

확률적 프론티어 방법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성 분석 : 외부 환경요인의 효과

강병재¹ · 손기형² · 이수열^{2*}

¹광주도시철도공사, ²전남대학교 경영학부

The Efficiency Analyses of Urban Railway Corporations Using
a Stochastic Frontier Analysis : The Effect of External Factors

Byeongjae Kang¹ · Ki-Hyong Sohn² · Su-Yol Lee^{2*}

¹Gwangju Metropolitan Transit Corporation

²College of Business Administration, Chonnam National University

■ Abstract ■

With the huge concerns on the inefficiency of public enterprises, particularly a significant amount of debt, an increasing number of studies have been carried out to analyze the levels of inefficiency and investigate the causes of that inefficiency. However, very limited range of analytical methodologies have been used in the efficiency analysis and moreover, the effects of external factors have been little addressed. This study explores the efficiency of urban railway corporations in Korea by utilizing a method of stochastic frontier analysis (SFA). In particular, the potential effects of external factors including residential and floating populations of a station were statistically analyzed. A total of seven Korean urban railway corporations were selected to compare each other in terms of operational efficiency. The results present three important findings. First, the Cobb-Douglas model was found to be more valid for SFA compared to the Translog model. Second, the efficiencies of urban railway corporations in Seoul and Busan are relatively high whereas those of Daejeon and Gwangju are very low in efficiency in the area of sales revenue. In an aspect of number of transport of passengers, Gwangju Metro also showed the lowest efficiency. Third, the external factors are significantly associated with the efficiency, indicating that the efficiencies of Daejeon Metro and Gwangju Metro would increase while the efficiency of Seoul Metro would decrease when the external variables are excluded in the efficiency analysis. The results provide several meaningful implications for managers of the urban railway corporations as well as policy makers who are attempting to resolve the inefficiency problems of public enterprises.

Keywords : Operational Efficiency, Public Enterprises, Stochastic Frontier Analysis, External Factors

논문접수일 : 2014년 03월 06일 논문게재확정일 : 2014년 04월 28일

논문수정일 : 2014년 04월 11일

* 교신저자, leesuyol@jnu.ac.kr

1. 서론

국가나 지방자치단체가 경영의 주체가 되는 공기업의 효과적인 운영 방안에 대한 논쟁은 오랜 기간 지속되었다. 공기업은 공익성을 추구해야 하는 동시에 효율적 운영을 통해 수익도 내야 하는 양면적인 성격을 지니고 있다. 방만한 경영과 비효율은 공기업에 늘 꼬리표처럼 따라 붙는다. 1997년 외환위기 때 통폐합과 민영화라는 구조조정을 겪은 후 비효율을 지속적으로 개선해가고 있지만 아직도 공기업의 비효율은 사회적 이슈가 되고 있다. 예를 들어 2012년 기준으로 LH공사와 한국전력공사를 포함한 대형 공기업 12곳의 부채는 412조 원에 달해 사회적인 우려를 자아내고 있다. 전국의 도시철도 운영기관도 예외는 아니다. 우리나라에서 운영되는 도시철도는 서울, 서울 근교, 부산과 부산 근교, 4대 광역시에 걸쳐 총 21개 노선이 운영되는데 2011년 말 기준으로 연간 운영적자는 모두 9천억 원에 달한다[16]. 공기업의 운영 효율성을 높이기 위한 경영 혁신의 요구가 거세지는 이유이다.

공기업은 지속적으로 효율성을 개선하고 적자를 줄이기 위한 노력을 다해야 한다. 하지만 운영 비효율에 대한 면밀한 분석 없이 공기업의 적자를 단순히 내부의 방만 경영이나 도덕적 해이로 단정짓는 것 또한 문제가 있다. 예를 들어 최근에 사회적 반향을 불러온 한국철도(코레일) 파업의 경우에도 회사의 급증하는 적자의 원인에 대한 논란이 분분했다. 운영의 경직성에 따른 인건비 증가 등 내부적인 방만 경영에서 원인을 찾기도 하지만 국가정책에 따른 저수익성 노선의 신규개통 등 외부 요인이 적자의 주된 원인이라는 지적도 크기 때문이다 [12, 7, 10]. 도시철도를 비롯한 공기업의 비효율성을 개선하기 위해서는 무엇보다 직관에 의지한 해석을 벗어나 과학적이고 체계적인 방법을 통해 운영 효율성의 수준을 면밀히 파악해야 할 필요가 있다. 또한 효율성에 영향을 미치는 요인 분석은 기업 운영 내부와 외부 환경에서 다양하게 접근되어야 한다.

도시철도 운영기관의 효율성에 대한 사회적 관심에 비해 학술적인 연구는 부족한 편이다. 국내 철도와 도시철도의 상대적 효율성에 대한 기존 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 도시철도 효율성에 영향을 미치는 외부 환경요인을 고려한 접근이 이루어지지 못하고 있다. 국내 도시철도 운영기관의 상대적 효율성을 분석한 연구[3, 11, 15]와 우리나라와 일본을 비교한 연구[9, 14] 등이 국내 도시철도 또는 철도의 효율성에 대한 중요한 시사점을 제공했지만 이들 문헌의 대다수는 내부 투입요소만을 고려하고 외부 영향요인을 고려하지 못했다. 둘째, 운영의 상대적 효율성 분석을 위한 보다 다양한 기법의 활용이 요구된다. 프론티어 분석(frontier analysis) 방법이 상대적 효율성을 분석할 때 주로 활용되고 있는데 이 중 자료포락분석(data envelopment analysis : DEA)이 상대적으로 많이 사용되었다. DEA 방법은 채무의 주식가치 평가[4], 공급망의 품질경영[13] 등 다방면에서 활용되고 있다. 반면, 프론티어 분석의 다른 한 종류인 확률적 프론티어 분석(stochastic frontier analysis : SFA)은 최근 활용빈도를 높여가고 있지만 아직 소수에 불과하다. 도시철도 등 공기업의 효율성 분석에도 비교 대상이 되는 여러 운영기관의 효율성을 분석하기 위하여 프론티어 분석이 활용되어 왔는데 DEA 기법에 비해 SFA적용은 부족한 편이다[1]. 두 가지 대표적인 분석기법은 각기 장, 단점이 있어 연구목적에 따라 다르게 활용될 수 있다. SFA의 경우 상대적으로 비효율성을 엄밀하게 측정할 수 있고 비효율성의 영향요인에 대한 통계 검정이 가능하기 때문에 원인-결과를 정밀하게 분석하는데 유용한 도구가 된다[17]. 공기업의 내, 외부적인 효율성 영향요인을 엄밀하게 분석하는데 SFA 등 보다 다양한 분석기법을 적용한 연구가 수행되어야 한다. 셋째, 기존 연구에서 사용된 자료의 신뢰성에 종종 문제가 제기된다. 예를 들어, 통계자료는 대부분 연도 말 기준의 자료인데 연중에 추가 개통된 노선이 있을 경우 실제 운영되지 않았던 기간까지 분석에 포함되어 상대적으로 효율성을 떨어뜨리는 결

과를 가져온다. 상황에 대한 엄밀한 분석을 통해 데이터가 잘못 해석되지 않도록 해야 할 필요성이 대두된다.

이 연구는 공기업의 효율적 운영에 대한 사회적 관심을 인지하고 관련된 학술 연구의 한계를 넘어서기 위한 동기를 가지고 수행되었다. 이 논문은 우리나라 도시철도를 운영하는 공공기관의 운영 효율성을 분석하고 효율성 차이의 원인을 규명하고자 한다. 확률적 프론티어 분석 방법을 활용하여 상대적 효율성을 분석한다. 무엇보다 내부 운영적 인 측면 이외에 노선과 관련된 외부 환경요인이 효율성에 미치는 영향을 통계적으로 검증함으로써 효율성의 원인을 내, 외부에서 다각적으로 분석하고자 하였다. 이 연구는 공공기관의 상대적 효율성에 대한 종합적인 분석 결과를 제공하여 실무적, 학술적 측면에서 정책, 운영, 전략 부문에 다양한 시사점을 제공하고 있다.

2. 선행연구와 이론적 배경

2.1 도시철도 운영 효율성

도시철도를 포함한 국내의 철도 운영기관의 상대적 효율성은 주로 프론티어 분석기법을 활용하여 이루어졌다. 본 연구에서 다루고자 하는 연구주제와 관련된 기존 연구는 다음과 같다.

김민정[3]은 DEA와 SFA 두 기법을 모두 이용하여 서울메트로, 철도공사의 수도권 전철부문과 부산교통공사의 효율성과 생산성을 분석하였다. 투입요소는 비용, 산출요소는 운행거리 당 전동차 수(전동차-Km)가 사용되었다. 비용은 일반적인 측정 항목인 인건비, 동력비, 유지보수비, 자본비를 이용하였다. 분석결과 생산적 효율성 지수와 배분적 효율성 지수 측면에서는 서울메트로가, 기술적 효율성 지수 측면에서는 철도공사의 수도권 전철부문이 가장 높았다. 반면 부산 철도공사의 효율성이 가장 떨어지는 것으로 나타났다. 심광식과 김재윤의 연구[11]는 국내 지하철 운영기관의 상대적 효

율성을 분석하였는데 DEA 기법의 한계를 개선하기 위하여 계층분석과정(AHP)을 추가한 DEA-AR/AHP 모형을 활용하였다. 투입요소로 노동력, 운영역사의 수, 차량수를 설정하고 산출변수는 수송인원과 운송수익을 활용하였다. 전국 도시철도의 개별 운영 노선을 의사결정단위(DMU)로 비교한 결과 서울메트로 1호선이 가장 효율성이 높은 것으로 나타난 반면, 광주도시철도의 효율성은 매우 낮은 것으로 분석되었다. 특히 이 연구는 규모불변수익을 가정한 모형과 규모변동수익을 가정한 모형 두 가지 다른 모형을 모두 평가하였는데 광주도시철도의 경우 규모변동수익 효율성은 높은 반면 규모불변수익 효율성은 매우 낮았다. 효율성이 내부 운영의 문제보다 규모의 경제, 즉 외적인 요인에 의해 더 많은 영향을 받는다는 사실을 시사하는 점이다. 윤장호[15]는 2007년부터 2010년까지 국내 도시철도 운영기관의 효율성을 종단적인 측면에서 비교하였다. 투입과 산출요소는 다른 연구와 유사하다. 공기업이 운영하는 도시철도의 효율성을 높이기 위해서는 직종별 업무 특성에 따른 유연한 인력배치, 비숙박 근무제도 등 개선안 도입이 시급하다는 정책적 제언을 내놓았다. 도시철도의 운영 효율성 원인을 내부 관리 측면에서 주로 분석한 연구라고 할 수 있다.

상대적 효율성을 외국의 운영기관과 비교한 연구도 있다. 비교대상은 주로 일본의 철도나 도시철도였다. 오창호의 연구[14]는 우리나라와 일본의 도시철도 운영 효율성과 생산성을 비교하고 있다. DEA 기법을 이용하여 효율성을 분석하였고 효율성 영향요인은 토빗 회귀분석을 통해 규명하였다. 투입요소는 차량수, 사용 전력량, 직접 직원, 간접 직원을 설정하였고 산출요소는 수송인원, 운행거리 당 차량수(차량-Km), 운행거리 당 열차수(열차-Km)가 사용되었다. 일본에 비해 우리나라 도시철도 운영 효율성이 상대적으로 떨어지는 결론을 얻었다. 철도를 대상으로 한 비교연구도 있다. 박진경과 김성수[9]는 한국철도와 일본국철, 일본척도주식회사의 효율성을 노동비, 동력비, 유지보수비, 운행거리 당

여객수(여객-Km), 운행거리 당 화물수(화물-Km)를 분석하였다. 이 연구는 SFA 기법을 이용하였다. 김현웅[8]의 연구는 우리나라 철도의 운송효율성을 OECD국가의 철도와 비교한 바 있는데 우리나라 운송효율성 지수가 공공성과 수익성 측면에서 모두 매우 우수한 것으로 분석되었다. 다른 OECD의 철도와 비교하여 적은 객차, 낮은 운영경비로 여객과 화물열차를 더 많이 운행하고 있는 결과를 얻어 이전 일본과 비교한 연구와 차이점을 보였다.

2.2 확률적 프론티어 분석(Stochastic Frontier Analysis : SFA)

의사결정단위(DMU)의 효율성을 추정하는 대표적인 프론티어 분석 기법에는 DEA와 SFA가 있다. 프론티어 분석은 프론티어에 있는 DMU가 가장 효율적이며 이 선에서 떨어져 있는 개체는 비효율적인 것으로 간주되고 경계선에서 떨어진 정도가 비효율성으로 평가된다. DEA는 비모수적 방법으로 주어진 표본자료를 토대로 확정적 프론티어를 도출하는 선형계획법의 일종이다. 비모수적 특성에 따라 강한 가정이 필요하지 않기 때문에 여러 개의 산출물을 동시에 분석하는데 용이하지만 통계적인 추론이 어렵고 이상치에 따라 결과가 크게 달라질 수 있는 단점이 있다. 반면 SFA는 노이즈(noise)가 있는 자료를 분석하는데 용이하고 통계적 추론이 쉬운 장점이 있는 반면 함수에 대한 엄격한 추정이 필요하고 기본적으로 회귀분석 모형을 따르기 때문에 다수의 산출변수를 동시에 취급하는데 어려움이 있다[5]. 본 논문은 SFA 기법을 사용하여 도시철도 운영기관의 효율성을 분석하였으므로 이 방법에 대해서만 논의하기로 한다.

SFA는 프론티어 함수를 추정함으로써 생산효율성을 측정하는 계량경제학적 방법 중 하나로 확정적 프론티어 생산함수 모형에 무작위 오차를 추가하여 분석한다. Aigner et al.[18], Meeusen and Van den Broeck[23]가 제시한 생산함수는 다음의 형태를 지닌다.

$$\ln(y_i) = x_i\beta + v_i - u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$\ln(y_i)$ 는 i 번째 기업 산출물에 자연로그를 취한 값, x_i 는 $(m+1)$ 행벡터로서 첫 번째 원소는 1이고, 나머지 원소는 i 번째 기업에 의해 사용된 m 개의 투입요소에 자연로그를 취한 것, β 는 원소가 $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ 인 $(m+1)$ 열벡터로서 추정되어야 할 미지의 모수들을 의미하며, u_i 는 포함된 산업 내 기업들의 생산에서 기술적 비효율성과 관련된 음수가 아닌 무작위변수(non-negative random variable)를 의미한다. 확률 오차항 v_i 는 생산함수를 추정할 때 구체화되지 않은 투입물 변수들에 대한 결합효과와 함께 측정 오차와 날씨, 파업, 운 등과 같은 산출물 변수에 대해 영향을 미치는 확률요인 등이 포함된다. 일반적으로 v_i 는 u_i 와 독립적이며, 평균이 0이고 일정한 분산 σ_v^2 을 가진 상호 독립적이며 동일한 분포의 정규 무작위변수라고 가정한다[18].

SFA는 효율성을 측정하는데 있어서 확률변수인 v_i 라는 무작위 오차를 고려하여 프론티어를 설정하고 효율성 변수인 u_i 를 오차항에 포함시켜 전체 오차에서 무작위 오차와 비효율성 오차를 분리하여 효율성을 측정하는 특징을 가진 방법론이다. u_i 는 비효율성을 나타내는 변수로 이 값이 클수록 DMU $_i$ 의 산출이 생산 프론티어로부터 멀어지므로 효율성이 낮아지게 된다. SFA에서 비효율성을 나타내는 u_i 는 중요한 변수이며 확률분포 형태에 따라 반정규분포(half normal), 지수감마분포(exponential gamma), 절단정규분포(truncated normal) 등으로 구분하며 국내 실증분석에서는 반정규분포나 절단정규분포가 가장 많이 사용되고 있다[5, 2].

Kumbhakar et al.[22]은 u_i 를 특성변수 벡터와 무작위 오차로 구성된 함수 형태로 포함시킨 1단계 방식의 SFA 모형을 제안한 바 있고, Battese and Coelli[19]는 이 모형을 확대하여 비효율성 오차항인 u_i 를 비효율성에 영향을 미치는 변수들로 구성된 함수형태로 SFA 모형에 추가한 모형을 제시하였다. SFA에서 기술적 효율성은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있고, 식 (3)은 Battese and Coelli[19]의 SFA 모형

에서 u_i 오차항을 표현한 식이다. 이 연구가 따르고 있는 분석 모형이다.

$$TE_i = \frac{y_i}{\exp(x_i\beta + v_i)} \quad (2)$$

$$= \frac{\exp(x_i\beta + v_i - u_i)}{\exp(x_i\beta + v_i)} = \exp(-u_i)$$

$$u_i = Z_i\delta + W_i \quad (3)$$

Z_i 는 (1×k)벡터로서 비효율성과 관련된 설명변수를 의미하고, δ 는 (k×1)벡터로서 추정되어야 할 미지의 모수이며, W_i 는 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 절단정규분포를 갖는 무작위변수이다. u_i 가 음수가 아닌 무작위변수이므로 W_i 가 취할 수 있는 최소값은 $-Z_i\delta$ 이고, 따라서 $W_i \geq -Z_i\delta$ 이 된다.

SFA는 프러티어를 확률적이고 모수적으로 추정하는 계량경제학적 모형이므로 함수형태를 가정해야 하며, 생산함수로서 Cobb-Douglas 함수 또는 Translog 함수가 흔히 사용된다. 모수의 추정 방법은 최우도(maximum likelihood) 방법과 수정 최소자승법(corrected ordinary least square : COLS)이 주로 활용된다. SFA는 통계적 유의성 검정을 통해 모형의 타당성을 확인할 수 있을 뿐 아니라, 효율성에 영향을 미치는 요인에 대한 가설검정도 가능하다[17]. 모형의 유의성은 제시한 모형에서 기술적 비효율성 효과가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하는 방식으로 검증하게 된다. 이러한 장점 때문에 SFA기법은 병원과 같은 서비스 운영기관의 효율성 분석[6], 금융기관의 효율성 분석[2], 공공기관의 기술이전의 효율성 분석[5] 등 여러 분야에서 활용도를 넓혀가고 있다.

3. 도시철도 운영기관의 효율성 분석 모형

3.1 SFA 분석모형

본 연구는 우리나라 도시철도 운영기관의 효율

성을 분석하기 위하여 Battese and Coelli[19]의 모형을 적용하였다. 생산함수는 Cobb-Douglas함수와 Translog함수를 모두 적용하여 분석한 후 모형의 유의성을 검증하여 보다 적합한 생산함수를 사용하는 절차를 따랐다. 도시철도 효율성 분석을 위한 Cobb-Douglas모형은 식 (4), 식 (5)와 같고 Translog 모형은 식 (5), 식 (6)처럼 표현된다.

$$\ln \text{영업수익} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{직원수} + \beta_2 \ln \text{차량수} + \beta_3 \ln \text{운영비용} + v_i - u_i \quad (4)$$

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 \text{역세권 거주인구} + \delta_2 \text{역세권 유동인구} + \delta_3 \text{규모Dummy} + W_i \quad (5)$$

$$\ln \text{영업수익} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{직원수} + \beta_2 \ln \text{차량수} + \beta_3 \ln \text{운영비용} + \frac{1}{2} \beta_{11} (\ln \text{직원수})^2 + \frac{1}{2} \beta_{22} (\ln \text{차량수})^2 + \frac{1}{2} \beta_{33} (\ln \text{운영비용})^2 + \beta_{12} (\ln \text{직원수} \times \ln \text{차량수}) + \beta_{13} (\ln \text{직원수} \times \ln \text{운영비용}) + \beta_{23} (\ln \text{차량수} \times \ln \text{운영비용}) + v_i - u_i$$

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 \text{역세권 거주인구} + \delta_2 \text{역세권 유동인구} + \delta_3 \text{규모Dummy} + W_i \quad (7)$$

앞서 설명한 바와 같이 위 식에서 v_i 는 u_i 와 독립적이며 평균이 0, 일정한 분산 σ_v^2 인 정규분포를 갖는 통계적 오차를 나타내는 무작위 오차항이다. u_i 는 독립적이고 등분산 분포를 갖는 것으로 가정하고 음수가 아닌 단측 무작위 오차항으로써 기술적 비효율성을 나타낸다.

3.2 변수의 설정과 분석 자료

도시철도의 효율성 분석을 위한 변수의 범주는 크게 투입변수, 산출변수, 환경변수로 구분된다. 이 논문에서 사용한 측정변수를 정리하면 다음과 같다.

투입변수 : 철도와 도시철도 운영효율성 문헌에서 주로 사용했던 노동, 차량, 궤도, 역, 동력, 운영경비 중에서 가장 공통적으로 사용되고 있는 직원수, 차량수, 운영경비를 투입변수로 설정하였다. 첫째,

직원수는 도시철도 운영을 위해 투입되는 각 운영기관의 직원 중 기술분야 직원의 정규직 현재인원을 변수로 사용하였다. 도시철도 운영기관 직원은 크게 행정분야와 기술분야로 구분되는데 이 중 행정분야 직원의 경우 다른 투입변수인 차량수와 매우 높은 상관관계¹⁾를 보여 다중공선성의 문제가 예상되어 제외하였다. 또한 행정직원 분야 중에서도 큰 비율을 차지하는 역무업무의 경우 운영기관에 따라 직영 또는 외주 방식으로 각기 다르게 운영하고 있다. 대체로 정규직 형태로 운영되는 기술직에 비해 행정직은 외주 편차가 크기 때문에 단순 비교할 경우 결과와 해석상 왜곡이 발생할 수 있는 문제점이 있어 이 연구에서 기술분야 인원으로 한정하였다. 차량수는 각 운영기관이 보유하고 있는 전동차 차량의 수를 변수로 이용하였다. 각 운영기관이 보유하고 있는 선로연장 및 역수 또한 중요한 투입변수이다. 하지만 이들 변수를 도시철도 운행환경 차이를 충분히 반영하기 어려운 단점이 있다. 예를 들어 차량수는 서울은 10량, 8량이 1개 편성으로 구성된 반면 광주나 대전은 4량이 1개 열차 편성이다. 본 연구는 투입, 산출 변수의 원자료를 사용하는 대신 표준화 방법을 채택하였다. 결과적으로 산출 및 투입변수를 노선연장 거리(Km)당 단위로 변환하여 분석을 시행하였으므로 노선연장을 투입변수에서 제외하였다. 또한 각 운영기관별 거리(Km)당 역수는 큰 차이 없이 거의 유사하여 산출변수인 영업수익에 의미 있는 영향을 미치지 않을 것으로 예상되어 제외하였다. 운영경비는 투입변수에 기술 분야 인원이 포함되어 있는 것을 감안하여 영업비용에서 인건비성 경비인 “1인당 평균 인건비 × 기술 분야 현재인원”을 제외한 비용을 변수로 사용하였다. 운영경비 또한 통계청의 GDP 디플레이터를 적용하여 2005년 기준으로 실질가치를 환산하여 적용하였다.

산출변수 : 이 연구에서 산출변수로 운영기관의 영업수익과 수송인원 두 가지를 사용하였다. 단일 산출변수를 사용해야 하는 SFA 기법의 특성상 각 변수를 단일 산출변수로 하는 두 개의 개별모형으로 분석하였다. 철도기관 운영기관의 영업수익은 매년 경로우대, 국가유공자 등의 무임수송인원에 대한 무임수송손실액을 영업수익에 가산하여 사용하였으며, 통계청의 GDP 디플레이터를 적용하여 2005년 기준으로 실질가치를 환산하여 적용하였다.

환경변수 : 본 연구는 외부 환경요인을 고려한 효율성 분석을 시도한다. 도시철도 효율성에 영향을 미칠 수 있는 외부 요인으로 역세권 거주인구, 역세권 유동인구 및 운영기관 규모를 사용하였다. 역세권 거주인구는 도시철도 각 역이 위치한 행정동의 인구를 가산한 후 역수로 나누어 역당 평균 거주인구를 사용하였으며, 통계청의 읍·면·동별 주민등록인구통계 자료를 활용하였다. 역세권 유동인구는 도시철도 각 역의 일일 승차인원과 하차인원을 가산한 후 역수로 나누어 역당 일일 평균 유동인구를 사용하였다. 도시철도 운영기관 규모변수는 터미변수를 활용하여 보유 노선이 2개 이상의 경우 “1”, 단일노선인 경우 “0”을 사용하였다.

분석대상은 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 인천교통공사, 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사 등 총 7개 도시철도 운영기관이다. 자료는 도시철도 운영기관의 홈페이지 게시자료, 안전행정부의 경영평가 결과보고서, 공기업 운영현황 자료, 지방공기업 경영정보시스템의 통계자료 등을 통해 수집하였고 부족한 부분은 각 운영기관에 질의하여 확보하였다. 각 지방자치단체 도시철도 운영기관별 운행 및 경영환경 차이를 분석에 반영하기 위하여 투입과 산출변수를 노선연장 1Km당 단위로 변환하여 분석하였다. 7개 도시철도 운영기관의 2008년부터 2012년까지 자료를 최종 분석에 사용하였고 산출변수, 투입변수, 환경변수의 원자료는 <부록 1>에 정리되어 있다.

1) “ln행정분야 직원”과 “ln차량수”의 Pearson 상관계수 = 0.953(p = 0.000). 생산함수에 사용되는 데이터는 자연로그로 변환된 값이므로 자연로그로 변환 후 상관계수를 측정하였다.

4. 실증분석 결과

4.1 도시철도 효율성 변수의 기술통계

본 연구는 전국 7개 도시철도 운영기관의 효율성을 SFA 기법을 통해 분석한다. 각 지역의 운행환경이 다른 점을 고려하여 산출변수와 투입변수는 노선연장 1Km 당 자료로 변환하여 분석하였고 운영기관의 5년간 자료의 기술통계량은 다음 <표 1>과 같다.

도시철도 운영기관의 투입, 산출, 환경변수에 대한 기술통계량을 보면 5년간 변화가 크지 않은 것을 알 수 있다. 반면 각 운영기관별 투입, 산출, 환경요인은 차이가 많은 것으로 나타났다. 노선당 직원은 서울메트로가 가장 많고 운영비용과 영업수익, 수송인원도 상대적으로 높다. 역세권 거주 인구는 인천교통공사가 가장 높으나 유동인구는 서울메트로가 가장 높다. 광주도시철도의 경우 역세권 거주인구가 다른 곳에 비해 현저히 적어 노선 운영에 외부 환경요인의 영향을 많이 받을 수 있는 가능성이 높은 곳을 예상할 수 있다.

4.2 SFA 기법을 이용한 생산함수의 유의성 검증

본 연구는 도시철도 운영기관의 효율성을 분석하기 위하여 SFA 기법을 활용하였으며 실제 분석을 위하여 FRONTIER 4.1 소프트웨어를 이용하였다.

영업수익을 산출변수로 하여 Cobb-Douglas 모형과 Translog에 대해 분석하여 모수를 추정하였고 모두 통계적으로 유의한 결과를 얻어 이후 분석에 사용할 수 있었다. 모수 추정과 통계적 유의성은 부록 2에 제시되어 있다. 모형의 검정을 위하여 두 가지 생산함수를 모두 적용하고 Coelli[20]가 제안한 일반우도비검정(generalized likelihood-ratio test : LR 검정)을 이용하여 모형의 타당성을 먼저 검정하였다. LR 검정에서 반정규분포 모형의 경우에 검정통계량(LR값)은 통상적으로 제약의 수와 동일한 자유도를 가진 카이제곱분포로 검정한다. 유의수준 α 에서 검정 임계치는 확률이 2α 에 해당하는 $\chi^2_{1-2\alpha}(d.f.)$ 값이며 이 값보다 검정통계량 값이 크면 귀무가설을 기각한다. 절단정규분포모형의 경우에는 임계치를 혼합카이제곱분포(mixture of chi-square distribution)의 값으로 하는 한다[21]. LR 검정은 분석 모형에 기술적 비효율성 효과가 존재하지 않는다는 귀무가설($H_0 : \gamma = 0$)과 대립가설 하에서 각각 추정된 우도함수의 값으로 검정하는 것이다[17]. 생산함수로 사용한 Cobb-Douglas 모형과 Translog 모형에 대한 분석결과 도시철도 운영효율성 분석에는 Cobb-Douglas 모형이 타당한 것으로 나타났다(<표 2> 참조). 이 결과를 토대로 이후 분석은 Cobb-Douglas 모형을 이용한 SFA 기법이 사용되었다.

<표 1> 도시철도 운영기관의 5년간 기술통계량

구 분	직원수		차량수		운영비용		영업수익		수송인원		역세권 거주인구		역세권 유동인구	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
서울메트로	50.7	2.2	14.3	0.1	5,106.8	180.3	7,239.4	423.2	10,826.2	124.4	17.1	0.3	50.6	0.3
서울도시철도공사	29.3	0.8	10.3	0.0	3,256.3	121.2	3,716.7	188.0	5,753.6	199.0	23.2	0.2	22.6	0.7
부산교통공사	23.4	1.2	8.1	0.0	2,933.4	98.5	3,650.7	92.2	2,803.2	91.4	18.4	1.4	15.5	0.4
인천교통공사	25.1	2.5	9.1	0.2	3,627.5	425.4	2,297.0	160.3	2,912.6	201.7	25.8	1.4	12.0	0.6
대구도시철도공사	25.3	0.3	7.1	0.0	3,193.9	214.8	1,972.9	460.0	2,171.2	125.1	10.6	0.1	11.4	0.7
광주도시철도공사	22.3	1.5	4.5	0.0	2,799.9	133.2	818.7	51.8	860.2	15.7	7.4	0.4	4.8	0.1
대전도시철도공사	24.2	0.3	4.1	0.0	2,658.0	296.1	1,660.7	314.5	1,705.8	176.7	13.3	0.3	8.7	0.9

<표 2> LR 테스트에 의한 모형 검정

모형명	LR통계량	검정결과	해석
Model_C	46.1039***	귀무가설(H0) 기각	모형이 유의하며, 비효율성 효과 존재
Model_T	6.6824	귀무가설(H0) 채택	모형 유의하지 않고, 비효율성 효과 없음

주) *** $p < 0.01$.

4.3 SFA 기법을 이용한 도시철도 효율성 분석 : 평균 효율성 변화

지방 공기업 형태로 운영되고 있는 국내 도시철도 운영기관 전체의 평균 효율성을 SFA 기법으로 2008년부터 2011년까지 분석하여 효율성 변화 추이를 파악하였다. 인천교통공사의 2012년 자료를 확보하기 어려워서 2012년 전체 평균효율성은 분석에서 제외하였다. 분석결과 2008년부터 2011년까지 전국 7개 도시철도 운영기관의 영업수익 측면의 평균 효율성은 0.581, 수송인원 측면의 평균 효율성은 0.842로 나타났다(<표 3> 참조). 산출변수로 수송인원을 사용했을 때에 영업수익을 사용했을 때보다 평균 효율성이 높게 나타났다. 영업수익의 평균 효율성은 매년 꾸준히 상승하고 있다. 효율성 개선의 이유는 이후 자세한 분석을 통해 파악되어야 하지만 전반적으로 내부 경영개선 뿐 아니라 외부 환경요인 변화가 원인인 것으로 예상된다. 반면 수송인원의 평균효율성은 증감이 크지 않다. 수송인원 자체의 변화가 높지 않기 때문인 것으로 풀이된다.

4.4 도시철도 운영기관의 상대적 효율성 분석

SFA 기법을 사용하여 전국 7개 도시철도 운영기관의 영업수익 측면에서 상대적 효율성을 분석하였다(<표 4> 참조). 2008년부터 2012년까지(자료가 없는 인천교통공사의 2012년을 제외하고) 도시철도의 운영효율성을 분석한 결과 서울메트로가 평균 0.983년으로 가장 높았고 서울도시철도공사가 0.937, 부산교통공사가 0.897로 뒤를 이었다. 그러나 광주도시철도공사는 평균 효율성 0.136으로 가장 낮은 효율성을 보이고 있다.

각 운영기관의 효율성은 매년 개선되고 있다. 효율성 개선은 내적인 경영노력 뿐 아니라 외적인 환경요인 변화에 영향을 받았을 것으로 추정된다. 예를 들어, 서울도시철도공사와 부산교통공사는 2012년에 효율성이 크게 향상되었고 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전철도공사도 2011년과 2012년에 가파른 효율성 상승세를 보였다. 이 시기에 지하철 운임 인상이 있었고 산출변수인 영업수익이 크게 늘어 전반적으로 효율성 향상으로 이어진 것으로 분석된다.

<표 3> 도시철도 운영기관 효율성 변화 분석

분석 모형		2008년	2009년	2010년	2011년	평균
평균효율성 (증가율)	영업수익 측면	0.568	0.576 (1.4%)	0.587 (2.0%)	0.592 (0.8%)	0.581
	수송인원 측면	0.842	0.854 (1.4%)	0.846 (-0.9%)	0.858 (1.4%)	0.850

<표 4> 영업수익 측면의 도시철도 운영기관의 상대적 효율성 비교

운영기관	효율성					평균
	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	
서울메트로	0.982	0.981	0.980	0.984	0.988	0.983
서울도시철도공사	0.920	0.930	0.943	0.930	0.963	0.937
부산교통공사	0.899	0.876	0.876	0.886	0.947	0.897
인천교통공사	0.483	0.540	0.584	0.532	자료없음	0.535
대구도시철도공사	0.349	0.346	0.365	0.421	0.548	0.406
광주도시철도공사	0.131	0.126	0.130	0.141	0.150	0.136
대전도시철도공사	0.209	0.232	0.232	0.250	0.281	0.241

<표 5> 수송인원 측면의 도시철도 운영기관의 상대적 효율성 비교

운영기관	효율성					
	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	평균
서울메트로	0.9879	0.9886	0.9894	0.9896	0.9903	0.9892
서울도시철도공사	0.9897	0.9895	0.9898	0.9908	0.9915	0.9903
부산교통공사	0.9729	0.9755	0.9695	0.9691	0.9706	0.9715
인천교통공사	0.9901	0.9845	0.9852	0.9876	자료없음	0.9868
대구도시철도공사	0.7625	0.7558	0.7236	0.7483	0.8040	0.7588
광주도시철도공사	0.4413	0.5121	0.4987	0.5040	0.5216	0.4955
대전도시철도공사	0.7520	0.7745	0.7682	0.8179	0.9462	0.8118

수송인원 측면에서 상대적 효율성은 서울도시철도공사가 평균 0.990으로 가장 높았고 서울메트로가 0.989, 인천교통공사가 0.987, 부산교통공사가 0.972로 뒤를 이었다. 그러나 광주도시철도공사는 평균 효율성 0.500으로 가장 낮은 효율성을 보이고 있다. 각 운영기관의 효율성 변화는 전반적으로 크지 않다. 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 인천교통공사는 2008년부터 2012년까지 효율성 차이가 거의 없다. 그러나 광주도시철도공사는 2008년 0.441에서 2012년 0.522로 약 8% 개선되었으며 대전도시철도공사는 0.752에서 0.812로 약 6% 개선을 보인다. 산출변수가 수송인원이기 때문에 수송인원이 원래 많은 서울, 부산의 경우 효율성은 높으나 변화 정도는 낮고 수송인원이 원래 적었던 광주, 대전은 효율성은 낮으나 수송인원이 점차 증가하면서 효율성이 개선되고 있는 것으로 이해된다.

4.5 도시철도 운영기관의 상대적 효율성 영향 요인 : 외부 환경변수 분석

공공기관의 운영 효율성 분석에 있어 상대적으로 효율이 낮은 기관의 경우 일반적으로 그 원인을 조직 내부에서 찾는 경향이 있다. 과도한 인력구성에 따른 인건비 부담이 대표적인 예이다. 그러나 도시철도 운영에 있어 내부 경영개선 활동의 범위를 벗어난 외적인 요인이 미치는 효과에 대해서는 종종 무시되어 왔다. 예를 들어 이미 확정된 노선이 효율성에 미치는 효과가 크다면 내부적인 경영

개선 활동으로 효율성을 높일 수 있는 여지는 상대적으로 작을 수밖에 없다. 이러한 관점에서 본 연구는 도시철도와 관련된 외부 환경요인이 도시철도 운영 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 이 연구에서 환경변수로 고려한 사항은 역세권 거주인구, 역세권 유동인구, 운영기관 규모 세 가지 요인이다. 외부 요인을 고려할 경우와 그렇지 않은 경우 효율성을 영업수익과 수송인원 측면에서 각각 비교 분석하였다(<그림 1>, <그림 2> 참조).²⁾

환경변수를 분석모형에 포함한 경우 외적인 영향요인을 통제한 경우이다. 따라서 환경변수를 포함한 효율성 분석결과가 도시철도 운영기관의 전반적인 효율성에 더 가깝다고 할 수 있다. 반면 조직 내부의 운영적 차원에서 효율성을 파악하고자 한다면 환경변수를 배제하는 것이 분석의 의도와 가까운 결과를 가져온다.

환경변수와 포함에 따른 효율성 변화를 분석한 결과 전반적으로 효율성은 외부 환경요인을 배제했을 때 현저히 떨어진다는 것을 발견할 수 있다. 영업수익을 산출변수로 한 효율성 분석에 있어서 도시철도 효율성 전체 평균이 외부 환경변수 고려했을 때 0.592였는데 환경변수를 제외하면 0.493으로 떨어진다. 환경요인이 효율성 향상에 긍정적인

2) 환경변수를 포함하지 않은 SFA 분석에도 Cobb-Douglass 함수를 사용하였다. 두 모형이 동일한 계수를 가진 함수가 아니고 최대 생산 기대치인 확률 프론티어에도 차이가 있기 때문에 수치 비교의 엄밀성에 한계가 있다는 것을 밝히고자 한다.

〈표 6〉 환경변수가 비효율성에 미치는 효과 추정

변수	영업수익 측면		수송인원 측면	
	coefficients	standard-error	coefficients	standard-error
<i>Inefficiency Model</i>				
상수	2.6446 ^{****}	0.2936	1.2499 ^{***}	0.1673
역세권 거주인구	-0.0592 ^{***}	0.0130	-0.0675 ^{***}	0.0133
역세권 유동인구	-0.0442 ^{***}	0.0104	-0.0150 ^{***}	0.0048
규모	-0.6856 ^{***}	0.1489	-0.0943	0.0991

주) * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ (t분포 단측검정).

고 큰 영향을 미쳤다고 해석할 수 있다. 각 운영기관별로 환경 요인을 제외했을 때 효율성이 어떻게 달라지는지 분석해보면 대다수 도시철도가 환경요인을 배제할 경우 효율성이 낮아진 반면 광주도시철도와 대전도시철도 경우만 효율성이 높아진다. 환경변수를 고려하지 않을 경우 가장 효율적인 도시철도는 부산교통공사인데 환경변수를 고려했을 경우에는 서울메트로 효율이 가장 높다. 이 연구에서 주요하게 고려한 외부 환경요인인 역세권 거주인구, 유동인구는 도시철도를 이용할 수 있는 잠재고객의 수와 같다. 이는 시장의 크기로 이해할 수 있다. 서울메트로 등 4개 운영기관은 대부분 역세권 거주인구와 유동인구가 많고 다수의 노선을 운영하는 기관이어서 효율성이 상대적으로 높은 반면 광주와 대전의 경우 단일노선에 주변 잠재시장 규모가 작아 효율성이 낮은 것으로 이해할 수 있다.

외부 환경요인을 배제한 내부 요인만을 가지고 분석할 경우 부산교통공사, 서울도시철도공사, 대전도시철도 공사의 효율성이 높다. 서울메트로의 경우 효율성 차원에서 외부 환경변수 덕을 보고 있는 반면 내부 개선활동을 통해 효율성을 높이는 개선역량은 부산교통공사와 서울도시철도가 우수한 것으로 평가된다.

수송인원을 산출변수로 분석한 모형에서도 도시철도 효율성 전체 평균이 외부 환경변수 고려했을 때 0.858이었는데 환경변수를 제외하면 0.438로 현저히 떨어진다. 환경요인이 효율성 향상에 미치는 영향의 정도가 수송인원이 산출변수인 경우 영업수익이 산출변수인 경우보다 더 큰 것을 알 수

있다. 각 운영기관별로 환경 요인을 제외했을 때 효율성이 어떻게 달라지는지 분석해보면 환경변수를 고려하지 않을 경우 가장 효율적인 도시철도는 서울도시철도공사와 대전도시철도공사로 바뀌게 된다. 외부 환경요인으로 상정한 역세권 거주인구, 유동인구를 배제하고 순수한 내부 운영 측면에 관한 수송인원 효율성을 비교하면 대전도시철도공사의 효율성이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다.

추가적으로 외부 환경변수가 도시철도 효율성에 어떤 효과를 미치는지 통계적으로 검증하였다. SFA 기법의 중요한 특징 중 하나는 비효율성 오차항에 영향을 미치는 요인을 통계적으로 추정할 수 있다는 점이다. 이 연구에서 종속변수는 '비효율성 오차항'이기 때문에 환경변수 추정값이 양(+)의 부호이며 효율성을 낮추는 요인, 음(-)의 부호이면 효율성을 높이는 요인이 된다. 분석결과는 환경변수로 제시한 역세권 거주인구, 역세권 유동인구, 규모가 전반적으로 비효율성에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다(〈표 6〉 참조). 영업수익 측면에서는 모든 환경변수가 통계적으로 유의한 영향을 미치고 있으나 수송인원 측면에서는 역세권 거주인구, 역세권 유동인구가 유의한 영향을 미치고 규모는 통계적으로 유의한 결과가 확인되지 못했다. 그러나 규모의 경우에도 계수값이 음수로 나타나 효율성을 저하시키는 경향성을 보인다.

앞서 예측한 바와 같이 역세권 거주인구가 많을수록, 유동인구가 많을수록 도시철도 운영기관 효율성은 높아진다(비효율성은 낮아진다). 이 결과는 역세권 거주인구와 유동인구가 상대적으로 많고,

다수의 노선을 운영하는 기관이 환경요인의 영향으로 효율성이 상대적으로 높게 측정될 수 있음을 뒷받침한다. 광주도시철도공사와 대전도시철도공사의 경우 단일노선을 운영하고 있으며, 상대적으로 적은 역세권 거주인구와 유동인구 때문에 효율성은 더욱 낮게 평가된 것으로 분석된다.

역세권 거주인구 및 유동인구가 많을수록 도시철도 운영 효율성이 높다는 것은 도시철도 운영 노선 선정의 중요성을 말해준다. 즉, 도시철도 효율성은 실제 운영될 때 투입요소와 산출요소간의 관계도 중요하지만, 도시철도 노선이 거주인구와 유동인구가 많은 곳을 어떻게 지나도록 설계하는가에 따라 많은 영향을 받는다. 효율성 개선을 위해서 내부 운영을 개선하는 것 이외에 역세권 유입인구의 확대 정책도 중요하다는 시사점을 준다. 뿐만 아니라, 운영기관의 규모 역시 효율성 향상에 긍정적 요인으로 작용한다. 다수의 노선이 단일 노선보다 효율성 측면에서 월등히 유리하다는 것을 확인할 수 있다. 다수 노선의 경우 도시철도가 보다 많은 지역을 경유하게 되고 노선 간 환승이 용이하여 더 많은 승객이 도시철도를 이용하게 되는 선순환과 시너지 효과가 있다. 현재 단일노선으로 운행되고 있는 운영기관의 효율성 향상 방안에 노선의 확장과 신규노선의 연계와 같은 전략적 방안도 긍정적으로 검토되어야 한다는 시사점을 준다.

6. 결 론

6.1 연구 요약과 의의

공기업의 효율성에 대한 논쟁은 끊이지 않고 있다. 방만 경영과 운영 비효율성이란 말은 공기업에 꼬리표처럼 따라 다닌다. 공공기관의 효율성 분석에 대한 다양한 연구가 수행되었지만 공익적 목적을 추구하는 동시에 효율적으로 운영하여 수익을 내야 하는 공기업의 특성을 다각도로 고려한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 특히 효율성에 영향을 미치는 외부 환경변수에 대한 이해는 매우 부족하다.

이 연구는 도시철도 운영기관의 효율성을 확률적 프론티어 기법(SFA)을 이용하여 분석하였다. 운영 비용 등 도시철도 공기업의 내부 요인과 잠재시장 규모와 같은 기업 외부 요인을 구분하여 운영 효율성에 미치는 효과를 엄밀하게 파악하였다. 이 분석은 효율성 개선을 위한 전략 수립에 있어 경영효율을 높이는 단기적인 개선 노력과 노선의 변경과 연장, 신규개통과 같은 장기적이고 정책적인 노력을 구분할 수 있다는 점에서 실무적인 공헌이 크다. SFA는 비효율성 오차항을 모수적 방법으로 추정할 수 있어 비효율성에 미치는 영향요인의 잠재효과를 통계적으로 검증할 수 있는 장점이 있다. SFA를 이용해 전국 7개 도시철도 운영기관의 효율성을 분석한 연구 결과와 관련 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 도시철도 운영기관의 효율성 분석에 있어 Cobb-Douglas 모형이 Translog 모형에 비해 보다 적합한 것으로 분석되었다. 효율성 분석에 있어 생산 프론티어 함수의 설정이 중요한데 이번 연구를 통해 Cobb-Douglas 모형이 SFA에 있어서도 타당한 모형이라는 사실을 확인할 수 있었다. 이 논문은 SFA를 이용하여 운영 효율성 분석을 수행하는 향후 다른 연구의 실증적 근거 역할을 할 수 있다.

둘째, SFA를 이용한 전국 7개 도시철도 운영기관의 효율성을 분석한 결과 영업수익 측면에서는 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사의 효율성이 가장 높은 반면 광주도시철도공사, 대전도시철도공사의 효율성은 매우 낮았다. 전체 도시철도 운영기관의 평균효율성은 지난 5년간 꾸준히 향상된 것으로 분석되었다. 내부의 경영개선 노력 뿐만 아니라 역세권 인구확대 등 외부 환경변화에도 긍정적인 영향을 받은 것으로 보인다. 무엇보다 2011년, 2012년 도시철도 운임 인상이 효율성 향상에 효과를 보인 것으로 분석되었다. 운임은 운영기관의 수익에 절대적인 영향을 미치지만 물가안정 등 공공성을 고려해야 하는 변수로 효율성 개선의 방법으로 추진할 때 다각적인 측면이 고려되어야 한다. 운영기관의 효율성을 수송인원 측면에서 분석한

결과 서울도시철도공사, 서울메트로, 인천교통공사, 부산교통공사의 효율성이 높은 반면 광주도시철도공사, 대구도시철도공사의 효율성은 낮았다. 수송인원의 경우 지난 5년간 효율성 변화가 크지 않았으나 광주도시철도공사, 대전도시철도공사의 경우 효율성이 6~8% 높아진 것으로 분석되었다. 철도이용객의 증가에 비해 내적 운영 개선 정도가 상대적으로 더 높은 경우라고 풀이된다.

셋째, 역세권 거주인구, 유동인구, 노선의 규모 등 외적 환경변수를 배제한 순수 내부 효율성을 분석한 결과 부산교통공사, 서울도시철도공사, 대전도시철도공사의 효율성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 외부환경 요인을 배제할 경우 서울메트로와 서울도시철도공사, 인천교통공사의 효율성이 급격히 낮아졌다. 외부 환경변수가 효율성에 미치는 영향 정도가 통계적으로 유의하다고 분석되었다. 도시철도 운영기관의 효율성 개선에 있어 외부 환경변수가 매우 큰 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 역세권 인구가 작고 단일노선으로 운영되는 광주와 대전의 도시철도는 효율성에 있어 태생적인 한계가 있다. 서울메트로, 서울도시철도공사와 같이 외부 환경변수가 유리한 곳은 내부 개선노력이 더욱 필요한 반면, 광주도시철도와 대전도시철도와 같이 외부 환경변수가 불리한 곳은 내부 개선보다 노선연장, 역세권 인구 유입 확대와 같은 정책적, 전략적인 개선이 시급하다는 시사점을 준다.

6.2 연구의 한계와 향후 연구 방향

이 논문은 효율성에 미치는 요인의 통계적 검증이 가능한 SFA 기법을 이용해 도시철도 운영기관의 효율성을 분석한 연구이다. 특히 효율성에 미치는 요인으로 외부 환경변수를 고려하여 분석함으로써 개선을 위한 전략적, 정책적 시사점을 제공하고 있지만 몇 가지 측면에서 향후 해결해야 할 과제를 남겨두고 있다. 첫째는 SFA 기법이 지닌 태생적 한계이다. 비효율성 오차를 나타내는 u_i 의 분포에 대한 설정이 중요한데 어느 분포가 더 타당한

지는 검증하기 어렵다. 이 연구는 Battese and Coelli [19]가 제시한 절단정규분포를 이용했지만 이 가정의 타당성은 향후 다시 평가되어야 한다. 둘째는 프론티어 분석기법이 갖는 한계이다. SFA나 DEA나 투입, 산출 변수에 따라 효율성이 크게 달라질 수 있다. 이 연구는 도시철도 효율성을 분석한 기존 문헌에서 주로 사용했던 변수를 사용하여 일관성을 높이고자 했지만 투입과 산출변수 자체의 타당성은 향후 다시 검토되어야 한다. 예를 들어, 도시철도 운영기관에서 통제할 수 있는 산출 변수로 차량-Km 또는 열차-Km 등을 사용하여 분석할 수도 있을 것이다. 이 경우 효율성의 차이를 가져오는 내부 운영의 차이를 보다 면밀히 분석할 수 있다. 셋째, 외부 환경변수도 도시철도의 특성을 잘 나타내 줄 수 있는 다른 변수가 존재하는지 면밀히 검토하여 향후 연구에서 변수를 추가하여 분석할 필요가 있다. 예를 들어 역세권 주변의 직장에서 근무하는 역세권 비거주인구를 환경변수로 고려하여 확장된 분석을 수행할 수 있다. 넷째, 이 연구는 비교대상을 지방공기업 형태로 운영되는 운영기관으로 한정하였다. 향후 민영화의 흐름을 타고 서울메트로 9호선이나 용인경전철과 같은 민영 운영기관이 늘어날 것으로 보인다. 향후 민영, 공기업을 포함한 도시철도의 운영 효율성을 분석함으로써 민영과 공공 운영기관의 차이를 살펴보는 것도 필요하다. 다섯째, 이 연구는 원자료를 1Km 기준으로 변환하여 표준화된 자료를 분석하였다. 기존 연구에서는 원자료를 사용하는 경우도 많으므로 향후 표준화 자료와 원자료를 동시에 분석하여 비교하는 것도 의미가 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 강병재, “확률적 프론티어 분석을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성에 관한 연구”, 석사학위논문, 전남대학교, 2014.
- [2] 강은경, “확률적 프론티어 접근방법에 의한 신융합동조합의 효율성 분석”, 『재무관리연구』,

- 제22권, 제2호(2005), pp.71-89.
- [3] 김민정, “한국도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성 분석”, 박사학위논문, 서울대학교, 2004.
- [4] 김범석, 김명석, 민재형, “자료포괄분석(DEA)을 이용한 주식의 가치 평가”, *경영과학*, 제28권, 제3호(2011), pp.61-72.
- [5] 옥주영, 김병근, “국내 공공기관들의 기술이전 효율성 분석”, 『기술혁신연구』, 제17권, 제2호(2009), pp.131-158.
- [6] 김재명, 함유상, 유상엽, “확률적 프론티어 접근방법에 의한 병원의 효율성 분석”, 『대한경영학회』, 제22권, 제4호(2009), pp.1867-1889.
- [7] 김 철, “철도민영화 안 해도 코레일 부채 해소할 수 있다”, 미디어뉴스 기사. www.medius.co.kr/news/articlePrint.html?idxno=39182, 2013.
- [8] 김현웅, 국광호, 문대섭, 이진선, “자료포락분석 기법을 이용한 우리나라 철도수송의 효율성 측정”, 『한국철도학회』, 제12권, 제4호(2009), pp.542-547.
- [9] 박진경, 김성수, “확률적 비용변경 접근을 이용한 한국과 일본 철도산업의 효율성과 생산성 분석”, 『대한교통학회』, 제25권, 제6호(2007), pp.141-157
- [10] 박홍수, “귀족노조때문? 철도공사 부채 17조원의 진짜 이유는?” 프레시안 뉴스 기사. www.pressian.com/news/article_print.html?no=110084, 2013.
- [11] 심광식, 김재윤, “지하철 효율성 평가를 위한 DEA-AR/AHP 모형 설계”, 『한국경영과학회』, 제34권, 제3호(2009), pp.105-124.
- [12] 연합뉴스, “코레일 대해부 시리즈 1-8”, 2013년 10월 21일자.
- [13] 오수정, 김현정, 김수옥, “DEA를 이용한 모기업과 협력기업의 공급망 품질경영 효율성 분석”, 『경영과학』, 제30권, 제2호, pp.43-61.
- [14] 오창호, “국과 일본 도시철도 운영기관의 효율성 및 생산성 비교분석 : 자료포락분석기법(DEA)을 이용하여”, 석사학위논문, 서울대학교, 2012.
- [15] 윤장호, “도시철도 운영효율성 증진방안 연구”, 한국교통연구원, 2012.
- [16] 이은경, “지방공기업 재무현황 평가”, 국회예산정책처, 2013.
- [17] 한동성, “SFA를 이용한 국내 대학 기술이전 전담조직(TLO)의 기술이전 효율성 분석에 관한 연구”, 『한국기술혁신학회』, 2010년 추계학술대회(2010), pp.318-341.
- [18] Aigner, D.J., C.A.K. Lovell, and P. Schmidt, “Formulation and estimation of stochastic frontier production models,” *Journal of Econometrics*, Vol.6(1977), pp.21-37.
- [19] Battese, G.E. and T.J. Coelli, “A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data,” *Empirical Economics*, Vol.20(1995), pp. 325-332.
- [20] Coelli, T.J., “Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function : A Monte Carlo Analysis,” *Journal of Productivity Analysis*, Vol.6(1995), pp.247-268.
- [21] Kodde, D.A. and F.C. Palm, “Notes and comments wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions,” *Econometrica*, Vol.54, No.5(1986), pp.1243-1248.
- [22] Kumbhakar, S.C., S. Ghosh, and J.T. McGuckin, “A generalized production approach for estimating determinants of inefficiency in U.S. dairy farms,” *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol.9(1991), pp.279-286.
- [23] Meeusen, W. and Van den Broeck, J., “Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed errors,” *International Economic Review*, Vol.18(1977), pp.435-444.

〈부 록〉

1. 7개 도시철도 운영기관 효율성 분석 원자료

구 분	투입변수			산출변수		환경변수			
	직원수 (명)	차량수 (량)	운영비용 (백만 원)	영업수익 (백만 원)	수송인원 (천명)	역세권 거주인구 (천명)	역세권 유동인구 (천명)	규모	
2008년	서울메트로	7,205	1,944	720,850	1,020,238	1,446,924	1,945	5,903	1
	서울도시철도공사	4,622	1,561	516,322	572,350	846,925	3,414	3,245	1
	부산교통공사	2,276	776	287,102	355,423	254,947	1,817	1,377	1
	인천교통공사	642	200	96,231	57,488	73,044	625	292	0
	대구도시철도공사	1,378	384	187,343	95,411	110,434	584	604	1
	광주도시철도공사	455	81	47,803	15,110	15,790	149	87	0
	대전도시철도공사	490	84	55,458	29,061	29,314	286	160	0
2009년	서울메트로	7,058	1,944	701,172	950,678	1,450,531	2,008	5,929	1
	서울도시철도공사	4,490	1,561	489,513	550,441	842,511	3,440	3,237	1
	부산교통공사	2,260	776	286,998	337,429	263,574	1,805	1,431	1
	인천교통공사	657	242	92,298	60,633	75,103	660	305	0
	대구도시철도공사	1,372	384	180,895	91,531	111,780	587	611	1
	광주도시철도공사	453	92	61,506	15,907	17,203	145	94	0
	대전도시철도공사	495	84	51,535	31,266	34,121	286	187	0
2010년	서울메트로	6,956	1,953	706,408	939,430	1,475,349	2,066	5,995	1
	서울도시철도공사	4,442	1,561	466,848	542,857	874,025	3,471	3,346	1
	부산교통공사	2,389	776	281,417	348,534	274,818	1,802	1,502	1
	인천교통공사	646	272	94,093	62,381	80,133	706	334	0
	대구도시철도공사	1,367	384	161,849	89,694	115,171	597	630	1
	광주도시철도공사	447	92	57,338	15,604	17,442	144	96	0
	대전도시철도공사	504	84	49,780	30,744	35,239	293	193	0
2011년	서울메트로	6,814	1,954	677,022	957,972	1,509,529	2,065	6,118	1
	서울도시철도공사	4,455	1,561	499,306	547,228	899,068	3,446	3,427	1
	부산교통공사	2,445	853	311,365	379,437	300,479	1,795	1,641	1
	인천교통공사	757	272	107,366	67,206	85,953	780	353	0
	대구도시철도공사	1,361	384	161,482	105,801	121,273	598	663	1
	광주도시철도공사	443	92	56,897	17,137	17,709	143	97	0
	대전도시철도공사	503	84	51,015	34,022	37,686	298	206	0
2012년	서울메트로	6,615	1,954	682,070	1,076,705	1,513,665	2,060	6,103	1
	서울도시철도공사	4,326	1,571	508,917	619,262	921,216	3,425	3,509	1
	부산교통공사	2,324	878	297,896	405,262	308,938	1,798	1,687	1
	대구도시철도공사	1,341	384	169,184	149,265	126,475	604	691	1
	광주도시철도공사	434	92	57,416	18,257	18,036	143	99	0
	대전도시철도공사	489	84	64,660	45,126	38,480	302	210	0

2. 모수 추정치와 통계적 유의성 결과

산출변수 : 영업수익			
변수	coefficients	standard-error	t-ratio
<i>Stochastic Frontier Model</i>			
상수	1.5689	1.6379	0.9579
ln직원수	0.9020***	0.2369	3.8082
ln차량수	-0.8705***	0.2954	-2.9472
ln운영비용	0.7114**	0.2951	2.4111
<i>Inefficiency Model</i>			
상수	2.6446***	0.2936	9.0088
역세권 거주인구	-0.0592***	0.0130	-4.5449
역세권 유동인구	-0.0442***	0.0104	-4.2653
규모	-0.6856***	0.1489	-4.6042
σ^2 (sigma-squared)	0.0321***	0.0081	3.9693
γ (gamma)	0.7968***	0.0347	22.9411
log likelihood function = 19.0523			
LR test of the one-sided error = 46.1039			

주) t-value significance * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ (t분포 단측검정).

산출변수 : 수송인원			
변수	coefficients	standard-error	t-ratio
<i>Stochastic Frontier Model</i>			
상수	10.3525***	1.0694	9.6804
ln직원수	1.8232***	0.1111	16.4086
ln차량수	0.8989***	0.1064	8.4494
ln운영비용	-1.2440***	0.1675	-7.4269
<i>Inefficiency Model</i>			
상수	1.2499***	0.1674	7.4686
역세권 거주인구	-0.0675***	0.0133	-5.0729
역세권 유동인구	-0.0150***	0.0048	-3.1382
규모	-0.0963	0.0991	-0.9717
σ^2 (sigma-squared)	0.0175***	0.0040	4.3199
γ (gamma)	0.5080***	0.1098	4.6255
log likelihood function = 23.2063			
LR test of the one-sided error = 34.4589			

주) t-value significance * $p < .10$, ** $p < .05$, *** $p < .01$ (t분포 단측검정).