■ 論 文 ■

거리함수를 이용한 한국 철도산업의 생산특성 및 효율성 분석

Production Characteristics and Efficiency of Korean Railroad Industry using a Distance Function

김 성 호

(인하대학교 경영학과 교수)

목 차

Key Words : 거리함수, 기술효율성, 철도산업, 생산특성, 이차계획법모형
Distance Function, Technical Efficiency, Railroad Industry, Production Charateristics, Quadratic Programming

요 약

우리나라 철도산업의 생산특성과 효율성에 관하여 충분히 검토된 양질의 정보가 축적되기 위해서는 다양한 각도에서 다양한 방법으로 검토가 필요하다. 본 논문에서는 거리함수를 이용한 우리나라 철도산업의 생산특성 및 기술효율성 분석결과를 제시한다. Shephard(1953)가 처음 소개한 거리함수는 가격에 관한 정보를 필요로 하지 않는다. 따라서 가격에 관한 자료를 구하기 어렵거나 또는 공공부문의 경우처럼 가격에 대한 통제가 존재하는 상황에서 효과적인 분석수단이 될 수 있다. 또한 다수투입·다수산출 생산기술을 다룰 수 있으며 생산특성과 효율성을 동시에 분석할 수 있는 장점을 갖고 있다. 한국철도의 1963년부터 2004년까지의 연도별 자료로부터 이차계획법모형을 사용하여 거리함수를 추정하였다. 추정된 기술효율성은 1980년 이후 2004년까지 점진적으로 개선되고 있는 것으로 나타났다. 간접 Morishima대체탄력성 추정결과는 노동을 다른 투입으로 대체하는 것이 매우 어렵거나 또는 불가능한 것으로 나타났다. 평균 규모탄력성은 2.7로 나타났으며 이는 규모를 1% 증가시켰을 때 산출이 2.7% 증가함을 의미한다. 즉 한국철도에 규모의 경제가 존재함을 의미한다.

In order to construct an information pool on the production characteristics and efficiency of Korean railroad industry, various alternative approaches have to be applied. In this paper we present an empirical application of the distance function to measure the technical efficiency and the production characteristics of Korean railroad industry. The distance function firstly introduced by Shephard (1953) provides the advantage that it does not need information about prices, so it can accommodate the multiple output nature of the railway only using the quantities as data. This is of great relevance in the context of the public sector such as railroad industry where there are often distinct control mechanisms on input prices. Also the distance function allows us to obtain a measure of technical efficiency as well as a measure of production characteristics. From annual data on Korean railroad industry during 1964-2004, multiple output distance function is estimated using quadratic programming model. The resulting technical efficiency estimates has tended to be improved over the period 1980~2004. The indirect Morishima elasticities of substitution indicate that the substitutabilities for labor are relatively very low or impossible. The average scale elasticity is 2.7 which means that increasing the scale by 1 per cent will result in an output increase by 2.7 percent. This result indicates that economies of scale are present in the Korean railroad industry.

이 논문은 2004학년도 인하대학교 교수연구진흥비(과제번호: 31418-01)에 의해 연구되었음.

Ⅰ. 서론

철도서비스의 생산담당자와 교통정책담당자에게 철도산업의 생산특성 및 효율성에 관한 이해는 필수적이다. 철도서비스의 생산자 관점에서 생산특성 및 효율성에 관한 정보는 운임 결정, 투자의사결정 또는 효율성 향상전략수립 등에 필요하다. 교통정책담당자의 관점에서는 어떤 정책이나 규제가 시장구조 및 산업성과에 미치는 효과를 평가할 때 필요하다.

철도산업의 생산특성과 효율성은 매우 다양한 방법으로 연구되어왔다. 생산특성은 주로 다수산출을 다루기 쉬운 비용함수(cost function)의 추정을 통해서 분석되었다 (Savage 1997; Andrikopoulos and Loizides 1998; 배양선 1998; Cantos 2000; Loizides and Tsionas 2002; 하헌구・이경미 2002; Mancuso and Reverberi 2003; Mizutani 2004; 박진경・김성수 2004; Wang and Liao 2005)[1]. 효율성은 확정프론티어(deterministic frontier) 및 확률프론티어(stochastic frontier)(Perelman and Pestieau 1988; Kumbhakar 1989; Gathon and Pestieau 1995; Parisio 1999; 유재균・최진석 2000; Cantos and Maudos 2001; Farsi, Filippini, and Greene 2005), 자료포락분석(data envelopment analysis) (Oum and Yu 1994; Cantos, Pastor, and Serrano 1999, 2002; 김성호・홍순흠・최태성 2000; Kwak, Choi, and Kim 2004; 이재훈・정경훈 2004), 거리함수 접근법(distance function approach)(Bosco 1996; Coelli and Perelman 1999, 2000; Banos-Pino, Fernandez-Blanco, and Rodriguez-Alvarez 2002) 등의 방법으로 분석되었다.[2]

우리나라 철도산업의 생산특성과 효율성에 관하여 충분히 검토된 양질의 정보가 축적되기 위해서는 다양한 각도에서 다양한 방법으로 검토할 필요가 있다. Shephard(1953)가 처음 소개한 거리함수는 가격에 관한 정보를 필요로 하지 않는다. 따라서 가격에 관한 자료를 구하기 어렵거나 또는 공공부문의 경우처럼 가격에 대한 통제가 존재하는 상황에서 효과적인 분석수단이 될 수 있다. 비용에 관한 자료 확보의 어려움 때문에 한국철도의 생산특성에 관한 기존의 연구에서는 1977년 이전의 자료를 활용하기 어려웠다. 투입・산출 자료만으로 분석이 가능한 거리함수를 사용하면 철도통계연보의 철도총괄지표에서 확보할 수 있는 1963년부터 최근까지의 연도별 자료를 활용할 수 있다. 즉 거리함수를 사용하면 자유도문제를 완화시킬 수 있을 것이다. 또한 거리함수는 비용최소화 또는 이윤최대화와 같은 기업행동을 가정하지 않고도 다수투입・다수산출 생산기술을 다룰 수 있으며 생산특성과 효율성을 동시에 분석할 수 있는 장점을 갖고 있다. 본 논문에서는 거리함수를 사용하여 우리나라 철도산업의 생산특성과 효율성을 검토하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서 거리함수를 활용한 국외 연구 및 국내 선행연구를 검토하고 기존 선행연구와 본 연구가 구별되는 특징을 제시한다. 제3절에서 생산기술의 표현방법, 거리함수의 개념 및 추정방법 그리고 거리함수의 추정결과로부터 유도되는 효율성 및 생산특성에 관한 이론을 설명한다. 거리함수의 추정방법은 동차성 및 단조성을 제약조건으로 쉽게 반영할 수 있는 이차계획법을 사용한다. 제4절에서는 분석에 사용한 표본자료의 특성을 설명하고 분석결과를 제시한다. 마지막으로 제5절에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 국내・외 선행연구

거리함수를 활용하여 철도산업의 효율성을 분석한 국외연구는 Bosco(1996), Coelli and Perelman(1999, 2000), Banos-Pino et al.(2002) 등이 있다. Bosco(1996)와 Banos-Pino et al.(2002)는 철도운영기관의 배분효율성(allocative efficiency)을 분석하였고 Coelli and Perelman(1999, 2000)는 철도운영기관의 기술효율성(technical efficiency)을 분석하였다. Bosco(1996)는 1971년부터 1987년까지 17년간의 영국, 서독, 프랑스, 이탈리아 철도의 패널자료로부터 초월대수투입거리함수를 사용하여 나타낸 비용점유율 연립방정식을 추정하고 각 철도운영기관의 배분효율성을 분석하였다. Banos-Pino et al.(2002)는 1955년부터

---

1) 1980년부터 1995년까지의 기간에 수행된 철도를 포함한 교통분야의 비용함수연구에 관한 문헌검토는 Oum and Waters(1996)을 참조할 수 있다.

2) 최근까지 수행된 국내・외의 연구들을 검토하여 사용된 접근방법을 분류하고 실증분석내용을 비교검토하는 문헌리뷰연구를 진행하고 있다. 이러한 연구를 통하여 향후 국내의 철도산업의 생산특성 및 효율성에 관하여 다양한 각도에서 다양한 방법으로 충분히 검토된 양질의 정보가 축적되기 위해 필요한 연구방향을 설정할 수 있다. 본 논문은 철도산업 문헌리뷰의 과정에서 설정한 방향에 근거하여 수행되었다.

1995년까지 41년간의 RENFE(스페인의 철도운영기관)의 비용 및 운영에 관한 연도별 자료로부터 투입거리함수와 비용점유율방정식으로 구성된 연립방정식을 Zellner의 SUR (seemingly unrelated regression)추정법으로 추정하고 RENFE의 배분효율성을 분석하였다. Coelli and Perelman(1999, 2000)는 1988년부터 1993년까지 6년간의 17개 유럽 철도운영기관의 투입·산출에 관한 패널자료로부터 투입거리함수와 산출거리함수를 추정하고 이들 철도운영기관들의 기술효율성을 분석하였다.

한편 배양선(1998), 하헌구·이경미(2002), 박진경·김성수(2004) 등은 우리나라 철도산업의 생산특성을 비용함수를 추정하여 분석한 바 있다. 배양선(1998)은 1977년부터 1996년까지 20년간의 한국철도의 비용 및 운영에 관한 연도별 (20개 관측 값으로 구성된) 자료로부터 초월대수비용함수(translog cost function)를 추정하고 투입요소의 대체탄력성과 규모의 경제성을 검토하였다. 검토결과 90년 이후 노동과 자본에 약한 대체성이 존재하고 대부분의 투입요소가 독립적이거나 보완관계에 있음을 밝혔다. 또한 90년 이후 규모의 경제가 줄어드는 양상을 보이며 96년에는 매우 약한 규모의 경제가 존재함을 밝혔다. 배양선(1998)의 연구는 20년간의 시계열자료를 이용하고 있는데 이정도의 표본 수는 초월대수비용함수를 추정하는데 필요한 표본수에 부족한 자유도문제를 가지고 있다. 하헌구·이경미(2002)는 자유도문제를 극복하기 위하여 노선별 자료를 통합(pooling)하여 사용하였다. 이들은 1990년부터 1999년까지 10개년의 19개 노선의 비용 및 운영에 관한 연도별 (190개 관측 값으로 구성된) 자료로부터 초월대수비용함수를 추정하고 산업평균 투입·산출 수준에서 규모의 경제가 존재함을 밝힌 바 있다. 그런데 하헌구·이경미(2002)는 한국철도의 노선별 투입요소비용자료의 확보를 위해 기능별/노선별 비용을 투입요소별/노선별 비용으로 전환하였으며 이로 인하여 노선별 투입요소비용의 비중이 각 연도의 기능별 총비용의 비중으로 평균화되는 문제점을 가지고 있다. 박진경·김성수(2004)는 1977년부터 2002년까지 26년간의 한국철도의 비용 및 운영에 관한 연도별 자료로부터 초월대수비용함수가 포함된 연립방정식모형을 Zellner의 SUR추정법으로 추정하고 규모의 경제성 및 범위의 경제성을 검토하였다. 검토결과 분석대상기간에서 큰 규모의 경제 및 범위의 경제가 존재함을 밝혔다.

유재균·최진석(2000)은 확률프론티어를 사용하여 그리고 김성호·홍순흠·최태성(2000), 이재훈·정경훈(2004) 등은 자료포락분석을 사용하여 우리나라 철도산업의 효율성을 분석하였다. 유재균·최진석(2000)은 1980년부터 1999년까지 20년간의 한국철도의 수입 및 비용에 관한 연도별 (20개 관측값으로 구성된) 자료로부터 방사동조생산함수(ray-homothetic production function)를 수정최소자승법(corrected ordinary least squares)으로 추정하고 효율성을 분석하였다. 이들이 제시한 결과에서는 80년대와 비교하여 90년대 한국철도의 기술효율성이 개선되고 있는 반면 규모효율성은 악화되고 있는 것으로 나타났다. 김성호·홍순흠·최태성(2000)은 우리나라를 포함한 23개 세계철도협회(UIC)회원국의 1997년도 투입·산출 자료로부터 자료포락분석모형을 사용하여 상대적 운영효율성을 평가하였다. 평가결과 우리나라는 일본, 스웨덴, 우크라이나 등과 더불어 상대적으로 효율적인 상태에서 운영되고 있는 것으로 나타났다. 이재훈·정경훈(2004)은 1981년부터 2002년까지 22년간의 한국철도의 운영 및 수입에 관한 연도별 자료로부터 자료포락분석을 사용하여 운영효율성과 경영효율성을 평가하였다. 평가결과 운영효율성은 점진적으로 개선되고 있으나 경영효율성은 지속적으로 하락하고 있는 것으로 나타났다.

우리나라 철도산업의 생산특성에 관한 기존 연구는 비용함수만을 사용해 왔다. 본 연구는 거리함수를 사용하여 우리나라 철도산업의 생산특성을 분석한 첫 번째 연구라는 의미를 갖는다. 또한 투입·산출 자료만으로 분석이 가능한 거리함수를 사용함으로서 기존연구에서 검토된 바 없는 기간의 자료를 포함하여 1963년부터 2004년까지의 자료로부터 한국 철도의 생산특성과 효율성을 분석하였다.

Ⅲ. 생산기술과 거리함수

1. 생산기술의 표현방법

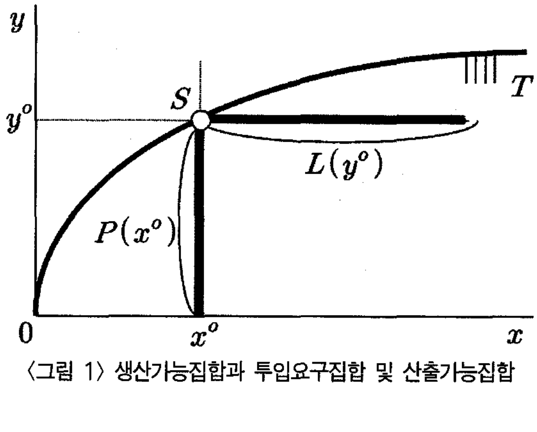
생산가능성(production possibilities)은 기술적(물리적)으로 실행가능한 생산계획(production plan)[3]을 의한다. 투입벡터를 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, ..., x_m) \in \mathbb{R}_+^m$이라 하

3) 생산계획은 문헌에 따라 투입·산출조합(input-output combinations) 또는 청사진(blueprint)으로 지칭되기도 한다.

고 산출벡터를 $\mathbf{y}=(y_1,y_2,\ldots,y_s)\in\mathbb{R}^s_+$이라 하자. 투입 $\mathbf{x}$를 사용해서 산출 $\mathbf{y}$를 생산하는 것이 기술적으로 실행가능할 때 생산계획 $(\mathbf{x},\mathbf{y})$는 하나의 생산가능성이 된다. 생산가능집합(production possibility set)은 기술적으로 실행가능한 모든 생산계획 즉 모든 생산가능성들의 집합이며

$$T=\{(\mathbf{x},\mathbf{y})\,|\,\mathbf{x}\text{로 }\mathbf{y}\text{를 생산 가능함}\} \tag{1}$$

로 정의할 수 있다. 이 집합은 일반적으로 단조성(monotonicity), 볼록성(convexity)을 만족하는 유계폐집합(bounded and closed set)으로 가정된다(Varian 1992, Färe and Primont 1995). 생산가능집합은 투입요구집합 또는 산출가능집합으로 나타낼 수도 있다. 투입요구집합(input requirement set) $L(\mathbf{y})$은 적어도 산출 $\mathbf{y}$이상을 생산하기 위해 필요한 모든 실행가능한 투입 $\mathbf{x}$들의 집합을 의미하며 산출가능집합(output possibility set) $P(\mathbf{x})$은 주어진 투입 $\mathbf{x}$ 이하로 투입을 사용하여 생산가능한 모든 산출 $\mathbf{y}$의 집합을 의미한다. 〈그림 1〉은 생산가능집합 T, 투입요구집합 $L(\mathbf{y})$, 산출가능집합 $P(\mathbf{x})$의 관계를 m(투입요소의 수)$=s$(산출물의 수)$=1$의 상황에서 나타낸 것이다. 〈그림 1〉에서 생산가능집합 T는 x축과 곡선으로 형성되는 영역이다. 투입량이 x^o으로 주어지는 경우 여기에 대응되는 산출가능집합 $P(x^o)$은 y축 상의 유계폐구간 $[0,y^o]$이 된다. y^o를 생산하기 위한 투입요구집합 $L(y^o)$은 x축 상의 반유계폐구간 $[x^o,\infty)$이 된다.



〈그림 1〉 생산가능집합과 투입요구집합 및 산출가능집합

2. 거리함수와 효율성 및 생산특성

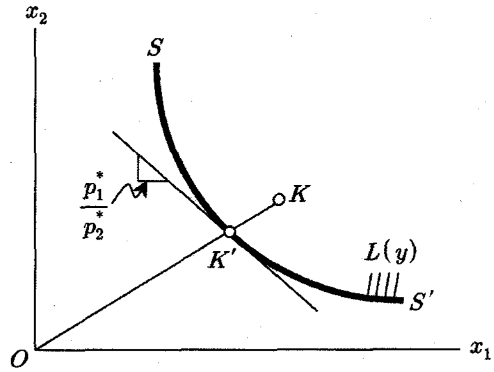
거리함수는 투입요구집합에서 정의한 투입거리함수를 사용할 수도 있고 산출가능집합에서 정의한 산출거리함수를 사용할 수도 있다.[4] 기술효율성이나 규모특성은 투입거리함수로 정의할 수도 있고 산출거리함수로 정의할 수도 있다. 한편 투입요소의 대체탄력성은 투입거리함수의 일계편도함수 및 이계편도함수로 정의된다. 따라서 본 논문에서는 투입거리함수를 사용한다.

Shephard(1953)는 투입거리함수를 투입벡터 $\mathbf{x}$와 산출벡터 $\mathbf{y}$를 실선에 사영시키는 함수

$$D(\mathbf{x},\mathbf{y})=\max\{\theta:(\mathbf{x}/\theta)\in L(\mathbf{y})\} \tag{2}$$

로 정의하였다.

〈그림 2〉는 2투입 · 1산출 상황에서 산출 y를 생산할 수 있는 투입 $\mathbf{x}=(x_1,x_2)$들의 집합 $L(y)$을 나타낸 것이다. 곡선 SS'는 $L(y)$의 프론티어이며 〔그림 1〕의 점 S에 대응되는 등량선(isoquant)으로 $IsoqL(\mathbf{y})$로 나타낸다.



〈그림 2〉 투입요구집합 $L(y)$와 투입거리함수

철도회사 K의 투입거리함수의 값은 OK/OK'가 되며 이 값의 역수는 Farrell(1957)의 투입방향 기술효율성(technical efficiency)과 같다. 철도회사 K의 투입벡터가 $L(y)$에 속해 있으면 K의 투입거리함수의 값은 항상 1보다 크거나 같다. 즉 $\mathbf{x}\in L(\mathbf{y})\Rightarrow D(\mathbf{x},\mathbf{y})\geq 1$이다. 그리고 K의 투입벡터가 $IsoqL(\mathbf{y})$에 속해 있으면 K의 투입거리함수의 값은 1과 같다. 즉 $\mathbf{x}\in IsoqL(\mathbf{y})\Rightarrow D(\mathbf{x},\mathbf{y})=1$이

4) 투입거리함수는 산출벡터가 주어진 상태에서 투입벡터의 최소비례축소수준(minimal proportional contraction)을 나타내며 산출거리함수는 투입벡터가 주어진 상태에서 산출벡터의 최대비례확대수준(maximal proportional expansion)을 나타낸다.

다. 생산가능집합이 단조성과 볼록성을 만족하면 투입거리함수 $D(\mathbf{x},\mathbf{y})$는 $\mathbf{x}$에 관하여 비감소(non-decreasing)이고 일차동차(linearly homogeneous)이며 오목(concave)이다. 그리고 $\mathbf{y}$에 관하여 비증가(non-increasing)이다(McFadden 1978, Fuss, McFadden, and Mundlak 1978, Färe and Primont 1995).

거리함수는 철도회사의 기술효율성 수준의 추정 뿐 아니라 철도회사 생산기술의 대체속성 및 규모특성 등과 같은 생산특성을 추정하는데도 사용할 수 있다. 거리함수와 비용함수가 다음과 같은 쌍대성을 가짐을 증명할 수 있다(Färe and Primont 1995, pp. 44~51).

$$D(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \min_{\mathbf{p}}\{\mathbf{px} \mid C(\mathbf{p},\mathbf{y}) \geq 1\} \tag{3}$$

$$C(\mathbf{p},\mathbf{y}) = \min_{\mathbf{x}}\{\mathbf{px} \mid D(\mathbf{x},\mathbf{y}) \geq 1\} \tag{4}$$

거리함수와 비용함수의 쌍대성과 셰파드의 보조정리(Shephard's lemma)로부터 투입요소에 관한 투입거리함수의 일계편도함수는 해당 투입요소의 잠재가격(shadow price)을 총비용으로 나눈 값이 된다(Blackorby and Russell 1981 p.153, Färe and Grosskopf 1990). 즉

$$D_i^x = \frac{\partial D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial x_i} = \frac{p_i^*}{C},\ \ i=1,2,\dots m \tag{5}$$

이다. 여기서 p_i^*는 투입요소 i의 잠재가격을 나타내고 C는 총비용을 나타낸다. 따라서 두 가지 투입요소의 잠재가격의 비율은 등량선의 기울기 즉 한계기술대체율(marginal rate of technical substitution)로 해석할 수 있다. 즉

$$\frac{D_h^x}{D_i^x} = \frac{p_h^*}{p_i^*} = MRTS_{hi} \tag{6}$$

이다. 〈그림 2〉에서 곡선 SS'의 점 K'에서의 접선의 기울기는 철도회사 K의 두 투입요소의 한계기술대체율로 볼 수 있다. 식 (6)의 비율을 사용해서 간접Morishima 대체탄력성(indirect Morishima elasticity of substitution: IMES)을 다음과 같이 정의할 수 있다(Blackorby and Russell 1981, 1989, Grosskopf, Margaritis, and Valdmanis 1995, Grosskopf, Hayes, and Hirschberg 1995).

$$IMES_{hi} = -\frac{d\left[\ln\left(\frac{D_h^x(\mathbf{x}/x_i,\mathbf{y})}{D_i^x(\mathbf{x}/x_i,\mathbf{y})}\right)\right]}{d\left[\ln\left(\frac{x_h}{x_i}\right)\right]} = \frac{x_h D_{hi}^x(\mathbf{x},\mathbf{y})}{D_i^x(\mathbf{x},\mathbf{y})} - \frac{x_h D_{hh}^x(\mathbf{x},\mathbf{y})}{D_h^x(\mathbf{x},\mathbf{y})} \tag{7}$$

여기서 $D_{hi}^x(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \partial^2 D(\mathbf{x},\mathbf{y})/(\partial x_i \partial x_h)$, $D_{hh}^x(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \partial^2 D(\mathbf{x},\mathbf{y})/(\partial x_h \partial x_h)$를 나타냄

$IMES_{hi}$는 투입요소 i를 투입요소 h로 대체하기 위해 요구되는 투입요소의 상대적 잠재가격의 변화량을 나타낸다. $IMES_{hi}$의 값이 크다는 것은 대체에 필요한 상대적 잠재가격의 변화가 커야 한다는 것이며 이는 대체가능성이 낮음을 의미한다. 식 (7)로부터 알 수 있듯이 일반적으로 $IMES_{hi} \neq IMES_{ih}$이다.

거리함수의 일계편도함수를 사용하여 규모탄력성(scale elasticity)을

$$SE = \left[-\sum_{r=1}^{s} \frac{\partial \ln D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial \ln y_r}\right]^{-1} \tag{8}$$

와 같이 정의할 수 있다(Färe and Primont 1995). SE의 값이 1보다 크면 체증규모수익을 의미하며 SE의 값이 1보다 작으면 체감규모수익을 의미한다.

3. 거리함수의 추정

관찰된 표본자료로부터 거리함수를 추정하려면 적절한 함수형이 필요하다[5]. 콥더글러스함수형은 적은 수의 모수로 생산기술을 나타낼 수 있다는 장점을 갖는 반면 표현할 수 있는 대체속성 및 규모특성이 매우 제약적이라는 단점을 갖는다. 초월대수함수형은 이러한 단점을 갖지 않는다. m투입 · s산출의 초월대수투입거리함수는

5) 자료포락분석은 명시적인 함수형(functional form)을 사용하지 않고 거리함수의 값 즉 효율성을 추정하는 비모수적 방법(nonparametric method)이라고 할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
&\ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j) = \\
&\quad \alpha_0 + \sum_{r=1}^{s} \alpha_r \ln y_{jr} + \frac{1}{2}\sum_{q=1}^{s}\sum_{r=1}^{s} \alpha_{qr} \ln y_{jq} \ln y_{jr} \\
&\quad + \sum_{i=1}^{m} \beta_i \ln x_{ji} + \frac{1}{2}\sum_{h=1}^{m}\sum_{i=1}^{m} \beta_{hi} \ln x_{jh} \ln x_{ji} \\
&\quad + \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} \gamma_{ir} \ln x_{ji} \ln y_{jr}, \ j=1,2,\ldots,n \qquad (9)
\end{aligned}
$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 j=관측값을 나타내는 index, q,r=산출물을 나타내는 index, h,i=투입요소를 나타내는 index, n=관측값의 수, m=투입요소의 수, s=산출물의 수, x_{ji}=j번째 관측값의 i번째 투입요소량, y_{jr}=j번째 관측값의 r번째 산출량 등이다. α_0, α_r, α_{qr}, β_i, β_{hi}, γ_{ir}는 찾아야 할 미지의 모수이다. 식 (9)의 모수적 거리함수는 수정최소자승법(corrected ordinary least squares), 확률프론티어분석(stochastic frontier analysis) 등의 계량경제학적 방법으로 추정하거나 또는 수리계획법(mathematical programming)으로 추정할 수 있다. 거리함수의 일차동차성은 계량경제학적 방법이나 수리계획법에서 모두 쉽게 반영할 수 있다[6]. 한편 거리함수의 단조성(비증가/비감소 특성)은 계량경제학적 방법에서 반영하기 어려운 반면 수리계획법에서는 쉽게 반영할 수 있다. 식 (9)의 거리함수는 모수를 결정변수로 하는 다음과 같은 이차계획법모형(quadratic programming model)[7]의 최적해를 구하여 추정할 수 있다(Aigner and Chu 1968, Grosskopf, Margaritis, and Valdmanis 1995).

$$\text{Minimize} \ \sum_{j=1}^{n} d_j^2 \qquad (10a)$$

subject to

$$d_j = \sum_{j=1}^{n} \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j), \ j=1,2,\ldots,n \qquad (10b)$$

$$d_j \geq 0, \ j=1,2,\ldots,n \qquad (10c)$$

$$\frac{\partial \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial \ln x_{ji}} \geq 0, \ i=1,2,\ldots,m, \ j=1,2,\ldots,n \qquad (10d)$$

$$\frac{\partial \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial \ln y_{jr}} \leq 0, \ r=1,2,\ldots,s, \ j=1,2,\ldots,n \qquad (10e)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \beta_i = 1 \ (10f)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \beta_{hi} = 0, \ h=1,2,\ldots,m \qquad (10g)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \gamma_{ir} = 0, \ r=1,2,\ldots,s \qquad (10h)$$

$$\alpha_{qr} = \alpha_{rq}, \ q=1,2,\ldots,s, \ r=1,2,\ldots,s \qquad (10i)$$

$$\beta_{hi} = \beta_{ih}, \ h=1,2,\ldots,m, \ i=1,2,\ldots,m \qquad (10j)$$

목적함수 (10a)는 관측값이 투입요구집합의 프론티어로부터 떨어져 있는 거리의 제곱합을 최소화 하는 것이다. 제약조건 (10b)는 관측값이 투입요구집합의 프론티어로부터 떨어져 있는 거리를 나타낸다. 관측값 j의 거리함수의 값은 $\ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)$이고 프론티어의 거리함수의 값은 $\ln 1 = 0$이며 관측값 j가 프론티어로부터 떨어져 있는 거리는 $[\ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j) - \ln 1] = \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)$이다. 제약조건 (10c)는 거리함수의 자연로그값이 0보다 크거나 같아야 한다는 것이며 이는 거리함수의 값이 1보다 크거나 같도록 제약한다.

투입거리함수는 $\mathbf{x}$에 관하여 비감소이고 $\mathbf{y}$에 관하여 비증가이어야 한다. 투입거리함수가 $\mathbf{x}$에 관하여 비감소이려면

$$
\begin{aligned}
D_i^{x,j} &= \frac{\partial D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial x_{ji}} \\
&= \frac{\partial \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial \ln x_{ji}} \frac{D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{x_{ji}} \geq 0, \qquad (11) \\
& i=1,2,\ldots,m, \ j=1,2,\ldots,n
\end{aligned}
$$

이어야 하며 투입거리함수가 $\mathbf{y}$에 관하여 비증가이려면

$$
\begin{aligned}
D_r^{y,j} &= \frac{\partial D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial y_{jr}} \\
&= \frac{\partial \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{\partial \ln y_{jr}} \frac{D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)}{y_{jr}} \leq 0, \qquad (12) \\
& r=1,2,\ldots,s, \ j=1,2,\ldots,n
\end{aligned}
$$

이어야 한다. 식(11)과 식(12)에서 거리함수 $D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)$는 항상 1보다 크고 x_{ji}와 y_{jr}도 항상 0보다 크

6) 계량경제학적 방법에서 거리함수의 일차동차성을 반영하는 방법은 Coelli and Perelman(1999)를 참조할 수 있음.
7) 이 모형은 Aigner and Chu(1968)가 제시한 이차계획법모형을 Grosskopf, Margaritis, and Valdmanis(1995)에서 제시된 제약조건을 반영하여 수정한 것임.

므로 제약조건 (10d)는 거리함수가 투입요소에 관하여 비감소이도록 제약하며 (10e)는 거리함수가 산출에 관하여 비증가이도록 제약한다. 제약조건 (10f), (10g), (10h)는 식(9)의 투입거리함수가 일차동차성을 갖도록 하기 위한 것이며 제약조건 (10i), (10j)는 이차항계수의 대칭성이 보장되도록 하기 위한 것이다.

식(10a)~(10j)은 결정변수가 $(m^2+m+s^2+s+ms+n+1)$개이고 제약조건이 $[m^2+m+s^2+s+n(m+s+2)+1]$개인 이차계획법모형이다. 식 (10a)~(10j)의 이차계획법모형의 최적해를 α_0^*, α_r^*, α_{qr}^*, β_i^*, β_{hi}^*, γ_{ir}^*이라 하자. 이 값으로 j번째 관측값의 간접Morishima 대체탄력성 $IMES_{hi}^j$과 규모탄력성 SE^j의 값을 계산할 수 있는데 $IMES_{hi}^j$와 SE^j을 구하기 위한 공식에서 투입에 대한 거리함수의 탄력성과 산출에 대한 거리함수의 탄력성이 중요한 요소로 작용한다. 투입 i에 대한 거리함수의 탄력성 ϵ_i^x은

$$\epsilon_i^x = \frac{\partial \ln D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial \ln x_i} = \left(\beta_i^* + \sum_{h=1}^{m} \beta_{hi}^* \ln x_h + \sum_{r=1}^{s} \gamma_{ir}^* \ln y_r\right) \tag{13}$$

으로 나타낼 수 있고 산출 r에 대한 거리함수의 탄력성 ϵ_r^y은

$$\epsilon_r^y = \frac{\partial \ln D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial \ln y_r} = \left(\alpha_r^* + \sum_{q=1}^{s} \alpha_{qr}^* \ln y_q + \sum_{i=1}^{m} \gamma_{ir}^* \ln x_i\right) \tag{14}$$

으로 나타낼 수 있다(편의상 관측값을 나타내는 첨자 j는 생략하였음).

투입에 대한 거리함수의 일계편도함수 및 이계편도함수는

$$D_h^x(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \frac{\partial D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial x_h} = \frac{\partial \ln D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial \ln x_h}\frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_h} = \epsilon_h^x \frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_h}$$

$$D_i^x(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \frac{\partial D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial x_i} = \frac{\partial \ln D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial \ln x_i}\frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_i} = \epsilon_i^x \frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_i}$$

$$\begin{aligned} D_{hi}^x(\mathbf{x},\mathbf{y}) &= \frac{\partial^2 D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial x_i \partial x_h} = \frac{\partial D_h^x(\mathbf{x},\mathbf{y})}{\partial x_i} \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\epsilon_h^x \frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_h}\right] \\ &= \left(\beta_{hi}^* + \epsilon_h^x \epsilon_i^x - \delta_{hi}\epsilon_h^x\right)\left[\frac{D(\mathbf{x},\mathbf{y})}{x_h x_i}\right] \end{aligned}$$

등 이고 이계편도함수 $D_{hi}^x(\mathbf{x},\mathbf{y})$에서 $h=i$이면 $\delta_{hi}=1$이고 $h \neq i$이면 $\delta_{hi}=0$이다. 따라서 식 (7)의 간접 Morishima대체탄력성은

$$\begin{aligned} IMES_{hi} &= \frac{x_h D_{hi}^x(\mathbf{x},\mathbf{y})}{D_i^x(\mathbf{x},\mathbf{y})} - \frac{x_h D_{hh}^x(\mathbf{x},\mathbf{y})}{D_h^x(\mathbf{x},\mathbf{y})} \\ &= \frac{\beta_{hi}^* + \epsilon_h^x \epsilon_i^x}{\epsilon_i^x} - \frac{\beta_{hh}^* + \epsilon_h^x \epsilon_h^x - \epsilon_h^x}{\epsilon_h^x} \end{aligned} \tag{15}$$

이 된다.

식 (8)의 규모탄력성은 산출 r에 대한 거리함수의 탄력성 ϵ_r^y을 합계하여

$$SE = \left[-\sum_{r=1}^{s} \epsilon_r^y\right]^{-1} \tag{16}$$

로 구할 수 있다.

Ⅳ. 자료 및 분석결과

1. 자료

자료는 철도통계연보에 수록되어 있는 철도총괄지표에서 수집하였다. 1963년부터 2004년까지 42년간의 연도별 자료로 42개의 관측값을 구성하였다. 산출은 여객(y_1)과 화물(y_2)로 정의하였고 투입은 노동(x_1), 자본(x_2), 장비(x_3)로 정의하였다[8]. 여객은 각 여객이 여행한 거리를 합계한 여객킬로미터(passenger-km)로 측정하였고 화물은 화물1톤을 단위로 할 때 각 단위화물의

8) 분석대상기간에서 동력(에너지)요소에 관한 연도별 자료를 확보할 수 없었음. Coelli and Perelman(2000)에서는 기관차, 동차 등의 장비가 동력요소와 밀접한 상관관계를 가지며 따라서 동력요소를 생략함으로 인한 편의가 크지 않을 것으로 판단하여 동력요소를 투입요소에서 생략한 바 있음. 본 논문에서도 Coelli and Perelman(2000)와 같은 판단하에서 동력요소를 생략하였음.

수송거리를 모두 합계한 톤킬로미터(ton-km)로 측정하였다. 노동(labor)은 직원수로 측정하였고 장비(equipment)는 기관차, 동차, 객차 및 화차 등 차량의 수로 측정하였다. 자본(capital)은 궤도의 총길이를 대용치로 삼아 측정하였다. 〈표 1〉은 투입·산출 변수의 요약통계량을 나타낸 것이다.

〈표 1〉 투입·산출 변수의 요약통계량

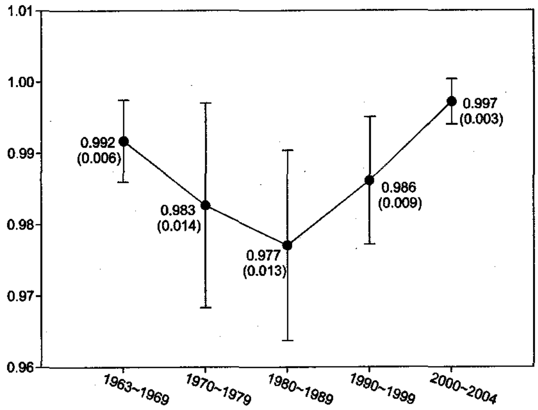
		여객 a	톤키로 b	직원수 (명)	자본 (km)	장비 (대)
1963 ~2004	평균	20,920	10,435	33,051	6,077	17,369
	표준편차	8,833	2,865	2,461	681	1,930
1963 ~1969	평균	8,693	5,682	30,560	5,059	13,871
	표준편차	1,783	1,143	3,286	272	1,516
1970 ~1979	평균	13,520	9,192	33,556	5,635	18,295
	표준편차	4,506	1,368	897	120	789
1980 ~1989	평균	23,175	12,173	33,954	6,233	18,835
	표준편차	2,142	1,133	1,162	162	403
1990 ~1999	평균	30,397	13,108	34,870	6,551	17,747
	표준편차	1,467	1,643	1,732	80	1,131
2000 ~2004	평균	29,375	10,755	30,086	7,129	16,724
	표준편차	3,013	210	1,227	473	544

a : 백만 여객km, b : 백만 톤km

투입거리함수의 모수값을 추정하기 전에 각 변수의 값을 평균으로 나누어 정규화하였다[9].

2. 분석결과

한국철도의 1963년부터 2004년까지 42년간의 연도별 자료로부터 식(9)에 나타낸 투입거리함수를 식(10a)~(10j)의 이차계획법모형으로 추정하였다. 3투입·2산출($m=3,\ s=2$)이고 관측값이 42개($n=42$)이므로 이차계획법모형의 결정변수는 67개이고 제약조건은 313개이다. 최적해는 AMPL(Fourer, Gay, and Kernighan 1993)을 사용하여 계산하였다.[10] 식(10a)~(10j)의 이차계획법모형으로 거리함수의 모수와 더불어 각 관측값의 거리함수의 값 $d_j = \ln D^j(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)$, $j=1,2,\ldots,n$을 구할 수 있다. 이 값을 $[\mathrm{Exp}(d_j)]^{-1}$으로 변환하면 Farrell의 기술효율성이 된다. 〈그림 3〉은 1963년부터 2004년까지를 5개의 기간으로 나누어 각 기간별 기술효율성의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 그림에서 점 옆에 있는 수는 기술효율성의 평균이고 괄호안의 수는 표준편차이며 점을 통과하는 수직방향의 막대는 표준편차를 그림으로 나타낸 것이다.



〈그림 3〉 기술효율성 추정치

〈그림 3〉의 기술효율성 추정치를 살펴보면 60년대에 0.992로 높은 수준의 기술효율성을 나타내었고 이후 70년대와 80년대에 걸쳐 0.983과 0.977로 기술효율성이 낮아졌다가 90년대와 2000년대에 들어서 0.986과 0.997로 다시 높아지는 양상을 나타내었다. 80년대 이후 90년대와 2000년대 초반에 걸쳐 기술효율성이 높아지는 경향은 유재균·최진석(2000)에서 1980년부터 1999년까지의 자료로부터 밝힌 기술효율성의 개선경향과 일치하는 결과이며 또한 이재훈·정경훈(2004)이 1981년부터 2002년까지의 자료로부터 밝힌 운영효율성의 점진적 개선과도 일치하는 결과이다.

〈표 2〉는 투입거리함수의 추정된 모수값을 나타낸 것이다. 투입거리함수가 가져야 할 특성 중에서 $\mathbf{x}$에 관하여 비감소(non-decreasing)이고 일차동차(linearly homogeneous)이며 $\mathbf{y}$에 관하여 비증가(non- increasing)인 특성은 모수를 추정하기 위한 방법 즉 식 (10a)~(10j)의 이차계획법모형에서 제약조건으로 규정하였다. 따라서 이들 특성은 자동적으로 충족된다. $\mathbf{x}$에 관한 비감소 및 $\mathbf{y}$에 관한 비증가 즉 단조성은 자동적으로 만족되므로 투입거리함수의 일계편도함수를 사용하여 측정된 생산특성 즉 규모

9) 거리함수의 독립변수 즉 모든 투입·산출변수에 로그를 취하기 전에 각 변수값을 평균으로 나누어 정규화하면 식 (9)의 초월대수함수형으로 근접시킨 거리함수에서 편리하게 탄력성을 계산할 수 있다(Christensen et al. 1973).
10) 투입거리함수 추정을 위한 이차계획법모형의 AMPL 코드는 저자에게 요청하여 구할 수 있음.

탄력성은 타당성이 보장된다. 한편 투입거리함수가 x에 관하여 오목(concave)인 특성은 모수추정과정에서 제약조건으로 반영되어 있지 않으므로 자료에서 만족할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. x에 관한 오목성은 x에 관한 이계편도함수로 구성된 헤시안행렬(Hessian matrix)이 부의 준정부호성(negative semidefinite)을 가짐을 의미한다. 따라서 만약 이 특성이 만족되지 못한다면 투입거리함수의 x에 관한 이계편도함수를 사용하여 측정하는 생산특성은 타당성을 갖지 못하게 된다. 분석대상인 42개 관측값에 대하여 x에 관한 오목성을 검토한 결과 76%인 32개 관측값에서 만족하고 있는 것으로 나타나 이계편도함수를 사용하여 측정한 생산특성이 비교적 타당함을 보여주었다.

〈표 2〉 투입거리함수 추정결과

변수	항	계수	추정치
	상수항	α_0	0.0177
(여객)	$\ln y_1$	α_1	-0.0239
(화물)	$\ln y_2$	α_2	-0.2185
(여객)2	$(\ln y_1)^2$	α_{11}	-0.0203
(화물)2	$(\ln y_2)^2$	α_{22}	0.1170
(여객)(화물)	$\ln y_1 \ln y_2$	α_{12}	-0.0082
(노동)	$\ln x_1$	β_1	0.2380
(자본)	$\ln x_2$	β_2	0.5150
(장비)	$\ln x_3$	β_3	0.2514
(노동)2	$(\ln x_1)^2$	β_{11}	-0.6719
(자본)2	$(\ln x_2)^2$	β_{22}	-1.4130
(장비)2	$(\ln x_3)^2$	β_{33}	-0.0251
(노동)(자본)	$\ln x_1 \ln x_2$	β_{12}	1.0299
(노동)(장비)	$\ln x_1 \ln x_3$	β_{13}	-0.3580
(자본)(장비)	$\ln x_2 \ln x_3$	β_{23}	0.3831
(노동)(여객)	$\ln x_1 \ln y_1$	γ_{11}	-0.0603
(노동)(화물)	$\ln x_1 \ln y_2$	γ_{12}	0.3513
(자본)(여객)	$\ln x_2 \ln y_1$	γ_{21}	-0.0124
(자본)(화물)	$\ln x_2 \ln y_2$	γ_{22}	-0.5388
(장비)(여객)	$\ln x_3 \ln y_1$	γ_{31}	0.0727
(장비)(화물)	$\ln x_3 \ln y_2$	γ_{32}	0.1875

식 (7)과 (15)의 간접Morishima대체탄력성 $IMES_{hi}$는 x_i(예를 들어 노동)를 x_h(예를 들어 장비)로 대체하는 경우 즉 x_h/x_i을 증가시키는 경우 상대적인 잠재가격이 얼마나 변해야 하는가를 말해준다. 이는 비용최소화의 전제하에서 노동을 장비로 대체하려면 노동에 대한 장비의 (잠재)가격이 얼마나 변해야 하는가를 나타낸다. 따라서 $IMES_{hi}$이 높다는 것은 x_i를 x_h로 대체하는 것이 어려움을 나타낸다. 〈표 3〉은 산업평균의 투입·산출 수준에서 평가한 간접Morishima대체탄력성을 나타낸 것이다[11].

〈표 3〉 간접Morishima대체탄력성

h	i	$IMES_{hi}$
노동	자본	5.8398
자본	노동	8.0942
노동	장비	2.3987
장비	노동	-0.4043
자본	장비	5.2912
장비	자본	1.8500

〈표 3〉의 간접Morishima대체탄력성을 살펴보면 노동을 다른 투입으로 대체하는 것이 가장 어렵거나 또는 불가능한 것으로 나타나 났다. 노동을 자본으로 대체하는 경우의 $IMES_{hi}$는 8.0942로 나타났는데 이는 비용최소화의 전제하에서 노동에 대한 자본의 투입비율을 1% 증가시키려면 노동에 대한 자본의 (잠재)가격이 8.0842%만큼 변해야 함을 의미한다. 노동을 장비로 대체하는 경우의 $IMES_{hi}$는 0보다 작은 값으로 대체가 가능하지 않음을 보여주고 있다.

〈표 4〉는 식 (8)로 계산한 규모탄력성의 각 기간별 평균과 표준편차를 나타낸 것이다.

〈표 4〉 규모탄력성

기간	평균	표준편차
1963~2004	4.355	0.960
1963~1969	3.840	0.691
1970~1979	5.436	0.230
1980~1989	4.685	0.247
1990~1999	4.130	0.731
2000~2004	2.703	0.280

전체기간의 규모탄력성 평균은 4.355로 1보다 비교적 큰 값이며 따라서 전체기간에 대하여 규모의 경제가 비교적 크게 존재함을 나타낸다. 박진경·김성수(2004)는 1977년부터 2002년까지의 자료로부터 규모탄력성을 3.815로 추정한 바 있으며 이는 본 연구에서 같은 기간에 대하여 추정한 규모탄력성과 매우 근접

11) 투입거리함수의 투입에 관한 오목성이 모든 관측값에서 100%만족하지 못하여 비정상적인 이계편도함수의 값이 나타나는 관측값들이 존재한다. 이 때문에 산업평균의 투입·산출 수준에서 간접Morishima대체탄력성을 평가하였다.

한 수준이다. 60년대의 규모탄력성은 3.840이었으며 70년대는 5.436으로 크게 증가하였다. 이후 80년대, 90년대를 거쳐 2000년대 초반까지 지속적으로 규모탄력성이 감소하고 있어 규모의 경제가 줄어들고 있음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 1977년부터 1996년까지의 자료로부터 배양선(1998)이 밝힌 규모특성의 내용과 일치하는 것이다. 규모의 경제에 관한 기존연구 및 본 연구에서의 결과로 볼 때 우리나라의 철도조직을 분할하여 규모를 줄이는 방안은 타당하지 않다고 할 수 있다.

V. 결론

우리나라 철도산업의 생산특성과 효율성에 관하여 충분히 검토된 양질의 정보가 축적되어 산업정책의 기본자료로 활용되기 위해서는 다양한 각도에서 다양한 방법으로 분석 및 검토가 수행되어야 한다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 1963년부터 2004년까지 운영된 우리나라 철도산업의 투입·산출 자료로부터 Shephard(1953)가 제시한 거리함수를 사용하여 효율성과 생산특성을 추정하였다. 1963년부터 2004년까지 42개 연도에 걸친 자료는 철도산업의 생산특성에 관한 기존 연구와 비교하여 볼 때 가장 긴 기간을 분석한 것이다. 한편 거리함수가 가져야 하는 일차동차성과 단조성을 거리함수의 추정방법에서 제약조건으로 반영함으로서 거리함수 추정결과의 타당성이 보장되도록 하였다.

1960년대의 우리나라 철도산업의 기술효율성은 0.992로 비교적 높은 수준을 나타내었으나 1970년대와 1980년대에 걸쳐 0.983과 0.977로 지속적으로 낮아지는 경향을 나타내었다. 이후 1990년대에 들어서 0.986으로 높아지는 양상을 나타내었고 2000년대에 들어서 이러한 상승경향이 지속되고 있는 것으로 나타났다. 투입요소의 대체성을 간접 Morishima대체탄력성으로 분석한 결과 노동을 다른 투입으로 대체하는 것이 가장 어렵거나 또는 불가능한 것으로 나타났다. 규모탄력성으로 분석한 규모특성은 규모의 경제가 존재함을 보여주었으며 1980년대와 1990년대를 거쳐 2000년대 초반까지 지속적으로 규모탄력성이 감소하고 있어 규모의 경제가 줄어들고 있는 것으로 나타났다.

본 논문에서는 투입·산출 자료로부터 거리함수를 사용하여 기술효율성과 생산특성을 분석하였다. 1977년 이전의 투입요소의 가격에 관한 자료의 확보방법을 모색함으로서 거리함수를 통한 분석틀로 우리나라 철도산업의 배분효율성(allocative efficiency)에 관한 분석도 수행할 수 있으며 또한 비용함수를 사용한 분석을 함께 수행하여 같은 자료에 대한 두 방법의 결과를 비교함으로서 분석을 심화시킬 수 있을 것이다. 한편 본 논문에서 거리함수를 추정하기 위해 사용한 이차계획법은 거리함수가 만족시켜야 할 가정들을 제약조건으로 반영하여 추정결과의 타당성을 보장하는 장점이 있는 반면에 계수 추정치들의 통계적 유의성에 관한 검정통계량을 제공하지 않는 한계점을 가지고 있다. 이러한 한계점은 향후 이차계획법에 의한 거리함수 추정에서 통계적 유의성을 검정할 수 있는 방법의 개발[12)]을 통해 극복되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김성호·홍순흠·최태성 (2000), "한국철도의 상대적 운영효율성 평가," 한국철도학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp.17~23.
2. 박진경·김성수 (2004), "일반초월대수 비용함수 모형을 이용한 한국 철도산업의 규모 및 범위의 경제성 분석," 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.159~173.
3. 배양선 (1998), "한국 철도산업의 규모 및 범위의 경제성 분석," 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 이재훈·정경훈 (2004), 『우리나라 철도산업의 효율성 분석』, 교통개발연구원.
5. 유재균·최진석 (2000), "우리나라 철도운영체의 효율성에 관한 연구," 한국철도학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp.24~31.
6. 하헌구·이경미 (2002), 『우리나라 철도산업의 비용특성에 관한 연구』, 교통개발연구원.
7. Aigner, D. J., and S. F. Chu (1968), "On Estimating the Industry Production Function", American Economic Review, Vol. 58, No. 4, pp.826~839.
8. Andrikopoulos, A. A., and J. Loizides (1998),

12) 자료포락분석에서 표본변동에 대한 민감도를 분석하기 위해 개발된 바 있는 부트스트랩절차는 이차계획법에 의한 거리함수 추정에서 통계적 유의성을 검정할 수 있는 방법의 개발에 방향을 제시할 수 있을 것으로 판단됨.

"Cost Structure and Productivity Growth in European Railway Systems", Applied Economics, Vol. 30, No. 12, pp.1625~1639.

9. Banos-Pino, J., V. Fernandez-Blanco, and A. Rodriguez-Alvarez (2002), "The Allocative Efficiency Measure by means of a Distance Function: The Case of Spanish Public Railways", European Journal of Operational Research, Vol. 137, No. 1, pp.191~205.
10. Blackorby, C., and R. R. Russell (1981), "The Morishima Elasticity of Substitution: Symmetry, Consistency, Separability, and its Relationship to the Hicks and Allen Elasticity", Review of Economic Studies, Vol. 48, No. 151, pp.147~158.
11. Blackorby, C., and R. R. Russell (1989), "Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities)", American Economic Review, Vol. 79, No. 4, pp.882~888.
12. Bosco, B. (1996), "Excess-Input Expenditure Estimated by Means of an Input-Distance Function: The Case of Public Railways", Applied Economics, Vol. 28, No. 4, pp.491~497.
13. Cantos, P. (2000), "A Subadditivity Test for the Cost Function of the Principal European Railways", Transport Reviews, Vol. 20, No. 3, pp.275~290.
14. Cantos, P., and J. Maudos (2001), "Regulation and Efficiency: the Case of European Railways", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 35, No. 5, pp.459~472.
15. Cantos, P., J. M. Pastor, and L. Serrano (1999), "Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach", Transportation, Vol. 26, No. 4, pp.337~357.
16. Cantos, P., J. M. Pastor, and L. Serrano (2002), "Cost and Revenue Inefficiences in the European Railways", International Journal of Transport Economics, Vol. 29, No. 1, pp.55~75.
17. Christensen, L. R., D. W. Jorgenson, and L. J. Lau (1973), "Transcendental Logarithmic Production Frontiers", Review of Economics & Statistics, Vol. 55, No. 1, pp.28~45.
18. Coelli, T., and S. Perelman (1999), "A Comparison of Parametric and Non-parametric Distance Functions: With Application to European Railways", European Journal of Operational Research, Vol. 117, pp.326~339.
19. Coelli, T., and S. Perelman (2000), "Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach", Applied Economics, Vol. 32, No. 15, pp.1967~1976.
20. Färe, R. and S. Grosskopf (1990), "A Distance Function Approach to Price Efficiency", Journal of Public Economics, Vol. 43, No. 1, pp.123~126.
21. Färe, R., and D. Primont (1995), Multi-output Production and Duality: Theory and Applications, Boston: Kluwer Academic Publishers.
22. Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, Vol. 120, No. 3, pp.253~281.
23. Farsi, M., M. Filippini, and W. Greene (2005), "Efficiency Measurement in Network Industries: Application to the Swiss Railway Companies", Journal of Regulatory Economics Vol. 28, No. 1, pp.69~90.
24. Fourer, R., D. M. Gay, and B. W. Kernighan (1993), AMPL: A Modeling Language For Mathematical Programming, Massachusetts: Scientific Press.
25. Fuss, M., D. McFadden, and Y. Mundlak (1978), "A Survey of Functional Forms in the Economic Analysis of Production", in M. Fuss, D. McFadden, and Y. Mundlak, eds. Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications, Volume I. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp.219~268.
26. Gathon, H. J., and P. Pestieau (1995), "Decomposing Efficiency into Its Managerial and

Its Regulatory Components: The Case of European Railways", European Journal of Operational Research, Vol. 80, No. 3, pp.500~507.

27. Grosskopf, S., K. Hayes, and J. Hirschberg (1995), "Fiscal Stress and the Production of Public Safety: A Distance Function Approach", Journal of Public Economics, Vol. 57, No. 2, pp.277~296.
28. Grosskopf, S., D. Margaritis, and V. Valdmanis (1995), "Estimating Output Substitutability of Hospital Services: A Distance Function Approach", European Journal of Operational Research, Vol. 80, No. 3, pp.575~587.
29. Kumbhakar, S. C. (1989), "Economic Performance of US Class 1 Railroads: A Stochastic Frontier Approach", Applied Economics, Vol. 21, No. 11, pp.1433~1446.
30. Kwak, N. K., T.-S. Choi, and S. Kim (2004), "Evaluating the Relative Efficiency of Railways Operations using Data Envelopment Analysis", in K. D. Lawrence, ed., Applications of Management Science: Mathmatical Programming, Volume 11. Amsterdam: Elsevier, pp.77~88.
31. Loizides, J. and E. G. Tsionas (2002), "Productivity Growth in European Railways: A New Approach", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 36, No. 7, pp.633~644.
32. Mancuso, P., and P. Reverberi (2003), "Operating Costs and Market Organization in Railway Services: The case of Italy, 1980~1995", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 37, No. 1, pp.43~61.
33. McFadden, D. (1978), "Cost, Revenue, and Profit Functions", in M. Fuss, D. McFadden, and Y. Mundlak, eds., Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications, Volume I. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp.3~109.
34. Mizutani, F. (2004), "Privately Owned Railways' Cost Function, Organization Size and Ownership", Journal of Regulatory Economics, Vol. 25, No. 3, pp.297~322.
35. Oum, T. H., and C. Yu (1994), "Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy: A Comparative Study of the OECD Countries' Railways", Journal of Transport Economics & Policy, Vol. 28, No. 2, pp.121~138.
36. Oum, T. H., and W. G. I. Waters (1996), "A Survey of Recent Developments in Transportation Cost Function Research", Logistics and Transportation Review, Vol. 32, No. 4, pp.423~464.
37. Parisio, L. (1999), "A Comparative Analysis of European Railroads Efficiency: A Cost Frontier Approach", Applied Economics, Vol. 31, No. 7, pp.815~823.
38. Perelman, S., and P. Pestieau (1988), "Technical Performance in Public Enterprises: A Comparative Study of Railways and Postal Services", European Economic Review, Vol. 32, No. 2-3, pp.432~441.
39. Savage, I. (1997), "Scale Economies in United States Rail Transit Systems", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 31, No. 6, pp.459~473.
40. Shephard, R. W. (1953), Cost and Production Functions, Princeton, NJ: Princeton University Press.
41. Varian, H. R. (1992), Microeconomic Analysis, Third Edition, New York: W. W. Norton & Company.
42. Wang, S.-E., and C.-H. Liao (2005), "Cost Structure and Productivity Growth of the Taiwan Railway", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, (forthcoming).

♧ 주 작 성 자 : 김성호
♧ 교 신 저 자 : 김성호
♧ 논문투고일 : 2006. 4. 3
♧ 논문심사일 : 2006. 5. 31 (1차)
2006. 7. 3 (2차)
2006. 7. 5 (3차)
♧ 심사판정일 : 2006. 7. 5
♧ 반론접수기한 : 2006. 12. 31