

## 수송실적자료를 이용한 철도교통 수요변화 추정 연구

# Quantifying Rail Travel Demand Changes using Observed Transport Data

엄진기\* · 허태영†

Jin Ki Eom · Tae-Young Heo

**Abstract** Although the amount of travel demand is a critical factor in a benefit-cost (B/C) analysis of railway investment, the travel demand changes especially for induced demand have not been considered. Therefore, the basic study of how to estimate travel demand changes after railway investment is worth investigating. This study reviews the methodologies for estimating diverted and induced demand generated after railway investment, and proposes appropriate approaches that will help railway planners to practically apply them in a case study. Further, the research stimulates the needs of consideration of the travel demand changes in the feasibility studies of railway planning.

**Keywords** : Induced Travel Demand, Diverted Travel Demand, Rail Demand Modeling

요 지 본 연구에서는 철도 투자에 따른 투자이후 수요변화를 계량화하기 위한 조사방법론을 검토하도록 한다. 특히, 유발수요는 전환수요에 비해 조사 및 계량화 방안에 대한 연구가 미흡하므로 유발수요를 중심으로 조사 및 계량화 방법들을 검토하여 제시하도록 한다. 이러한 연구 결과는 국내에 철도에 대한 투자이후 단계에서 수요변화를 추정하는 연구가 미흡한 실정이므로 향후 활용도가 높을 것으로 판단된다.

주 요 어 : 유발수요, 전환수요, 철도교통수요모형

### 1. 서 론

우리나라 지역 간 철도수단은 타 대중교통수단인 버스와 항공에 비교하여 접근성이 불편하고 통행시간이 많이 소요되어 그 동안 소외되어 왔으나 2004년 KTX개통으로 지역 간 통행시간이 단축되어 경쟁력을 가지기 시작하였다. 경쟁력 있는 철도시설투자 사업(신선건설 및 기존선 개량)은 철도를 이용한 지역 간 교통수요를 더욱 증가시킬 가능성이 있으며 고속으로 운행하는 철도의 신선건설은 지역 간 전환 교통수요뿐만 아니라 추가적인 유발수요를 가져올 것으로 판단된다. 철도시설 투자를 위한 경제성 평가에서 수요가 차지하는 비중이 높음을 고려할 때 앞으로 투자효과에 따른 수요변화 효과를 반영할 수 있도록 방법론에 대한 연구가 필요하다. 그러나 현재 철도투자 평가에 반영되는 수요는 이러한 철도 투자이후에 예견되는 수요변화에 대

한 고려가 미흡한 실정이다. 향후 철도의 고속화 정책과 맞물려 투자이후 전환수요 및 유발수요 등 수요증가가 예상되므로 이를 고려하기 위한 수요변화분석 방법론이 필요하다.

철도투자이후 수요변화에 대한 기초연구는 철도 투자를 위한 예비타당성 조사단계에서 투자이후 수요변화를 적극 반영하는데 도움이 되며 철도투자 사업의 경쟁력을 제고시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 철도수단 이용증대를 위한 효과적인 연계교통체계 구축을 위한 기반 자료로서 활용될 수 있으므로 투자이후에 발생하는 수요변화에 대한 계량화를 적극적으로 검토할 필요가 있다.

철도시설과 관련하여 King<sup>1)</sup>은 ITS(Intelligent Transportation System) 학회에 발표한 연구 논문에서 프랑스와 일본에서 운행하고 있는 고속열차는 35%의 유발수요(Induced demand)를 발생시켰고 이것은 전환수요(Diverted demand)보다 30% 이상 높은 것이라는 결과를 제시하였다.

\* 책임저자 : 교신저자, 정회원, 한국해양대학교, 데이터정보학과

† 정회원, 한국철도기술연구원, 철도교통물류연구실

E-mail : jkom00@krii.re.kr

TEL : (031)460-5467 FAX : (031)460-5499

1) King, J.(1996) Economic significance of high speed rail, ITS Working paper.

그러나 이러한 유발수요에 대한 정의는 학자들에 따라 어떤 관점에서 정의를 하느냐에 따라 다르다. 예를 들어, Goodwin(1996)은 전환 통행량을 제외하고 증가된 통행량을 유발통행(Induced Traffic)이라고 정의하였으며, DeCorla-Souza(1999)는 단기(1년 이내)와 장기(1년 이후)별로 전환된 차량통행거리를 제외한 새롭게 생성된 차량통행거리를 “Induced Travel”로 정의하고 있다. 이와 같이 교통수요변화에 대한 정의는 학자마다 달리 정의하고 있으며 용어2)에도 조금씩 차이가 있는데 이는 통행의 주체, 단위, 분석 범위에 따라 다르다.

본 연구에서 언급하고 있는 수요변화는 유발수요와 전환수요를 종합적으로 의미하고 있으며 철도 투자에 따른 투자이후 수요변화를 계량화하기 위한 통계적 방법론을 검토하는데 목적이 있다. 현재 투자이후에 발생하는 유발수요와 전환수요의 계량화 방법에 대한 연구가 미흡하므로 수송실적과 같은 관측 자료를 기반으로 수요변화 계량화 방법에 대하여 제시하도록 한다. 이러한 연구 결과는 국내에 철도에 대한 전환수요 및 유발수요에 대한 연구가 미흡한 실정이므로 향후 활용도가 높을 것으로 판단된다.

## 2. 수요변화의 정의

### 2.1 경제학 측면의 정의

경제학이론에 의한 수요변화의 정의는 수요-공급 곡선으로 설명된다. Fig. 1은 교통시설의 공급과 통행수요의 변화를 수요-공급곡선으로 설명하고 있다. 철도노선의 신설과 같은 교통사업은 교통시설 공급을 증가시켜 공급곡선이 기존상태(S1)에서 공급 후 상태(S2)로 이동시킨다. 반면, 통행수요는 철도건설과 같이 장기적으로 추진되는 사업은 사업이전 통행수요(D1)에서 사업의 완공시점까지 인구의 증가, 소득증가, 지역경제 활성화 등 사회경제지표의 변화로 증가하는 통행수요와 통행시간 감소로 인한 추가적인 수요를 포함하는 (D2)로 정의한다. 따라서 통행수요의 증가는 사회경제지표의 변화와 같은 외부(exogenous)인자와 통행시간비용과 같은 내부(endogenous)인자에 의해 동시에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

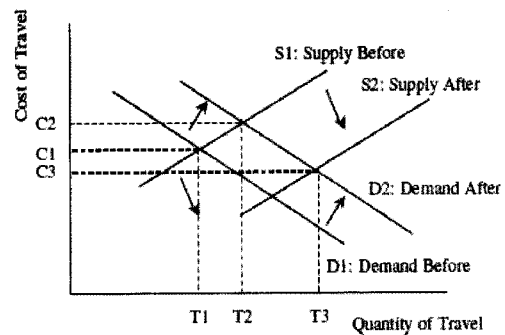


Fig. 1. Demand Changes (Noland, 2001)

내·외부 인자에 의해 수요와 공급곡선은 동시에 움직이게 되며 통행수요는 시설공급이전 수요-공급 곡선이 만나는 균형점(T1)에서 새로운 균형점(T3)으로 이동하게 된다. 그러나 유발수요는 통행수요변화의 한 부분으로서 균형점 T2에서 T3로 변화되는 수요의 관측치로 정의할 수 있다.

수요에 영향을 주는 내·외부 인자는 지속적으로 변하기 때문에 얼마의 수요가 각각의 인자에 의해 영향을 받는지를 추정하거나 관측하는 데에 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 유발수요는 경제학적 관점에서 넓은 의미로 “내부인자(교통용량증가, 서비스개선)로 인해 발생하는 순수 통행증가량”으로 정의 될 수 있다. 교통시설측면에서의 유발수요는 경쟁노선에서 전환되는 수요와 타 수단으로부터 이전된 수요를 포함한다. 반면 지역 간 통행의 경우 신규통행(new trips)으로 정의될 수 있다.

Table 1에서 보는바와 같이 수요변화는 지역수준(regional level)과 시설수준(facility level)으로 구분되며 지역수준은 직접적으로 교통시설과 관련 없는 외부요인에 의해 영향을 받는 것으로 정의되며, 시설수준은 직접적인 요인에 영향을 받는 것으로 정의되고 있다. 경제학 측면에서 교통인프라 투자에 따른 수요변화는 유발수요와 전환수요의 개념이 혼재되어 있다고 할 수 있다. 반면 교통측면에서 수요의 정의는 도로시설 중심으로 개념이 구체적으로 구분되어 있으며 많은 실증적 연구로 인해 개념이 잘 정립되어 있다 (P. Souza, FHWA, 2000).

Table 1. Factors affecting travel demand

구분	대상(target)	요인 (factors)
지역수준 (Regional Level)	외부요인 (exogenous)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인구증가</li> <li>• 소득증가</li> <li>• 지가상승</li> <li>• 토지개발</li> </ul>
시설수준 (Facility Level)	내부요인 (endogenous)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통용량증가</li> <li>• 교통서비스개선</li> <li>• 통행거리 감소</li> <li>• 통행요금 감소</li> </ul>

2) 유발수요(induced demand)는 통행의 주체를 사람이나 차량으로 구분하지 않은 총량적인 개념의 통행수요로서 새로운 교통시설의 개통에 따른 추가적인 통행량을 의미하며 통행의 단위를 Trip으로 정의함, 유발교통(induced traffic)은 도로시설의 관점에서 바라본 통행수요로서 통행의 주체를 사람이 아닌 차량으로 정의하여 통행의 단위를 차량(대)수로 정의한 개념임, 유발통행(induced travel)은 유발된 수요에 의해 통행거리의 증가를 반영한 개념으로서 통행의 단위를 VMT(Vehicle Mile Traveled)로 정의하여 통행거리(km)로 표현되는 개념임

Hills(1996)과 Litman(2001)은 유발수요의 영향을 도로의 경우 단기적으로 효과가 나타나며, 철도사업인 경우 장기적으로 효과가 나타나는 것으로 분석하였다. 단기적인 효과 및 장기적인 효과 항목은 Table 2에 제시하였다. 단기적으로는 도로 등 교통시설 확충에 의한 효과로서 출발시간, 경로, 수단, 및 목적지 선택에 영향을 주며 통행발생량 증가를 실증적인 조사에 의해 많은 연구에서 보고되고 있다. 철도시설과 같은 장기적인 측면에서의 유발수요 효과는 주거지 변경, 통행거리 증가, 신규통행량의 증가를 들 수 있다.

**Table 2.** Long & Short-term Effect of Travel Demand Changes (Hills, 1996 & Litman, 2001)

구분	단기 (short-term)	장기 (long-term)
효과 항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 출발시간 선택</li> <li>• 경로(route)선택</li> <li>• 수단(mode)선택</li> <li>• 목적지 변경</li> <li>• 통행발생량 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주거지 변경</li> <li>• 사업지 변경</li> <li>• 통행거리</li> <li>• 신규통행발생량</li> </ul>

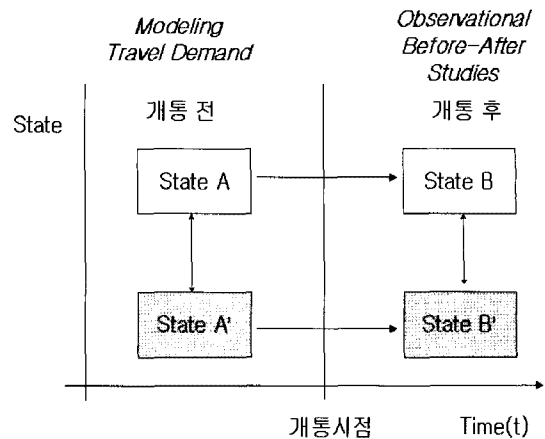
철도투자에 따른 수요변화는 내부적 요인인 교통서비스 개선에 의해 통행거리 및 시간 단축에 의해 영향을 받을 것으로 판단되며 철도투자에 따른 효과는 단기적효과 보다는 장기적으로 효과가 발생할 것으로 예상된다. 그러나 철도 수요에 영향을 미치는 요인과 철도투자 효과에 대한 연구가 미흡하고 통계자료가 없음에 따라 현실적으로 이를 고려한 분석에 한계가 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 철도투자 전·후의 수송실적자료가 전환 및 유발수요를 포함한 결과로 가정하며 투자이전과 이후 수송실적자료를 통계적으로 비교분석하여 총량적인 수요변화(수요증가량)를 분석하도록 한다.

### 2.2 수요변화 추정개념

철도 투자 사업에 따른 통행수요의 변화를 추정하기 위한 기본 개념은 Fig. 2와 같이 분석시점을 기준으로 철도 투자사업 이전과 이후로 구분하여 투자사업 이전단계에서 수요추정 모형을 구축하여 비교하는 과정과 투자이후에 관측 자료를 통해 수요변화를 통계적으로 판단할 수 있는 'observational before-and-after studies'를 수행하는 것으로 구분할 수 있다.

분석시점이 철도투자사업 이전 시점에서는 예비타당성 조사에서처럼 수요변화를 계량적으로 추정하기 위해 지역 간 통행수요추정 모형을 구축한다. 추정된 모형은 관측 자료를 기반으로 모형의 정산 과정이 필요하며 정산된 모형

(A)을 기준으로 장래 년도(B&B')의 수요추정을 수행한다. 장래에 추정된 수요는 투자이전 상태가 장래에도 지속됨을 가정한 수요예측(B')과 철도투자를 고려한 수요예측(B)으로 구분되며 이를 서로 비교하여 수요변화를 추정할 수 있다.



**Fig. 2.** Concept of Estimating Demand Changes

분석시점이 철도시설 투자이후인 경우에는 수송실적 등 모니터링을 통해 획득된 자료를 기반으로 개통 전에 비하여 수요가 얼마나 변했는지 통계적으로 분석한다. 수요변화량, 즉 상태(B) 상태(B')의 차이는 유발수요와 전환수요량이 혼재하므로 유발수요를 추정하기 위해서는 전환수요량에 대한 명확한 분석이 필요하다. 전환수요량의 추정은 기존의 연구 등에서 많이 활용되고 있는 철도투자 이후 교통 환경의 변화를 반영할 수 있는 통행시간, 통행요금 등의 절감효과에 의해 타 수단에서 전환되는 수요를 추정함으로써 전환된 통행량을 계량화 할 수 있다. 그러나 이렇게 전환수요를 모형에 의해서 계량화 하여도 정확한 값이 추정되었는지에 대한 의구심이 지속적으로 제기되는바 전환수요의 정확한 추정을 위해서도 철도 노선과 경쟁관계에 있는 기타 수단인 승용차, 버스, 항공에 대한 승객수요를 지속적으로 모니터링 하여 관측 자료를 지속적으로 확보하여야 한다. 또한 수요변화 분석모형을 구축하기 위해서는 수요변화에 영향을 주는 사회경제 지표와 교통지표의 변화를 DB로 구축하는 것이 필수적이다.

## 3. 철도투자이후 수요변화 추정

### 3.1 투자이후 단계의 수요변화 추정 방법

새로운 철도노선의 개통에 따른 수요변화는 개통이전 시점의 통행수요와 개통이후의 수요의 차이로 단순히 정의할 수 있으며 이러한 수요의 차이는 타 수단으로부터의 전환된 수요와 신규 노선의 개통에 따른 유발수요, 외부요인

에 따른 자연증가를 모두 포함하고 있다. 그러나 유발수요, 자연증가 등은 현재 구분하여 계량화하고 있지 못하기 때문에 본 연구에서는 수송실적자료를 이용한 수요변화를 분석하며 투자이후의 수송실적에 전환, 유발, 자연증가 된 수요가 모두 포함되어 있다고 가정한다.

Fig. 3은 신규 철도노선의 개통에 따른 수요변화를 개념적으로 도식화 한 것이다. 신규노선 개통이전과 개통이후의 연도별 수요변화를 그림으로 나타낸 것으로 개통시점으로부터 이전 5개년에 대한 수요와 개통이후 3개년도의 수요 변동을 보여주고 있다.

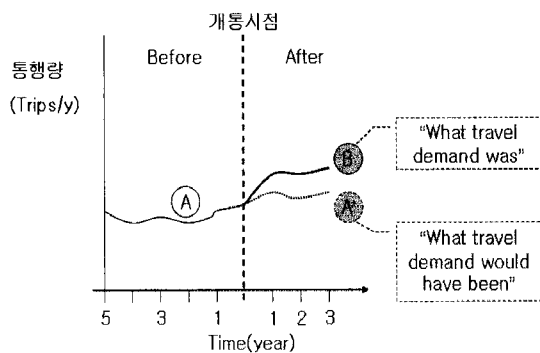


Fig. 3. Demand changes after new line opened

예를 들어 신규노선 개통 후 3년 뒤에 수요변화를 추정하고자 할 경우 다음 두 가지 항목의 수요에 주목할 필요가 있다. 즉, 개통이전의 수요(A)는 개통이후에 관측된 수요(B)로 나타날 수 있는데 개통이전과 이후의 수요의 차이를 (B-A)를 정확하게 추정하기 위해서는 수요(A')에 대한 추정이 필요하다. 수요(A')는 신규노선이 개통을 하지 않았을 경우 연도별로 수요가 어떻게 될 것인지에 대한 예측치(prediction)가 된다.

수요차이 (B-A')에는 타 수단으로부터의 전환된 수요와 신규 노선의 개통에 따른 유발수요를 모두 포함하고 있으므로 총 변화량에서 전환수요를 정확히 분석해야만 유발수요가 추정 가능하나 정확한 하나의 값으로 제시하는 것은 불가능하다. 따라서 수요변화량에 대해 통계적으로 분석하는 것이 필요하다. 수요변화의 통계적 분석은 수요변화량에 대한 표준편차를 제공함으로써 수요변화량의 상한과 하한 값을 제시할 수 있는 장점이 있다. 이러한 통계적인 분석을 위해 용어를 정의하면 다음과 같다

- $\pi$ : 시설투자 이후 시점에서 시설투자가 이루어지지 않았을 경우의 수송실적으로 수송실적 예상치(prediction)
- $\lambda$ : 시설투자 이후의 실제 수송실적

철도 투자가 수요변화에 미치는 영향을 분석하기 위한

통계적 지표로서 수송실적 예상치와 실제 추정치를 비교하기 위해 다음과 같이 정의한다.

- $\delta = \lambda - \pi$ : 수송실적 변화량(증가분)
- $\theta = \lambda/\pi$ : 시설물 투자에 따른 수요변화 비율

$\theta > 1$ 인 경우에 철도투자가 수요증가를 가져왔다고 평가할 수 있으며 반대로  $\theta < 1$ 은 수요변화에 영향이 없거나 오히려 수요 감소를 가져온 것으로 평가 한다.  $100 \times (\theta - 1)$ 은 수요변화의 %증가(감소) 비율로 설명할 수 있다.

Fig. 4는 수요변화의 통계적 분석과정을 보여주고 있다. 분석과정을 보다 자세하게 살펴보면 다음과 같다.

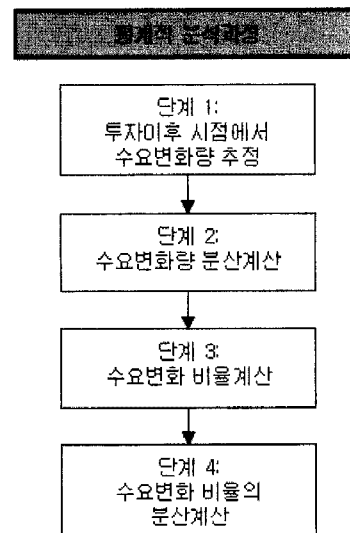


Fig. 4. Statistical approaches for analyzing demand changes

단계1: 투자이후 시점에서 수요변화량 추정

$$\delta = \lambda - \pi \quad (1)$$

단계2:  $\hat{\pi}$ 과  $\hat{\lambda}$ 의 통계적 독립 가정을 통한 수요변화량의 분산계산

$$VAR\{\hat{\delta}\} = VAR\{\hat{\pi}\} + VAR\{\hat{\lambda}\} \quad (2)$$

분산  $VAR\{\hat{\lambda}\}$ 와  $VAR\{\hat{\pi}\}$ 의 계산을 간단히 하기위해서 수송실적 통행량이 포아송(Poisson) 분포를 따른다고 가정하면 분산은  $VAR\{\hat{\lambda}\} = \lambda$ 로 구할 수 있으며 Delta method를 이용해 근사분산  $VAR\{\hat{\pi}\}$ 을 구할 수 있다. 수송실적자료를 이용하여 단계 1과 2에서 각각 수송실적  $\pi$ 와 분산  $VAR\{\hat{\lambda}\}$ ,  $VAR\{\hat{\pi}\}$ 를 추정할 경우 이들 추정치가 분석기간에 의해 영향을 받을 수 있으므로 이를 고려한 추정 방법이 요구된다. 단계1과 2에서 제시된 변수 추정 시에 자

료의 한계로 인해 분석기간이 다를 경우, 투자가 이루어지지 않았을 경우 과거 특정기간에 대한 수송실적(B), 투자이후기간의 수송실적(A)라고 가정하면 추정방법은 다음과 같다.

- 단계 1(파라메타추정):

$$\hat{\lambda} = \sum A$$

$$\hat{\pi} = \sum r_d B$$

여기서,  $\hat{\lambda}$  = 투자이후의 수송실적 추정치  
 $\hat{\pi}$  = 투자이전의 수송실적 추정치

$$r_d = \frac{\text{Duration of After period}}{\text{Duration of Before period}}$$

- 단계 2(분산추정):

$$VAR\{\hat{\lambda}\} = \sum A$$

- 단계3: 수요변화 비율 계산

$$\theta = \lambda / \pi \tag{3}$$

$\theta$ 는 수송실적에 의한  $\hat{\theta} = \hat{\lambda} / \hat{\pi}$  ( $\hat{\lambda}$ ,  $\hat{\pi}$ 는  $\lambda$ 와  $\pi$ 의 추정치임)로 추정 가능하지만  $\hat{\lambda}$ 와  $\hat{\pi}$ 는  $\lambda$ 와  $\pi$ 의 불편추정량(unbiased estimator)임에도 불구하고 비율인  $\hat{\lambda} / \hat{\pi}$ 은  $\theta$ 의 불편추정량이 아니므로 비록 편의(bias)가 작다 하더라도 제거하는 것이 바람직하다. 따라서 근사불편추정량(approximately unbiased estimator)는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\theta^* = (\lambda / \pi) / [1 + VAR\{\hat{\pi}\} / \pi^2] \tag{4}$$

- 단계4: 수요변화 비율( $\theta$ )의 분산계산

$$VAR\{\hat{\theta}\} \approx \theta^2 [(VAR\{\hat{\lambda}\} / \lambda^2) + (VAR\{\hat{\pi}\} / \pi^2)] / [1 + VAR\{\hat{\pi}\} / \pi^2]^2 \tag{5}$$

여기서  $\theta$ 는 식 (1)에서 제공하는  $\theta^*$ 를 의미한다.

이와 같이 4단계를 거치면 수요변화량과 수요변화 비율에 대한 분산이 얻어지며 이를 통한 표준편차계산에 의해 각각의 값에 대한 하한과 상한을 통한 통계적 범위를 제시할 수 있다. 수요변화 추정을 위한 방법론들은 내부적으로 수많은 오차를 포함하고 있음에 따라 수요변화량의 추정이 단순히 하나의 값으로 제시되는 것보다 통계적으로 수요변화의 범위를 제시하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단된다.

### 3.2 관측 데이터를 이용한 분석 사례

본 연구에서는 경부선을 기준으로 KTX개통 이전과 이후의 연간 수송수요 자료를 기반으로 수요변화 분석의 예를 들도록 한다. 개통이전 3개년도인 2001, 2002, 2003년도의 경부선 전체 노선의 수송인원과 KTX개통 이후의 수요인 2005, 2006, 2007년 자료를 기준으로 앞에서 언급한 투자이후 단계에서의 수요변화를 통계적으로 분석하도록 한다. Table 3은 경부선 전체 철도 수송수요를 연도별로 제시한 것이다.

Table 3. Kyungbu line passenger transport

연도	수송실적(천인)
2001	66,406
2002	62,889
2003	60,167
2005	68,496
2006	69,508
2007	69,011

자료: 철도통계연보(철도공사)

주) 수송실적자료는 선별여객수송실적(인원)임.

Table 4, 5, 6은 2005년을 기준으로 수요변화 분석결과를 제시한 것으로 2005년 기준 경부선 KTX개통에 따라 경부선 전체 수송실적 변화는 개통이전에 3개년 평균 수송실적에 비해 연간 약 5백 3십만 통행이 증가한 것으로 분석되었으며 표준편차(약 9천5백명)를 고려한 수요변화 범위는 5,343±9.5로 추정되어 많게는 연간 약 5백 3십5만명에서 적게는 5백 3십3만명 정도가 KTX개통에 따라 증가된 수요로 판단된다.

2006년기준으로 살펴보면 수요변화량이 2005년에 비해 백만명 정도 증가하여 수요변화비율과 수요변화량 표준편차가 다소 증가하였으나 2007년에는 2005년과 2006년의 수요변화량 증가의 중간 정도인 것으로 분석되었다. 여기에서 증가된 수요는 타 교통수단에 전환된 수요와 자연증가분이 포함된 유발수요의 합으로 설명될 수 있다. 수요변화 비율( $\theta$ )은 2005년 이후 3개년 모두 1보다 높은 것으로 나타나 KTX의 개통은 경부선 수요증가를 약 8.5%~10% 증가시킨 것으로 판단된다.

Table 4. Results of Kyungbu line demand changes after KTX introduced (year 2005)

KTX개통에 따른 수송실적( $\hat{\lambda}$ )	68,496(천인)
분석기간 Factor( $r_d$ )	1/3 (0.33)
개통이전 3개년 평균 수송실적(천인)( $\hat{\pi}$ )	63,153(천인)
수송수요변화량(천인)( $\delta$ )	5,343(천인)
수송수요변화량의 표준편차	9.46(천인)
수요변화비율( $\theta^*$ )	1.085 (8.5%)
수요변화비율의 표준편차	0.00015

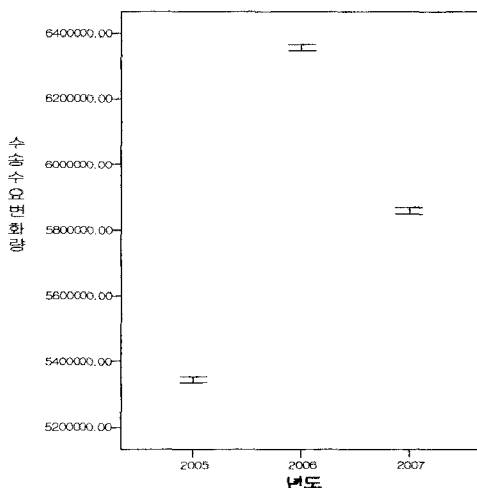
**Table 5.** Results of Kyungbu line demand changes after KTX introduced (year 2006)

KTX개통에 따른 수송실적( $\lambda$ )	69,508(천인)
분석기간 Factor( $r_d$ )	1/3 (0.33)
개통이전 3개년 평균 수송실적(천인)( $\hat{\pi}$ )	63,153(천인)
수송수요변화량(천인)( $\delta$ )	6,355(천인)
수송수요변화량의 표준편차	9.52(천인)
수요변화비율( $\theta^*$ )	1.1 (10%)
수요변화비율의 표준편차	0.00015

**Table 6.** Results of Kyungbu line demand changes after KTX introduced (year 2007)

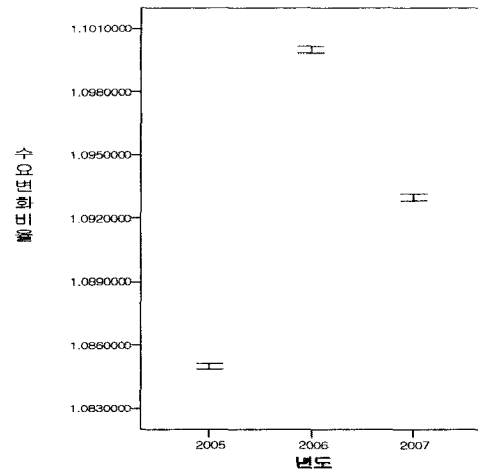
KTX개통에 따른 수송실적( $\lambda$ )	69,011(천인)
분석기간 Factor( $r_d$ )	1/3 (0.33)
개통이전 3개년 평균 수송실적(천인)( $\hat{\pi}$ )	63,153(천인)
수송수요변화량(천인)( $\delta$ )	5,858(천인)
수송수요변화량의 표준편차	9.49(천인)
수요변화비율( $\theta^*$ )	1.093 (9.3%)
수요변화비율의 표준편차	0.00015

Fig. 5는 KTX개통 후 3개년(2005, 2006, 2007)에 대하여 Table 4-6과 같이 분석을 통해 얻어진 수송수요변화량과 이에 대한 표준편차를 보여주고 있다. Fig. 5에서 수송수요 변화량과 그에 따른 하한과 상한을 나타내고 있으나, 표준편차가 매우 작아 식별하기 어렵지만, KTX개통 후 첫 해인 2005년부터 수송수요 변화량은 다소 증가하였으며 2006년과 2007년에 접어들면서 안정화되는 경향을 보여주고 있다. 수송수요 변화량의 표준편차 역시 거의 일정한 것으로 분석되었다.



**Fig. 5.** Demand changes with deviations

Fig. 6은 KTX개통 후 3개년에 대한 수요변화비율(%)을 제시한 것으로 그에 따른 상한과 하한을 보여주고 있다. KTX개통 직후인 2005년에 수요변화비율의 하한 값이 1보다 큼에 따라 개통직후부터 수요증가가 나타났음을 보여주고 있다. 이러한 수요증가는 2006년에 소폭 증가한 후 2007년에 이르러 안정을 보이고 있다.



**Fig. 6.** Ratios of demand changes with deviations

KTX개통이후 2년간 승객수요가 지속적으로 증가한 이후 3년차에 수송수요가 안정되어가는 현상으로 분석된다. Table 7은 KTX개통 후의 수송수요 변화량과 수요변화비율에 대한 상대적 변동을 비교하기 위하여 변동계수(coefficient of variation)를 제시한 것으로 수송수요변화량과 수요변화비율에 대한 변동성이 KTX개통 이후 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 KTX개통이후 수요변화가 안정 단계에 접어들고 있음을 설명하고 있다.

**Table 7.** Coefficient of variations for demand changes and demand change ratios(%)

	2005	2006	2007
수요변화량에 대한 변동계수	0.177	0.127	0.113
수요변화비율에 대한 변동계수	0.014	0.011	0.010

#### 4. 결론

본 연구에는 철도투자 이후 수요변화를 분석하는 방법론에 대하여 검토하였으며 특히 투자이후 시점에서 수송실적 자료를 활용하여 투자이전과 이후의 수요변화량을 통계적으로 분석하였다. 수송실적비교를 통한 통계분석은 수요변화량에 대한 상한과 하한 값을 제시함으로써 철도투자에 따른 효과를 다양하게 살펴볼 수 있으며 수요변화량과 수요변화비율에 대한 변동계수를 제시함으로써 연차별로 수

요변화가 어떻게 진행되는 지 알 수 있는 유용한 정보를 제공할 수 있는 장점이 있다. 그러나 본 연구에서 연간 수송 실적 통행량을 단위 시간동안 발생한 사건(통행)의 발생횟수로 정의하여 포아송분포를 따른다는 가정을 전제로 분석하였다. 따라서 수송실적 통행량이 포아송 분포를 보이는지에 대한 확인 작업이 향후 수행되어야만 제시된 방법론의 신뢰성 있는 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 철도 투자에 따른 수요변화의 정확한 추정을 위해서는 현실적으로 자료의 확보가 중요할 것으로 판단되는바 개통이전에 수요추정을 위해 사용되었던 사회경제 지표자료와 각종 개발계획 등이 개통이후 시점에서 어떻게 변화되었는지 지속적으로 모니터링 되어야 한다.

수요변화 추정결과는 수송실적과 비교를 통해 모형의 신뢰성을 분석하고 수요변화에 대한 실제적인 근거 자료로 제시될 필요가 있으며 지속적이고 장기적인 수요변화 관측 자료 분석을 통해 유발수요 등 수요변화 추정을 위한 원단위의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

향후 연구과제는 철도투자이후 전환수요와 유발수요를 지속적으로 분석할 수 있는 현실적인 모형의 구축과 투자이전과 이후를 비교할 수 있는 모니터링체계를 통한 실질적인 수요변화의 원단위 개발에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. 한국철도기술연구원(2008), “철도 투자에 따른 수요조사 방법론 검토 및 제시”.
2. 이규진·최기주(2006) “도로교통의 유발통행수요 추정에 관한 연구,” 대한교통학회지, 제24권, 제7호.
3. 황기연·김광희(2003) “대도시 교통수요관리를 위한 도로건설과 유발수요의 관계성 검증,” 서울도시연구, 제4권, 제1호.
4. 교통시설 투자평가지침(2007), 건설교통부.
5. Ezar Hauer(2002), “Observational Before-After Studies in Road Safety,” Pergamon, Kidlington, Oxford, UK.
6. Todd Litman(2007), “Generated Traffic and Induced Travel-Implications for Transport Planning,” VIPI. 2007.
7. VTPI(2006), “Online TDM Encyclopedia,” VTPI ([www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)).
8. Robert B. Noland and Lewison L. Lem(2000), “Induced Travel: A Review of Recent Literature and the Implications for Transportation and Environmental Policy,” (available at [www.cts.cv.ic.ac.uk/staff/wp2-noland.pdf](http://www.cts.cv.ic.ac.uk/staff/wp2-noland.pdf)).
9. Robert Noland(2001), “Relationships Between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel,” Transportation Research A, Vol. 35, No. 1, January 2001, pp. 47-72. (available at [www.epa.gov/otaq/transp/hwycap.pdf](http://www.epa.gov/otaq/transp/hwycap.pdf)).
10. Enjian Yao and Takayuki Morikawa(2005), “A Study of An Integrated Intercity Travel Demand Model,” Transportation Research A, Vol. 39, No. 4.

접수일(2008년 12월 29일), 수정일(2009년 3월 25일),  
 게재확정일(2009년 5월 19일)