철도 시스템의 효과성과 환경적 측면, 경제적 측면, 그리고 사회적 삶의 질을 모두 포함해야 한다.

첫째, 교통 시스템의 효과성은 이동성과 전반적인 교통 시스템의 성과를 측정할 수 있어야 한다. 둘째, 고속철도망의 환경적 지속가능성 지표는 온실가스 배출량과 오염물질 배출량 감소 및 소음 감소를, 셋째, 경제적 지속가능성 지표는 경제적 효율성과 고속철도 네트워크의 효율성을 향상시키고 통행자의 지불능력을 극대화 시키며, 고속철도망 건설로 인한 지역경제개발을 촉진하는지 여부를 포함한다. 마지막으로 고속철도망의 사회적 지속가능성 지표는 사회적 형평성과 안전과 고속철도망으로의 접근성, 등 전반적인 삶의 질을 포함한다.

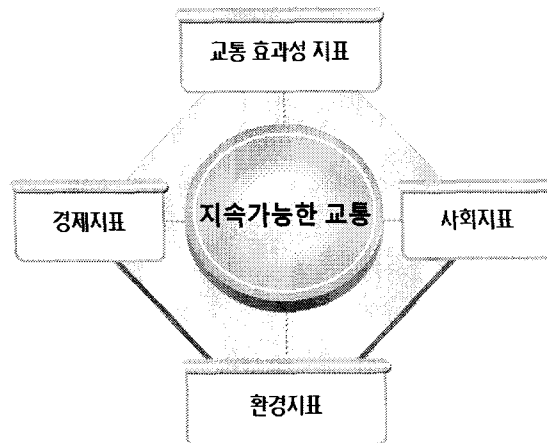


그림 1. 지속가능한 교통 지표

### 2.3 지속가능한 고속철도망 평가를 위한 목표와 성과 척도의 선정

지속가능한 교통 지표의 목표(goals)는 성과 척도(performance measures)를 이용하여 정량화할 수 있으며, 성과 척도는 지속가능성을 적절하게 효과적으로 평가할 수 있도록 설정되어야 한다. 구체적인 지속가능한 고속철도망 평가를 위한 성과 척도는 <표 2>에 자세히 제시하였다. 이러한 성과 척도를 이용하는 가장 큰 장점은 고속철도 노선축에 대한 비교가 가능하다는 점이다.

<표 2>에서 보는 바와 같이 각각의 목표는 하나 또는 그 이상의 성과 척도로 대표된다. 평균통행속도(A11)와 1인당 통행거리(A21과 A22)는 이동성과 정시성을 포함한 교통 시스템의 전반적인 효과성을 대변하는 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 평균통행속도는 혼잡에 대한 대리변수로 이용되고 있으나, 엄밀히 말해 이동성은 평균통행속도가 높고, 1인당 통행거리가 작을 때, 높다고 할 수 있다. 여기서 통행율은 통행거리당 통행시간을 의미하며, 대중교통의 수단 분담율이 높을수록 교통 효과성은 커진다고 볼 수 있으므로 철도 수단분담율을 함께 고려하였다.

환경적 지속가능성의 목표는 온실가스 배출량 최소화과 대기오염 최소화, 그리고 소음공해 최소화로 설정하였으며, 먼저 온실가스 배출량 최소화와 대기오염 최소화는 1일 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량과 일산화탄소(CO), 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 및 미세먼지(PM) 배출량이 이용된다. 일반적인 수요추정 패키지에서 도출되는 개별 링크별 대·km에 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』에서 제시하고 있는 차종별, 속도별 오염물질 배출계수를 곱한 다음 모두 합산하여 1일 배출량을 산정할 수 있다. 소음공해의 경우에도 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』에 제시되어 있는 일반도로와 고속도로의 소음도 예측식, 그리고 철도의 등가소음도 예측식을 이용하여 산정한다. 환경적 지속가능성은 이들 온실가스 배출량과 대기오염물질 배출량이 적을 때, 그리고 소음도가 낮을 때 더 나은 것으로 나타난다.

다음으로 경제적 지속가능성의 목표는 경제적 효율성과 고속철도 네트워크의 효율성을 향상시키고, 통행자의 지불능력을 극대화하며, 교통지출을 최소화하고, 경제개발을 촉진하는 것으로 설정하였다. 1인당 차량 또는 철도 통행시간(C11)은 짧을수록 경제적으로 효율적이라 할 수 있으며, 총 1인당 통행비용이 작을수록 통행자의 지불능력은 극대화된다. 또한 선정된 고속철도 노선축은 고속철도 이용자의 80% 이상이 고속철도역간 통행시간을 3시간 이내로 확보하고, 제주도를 제외한 전국을 15개 권역으로 구분한 다음 모든 권역간 철도통행시간이 4시간 이내가 될 때<sup>7)</sup>, 고속철도 네트워크가 효율적이라 판단하였다. 이는 상위계획인 국가철도망 구축계획의 목표에 따라 편도 기준 3시간 이내로 이동가능한 만나질 생활권을 구축하고, 공로 부문에 대한 고속철도의 경쟁력을 확보하며, 전국의 모든 권역에 대해 균일한

6) Jeon et al.(2007) 참조.

7) 권역간 철도통행시간이 4시간이라는 의미는 고속철도가 정차하지 않는 권역에서는 일반철도를 이용하여 고속철도 정차역으로 접근해야 하기 때문에 이러한 고속철도망에 연계되는 지선 철도망을 고려한 것이다.

철도통행시간을 제공하기 위함이다. 지역경제 과급효과는 도시계획적 측면을 고려하기 위한 항목으로 고속철도망 건설로 인해 발생하는 생산량, 부가가치, 고용 등의 증가를 MRIO 모형(다지역 산업연관모형)을 이용하여 계량화한 수치로 나타낸 것이다<sup>8)</sup>.

마지막으로 사회적 지속가능성의 교통안전은 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』에 제시되어 있는 도로유형별 km당 교통사고 사상자수를 이용하여 산정한다. 고속철도망 건설로 인해 발생하는 잠재적인 형평성 차이는 지리학적인 고속철도시설 취약도로 평가할 수 있다.

표 2. 지속가능한 고속철도망 평가를 위해 선택된 목표와 성과 척도

지표	목표	성과 척도
교통 효과성 지표	A1. 이동성 향상	A11. 평균통행속도 A12. 통행율(통행시간/통행거리)
	A2. 전반적인 성과 향상	A21. 고속철도 승객 인키로 A22. 차량통행거리 A23. 철도 수단분담율
환경지표	B1. 온실가스 배출량 최소화	B11. CO <sub>2</sub> 배출량
	B2. 대기오염 최소화	B21. CO 배출량 B22. NOx 배출량 B23. HC 배출량 B24. PM 배출량
	B3. 소음공해 최소화	B31. 소음도
경제지표	C1. 경제적 효율성 향상	C11. 총 통행시간
	C2. 고속철도 네트워크 효율성 향상	C21. 고속철도 통행시간 C22. 철도 총 통행시간
	C3. 통행자 지불능력 극대화	C31. 통행비용
	C4. 교통지출 최소화	C41. km당 고속철도 공사비
	C5. 경제개발 촉진	C51. 지역경제 과급효과 지수
사회지표	D1. 교통안전 증대	D11. 교통사고 사상자수
	D2. 형평성 증대	D21. 고속철도시설 취약도

### 3. 지속가능한 고속철도망 투자우선순위 선정을 위한 방법론

교통사업의 전통적인 투자 평가는 주로 재정적·경제적 측면을 고려한 단일-목적 의사결정기법 (single-objective decision making)에 의거하여 수행되며, 가장 일반적인 단일-목적 의사결정기법은 교통사업의 비용과 편익을 금전화하여 고려하는 방법이다. 단일-목적 의사결정기법으로 교통사업의 대안을 평가하는 방법은 크게 비용편익분석, 순현재가치법, 내부수익률법 등이 있다<sup>9)</sup>. 일반적으로 고려되는 편익<sup>10)</sup>은 이용자 통행시간 절감편익, 차량운행비용 절감편익, 대기오염비용 절감편익, 그리고 사고비용 절감편익이며, 비용은 자본비용, 유지관리비용, 차량비용 등을 고려한다. 비용편익분석과 같은 금전적인

8) 최근 교통 기반시설의 건설이 지역의 경제성장에 미치는 영향을 분석하려는 시도가 스페인을 사례로 이루어지고 있다. 교통 기반시설과 관련된 지역경제 과급효과는 주로 총요소생산성 지표를 회귀식으로 추정하는 회계학적 방법이나 생산함수를 계량경제학적으로 추정하는 방법으로 분석된다. Cantos et al.(2005)는 스페인을 사례로 경제성장에 대한 기반시설의 영향을 계량경제학적 방법으로 분석한 결과 교통 기반시설과 관련된 매우 잠재적인 지역경제 과급효과가 존재한다는 분석결과를 제시하였다.

9) 전 세계적으로 각 국가마다 서로 다른 사업기간과 사회적 할인율을 적용하고 있는데, 비용-편익비율을 사용하는 우리나라와 일본 및 독일을 제외하고 순현재가치가 주요 기준 항목이 되고 있다. Hayashi and Morisugi(2000) 참조. 우리나라의 경우 도로와 철도부문의 사업기간은 30년, 사회적 할인율은 5.5%를 이용하고 있다.

10) 모든 국가에서 이러한 네 가지 편익을 일반적으로 사용하고 있으며, 영국의 경우 토지이용과 지역개발효과 편익을 포함시키고 있다. 그러나 편익의 상대적인 중요도는 각 국가마다 매우 다르게 평가하고 있는데, 영국의 경우 통행시간 절감편익과 사고비용 절감편익을, 프랑스의 경우 교통투자사업의 지역개발효과 편익을 중시한다. 한편 일본은 환경측면을 정량적이고 정성적인 요인을 고려하려고 하며, 독일은 정치적인 요인까지도 평가하고 있다. Hayashi and Morisugi(2000) 참조.

평가기법은 하나의 수치로 제시되기 때문에 명백하고, 논의하기 쉬운 반면 수량화 할 수 없거나 금전적인 가치로 전환되지 않는 교통사업의 영향을 분석에 포함시킬 수 없다는 단점이 있다. 또한 차후에 건설되는 대안을 고려하지 않고 현재 건설되는 대안을 가지고 투자우선순위를 결정하게 되는 오류를 범하기 쉽다<sup>11)</sup>.

대안을 평가하기 위한 수학적 의사결정기법은 이 외에 퍼지 의사결정기법(Fuzzy decision making), 베이시안 의사결정기법(Bayesian decision making), 그리고 다원-기준 의사결정기법(multi-criteria decision making)을 들 수 있다. 교통계획과정은 다양한 목적과 이해관계를 반영하고 있기 때문에 수많은 상충되는 목적들을 평가하기 위해서는 적절한 기법이 필요하다. 더욱이 지속가능한 교통 측면에서 대안을 평가하고자 할 때 상충되는 목적을 가진 대안을 동시에 평가할 수 있어야 한다. 비용-편익분석과 같은 단일-목적 의사결정기법은 교통계획과정에서 발생하는 여러 복잡한 문제를 적절하게 다루지 못한다는 한계가 있다.

이에 본 연구는 우리나라의 지속가능한 고속철도망 계획과 투자우선순위 선정을 위하여 다원-기준 의사결정기법을 활용하여 고속철도 노선축의 상대적인 중요도를 평가하는 방법을 제안하고자 한다.

### 3.1 다원-속성 효용이론

다원-기준 의사결정기법은 AHP(Analytical hierarchy process), 공조분석법(concordance analysis), 목표달성도 행렬법(goal-achievement method), 다원-속성 효용이론(multi-attribute utility theory, MAUT), outranking method 등이 있으며, 이 중에서 가장 일반적으로 이용되는 다원-기준 의사결정기법은 다원-속성 효용이론과 AHP, outranking method이다<sup>12)</sup>. 이러한 다원-기준 의사결정기법 중 본 연구에서는 다원-속성 효용이론을 이용하고자 한다. 이는 교통사업의 대안을 평가할 때 비교적 단순하고, 직관적이며, 가중치를 할당할 수 있다는 장점이 있기 때문이다.

MAUT의 기본적인 가설은 대안을 선택하는 의사결정문제에 효용(utility)이 존재하고, 의사결정자는 실행가능한 대안 집합에서 효용을 극대화한다는 것이다. 각 대안의 효용값은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$U_j = \sum_{k=1}^{n_k} w_k n_{kj} \quad (1)$$

여기서  $U_j$ : 대안  $j$ 의 효용

$w_k$ :  $k$ 번째 기준의 가중치

$n_{kj}$ : 대안  $j$ 의 정규화시킨 기준  $k$ 값

MAUT는 각 대안에 가중치(weights)를 부여하여 집계하는 과정을 거치는데, 가장 간단하고 널리 이용되는 집계 방법은 선형 가중 합(weighted linear average)을 취하는 것이다. Zietsman et al.(2006)에 따른 MAUT는 다음과 같은 단계로 요약된다.

Step 1: 평가과정에 이용될 기준(criteria)과 하위 기준(sub-criteria)을 정한다.

Step 2: 중요도에 따라 기준과 하위 기준의 순위를 매긴다.

Step 3: 기준과 하위-기준에 상대적인 중요도를 반영하도록 0~1까지의 비율을 부여한다.

Step 4: 0~1까지 비율을 정규화(normalization)한다.

Step 5: 정규화된 비율을 단일-속성 효용함수를 이용하여 각 대안에 대한 기준 값(criteria value)을 결정한다.

11) Chu and Polzin(2000) 참조.

12) Zietsman et al.(2006) 참조.

Step 6: 기준에 대한 선형 가중 합을 이용하여 대안의 효용을 계산한다.

### 3.2 정규화

<표 2>에 제시한 성과 척도와 상대적인 중요도로 매겨진 속성의 순위는 각기 다른 단위를 가지기 때문에 정규화하여야 한다. 속성 값이 단조 증가하는 효용함수라고 가정하면, 식 (2)의 선형 형태와 식 (3)의 벡터 형태로 취할 수 있다. 정규화된 성과 척도 또는 속성의 순위,  $r_{ij}$ 는 0과 1사이의 값을 갖는다.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*}, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

여기서  $x_j^*$ :  $j$ 번째 속성의 최대값

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

### 3.3 가중치 산정

다음으로 <표 2>에 제시한 각 성과 척도의 가중치를 산정하는 방법은 가장 간단한 방법인 선호도 비교를 통한 속성 순위법(attribute ranking method)을 이용하여 도출한다<sup>13)</sup>. 속성을 비교하여 가장 중요한 속성에 1을 부여하고, 가장 중요하지 않은 속성에  $n$ 을 부여하면, 성과 척도의 가중치는 다음과 같이 도출된다.

$$w_j = \frac{1/r_j}{\sum_{k=1}^n 1/r_k} \quad (4)$$

여기서  $r_j$ :  $j$ 번째 속성의 순위

### 3.4 지속가능한 고속철도망 지수 산정

식 (2) 또는 식 (3)를 이용하여 정규화시킨 성과 척도는 식 (4)에 제시된 가중치를 이용하여 지속가능한 고속철도망의 지수(index)로 집계할 수 있다. 가중치를 이용하는 것은 어느 정도의 주관성이 분석에 개입되기 때문에 논쟁의 여지가 있으나 여러 가지 기준을 상대적인 중요도에 따라 할당하는 중요한 도구가 될 수 있다. 이는 차후에 민감도 분석을 수행할 수 있다.

이와 같이 선정된 고속철도 노선축에 대해 식 (5)에 제시된 지속가능한 지수를 집계하여 산출한 다음 지속가능한 교통 측면에서 고속철도 노선축의 상대적인 투자우선순위를 분석할 수 있다.

$$I_s = N_t W_t + N_f W_f + N_e W_e + N_s W_s \quad (5)$$

13) Yoon and Hwang(1995) 참조.



여기서  $I_s$ : 지속가능한 고속철도망 지수

$N_t, N_f, N_e, N_s$ : 고속철도 효과성 지표, 환경지표, 경제지표, 사회지표에 대한 정규화된 기준값  
(criteria value)

$W_t, W_f, W_e, W_s$ : 각 지표의 가중치(weights)

#### 4. 결론

국가기간교통망 구축계획과 국가철도망 구축계획에 제시된 장래 국가 철도망은 수송애로구간 및 수송수요 분석에 의한 개략적인 노선계획이라 할 수 있으며, 특히 고속철도 서비스 수혜지역의 확대 요구가 증가하고 있음에도 불구하고 합리적이고 장기적인 국가 고속철도망 구축방향은 마련되어 있지 않은 상황이다. 더욱이 기존 철도망의 투자우선순위 평가항목은 경제적 타당성 및 수송수요 규모 등으로 대표되는 투자 효율성, 기존 철도망과 연계될 수 있는 네트워크 연결성, 정책적 타당성으로 획일화 되어 있으며, 이중 대부분의 철도망 계획에 가장 큰 영향을 미치는 항목은 B/C 비율로 대표되는 투자 효율성 측면이라 할 수 있다. 장래 국가 철도망, 특히 국가 철도망의 대골격이 되는 고속철도망의 구축단계에 있어 투자우선순위는 투자 효율성뿐만 아니라 상충되는 다양한 측면을 고려하여 객관적이고 합리적으로 선정될 필요성이 있다.

이에 본 연구는 우리나라의 중장기적 고속철도망 계획과 투자우선순위를 전통적인 평가기법에서 벗어나 지속가능한 교통의 관점에서 이를 분석할 수 있는 방법론을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 분석 방법론을 요약하면 다음과 같다.

본 연구에서 제안된 지속가능한 고속철도망 계획과 투자우선순위를 선정하는 평가 방법은 다원-기준 의사결정기법 중의 하나인 다원-속성 효용기법이다. 다원-속성 효용기법을 이용하여 지속가능한 고속철도망 지수를 산정하기 위하여 사용된 교통 지표는 교통 시스템의 효과성, 경제지표, 환경지표 및 사회지표로, 먼저 교통 시스템의 효과성은 이동성과 전반적인 교통 시스템의 성과를 측정한다. 두 번째로 고속철도망의 환경적 지속가능성 지표는 온실가스 배출량과 오염물질 배출량 감소 및 소음 감소를 측정한다. 세 번째로 경제적 지속가능성 지표는 경제적 효율성과 고속철도 네트워크의 효율성을 향상시키고 통행자의 지불능력을 극대화 시키며, 고속철도망 건설로 인한 지역경제개발을 촉진하는지 여부를 포함한다. 마지막으로 고속철도망의 사회적 지속가능성 지표는 사회적 형평성과 안전과 소음, 고속철도망으로의 접근성, 등 전반적인 삶의 질을 포함한다.

최종적인 지속가능한 고속철도망 지수를 도출하기 위하여 각 지표의 목표를 설정하였고, 지속가능성을 효과적으로 평가할 수 있는 성과 척도를 도출하는 방법을 자세히 설명하였다. 교통 효과성 지표의 목표는 이동성 향상과 교통 성과 향상을, 환경지표의 목표는 온실가스 배출량과 대기오염 및 소음공해 최소화, 그리고 사회지표의 목표는 교통안전과 형평성 증대로 설정되었다. 또한 경제지표의 목표는 경제적 효율성과 고속철도 네트워크 효율성 향상 및 통행자 지불능력 극대화, 교통지출 최소화 및 경제개발 촉진으로 설정되었다. 이러한 각각의 지속가능한 고속철도망 지표의 다양한 성과 척도는 그 상대적 중요도에 따라 순위를 매겨서 정규화 시킨 다음 가중치를 곱하여 최종적인 지속가능한 고속철도망 지수를 산정한다.

본 연구의 향후 연구과제는 먼저 상위계획과의 일치성, 기존 철도망과의 연계성, 중복투자 가능성, 통행수요 패턴분석 반영 여부, 지역균형개발 기대효과 등의 노선축 선정 기준을 설정한 다음, 이에 따라 정부와 호남 고속철도 이후에 건설되어야 할 우리나라의 고속철도망 노선축을 선정한다. 다음으로 선정된 고속철도망 노선축에 대하여 본 연구에서 제시한 분석 방법론을 실제 네트워크와 O/D 자료를 이용하여 적용한 다음 지속가능한 고속철도망 지수를 도출하고, 지속가능한 교통의 관점에서 고속철도망의 투자우선순위를 결정하고자 한다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부(1999), 『국가기간교통망계획(2000~2019)』 .
2. 건설교통부(2006), 『국가철도망 구축계획(2006~2015)』 .
3. 한국개발연구원(2004), 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』 .
4. 한국교통연구원(2007), 『국가기간교통망 수정계획(안)』 공청회.
5. Black, W. R.(2000), "Toward a Measure of Transport Sustainability", Proceedings of the 79th Annual Meetings of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
6. Cantos, P. M. Gumbau-Albert and J. Maudos(2005), "Transport Infrastructures, Spillover Effects and Regional Growth: Evidence of the Spanish Case", Transport Reviews, Vol. 25, pp. 25-50
7. Chu, X. and S. E. Polzin(2000), "Timing Rule for Major Transportation Investments", Transportation, Vol. 27, pp. 201-219.
8. Fuente, A.(2004), "Second-Best Redistribution Through Public Investment: A Characterization, an Empirical Test and an Application to the Case of Spain", Regional Science and Urban Economics, Vol. 34, pp. 489-503.
9. Hayashi, H. and H. Morisugi(2000), "International Comparison of Background Concept and Methodology of Transportation Project Appraisal", Transport Policy, Vol. 7, pp. 73-88.
10. Jeon, C. M. and A. Amekudzi(2005), "Addressing Sustainability in Transportation System: Definitions, Indicators, and Metrics", Proceedings of the 84th Annual Meetings of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
11. Jeon, C. M., A. Amekudzi and R. A. Guensler(2007), "Evaluating Transportation System Sustainability: Atlanta Metropolitan Region", Proceedings of the 86th Annual Meetings of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
12. Litman, T.(2007), "Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning", Victoria Transport Policy Institute Paper 07-2706, Victoria, Canada.
13. Yoon, K. P. and C. L. Hwang(1995), 『Multiple Attribute Decision Making: An Introduction』 , Sage Publication Inc.
14. Zietsman, J., R. R. Laurence and S. J. Kim(2006), "Transportation Corridor Decision-Making with Multi-Attribute Utility Theory", Int. J. Management and Decision Making, Vol. 7, pp. 254-266.