

■ 論 文 ■

# 확률적 비용변경접근법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성과 생산성 분석

(자료포락분석기법을 이용한 추정결과와의 비교를 중심으로)

An Analysis on the Efficiency and Productivity of Korean Rail Transit Authorities  
Using a Stochastic Cost Frontier Approach  
(A Comparison with the Estimation Results by DEA)

김민정

(한국교통연구원 책임연구원)

김성수

(서울대학교 환경대학원 교수)

## 목 차

- I. 서론
- II. 모형의 설정
  - 1. 확률적 비용변경접근법(SCFA)의 개요
  - 2. SCFA를 이용한 효율성 및 생산성 측정 모형의 설정
- III. 자료와 추정방법
  - 1. 자료
  - 2. 효율성과 생산성의 추정방법
- IV. 추정결과
  - 1. 효율성의 추정결과
  - 2. 생산성의 추정결과
  - 3. 변경접근법간 추정결과의 차이 및 설명
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 도시철도 운영기관, 확률적 비용변경접근법, 효율성, 생산성, 자료포락분석기법

## 요 약

본 연구는 성과를 측정하는 방법론에 따른 결과를 비교하고 도시철도 운영기관의 효율성과 생산성을 높일 수 있는 방안을 제시하기 위해 자료포락분석기법을 이용하여 효율성 및 생산성을 분석한 연구에서 사용된 동일한 자료를 바탕으로 확률적 비용변경접근법을 이용해 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 효율성과 생산성을 추정하였다. 추정결과 자료포락분석기법은 확률적 오차와 측정오차를 인정하지 않고 비효율성으로 간주하므로 효율성 값이 낮고 생산성 증가율의 값은 크게 도출된 반면, 확률적 비용변경접근법은 통계적 오차를 인정하기 때문에 효율성 값은 높고 생산성 증가율의 값은 작은 것으로 나타났다. 이처럼 변경접근법에 따라 추정된 결과는 다르게 나타난 반면, 이러한 결과로부터 도출되는 정책적 시사점은 다음과 같이 비슷한 것으로 나타났다. 첫째, 도시철도 운영기관들의 생산성을 높이기 위해서는 신기술 도입보다는 먼저 현재의 기술을 효율적으로 활용함으로써 효율성을 향상시켜야 하며, 둘째, 효율성을 높이기 위해서는 요소 투입량을 감축하여 기술적 효율성을 높여야 하고, 마지막으로 생산성 측정의 편의를 방지하기 위해서는 생산적 효율성 증가율, 기술 진보율, 규모의 경제 효과 요인을 모두 고려해야 하는 것으로 나타났다.

Using a stochastic cost frontier approach(SCFA), this paper annually estimates the efficiency and productivity with same data in the papers which analyze the efficiency and productivity using data envelopment analysis(DEA) to compare the results and suggest the political findings of raising the efficiency and productivity for three publicly-owned rail transit properties: the Seoul Subway Corporation (SSC), the Seoul Metropolitan Electrified Railways Sector of Korea National Railroad (SMESRS) and the Busan Urban Transit Authority (BUTA). The results show that the results of SCFA are higher than DEA for efficiency and lower for productivity in that DEA regards the stochastic error and measurement error as the inefficiency contrary to SFCA. But the political findings from these results appears to be similar as follows. First, the productivity of the three properties should be first improved by using existing technologies efficiently and then by introducing new ones. Second, the three properties should improve the technical efficiency through reducing input quantities to raise their efficiency. Finally, all the three components of the productivity such as productive efficiency change, technical change, and scale change should be considered to evaluate their productivity more correctly.

## I. 서론

교통부문을 담당하고 있는 공공기관들은 민간 기업에 비해 경영효율성을 제고하고자 하는 동기가 미흡하다는 인식이 제기되면서 점차 교통부문의 성과, 즉 효율성 및 생산성에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 관심은 공공부문 내 기관간 효율성 및 생산성 차이에 대한 논의로 제기되고 있으며 실제 조직개편의 근거로서 작용되기도 하였다.

이러한 효율성 및 생산성에 대한 관심이 증대됨에 따라 측정 기법에 대한 중요성도 함께 높아지고 있다. 즉 효율성과 생산성을 높이기 위해 시도되고 있는 조직 개편을 포함한 여러 정책들에 관한 시사점을 제시하기 위해서는 운영기관들의 성과를 정확히 측정할 수 있는 기법의 개발과 적용이 선행되어야 하기 때문이다. 이들의 성과를 측정하기 위해 이용할 수 있는 대표적인 변경접근법으로 자료포락분석기법(Data Envelopment Analysis, DEA)과 확률적 변경접근법(Stochastic Frontier Approach, SFA)이 있다.

먼저 자료포락분석기법은 선형계획법을 적용하여 생산 또는 비용변경을 기준으로 각 운영기관의 상대적인 효율성을 측정하는 기법이다. 이 기법은 자료에 대한 함수형태 제약과 오차항에 대한 가정을 부과할 필요가 없는 점이 장점인 반면, 변경과의 거리가 모두 비효율성으로 간주되므로 통계적 잡음 및 측정오차에 민감하다는 점이 단점이다.

반면 확률적 변경접근법은 함수형태를 설정하고 통계적으로 모수를 추정하여 효율성을 측정하는 기법이다. 이 기법은 투입물이나 산출물의 수가 증가함에 따라 추정해야 할 모수의 수가 급격히 증가하며, 여러 독립변수들간에 상관관계가 높을 경우 다중공선성과 같은 문제가 발생할 수 있는 점은 단점이나 통계적 오차를 인정하기 때문에 측정오차와 이상점이 미치는 영향을 완화시켜 안정적인 생산 또는 비용변경을 도출할 수 있는 점이 장점이다.

효율성과 생산성을 측정한 선행연구들의 대부분은 자료포락분석기법 또는 확률적 변경접근법 중 하나를

이용하여 추정한 결과를 제시하였다. 그러나 앞에서 언급했듯이 두 변경접근법들의 고유한 특성으로 인해 각 접근법을 이용해 추정된 결과들간에 차이가 존재할 가능성이 많기 때문에 한 가지 접근법만으로 추정한 효율성 및 생산성 결과로부터 정책적 함의를 이끌어 내는 것은 적절하지 않을 수 있다.

자료포락분석기법을 이용하여 교통산업의 효율성과 생산성을 분석한 연구로는 도시철도 운영기관을 분석대상으로 한 김민정·김성수(2003, 2004)가 있으며, 이외에도 유럽 철도산업을 분석대상으로 한 Cantos et al.(1999)과 미국 버스업체를 분석대상으로 한 Vito(1998)을 들 수 있다. 반면 확률적 변경접근법을 이용하여 교통산업의 효율성과 생산성을 분석한 연구는 국내에서는 전무한 상태이며, 다만 외국의 경우 유럽 철도산업에 대해 분석한 Sanchez와 Villarroya(2000)만이 존재할 뿐이다.<sup>1)</sup> 더구나 교통분야에서 자료포락분석기법과 확률적 변경접근법간의 비교를 통해 결과를 제시한 연구는 국내외 모두 전무하며 타 산업, 예를 들어 전력산업, 상수도, 병원, 농업을 대상으로 분석한 연구들이 일부 존재할 뿐이다.<sup>2)</sup>

본 연구는 김민정·김성수(2003, 2004)에서 사용된 자료를 이용하고 자료포락분석기법 대신에 확률적 비용변경접근법(Stochastic Cost Frontier Approach, SCFA)을 이용하여 도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성을 추정한 다음, 이를 김민정·김성수(2003, 2004)의 추정결과와 비교함으로써 접근법들의 특성이 추정결과에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 또한 이러한 결과로부터 도시철도 운영기관들의 효율성 및 생산성을 높이기 위한 정책 방향을 제시하고자 한다.

## II. 모형의 설정

### 1. 확률적 비용변경접근법(SCFA)의 개요

확률적 비용변경접근법은 Schmidt와 Lovell(1979)에 의해 최초로 시도된 것으로, 비용변경에 대해 함수형태를 설정하고 실제 분석대상의 자료를 이용해 모수를 추정하여 구축된 비용변경을 기준으로 각 분석대상의 상대

1) Sanchez와 Villarroya(2000)는 유럽 철도산업의 생산적 효율성과 생산성 증가율을 분석하기 위한 목적으로 1970년부터 1990년까지 15개 유럽 철도 운송업체의 통합자료를 이용하여 초월대수함수형태의 가변비용함수를 추정하였다. 추정결과 유럽 철도 운송업체의 평균 생산성 증가율이 연간 0.81%인 것으로 나타났는데, 이러한 생산성 증가율은 0.45%의 기술 진보, 0.19%의 생산적 효율성 증가, 0.16%의 규모의 경제 효과로 분해되어 생산성 증가의 대부분은 기술 진보에 의해 발생하는 것으로 도출되었다. 그러나 Sanchez와 Villarroya(2000)에서는 생산적 효율성을 기술적 효율성과 배분적 효율성으로 분리하지 않았다는 점이 본 연구와 다른 점이다.

2) Pollitt(1995)은 전력산업, Banker et al.(1986)은 병원, Cubbins과 Tzanidakis(1998)은 상수도 산업, 그리고 Sharma et al.(1997)은 농업을 대상으로 방법간 비교를 통한 결과를 분석하였다. 그러나 이러한 연구들도 주로 효율성만을 측정하였으며 생산성을 비교분석한 연구는 거의 존재하지 않는다.

적인 효율성을 측정하는 모수적 접근법이다. 또한 이 기법은 비용변경이 통계적 오차에 영향을 받는 것으로 가정하는 확률적 접근법이다.<sup>3)</sup>

확률적 비용변경접근법을 이용해 효율성 및 생산성을 측정하기 위해서는 식(1)과 같이 먼저 비용함수 설정과 함께 오차항의 확률분포를 설정해야 한다.

$$C_i = C_i^*(y, p; \beta) \exp(\varepsilon_i) \quad (1)$$

여기서  $\varepsilon_i$ 는 확률변수이며,  $\beta$ 는 추정해야 할 모수이다.

이때 오차항의 분포에 대한 가정을 하기 위해서는 우선 오차가 발생하는 원인, 즉 실제 비용과 효율적으로 생산했을 때의 비용이 다른 원인을 분석할 필요가 있다. 두 비용이 다른 첫 번째 이유는 기업이 생산적으로 비효율적이기 때문이다. 이러한 생산적 비효율성은 기술적 비효율성과 배분적 비효율성으로 나뉘며,<sup>4)</sup> 비용을 항상 증가시키기 때문에 비음의 일방향 분포(nonnegative one-sided distribution)로 가정된다.

또한 두 비용이 다른 두 번째 이유는 기업이 통제할 수 없는 외부 요인들에 의해 비용이 영향을 받기 때문이다. 이러한 외부 요인들은 비용을 증감시킬 수 있기 때문에 양방향 정규분포(two-sided normal distribution)로 가정된다. 이러한 외부 요인들의 영향을 나타내는 확률변수에는 백색잡음과 측정오차 등도 포함된다. 따라서 식(1)의 오차항은 식(2)와 같이 세 항으로 분리하여 설정할 수 있다.

$$\varepsilon_i = u_i + v_i = u_{ii} + u_{ai} + v_i \quad (2)$$

여기서  $u_i$ 는 기술적 비효율성  $u_{ii}$ 와 배분적 비효율성  $u_{ai}$ 에 기인하는 비용의 증가분을 의미하며, 반정규(half-normal)분포  $|N(0, \sigma_u^2)|$ 을 따르는 것으로 가정된다. 또한  $v_i$ 는 비용을 증감시킬 수 있는 외부 요인들의 영향과 측정오차, 설정오차 및 백색잡음 등을

의미하며, 표준정규분포  $N(0, \sigma_v^2) \sim i.i.d$ 를 따르는 것으로 가정된다.

이렇게 설정된 비용함수모형을 추정한 뒤 도출되는 비용변경과 오차항으로부터 각 효율성을 측정할 수 있다.

## 2. SCFA를 이용한 효율성 및 생산성 측정 모형의 설정<sup>5)</sup>

확률적 비용변경접근법을 이용해 효율성 및 생산성을 측정하기 위해 비용함수 모형으로 유연한 초월대수함수(translog function)형태<sup>6)</sup>를 설정하였으며, 추정의 효율성을 높이기 위해 식(3)과 같이 비용비중식(cost share equation)과 결합하여 연립방정식형태로 추정하는 방법을 선택하였다. 따라서 분석모형을 설정하기 위해서는 비용비중식의 오차항  $e_{ij}$ 의 분포에 대해서도 가정해야 한다.

$$\begin{aligned} \ln TC_i &= \ln C_i^*(y, p, \beta) + u_i(u_{ii} + u_{ai}) + v_i \\ S_{ij} &= S_i^*(y, p) + e_{ij} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서  $S_{ij}$ 는  $j$ 번째 요소의 비용비중을 의미하고,  $S_i^*$ 는 비용함수와 비슷한 의미로  $j$ 번째 요소의 효율적인 비용비중을 의미한다. 따라서  $e_{ij}$ 는  $j$ 번째 요소의 실제 비용비중과 효율적인 비용비중간의 차이를 의미하는데, 이러한 차이는 비용함수와 마찬가지로 백색잡음(white noise)에 의해서도 발생되지만 배분적 비효율성에 의해서도 발생된다. 비용함수와는 달리 비용비중식에서 배분적 비효율성이 발생하면 해당 요소의 효율적인 비용비중보다 크거나 작을 수 있기 때문에 백색잡음과 더불어 양방향의 정규분포로 가정해야 한다.

비용함수모형의 추정을 통해 비용변경이 도출되면 먼저 생산적 효율성(PE)은 실제 비용에 대한 비용변경의 비율로 계산되며, 이는 식(4)와 같이 표현될 수 있다.

$$PE = \frac{C_i^*(y_i, p_i) \exp(v_i)}{C_i^*(y_i, p_i) \exp(u_i + v_i)} = \exp(-u_i) \quad (4)$$

3) 확률적 비용변경접근법을 이용해 도출된 효율성 값은 표본 내에서 상대적으로 가장 비용효율적인 관찰점을 대상으로 측정된 것이기 때문에 현재의 표본에서 효율적이라고 판명된 것도 반드시 비용을 절감할 가능성이 없다고 볼 수는 없으며, 표본의 관찰점 구성이 달라질 경우 효율성 값도 달라질 수 있는 점 등을 이 접근법의 한계로 들 수 있다.

4) 자세한 내용은 김민정·김성수(2003)의 p.115를 참조.

5) 본 연구에서 측정하는 효율성과 생산성은 김민정·김성수(2003), 김민정·김성수(2004)에서 정의한 방법을 사용하였다. 즉 효율성은 생산적 효율성을 측정할 다음 이를 기술적 효율성과 배분적 효율성으로 분해하였으며, 생산성은 Malmquist TFP 지수를 측정할 다음 이를 생산적 효율성 증가율, 기술 진보율, 규모의 경제 효과로 분해하였다.

6) 초월대수함수는 독립변수의 평균점 또는 초기점에서 2차항까지 테일러시리즈로 전개함으로써 도출된다.

생산적 효율성이란 운영기관이 주어진 산출량 수준을 최소한의 비용으로 생산할 수 있는 정도, 즉 비용극소화 정도를 의미하며, 따라서 어떤 관찰점이 생산적으로 효율적이기 위해서는 실제 비용의 (1-PE)만큼을 줄여야 함을 의미한다.

식(4)로부터 도출되는 생산적 효율성은 기술적 효율성과 배분적 효율성으로 나뉘는데, 초월대수비용함수의 경우 이러한 분리는 Kumbhakar(1991)에서 제시된 비용비중식을 포함하는 연립방정식체계를 추정함으로써 가능하게 된다. 즉, 앞에서 언급했듯이 비용비중식의 오차  $e_j$ 는 실제 비용비중이 최적 비용비중과 다르다는 것을 의미하며, 이는 배분적 비효율성과 관련이 있다.

이러한  $e_j$ 를 이용해 Kumbhakar(1991)는 배분적 비효율성에 의해 야기된 비용증가분 ( $C^a$ )을 다음과 같이 설정하였다.

$$C^a = e' C_j^* e \quad (5)$$

여기서  $C_j^*$ 는 효율적인 비용비중 ( $S_j^*$ )을 만족하는 요소별 비용변경을 대각원소(diagonal elements)로 한 양반정행렬(positive semi-definite matrix)을 의미하며, 요소별 비용변경은 요소별 비용비중식의 추정치, 즉 요소별 효율적인 비용비중을 도출한 뒤 이들을 비용변경( $C^* \exp(v)$ )에 곱하여 도출하였다. 또한  $e'$ 은 요소별 실제 비용비중에서 요소별 비용비중식의 추정치를 뺀 값인  $e_j$ 로 구성된 벡터 ( $e_1, \dots, e_M$ )를 의미한다.

한편 기술적 비효율성에 의한 비용 증가분 ( $C^t$ )은 식(6)과 같이 도출된다.

$$C^t = C - C^* \exp(v) - C^a \quad (6)$$

따라서 기술적 효율성 (TE)과 배분적 효율성 (AE)은 각각 식(7)과 식(8)과 같이 도출된다.

$$TE = \frac{C^*(y_i, p_i) \exp(v)}{C^*(y_i, p_i) \exp(v) + C^t} = \exp(-u_{it}) \quad (7)$$

$$AE = \frac{C^*(y_i, p_i) \exp(v)}{C^*(y_i, p_i) \exp(v) + C^a} = \exp(-u_{ai}) \quad (8)$$

기술적 효율성은 주어진 산출량을 생산하는데 필요한 최소한의 요소투입량에 도달할 수 있는 정도를 의미하며, 따라서 식(7)은 어떤 관찰점이 기술적으로 효율적이기 위해서는 요소투입량의 (1-TE)만큼을 줄여야 함을 의미한다. 배분적 효율성은 산출물을 최소비용으로 생산하는지 여부와 관련이 있는데 배분적으로 효율적이라는 것은 비용극소화 1계조건7)을 만족하는 것을 의미하며, 따라서 식(8)은 어떤 관찰점이 배분적으로 효율적이기 위해서 기술적으로 효율적인 비용의 (1-AE)만큼을 줄여야 함을 의미한다.

다음으로 확률적 비용변경접근법을 이용해 규모수익 불변 가정 하에서의 생산성 지수,  $M$ 과 생산성 구성요인, 즉 생산적 효율성 변화 지수와 기술 진보 지수를 도출하기 위해서 김민정·김성수(2004)에 제시되어 있는 거리함수를 구성하면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} M(y^{t+1}, c^{t+1}, y^t, c^t) &= \frac{d_i^{t+1}(y^t, c^t)}{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})} \\ &= \left[ \frac{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})}{d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})} \frac{d_i^{t+1}(y^t, c^t)}{d_i^t(y^t, c^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{\exp(-u_i^{t+1})}{\exp(-u_i^t)} [(1 - \epsilon_i^t)(1 - \epsilon_i^{t+1})]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $\epsilon_i^t$ 와  $\epsilon_i^{t+1}$ 는 기간별로 평가한 시간의 흐름에 따른 비용의 변화율, 즉 시간에 대한 비용탄력성으로 정의되며, 따라서 이들로 구성된 식(9)의 두 번째 비율식은 기술 진보 지수를 나타낸다.8) 한편 식(9)의 첫 번째 비율식은 각 기간의 생산적 효율성 비율로써 생산적 효율성 변화 지수를 나타낸다.

생산적 효율성 증가율(PEC)과 기술 진보율(TC)은 식(9)로부터 도출된 각 지수들에서 1을 뺀 값을 %로 표시한 값이 되며, 이들을 합한 값이 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율(P)이 된다.

한편 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 지수,  $M_v$

7) 등비용선의 기울기, 즉 상대가격비율과 등량곡선의 기울기, 즉 한계기술대체율이 같다는 조건이다.

8) 기술 진보 지수를 계산할 때 기하평균을 사용하는 이유는 기술 진보가 리스중립적이지 않을 수 있기 때문이다. 자세한 내용은 김민정·김성수(2004)를 참조.

를 도출하기 위해 밀도의 경제(Economies of density, EOD)<sup>9)</sup>를 도출하고 규모의 경제 효과(ES), 즉 산출량이 증감함에 따른 평균비용의 증감 정도를 계산하였다.

$$EOD = 1 - \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln y} \quad (10)$$

$$ES = (EOD' \times \Delta y) \times 100^{10)} \quad (11)$$

이러한 규모의 경제 효과와 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율(P)을 더한 값이 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율(P<sub>v</sub>)이 된다.

### III. 자료와 추정방법

#### 1. 자료

분석에 사용되는 자료는 김민정·김성수(2003, 2004)에서 사용된 서울시지하철공사의 1976년부터 2000년까지, 철도청 수도권 전철부문의 1978년부터 2000년까지, 그리고 부산교통공단의 1989년부터 2000년까지의 연도별 자료로 구축된 불균형통합자료(unbalanced panel data)이다. 본 연구에서는 산출물(y)로 전동차-km를, 그리고 투입물(또는 요소, x<sub>i</sub>)로 노동, 전력, 전동차 및 유지보수, 궤도를 설정하였다.<sup>11)</sup>

#### 2. 효율성과 생산성의 추정방법

확률적 비용변경점근법을 이용해 비용함수를 추정하는 방법에는 최우추정법(maximum likelihood estimation, MLE)과 수정최소자승법(corrected ordinary least squares, COLS)이 있다.<sup>12)</sup> 본 연구는 관찰점 수가 400개 미만일 때 효율적인 추정치를 제공하는 것으로 알려진 수정최소자승법을 이용하여 추정하고자 한다.

이러한 수정최소자승법의 단계를 설명하면 다음과 같다. 먼저 결합일반화최소자승법을 이용하여 비용함수

모형을 추정한다. 이 추정결과로부터 얻어지는 잔차를 이용하여 식(12)에 제시된 잔차의 2차 적률( $\widehat{m}_2$ )과 3차 적률( $\widehat{m}_3$ )의 일치추정치를 계산한다.

$$\widehat{m}_r = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^{60} \widehat{\varepsilon}_i^r \quad (12)$$

여기서  $\widehat{\varepsilon}_i$ 는 통상적인 회귀분석으로부터 얻어지는 오차항으로,  $\varepsilon_i$ 의 일치추정치가 된다.

Weinstein(1964)은 3장에서 설정한 확률변수인 u<sub>i</sub>와 v<sub>i</sub>의 분산은 2차 및 3차 적률과 식(13)과 같은 관계가 있음을 보였다.

$$\begin{aligned} \sigma_u^2 &= \left[ \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left( \frac{\pi}{4-\pi} \right) m_3 \right]^{2/3}, \\ \sigma_v^2 &= m_2 - \left( \frac{\pi-2}{\pi} \right) \sigma_u^2 \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $\widehat{m}_3 < 0$  이면  $\sigma_u^2 < 0$  이 되는 제1종 실패(type I failure)가, 그리고  $\widehat{m}_2 < \frac{\pi-2}{\pi} \sigma_u^2$  이면  $\sigma_v^2 < 0$  이 되는 제2종 실패(type II failure)가 발생할 수 있어  $\sigma_u^2$ 와  $\sigma_v^2$ 이 정의되지 않을 수 있다.<sup>13)</sup>

이러한 제1종 실패는 3차 적률이 0에 가깝게 도출되어  $\sigma_u^2$ 이 작아지면서  $\lambda (= \sigma_u / \sigma_v)$ 가 작아질 때 발생할 확률이 커지는 반면, 제2종 실패는  $\lambda$ 가 클 때 발생할 확률이 커진다. 이러한  $\lambda$ 는 실제 비용과 비용함수간의 차이를 나타내는 비효율성 확률변수와 날씨 등과 같은 외부 요인 및 각종 오차를 포함하는 확률변수의 변동 비율을 나타내기 때문에 이러한 차이가 두 요인들 중 주로 어디에 기인하는 지에 대한 정보를 제공한다. 즉  $\lambda$ 가 1보다 크면 이러한 차이가 주로 비효율성에 기인함을 의미하고, 1보다 작으면 주로 날씨 등

9) 규모의 경제가 아닌 밀도의 경제성 값을 사용한 이유는 전자는 네트워크와 같은 기술적 환경의 변화로부터 발생하며, 후자는 산출물의 변화로부터 발생하는데, 규모의 경제 효과는 곡선 상에서의 생산성 변화를 측정한다는 점에서 기술적 환경의 변화보다는 산출물의 변화에 의한 생산성 변  $\Delta y$  화를 측정하는 것이 더 적합하다고 판단되기 때문이다.  
 10) 여기서 는 두 기간 동안의 산출량 변화율을 의미한다.  
 11) 산출물과 투입물의 자료를 구축하는 구체적인 과정은 김민정·김성수(2003)의 pp.121~124를 참조.  
 12) 최우추정법은 우도함수의 수치를 극대화하는 계수를 추정하는 방법으로 관찰점 수가 400개가 넘는 경우에 효율적인 추정치를 제공하는 것으로 알려져 있으며, 수정최소자승법은 통상적인 회귀분석을 통해서 도출된 잔차들의 적률(moments)을 이용하여 계수를 추정하는 방법으로 관찰점이 400개 미만인 경우에 최우추정법보다 더 효율적인 추정치를 제공하는 것으로 알려져 있다. 이에 대한 자세한 내용은 Olson et al.(1980) 참조.  
 13) 이에 대한 구체적인 설명에 대해서는 Olson et al.(1980)을 참조.

과 같은 외부 요인과 각종 오차에 기인함을 의미한다. 종합하면 제1종 실패는 비효율성이 작을 때 발생할 확률이 높고, 제2종 실패는 비효율성이 클 때 발생할 확률이 높아진다. 한편 제1종 실패가 발생했을 경우에는  $\hat{\sigma}_u^2 = \lambda = 0$  으로 하며, 제2종 실패가 발생했을 경우에는  $\hat{\sigma}_v^2 = 0$  으로 하며  $\lambda$  는 무한대가 된다.

관찰점별 생산적 비효율성 추정치  $\hat{u}_i$  는 Jondrow et al.(1982)에 따라 식(14), 식(15)와 같이 앞에서 도출한  $\hat{\sigma}_u^2$ ,  $\hat{\sigma}_v^2$ ,  $\lambda$  으로 구성된 오차항 ( $\epsilon_i$ )에 대한 조건부 확률분포의 기대값(expectation value),  $E(u_i | \epsilon_i)$  또는 최빈값(mode),  $M(u_i | \epsilon_i)$ 을 이용해 구할 수 있다.

$$E(u_i | \epsilon_i) = \frac{\sigma_u^2 \sigma_v^2}{\sigma^2} \left[ \frac{\phi(\epsilon_i \lambda / \sigma)}{1 - \phi I(\epsilon_i \lambda / \sigma)} - \left( \frac{\epsilon_i \lambda}{\sigma} \right) \right] \quad (14)$$

$$M(u_i | \epsilon_i) = \begin{cases} \epsilon_i (\sigma_u^2 / \sigma^2) & \text{if } \epsilon_i \geq 0 \\ 0 & \text{if } \epsilon_i < 0 \end{cases} \quad (15)$$

여기서  $\phi(\cdot)$  와  $\phi(\cdot)$  는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수와 확률누적함수를 나타낸다.

따라서 제2종 실패가 발생할 경우  $\lambda$  이 무한대가 되기 때문에 관찰점별로 생산적 비효율성을 구하기 위해서는  $\lambda$  값을 이용하지 않는 최빈값을 구해야 한다. 이와 같이 생산적 비효율성  $\hat{u}_i$  를 도출한 뒤 앞에서 제시되었듯이 이를 비용변경과 비용비중식의 잔차를 이용하여 배분적 및 기술적 비효율성으로 분리한다.

## IV. 추정결과

### 1. 효율성의 추정결과

확률적 비용변경접근법(SCFA)에 의해 추정된 세 가지 효율성 값들의 운영기관별 평균은 <표 1>과 같으며<sup>14)</sup>, 자료포락분석기법(DEA)을 이용한 김민정·김성수(2003)의 연구결과와 함께 제시하였다. 이 표에서 알 수 있듯이 확률적 비용변경접근법에 의해 추정된 생산적 효율성 값은 철도청의 경우 비용변경점과 같이 비용 효율적이기 위해서는 평균적으로 실제 비용의 7.9%, 서울시지하철공사는 10.2%, 부산교통공단은 13.2% 만큼을 각각 줄여야 하는 것으로 나타났으며, 세 운영기관의 연도별 생산적 효율성 값들을 평균한 결과 세 운영기관들은 평균적으로 9.9%를 줄여야 비용변경에 도달할 수 있는 것으로 나타나 자료포락분석기법으로부터 도출된 생산적 효율성 값보다 높은 것으로 추정되었다.

다음으로 기술적 효율성 값은 <표 1>에서 볼 수 있는 것처럼 철도청의 경우 생산변경점과 같이 기술적으로 효율적이기 위해서는 실제 각 요소 투입량의 6.8%, 서울시지하철공사의 경우는 9.1%, 부산교통공단의 경우는 11.4% 만큼을 각각 줄여야 하는 것으로 나타났으며, 세 운영기관들의 연도별 기술적 효율성 값들을 평균한 결과 세 운영기관들은 평균적으로 각 요소투입량을 8.7% 줄여야 생산변경에 도달할 수 있는 것으로 나타나 생산적 효율성과 마찬가지로 자료포락분석기법으로부터 도출된 기술적 효율성 값보다 높은 것으로 추정되었다.

<표 1> 두 변경접근법들에 의해 추정된 세 효율성 값들의 평균과 표준편차

		서울시 지하철공사		철도청의 수도권 전철부문		부산교통공단		전체		
		DEA	SCFA	DEA	SCFA	DEA	SCFA	DEA	SCFA	상관계수 <sup>1)</sup>
평균	생산	0.824	0.898	0.815	0.921	0.787	0.868	0.815	0.901	-0.051
	기술	0.856	0.909	0.938	0.932	0.885	0.886	0.893	0.913	0.186
	배분	0.959	0.987	0.870	0.989	0.890	0.980	0.911	0.986	-0.124
표준 편차	생산	0.135	0.099	0.087	0.052	0.042	0.063	0.104	0.078	
	기술	0.106	0.095	0.036	0.046	0.030	0.057	0.081	0.073	
	배분	0.050	0.015	0.096	0.011	0.047	0.012	0.081	0.013	

주: 1) 두 접근법들에 의해 추정된 효율성 값들의 상관계수가 유의하지 않음.

14) 이러한 수치는 표본에서 가장 효율적인 관찰점과 비교하여 도출된 것이기 때문에 상대적이며, 표본이 달라지면 수치도 달라질 수 있다.

마지막으로 배분적 효율성 값도 <표 1>에서 볼 수 있는 것처럼 철도청의 경우 배분적으로 효율적이기 위해서는 기술 효율적인 비용의 1.1%, 서울시지하철공사의 경우는 1.3%, 부산교통공단의 경우는 2.0% 만큼을 각각 줄여야 하는 것으로 나타났으며, 세 운영기관들의 연도별 배분적 효율성 값들을 평균한 결과 세 운영기관들은 평균적으로 기술 효율적인 비용의 1.4%를 줄여야 배분적 효율성을 달성하는 것으로 나타나 역시 자료포락분석기법으로부터 도출된 배분적 효율성 값보다 높은 것으로 추정되었다.

## 2. 생산성의 추정결과

확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 및 규모수익가변 가정 하에서의 생산성의 연평균 증가율과 이를 구성하는 요인들의 운영기관별 평균 및 최대값과 최소값은 <표 2>와 같으며, 마찬가지로 자료포락분석기법을 이용한 김민정·김성수(2004)의 연구결과와 함께 제시하였다.

먼저 생산성의 증가 요인 중 생산적 효율성은 <표 2>에서 볼 수 있는 것처럼 연평균 서울시지하철공사의 경우 0.5%, 철도청의 경우는 0.1%, 마지막으로 부산교통공단의 경우는 1.0% 만큼 각각 감소한 것으로 나

타났으며, 세 운영기관들의 연도별 생산적 효율성 증가율 값들을 평균한 결과 세 운영기관들은 연간 평균적으로 0.5% 정도 생산적 효율성이 감소한 것으로 나타나 자료포락분석기법으로부터 도출된 결과보다 낮게 추정되었다.

다음으로 기술 진보율은 연평균 철도청의 경우 3.1%, 부산교통공단의 경우는 2.9%, 마지막으로 서울시지하철공사의 경우는 2.8% 정도 진보한 것으로 나타났으며, 세 운영기관들의 연도별 기술 진보율 값들을 평균한 결과 세 운영기관들은 연간 평균적으로 2.9% 정도 진보한 것으로 나타나 자료포락분석기법으로부터 도출된 연평균 기술 진보율보다 낮게 추정되었다.<sup>15)</sup>

마지막으로 생산성의 증가 요인 중 규모의 경제 효과는 <표 2>에서 알 수 있듯이 연평균 서울시지하철공사는 5.3%, 부산교통공단은 4.1% 만큼 규모의 경제 효과로 인해 각각 생산성이 증가한 것으로 나타난 반면 철도청의 수도권 전철부문은 규모의 불경제로 인해 생산성이 1.0% 만큼 감소한 것으로 나타났으며,<sup>16)</sup> 세 운영기관들의 연도별 규모의 경제 효과 값들을 평균한 결과 이들은 규모의 경제 효과로 인해 매년 2.6% 정도 생산성이 증가한 것으로 나타나 자료포락분석기법으로부터 도출된 연평균 규모의 경제 효과보다 낮게 추정되었다.

<표 2> 두 변경접근법들에 의해 추정된 생산성 증가율과 구성요인의 평균과 표준편차

			서울시 지하철공사		철도청의 수도권 전철부문		부산교통공단		전체		상관계수 <sup>1)</sup>	
			DEA	SCFA	DEA	SCFA	DEA	SCFA	DEA	SCFA		
평균	P <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>	PEC	1.3	-0.5	2.1	-0.1	0.6	-1.0	1.3	-0.5	0.628***
			TC	5.0	2.8	3.5	3.1	-2.3	2.9	3.1	2.9	0.503***
			계	6.2	2.4	5.6	2.9	4.4	1.6	4.4	2.4	0.750***
		ES	3.1	5.3	1.0	-1.0	2.1	4.1	2.1	2.6	0.668***	
			계	9.4	7.7	6.5	1.9	0.4	5.7	6.6	5.1	0.833***
표준편차	P <sub>v</sub>	P <sub>c</sub>	PEC	0.070	0.045	0.041	0.023	0.049	0.051	0.052	0.005	
			TC	0.058	0.002	0.038	0.001	0.031	0.001	0.053	0.002	
			계	0.172	0.134	0.054	0.044	0.059	0.068	0.121	0.095	
		ES	0.052	0.055	0.020	0.019	0.025	0.046	0.039	0.051		
			계	0.188	0.190	0.055	0.042	0.075	0.094	0.133	0.134	

주 : 1) 두 접근법들에 의해 추정된 생산성 증가율과 이를 구성하는 요인들간의 상관관계수가 모두 1% 수준에서 유의함.

15) 도시철도 운영기관의 기술 진보를 가능하게 하는 요인은 신호, 통신 자동화와 같은 기반시설 기술의 혁신과 차량디자인의 향상 및 근무형태의 변경 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 요인들은 운영기관의 블랙박스로서 구체적인 변화를 알 수 없기 때문에 각각의 요인이 야기하는 기술 진보율을 분해하여 도출할 수는 없으며, 단지 기술진보율의 총량만을 알 수 있을 뿐이다. 한편 호주 철도 운송업체의 생산성 증가율을 평가한 Hensher et al.(1995)는 기술 진보에 대한 상세한 자료를 이용해 기술 진보 요인이 발생한 연도와 그 이후의 연도는 1의 값을 갖는 더미변수를 포함한 회귀식을 추정함으로써 기술 진보와 관련된 각각의 요인들이 생산성 증가율에 미치는 영향을 분석하였다.

16) 이는 철도청 수도권 전철부문의 레도연장, 즉 규모가 다른 두 기관에 비해 크기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 생산성의 세 가지 증가요인별 분해 결과를 모두 더한 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율은 연평균 서울시지하철공사의 경우 7.7%, 부산교통공단의 경우는 5.7%, 마지막으로 철도청은 1.9%인 것으로 각각 나타났으며, 세 운영기관들의 연도별 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 값들을 평균한 결과 이들은 연간 평균적으로 5.1% 만큼 생산성이 증가한 것으로 나타나 자료포락분석기법으로부터 도출된 연평균 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 값보다 낮게 추정되었다.

한편 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율을 구성하는 세 요인들의 기여도는 기술 진보와 규모의 경제 효과가 거의 비슷한 비중을 차지하는 반면, 생산적 효율성 요인은 오히려 생산성을 감소시킨 것으로 나타났다. 이러한 결과는 세 도시철도 운영기관들이 기존 기술을 충분히 활용하지 않았던 상태에서 신기술을 도입함으로써 생산성 증가율을 극대화하지 못하였음을 의미한다. 또한 이러한 결과는 생산성을 측정할 때 세 가지 증가 요인들 중 하나를 제외시킬 경우 편의가 발생할 수 있음을 의미한다.

이는 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 추정치를 규모의 경제 효과가 제외된 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율 추정치와 비교해 봄으로써 알 수 있다. <표 2>에서 알 수 있듯이 규모수익불변을 가정할 경우 철도청의 경우 연간 평균적으로 2.9%, 서울시지하철공사의 경우는 2.4%, 마지막으로 부산교통공단의 경우는 1.6% 만큼 생산성이 증가한 것으로 나타났다. 한편 세 운영기관들의 연도별 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율 값들을 평균한 결과 이들은 연간 평균적으로 2.4% 만큼 생산성이 증가한 것으로 나타나 자료포락분석기법의 결과와 마찬가지로 규모수익가변 가정 하에서

의 생산성 증가율과 다른 것으로 나타났다.

### 3. 변경접근법간 추정결과의 차이 및 설명

<표 1>에서 볼 수 있듯이 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 생산적, 기술적 및 배분적 효율성 값들의 평균은 거의 대부분 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 큰 것으로 나타난 반면, 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 효율성 값들의 표준편차도 거의 대부분 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 작은 것으로 나타났다. 이는 두 변경접근법들의 본질적 특성 때문인데, 자료포락분석기법은 결정적 접근법이자 비모수적 접근법이기 때문에 통계가 불가능한 확률적 오차 및 측정오차를 인정하지 않고 비효율성으로 간주하여 효율성 값이 작고 변동도 크게 추정되는 반면, 확률적 비용변경접근법은 확률적 접근법이자 모수적 접근법이기 때문에 통계적 오차를 인정하여 효율성 값이 크고 변동은 작게 추정되기 때문이다.

이러한 이유 때문에 두 접근법들을 이용해 추정된 효율성 값들간의 상관관계수는 <표 1>에서 볼 수 있듯이 생산적, 기술적 및 배분적 효율성의 경우 유의하지 않게 낮거나 음으로 추정되어 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 두 접근법 모두 생산적 비효율성이 낮지 않은 것으로 나타난 점과 배분적 효율성보다 기술적 효율성이 생산적 효율성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타난 점은 동일하다.

이러한 결과를 좀 더 구체적으로 살펴보기 위해 <표 3>, <표 4>와 같이 우리나라와 일본의 도시철도 운영기관들의 운영상태를 비교하였다.<sup>17)</sup>

먼저 <표 3>에서 알 수 있듯이 우리나라와 일본 도

<표 3> 한국과 일본 도시철도 운영기관들의 인력 비교

	한국			일본 <sup>1)</sup>	
	서울시지하철공사		부산교통공단	공영(대형)	민영(대형)
	1999	2001	1999	1987-89(평균)	1987-89(평균)
역당 역무원수	30.8	28.4	13.9	28.7	10.5
대당 정비원수	1.26	1.31	0.84	0.81	0.46

주: 1) 일본의 경우 한국의 도시철도 운영기관들과의 비교를 위해 동경, 오사카, 나고야 대도시권에서 도시철도를 운행하는 4개 대형 공영기관과 14개 대형 사철업체들의 평균값을 이용하였음.

자료: 서울시지하철공사는 서울시지하철공사 결산서에서, 부산교통공단은 한국개발연구원 외(1999)에서, 일본 도시철도 운영기관은 Mizutani(1994)에서 발췌하였음.

17) 확률적 비용변경접근법을 이용하여 기술적 효율성을 측정하는 경우 모형의 결과로부터 요소 전체의 초과투입에 따른 비효율성 증가분에 대한 정보만을 도출할 수 있으며, 요소별 초과투입량을 도출할 수는 없다. 따라서 요소별 초과투입을 분석하기 위해서는 <표 3>, <표 4>와 같이 지표분석을 이용해 개별적인 사항만을 추론할 수 있을 뿐이다.



〈표 4〉 한국과 일본 도시철도 운영기관들의 중량전철 노선당 평균연장

	한국			일본 <sup>1)</sup>	
	서울시 지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산교통공단	동경영단 (TRTA)	동경도영 (TBTMG)
노선수	4	6	2	8	4
영업연장(km)	134.9	177.8	62.8	176.2	77.2
노선당 평균연장(km)	33.7	29.6	31.4	22.0	19.3

주 : 1) 일본의 도시철도 운영기관들은 지방 및 중앙정부에서 운영하는 공영과 민간이 운영하는 사철로 분류됨. 이중 동경영단과 동경도영과 같은 공영 도시철도 운영기관들은 주로 도심구간에서 지하 중량전철을 운행함.

자료 : Jane's Urban Transport Systems 2000-2001.

시철도 운영기관들의 인력을 비교해보면 우리나라의 도시철도 운영기관들이 일본에 비해 인원수가 많은 것으로 나타났다. 또한 〈표 4〉에서 알 수 있듯이 우리나라와 일본 도시철도 운영기관들의 중량전철 노선당 평균연장을 비교해보면 우리나라 도시철도 운영기관들이 고비용구조인 중량전철의 형태로 운행하면서 일본 동경대도시권을 운행하는 기관들에 비해 노선당 평균연장도 긴 것으로 나타났다.

이러한 결과들로부터 우리나라 도시철도 운영기관들은 노동과 자본의 투입이 비효율적인 것으로 판단되며, 이러한 요소들의 비효율적인 투입이 비효율성을 악화시키고 있는 것으로 사료된다.

다음으로 생산성 증가율 및 구성요인들에 대해서 살펴보면 〈표 2〉에서 알 수 있듯이 앞의 효율성 결과와는 달리 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 세 가지 생산성 증가율과 이를 구성하는 요인들의 평균값은 대체로 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 작은 것으로 나타난 반면, 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 이러한 값들의 표준편차는 효율성 결과와 마찬가지로 대체로 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 작은 것으로 나타났다. 이는 효율성 값들과는 달리 생산성 증가율과 이를 구성하는 요인들은 변화율이기 때문에 자료포락분석기법의 경우 통계적 오차가 인정되지 않고 이러한 부분이 변화율에 반영되어 변화율 평균값도 크고 변동도 큰 반면 확률적 비용변경접근법은 통계적 오차가 인정됨에 따라 이러한 부분이 변화율에 반영되지 않아서 변화율 평균값도 작고 변동도 작기 때문이다.

그러나 전체 평균으로 볼 때 두 가지 생산성이 두 접근법에서 모두 증가한 것으로 추정되어 두 접근법을 이용해 추정된 결과들간의 상관계수는 〈표 2〉에서 볼 수 있듯이 유의한 양의 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 한편 두 접근법에서 모두 세 가지 생산성에 가장 큰 영향을 미치는

요인은 기술 진보, 규모의 경제 효과, 생산적 효율성 순으로 나타났으며, 이러한 세 요인들의 생산성에 대한 기여도가 유의하게 나타난 점도 동일하다.

## V. 결론

본 연구는 성과를 측정하는 방법론에 따른 결과를 비교하고 도시철도 운영기관의 효율성과 생산성을 높일 수 있는 방안을 제시하기 위해 자료포락분석기법을 이용하여 효율성 및 생산성을 분석한 김민정·김성수(2003, 2004)에서 사용된 자료를 바탕으로 확률적 비용변경접근법을 이용해 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 효율성과 생산성을 추정하였다.

먼저 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 생산적, 기술적 및 배분적 효율성 값들의 평균은 거의 대부분 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 큰 것으로 나타났으며, 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 효율성 값들의 표준편차도 거의 대부분 자료포락분석기법에 의한 결과보다 작은 것으로 나타났다. 반면 생산성 증가율은 효율성 결과와는 달리 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 세 가지 생산성 증가율과 이를 구성하는 요인들의 평균값은 대체로 자료포락분석기법을 이용해 추정된 값들보다 작은 것으로 나타난 반면, 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정된 이러한 값들의 표준편차는 효율성 결과와 마찬가지로 대체로 자료포락분석기법에 의한 결과보다 작은 것으로 나타났다.

추정결과가 이와 같이 다른 이유는 자료포락분석기법은 확률적 오차 및 측정오차를 인정하지 않고 비효율성으로 간주하므로 효율성 값이 낮고 생산성 증가율의 값은 큰 반면, 확률적 비용변경접근법은 통계적 오차를 인정하여 효율성 값은 높고 생산성 증가율의 값은 작기 때문이다.

이처럼 변경접근법의 본질적 특성에 따라 추정된 결과는 다르게 나타난 반면, 이러한 결과로부터 도출되는 정책적 시사점은 비슷한 편이다. 첫째, 이용한 변경접근법이 무엇인지에 관계없이 우리나라의 세 도시철도 운영기관들에 생산적 비효율성이 10% 이상 존재하는 것으로 나타났으며, 기술적 효율성이 배분적 효율성보다 생산적 효율성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도시철도 운영기관들의 효율성을 높이기 위해서는 요소 투입량을 감축하여 기술적 효율성을 높여야 함을 의미한다.

다음으로 이용한 변경접근법이 무엇인지에 관계없이 생산성 증가율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 기술진보이며, 다음으로 규모의 경제 효과, 생산적 효율성 순인 것으로 나타났으며, 이러한 세 요인들의 생산성에 대한 기여도는 유의한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 도시철도 운영기관들의 생산성을 높이기 위해서는 먼저 기존 기술을 보다 효율적으로 활용한 다음 노동투입량을 줄이면서 산출량을 증가시킬 수 있는 신 기술을 도입해야 하며, 생산성 증가를 추정시 편의가 발생할 가능성을 줄이기 위해서는 세 요인들을 모두 고려해야 함을 의미한다.

본 연구의 한계와 향후 연구방향은 다음과 같다. 먼저 확률적 비용변경접근법을 이용한 추정방법과 관련하여 본 연구에서는 제2종 실패가 발생하였기 때문에 최빈값으로 비효율성을 추정할 수밖에 없었다. 그러나 보다 정확한 비효율성 값을 측정하기 위해서는 확률분포를 이용한 기대값을 추정할 필요가 있다. 다음으로 두 변경접근법에 의한 추정결과로부터 정책적 시사점을 제시하는데 있어서 큰 차이는 없었지만, 변경접근법별로 추정결과가 어느 정도 다른 것으로 나타났기 때문에 이들의 단점을 교정할 수 있는 방법에 관해 연구할 필요가 있다. 마지막으로 본 연구의 표본에 포함된 운영기관들 외에 다른 기관들이 추가될 경우 본 연구의 결과와 달라질 수 있기 때문에 조직간 효율성 및 생산성의 차이 등에 대해 보다 구체적으로 분석하기 위해서는 다른 국가의 도시철도 운영기관들을 포함한 여러 기관들을 표본에 포함하여 결과를 도출하고 비교할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 김민정·김성수(2003), "자료포락분석기법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성 분석", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.113~132.
2. 김민정·김성수(2004), "한국 도시철도 운영기관의 생산성: 비모수적 Malmquist 접근법에 의한 분석", 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.35~46.
3. 한국개발연구원 외(1999), "지하철 및 광역전철의 건설·운영 개선방안".
4. Banker R. D. et al.(1986), "A Comparative Application of Data Envelopment Analysis and Translog Methods: An Illustrative Study of Hospital Production", Management Science, Vol. 32, pp.30~44.
5. Cantos P. et al.(1999), "Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-parametric Approach", Transportation, Vol. 26, pp.337~357.
6. Cubbin J. and G. Tzanidakis(1998), "Regression Versus Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement: An Application to the England and Wales Regulated Water Industry", Utilities Policy, Vol. 7, pp.75~85.
7. Friedlaender et al.(1993), "Rail Costs and Capital Adjustments in A Quasi-regulated Environment", Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 27, pp.131~152.
8. Hensher D. A. et al.(1995), "A Comparative Assessment of the Productivity of Australia's Public Rail Systems 1971/72~1991/92", Journal of Productivity Analysis, Vol. 6, pp.201~223.
9. Mizutani F.(1994), "Japanese Urban Railways: A Private-Public Comparison", Ashgate Publishing Company.
10. Olson et al.(1980), "A Monte Carlo Study of Estimators of Stochastic Frontier Production Function", Journal of Econometrics, Vol. 13, pp.67~82.
12. Pollitt M. G.(1995), "Ownership and Performance in Electric Utilities: the International Evidence on Privatization and Efficiency", Oxford University Press.

13. Sanchez P. C. and J. M. Villarroya(2000), "Efficiency, Technical Change and Productivity in the European Rail Sector: A Stochastic Frontier Approach", *International Journal of Transport Economics*, Vol. 27, pp.55~76.
14. Sharma K. R et al.(1997), "Productive Efficiency of the Swine Industry in Hawaii: Stochastic Frontier vs. Data Envelopment Analysis", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 8, pp.447~459.
15. Schmidt P. and C. A. K. Lovell(1979), "Estimating Technical and Allocative Inefficiency relative to Stochastic Production and Cost Frontiers", *Journal of Econometrics*, Vol. 9, pp.343~366.
16. Viton P. A.(1998), "Changes in Multi-mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992", *Transportation*, Vol. 25, pp.1~21.

♣ 주 작 성 자 : 김민정

♣ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 18 (1차)

2005. 8. 17 (2차)

심사판정일 : 2005. 8. 17

♣ 반론접수기한 : 2005. 12. 31