

■ 論 文 ■

자료포락분석기법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성 분석

Analyzing the Efficiency of Korean Rail Transit Properties
using Data Envelopment Analysis

김민정

(서울대학교 환경대학원 박사과정)

김성수

(서울대학교 환경대학원 환경계획학과 부교수)

목 차

- I. 서론
- II. 효율성의 개념과 추정방법
 - 1. 효율성의 개념
 - 2. 자료포락분석기법을 이용한 효율성 추정방법
 - 3. 토빗회귀분석기법을 이용한 조직효율성, 순효율성 및 총효율성의 추정방법
- III. 자료
- IV. 추정결과
 - 1. 자료포락분석에 사용되는 자료
 - 2. 토빗회귀분석에 사용되는 자료
 - 1. 자료포락분석기법에 의한 효율성 추정결과
 - 2. 조직효율성, 순효율성 및 총효율성의 추정결과
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 도시철도 운영기관, (순)생산적 효율성, (순)기술적 효율성, 조직효율성, 자료포락분석기법

요 약

본 연구는 강처분성의 가변수익규모 및 비방사적 자료포락분석기법을 이용해 조직유형이 다른 도시철도 운영기관인 서울시지하철공사(지방공기업)와 철도청의 수도권 전철부문(정부부처형 공기업) 및 부산교통공단(국가공단)의 연도별 생산적, 기술적 및 배분적 효율성 값을 추정한 다음, 이들 값에서 토빗회귀식의 추정결과를 이용해 조직유형과 궤도가동률과 같은 외부 요인들의 영향을 제함으로써 내부 요인인 생산활동만의 영향이 반영된 순생산적, 순기술적 및 순배분적 효율성 값을 구하였다. 또한 토빗회귀식의 추정결과로부터 세 도시철도 운영기관들의 조직효율성과 연도별 총효율성 값을 구하였다. 이 때 도시철도 운영기관은 노동, 전력, 전동차 및 유지보수와 궤도(또는 자본) 요소를 투입하여 전동차-km를 생산하는 기업형태로 상정되었으며, 분석에는 세 운영기관의 연도별 자료로 구축된 불균형통합자료가 사용되었다.

자료포락분석의 결과 생산적 효율성과 배분적 효율성은 평균적으로 서울시지하철공사가 가장 높은 반면, 기술적 효율성은 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 생산활동만을 대상으로 추정된 순생산적 효율성과 순배분적 효율성은 오히려 부산교통공단이 가장 높은 반면, 순기술적 효율성은 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 이러한 순효율성들의 경우 외부 요인들의 영향이 배제됨에 따라 세 운영기관들의 차이는 상당히 감소하는 것으로 나타났다. 한편 조직효율성의 경우 비용을 극소화하는 조직유형은 지방공기업인 서울시지하철공사인 것으로 나타났으며, 이러한 조직효율성과 순생산적 효율성을 합한 총효율성도 평균적으로 서울시지하철공사가 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 도시철도 운영기관들의 경영상태에 대한 공정한 평가를 위해 외부 요인의 영향을 배제하는 방안의 시행과 기존 또는 신설될 도시철도 운영기관의 비용효율성을 제고하기 위해 지방공기업 또는 공단으로의 조직유형 개편의 필요성을 시사하고 있다.

1. 서론

서울시를 포함한 수도권과 여러 광역시들은 도시권의 팽창과 자가용 승용차의 보유 및 이용 증가 등에 따른 차량통행량의 급증 때문에 심각한 교통혼잡 및 대기오염 문제를 경험해 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 정부와 서울시, 부산시 및 대구시는 도시철도망을 확장해 왔으며, 인천시와 광주시 및 대전시는 각각 지하철 1호선을 개통했거나 건설 중에 있다. 현재까지 도시철도 운송업은 공적서비스 의무(public service obligation)라는 관점에서 철도청과 서울시 및 광역시들이 건설을 담당해 왔으며, 여러 유형의 공공기관들이 운영을 담당해 왔다.

이 중 도시철도를 운영하고 있는 공공기관들은 도시권의 위험이 없기 때문에 민간 기업에 비해 비용 절감 등을 통해 경영효율성을 제고하고자 하는 동기가 미흡하고, 정부의 인사와 경영에 대한 간섭과 노조의 압력 등 때문에 경영자율성이 낮아 스스로 경영성과를 개선하는 데 한계가 있는 것으로 인식되어 왔다. 또한 여러 광역시들의 경우 경제적으로 타당성이 크지 않고 재원조달 능력을 초과하더라도 정치적인 공약과 국비 지원에 따른 이해관계 등 때문에 도시철도를 무리하게 건설했거나 하고 있다는 비판이 제기되어 왔다.

도시철도 운영기관들의 이러한 문제점을 개선하기 위해 행정자치부에서는 이들 기관의 경영상태 또는 효율성을 비교 평가하고 있다. 그러나 그 평가결과에는 운영기관이 통제할 수 있는 내부 요인인 생산활동뿐만 아니라 통제할 수 없는 외부 요인인 조직유형 등의 영향도 함께 포함되어 있다는 문제점이 있다. 따라서 운영기관들의 효율성을 보다 공정하게 평가하기 위해서는 내부 요인과 외부 요인의 영향을 분리한 다음, 내부 요인만의 영향으로 효율성을 평가할 필요가 있다.

한편 공공조직인 도시철도 운영기관들은 조직유형 측면에서 서울시지하철공사, 서울시도시철도공사, 인천시지하철공사 및 대구시지하철공사와 같은 지방공기업과 철도청의 수도권 전철부문과 같은 정부부처형 공기업, 그리고 부산교통공단과 같은 국가공단의 세 가지로 구분할 수 있다. 이러한 세 조직유형들은 경영

자율성(managerial autonomy)의 정도가 다르므로 생산활동과 관련이 없는 조직효율성(organizational efficiency)도 같지 않을 것으로 판단된다. 따라서 기존 또는 신설될 도시철도 운영기관들의 효율성을 제고하기 위해서는 가장 높은 조직효율성을 갖는 것으로 구명된 조직유형으로 이들 운영기관을 개편 또는 설립할 필요가 있다.

본 연구는 분석 대상의 효율성을 측정하는 변경접근법(frontier approach) 중의 하나인 자료포락분석기법(data envelopment analysis)을 이용해 도시철도 운영기관들의 내부 요인과 외부 요인 모두의 영향이 반영된 생산적, 기술적 및 배분적 효율성을 추정하고, 토빗회귀분석기법(tobit regression analysis)을 이용해 내부 요인만의 영향이 반영된 순생산적, 순기술적 및 순배분적 효율성과 조직효율성 그리고 순생산적 효율성과 조직효율성의 합인 총효율성을 추정하고자 한다. 분석에는 조직유형이 다른 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 연도별 자료로 구축된 불균형통합자료가 사용된다. 이러한 추정을 통해서 우리나라 도시철도를 운행하는 세 조직유형 중 가장 효율적인 조직유형을 구명할 수 있으며, 외부 요인의 영향이 반영된 효율성과 제외된 효율성을 비교함으로써 본 연구에서 제시한 운영기관간 공정한 효율성 평가 방법의 타당성을 검증할 수 있다.

본 연구와 같이 자료포락분석기법을 이용해 도시철도 운영기관들의 조직유형별 효율성을 분석한 연구는 우리나라와 외국 모두에서 전무한 상태이다. 다만 우리나라의 경우 운송업의 효율성을 분석하기 위해 이 기법을 이용한 연구로는 서울시내버스운송업을 대상으로 한 오미영 외(2002)와 김성수 외(2002)가 있을 뿐이며,¹⁾ 이와 다른 변경접근법 중의 하나인 확률적 비용변경접근법(stochastic cost frontier approach)을 이용한 연구로도 서울시지하철공사만을 대상으로 한 Kim과 Kim(2001)이 있을 뿐이다. 또한 외국의 경우에도 본 연구와 유사한 연구로는 확률적 비용변경접근법을 이용해 인도의 공영 버스업체들을 대상으로 조직유형별 생산적 효율성을 분석한 Bhattacharyya

1) 반면 자료포락분석기법을 이용해 운송업이 아닌 다른 산업의 효율성을 분석한 국내 연구는 상당히 많은 편이다. 예를 들면, 공공부문인 지방정부 또는 일선 경찰서의 효율성을 분석한 연구로는 문준철(1998), 이상섭·김규덕(1998), 그리고 윤경준(1998) 등을 들 수 있다. 또한 민간부문인 손해보험회사, 은행 지점 또는 대형 할인점의 효율성을 분석한 연구로는 민재형·김진한(1998), 윤석진 외(2001), 그리고 김태용(1999) 등을 들 수 있다.

et al.(1995)²⁾을 들 수 있을 뿐이다.³⁾

본 연구는 먼저 2장에서 생산적, 기술적 및 배분적 효율성의 개념을 정의하고, 자료포락분석기법을 이용해 이들을 추정하는 방법과 토빗회귀분석기법을 이용해 이들 효율성에서 외부 요인들의 영향이 제외된 여러 순효율성들과 조직효율성 및 총효율성을 추정하는 방법을 설명한다. 3장에서는 분석에 사용되는 자료에 대해 설명하고, 4장에서 자료포락분석기법에 의한 효율성의 추정결과와 토빗회귀식의 추정결과 및 순효율성과 조직효율성 등의 추정결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 추정결과를 요약하고 도시철도 운영기관들의 효율성을 제고할 수 있는 방안에 관해 논한다. 본 연구의 한계와 개선 방안을 제시한다.

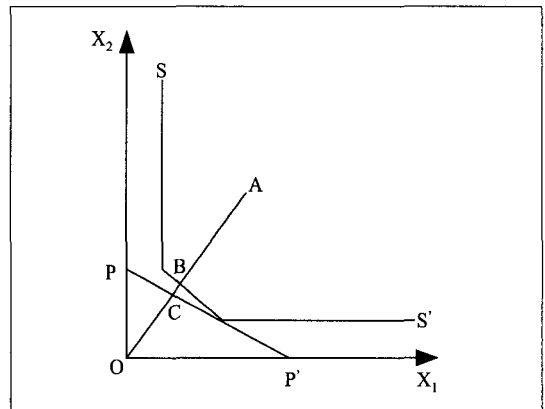
II. 효율성의 개념과 추정방법

1. 효율성의 개념

도시철도 운영기관의 생산적 효율성(productive efficiency, PE)이란 운영기관이 주어진 산출량 수준을 최소한의 비용으로 생산할 수 있는 정도, 즉 비용극소화 정도를 의미한다. Farrell(1957)에 따르면 생산적 효율성은 기술적 효율성(technical efficiency, TE)과 배분적 효율성(allocative efficiency, AE)으로 나누어진다. 먼저 기술적 효율성은 산출량과 이를 생산하는데 사용된 투입량간의 관계를 나타내는데, 기술적으로 효율적이라는 것은 투입량을 줄이면 산출량이 반드시 준다는 것을 의미하며 기술적으로 비효율적이라는 것은 투입량을 줄여도 기존의 산출량을 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 즉 기술적 비효율성은 요소들을 과다 사용하기 때문에 발생한다.

이에 반해 배분적 효율성은 운영기관이 산출물을 최소비용으로 생산하는지 여부와 관련이 있는데, 배분적으로 효율적이라는 것은 비용극소화 1계조건⁴⁾을 만족한다는 것을 의미하며, 배분적으로 비효율적이라는 것은 주어진 요소간 상대가격비율과 다른 비율로 요소들을 투입하는 것을 의미한다.⁵⁾ 따라서 배분적 비효율성은 요소들을 최적 투입량보다 과다 사용하는 것뿐만 아니라 과소 사용하는 데에서도 비롯된다.

이러한 비용함수를 통한 생산적 효율성 개념은 <그림 1>에 제시된 자료포락분석기법을 이용한 Farrell(1957)의 투입기준(input-based) 효율성⁶⁾을 측정하는 경우와 동일하다. <그림 1>은 두 가지 요소(x_1, x_2)를 사용하여 하나의 산출물(y_1)을 생산하는 과정을 나타내고 있으며, 이 때의 생산기술은 규모수익불변(constant returns to scale)으로 가정된다.⁷⁾ <그림 1>에서 SS'는 자료포락분석기법을 이용해 도출되는 단위 등량곡선(unit isoquant)⁸⁾을 의미한다.



<그림 1> 자료포락분석기법을 이용한 기술적, 배분적 및 생산적 효율성의 측정

- 2) 이 연구에서는 인도의 공영 버스업체들을 세 가지 조직유형, 즉 주공기업(state government-owned corporations), 주정부부처형 공기업(the units owned and operated by the transportation departments of the state governments), 그리고 민간기업에서 국유화된 기업(nationalized units)으로 구분하고 있다.
- 3) 변경접근법, 즉 자료포락분석기법과 확률적 변경접근법 등을 이용해 운송업 중 도시내 대중교통부문의 효율성 등을 분석한 외국의 선행 연구들에 관한 개발적인 설명에 대해서는 De Borger et al.(2002)을 참조.
- 4) 등비용선의 기울기, 즉 상대가격비율과 등량곡선의 기울기, 즉 한계기술대체율이 같다는 조건이다.
- 5) 한 예로 에버취-존슨 가설(Averch-Johnson hypothesis)을 들 수 있다. 이는 수익률(rate of return)이 규제되는 기업은 그렇지 않은 기업보다 과잉자본화되는 경향이 있다는, 즉 다른 요소들에 대한 자본의 투입비율이 비용극소화비율보다 더 높다는 가설이다.
- 6) Farrell은 산출기준(output-based)으로도 효율성을 측정할 수 있음을 보이고 있다. 여기서 투입기준 효율성은 비용극소화 가정으로부터 도출되며, 산출기준 효율성은 산출극대화 가정으로부터 도출된다.
- 7) 규모수익불변은 모든 생산요소의 투입량을 k 배로 증가시킬 때 산출량도 k 배로 증가하는 경우를 의미한다. 따라서 규모수익불변을 가정하면 요소결합비율이 일정한 경우 산출량 수준에 관계없이 1단위의 산출물을 생산하는데 투입되는 평균 요소량은 같으므로 생산기술을 단위 등량곡선으로 알기 쉽게 표현할 수 있다.
- 8) 비용함수를 모수적으로 추정함으로써 도출되는 등량곡선은 연속적으로 볼록한 등량곡선으로 나타나는 반면 자료포락분석기법을 이용해 도출되는 등량곡선은 불연속 선형볼록 등량곡선(piecewise linear convex isoquant)으로 나타나는데, 효율성의 기본적인 개념과 측정방법은 동일하다.

등량곡선은 요소들의 일정 투입량을 효율적으로 사용해 최대 생산할 수 있는 산출량, 즉 생산변경(production frontier)을 의미하기 때문에 이러한 등량곡선과 실제로 생산하는 점간의 거리를 측정함으로써 기술적 효율성을 측정할 수 있다.⁹⁾ 즉 어떤 운영기관이 단위 산출량을 생산하기 위해 A 점으로 정의되는 요소조합을 사용한다면 그 운영기관의 기술적 비효율성은 선분 OA에 대한 선분 BA의 비율인 BA/OA로 표현되는데, 이는 기술적으로 효율적인 생산을 하기 위해서 산출량을 줄이지 않고 모든 요소들의 투입량을 같은 비율로 줄일 수 있는 양을 의미한다. 따라서 기술적 효율성(TE)은 식(1)과 같이 정의되며, 이는 $1 - BA/OA$ 와 같다.

$$TE = OB/OA \quad (1)$$

TE는 0과 1 사이의 값을 갖으며, 값이 커질수록 기술적으로 보다 효율적임을 의미한다. TE가 1의 값을 갖는 경우는 어떤 운영기관의 요소조합이 <그림 1>의 B점과 같이 등량곡선상에 위치하고 있을 때이다.

한편 배분적 효율성은 등비용선 PP'의 기울기, 즉 투입요소들의 가격비율이 주어질 때 등량곡선상의 B점과 등비용선상의 C점간의 거리를 나타내는 선분 BC를 이용해 계산된다. 선분 BC는 기술적으로는 효율적이지만 배분적으로 비효율적인 B점 대신에 비용극소화 1계조건을 만족하는 C점, 즉 비용변경(cost frontier)에서 생산이 이루어진다면 비용이 얼마나 절감되는지를 의미하기 때문에 A점의 배분적 효율성(AE)은 식(2)와 같이 정의된다.

$$AE = OC/OB \quad (2)$$

따라서 A점의 총비용을 절감할 수 있는 정도는 선분 AC이므로 기술적 효율성과 배분적 효율성을 합친 생산적 효율성(PE)은 식(3)과 같이 정의된다.

$$PE = OC/OA \quad (3)$$

이러한 생산적 효율성은 기술적 효율성과 배분적 효율성의 곱으로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PE = TE \times AE = (OB/OA) \times (OC/OB) = OC/OA \quad (4)$$

이러한 관계로부터 세 효율성 모두 0과 1 사이의 값을 갖게 된다.

2. 자료포락분석기법을 이용한 효율성 추정방법

세 도시철도 운영기관들의 연도별 생산적, 기술적 및 배분적 효율성을 추정하는데 필요한 생산변경과 비용변경을 도출하기 위해 사용되는 기법은 Charnes et al.(1978) 등에서 제시된 자료포락분석기법이다. 이 기법은 생산 및 비용변경에 대한 함수형태를 설정하지 않고 세 운영기관들의 연도별 자료에 대해 선형계획기법을 적용하여 구축되는 생산 및 비용변경을 기준으로 각 운영기관의 상대적인 효율성을 측정하는 비모수적(nonparametric) 접근법이다. 또한 이 기법은 운영기관이 통제할 수 없는 외부 요인들에 의한 확률적 오차¹⁰⁾ 및 측정오차(measurement errors)를 인정하지 않고 실제 관찰점과 변경간의 거리가 모두 비효율성에 기인되는 것으로 가정하기 때문에 선형적으로 오차항의 분포에 대한 가정을 할 필요가 없는 결정적(deterministic) 접근법이다. 이러한 특성 때문에 자료포락분석기법은 산출물과 투입물이 각각 다수일 경우에도 모수적 접근법에 비해 비교적 쉽게 효율성을 분석할 수 있다는 장점¹¹⁾이 있는 반면, 추정되는 관찰점별 효율성 값이 이상점(outliers)과 확률적 오차 및 측정오차에 민감하다는 단점도 있다.¹²⁾

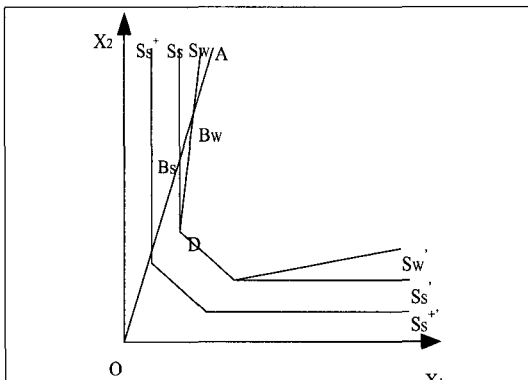
자료포락분석기법은 효율성을 추정할 때 기준이 되는 생산변경 또는 등량곡선을 구축하는데 적용되는 가장

9) 등량곡선은 효율적으로 판단되는 관찰점들을 바탕으로 형성되고 비효율적인 관찰점들의 효율성 값은 등량곡선을 참조해서 측정되기 때문에 도출되는 효율성 값은 표본에 따라 바뀔 수 있는 상대적인 값이 된다.
 10) 외부 요인의 예로 날씨를 들 수 있다. 날씨는 운영기관이 통제할 수 없는 변수이지만 예년보다 좋은 날씨는 운행비용을 감소시킬 수 있는 반면 예년보다 못한 날씨는 운행비용을 증가시킬 수 있다.
 11) 최근에 많이 쓰이는 초월대수함수형태 등의 생산 또는 비용함수를 추정하여 효율성을 도출하는 모수적 접근법의 경우 투입요소나 산출물의 수가 증가함에 따라 추정해야 할 모수의 수가 급격히 증가하는 어려움이 있다.
 12) 자료포락분석기법은 이외에도 다음과 같은 두 가지 단점을 갖고 있다. 먼저 효율성 값이 선정된 산출물과 투입물에 민감하며, 투입요소나 산출물의 수가 증가할수록 효율성 값도 커지는 경향이 있다. Coelli(1998) 등에서는 이러한 문제 때문에 투입요소와 산출물의 수를 결정할 때 $K \geq 2(N+M)$ 의 식을 따르도록 제안하고 있다. 여기서 K는 관찰점 수이고, N과 M은 각각 투입요소와 산출물의 수이다. 또한 투입요소 수가 다수인 경우 투입요소들간에 상관관계가 매우 높으면 회귀분석시의 다중공선성과 비슷한 문제가 발생할 수 있다.

과 요소조합을 선정하는 방법에 따라 다음의 세 측면에서 각각 구분이 가능하다.

첫째, 자료포락분석기법은 최적 규모이면서 효율적인 운영기관을 기준으로 효율성을 측정하는지 여부에 따라 불변수익규모기법(constant returns scale, CRS)과 가변수익규모기법(variable returns scale, VRS)으로 나뉜다. CRS는 효율적이면서도 최적 규모이기 때문에 규모수익불변 상태에 있는 관찰점을 기준으로 효율성을 측정하는 반면, VRS는 규모에 대한 수익(returns to scale)의 특성¹³⁾이 무엇인지에 관계없이 효율적인 관찰점을 기준으로 효율성을 측정하는 기법이다. 따라서 CRS를 이용해 효율성을 추정할 경우에는 기술적으로는 효율적일지라도 규모수익불변 상태가 아니면 비효율적인 것으로 도출된다. 도시철도 운영기관의 규모는 운영기관이 자율적으로 결정할 수 없는 문제이기 때문에 본 연구에서는 규모의 효과(scale effect)를 고려하지 않는 VRS를 사용해 효율성을 추정하고자 한다.

〈그림 2〉를 이용해 CRS와 VRS간의 차이를 설명하면 다음과 같다. CRS는 장기적으로 효율적인 상태에 있는 관찰점들만으로 등량곡선을 구축하므로 이 기법에 의해 도출되는 등량곡선은 관찰점인 A 점에서 보다 멀리 있는 $S_s^+ S_s^+$ 가 된다. 반면 VRS는 장기적으로 효율적인 상태에 있는 관찰점들과 단기적으로 효율적인 상태에 있는 관찰점들을 함께 사용해 등량곡선을 구축하므로 이 기법에 의해 도출되는 등량곡선은 관찰점인 A 점에서 보다 가까이 있는 $S_s S_s'$ 가 된다.



〈그림 2〉 생산변경에 관한 가정에 따른 효율성 측정의 차이

다. 따라서 VRS를 이용해 기술적 효율성을 추정할 경우 CRS에 비해 관찰점별 효율성 값이 크게 도출되며, 효율적인 관찰점 수도 많게 도출된다.

둘째, 자료포락분석기법은 정부의 규제나 노조 등과 같이 운영기관이 통제할 수 없는 제약¹⁴⁾으로 인해 한계생산이 계속 감소하여 음(negative value)이 될 때까지 투입요소를 과다하게 사용함으로써 발생하는 비효율성을 효율성의 추정시 반영하는지에 따라 강제분성(strong disposability)과 약처분성(weak disposability)으로 나뉜다. 강제분성은 어떤 요소의 최적 투입량을 초과하는 양은 항상 추가 비용없이 처분될 수 있다고 가정하기 때문에 초과 투입량으로 인해 한계생산이 음이 되는 것을 모두 비효율성으로 간주하여 효율성을 측정하는 반면, 약처분성은 정부의 규제 또는 노조 등으로 인해 초과 투입량을 처분하는데 비용이 든다고 가정하기 때문에 한계생산이 음이 되는 부분을 비효율성에서 제외하고 효율성을 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 도시철도 운영기관의 조직유형별 효율성을 추정하는 것이 목적 중 하나이므로 조직유형별로 다른 정부의 경영 측면에 대한 규제 또는 노조 등에 기인한 비효율성도 효율성을 추정할 때 고려하는 강제분적 기법을 사용하고자 한다.

마찬가지로 〈그림 2〉를 이용해 강제분성과 약처분성을 가정하는 기법간의 차이를 설명하면 다음과 같다. 강제분성을 가정하는 기법은 한계생산이 음이 되는 부분도 비효율성으로 간주하므로 이 기법에 의해 구축되는 등량곡선은 양의 기울기(positive slope)를 갖지 않는, 즉 우상향하는 부분이 없는 $S_s S_s'$ 가 된다. 반면 약처분성을 가정하는 기법에 의해 구축되는 등량곡선은 양의 기울기를 갖는 부분이 있는 $S_w S_w'$ 가 된다. 따라서 어떤 요소조합인 A 점의 경우 강제분성을 가정할 때의 효율성 값은 OB_s/OA 가 되고 약처분성을 가정할 때의 효율성 값은 OB_w/OA 가 되므로 강제분성을 가정할 때의 효율성 값이 더 작게 추정된다.

마지막으로, 자료포락분석기법은 원점과 대상 관찰점을 연결하는 방사선과 등량곡선이 만나는 점을 기준으로 하여 대상 관찰점의 기술적 효율성을 측정하는 방사적(radial) 측정기법과 방사선상을 벗어나 더 효율적인 점이 있으면 그 점을 기준으로 하여 대상

13) 이에 관한 좀 더 자세한 설명에 대해서는 이준구(1995, pp.239~244)를 참조.

14) 예를 들면, 도시철도 운영기관이 정부의 규제에 의해 자본을 적정량 이상으로 투자해야 하는 경우를 들 수 있다.

관찰점의 기술적 효율성을 측정하는 비방사적(nonradial) 측정기법으로 나뉜다. 자료포락분석기법을 사용하는 주된 목적은 가장 효율적인 관찰점을 기준으로 상대적인 효율성을 측정하는 데 있으므로 본 연구에서는 이에 보다 잘 부합되는 비방사적 기법을 사용해 기술적 효율성을 추정하고자 한다.

〈그림 2〉를 이용해 방사적 측정기법과 비방사적 측정기법간의 차이를 설명하면 다음과 같다. 방사적 기법을 사용할 경우 A 점의 효율성 값은 원점과 A 점을 연결하는 방사선과 등량곡선 S_5S_5' 가 만나는 B_5 점, 즉 A 점과 요소결합비율이 같으나 보다 효율적인 점을 기준으로 측정된다. 반면 비방사적 기법을 사용할 경우에는 B_5 점과 같은 등량곡선상에 있으나 요소 X_2 를 보다 적게 사용하기 때문에 요소결합비율이 다르면서 보다 효율적인 D 점을 기준으로 측정된다. 따라서 방사적 기법에 의한 효율성 값은 가장 효율적인 점을 기준으로 측정되는 것이 아닐 수 있으며, 이를 투입초과(input slack)문제라고 한다. 이와 같은 문제가 발생하는 이유는 〈그림 2〉에서 볼 수 있는 것처럼 자료포락분석기법에 의해 구축되는 생산변경이 모수적 접근법과는 달리 부분적으로 X 또는 Y 축과 평행한 선들이 불연속적으로 연결된 형태이기 때문이다.

본 연구는 세 도시철도 운영기관들의 연도별 효율성을 추정하기 위해 강처분성의 VRS 및 비방사적 자료포락분석기법을 사용하고자 한다. 즉 도시철도 운영기관은 내부 요인뿐만 아니라 조직유형 또는 정부의 규제 등과 같은 외부 요인에 의해서도 발생하는 비용들의 함을 극소화한다는 가정 하에서 그 운영기관과 규모는 같으나 요소결합비율은 다를 수도 있는 가장 효율적인 관찰점을 기준으로 효율성을 추정하고자 한다.

이러한 특성을 갖는 자료포락분석기법을 선형계획 문제로 제시하기 전에 생산적 효율성을 추정하는데 기준이 되는 생산변경, 즉 등량곡선 SS' 를 설정할 필요가 있다. SS' 는 투입요소와 산출물 자료의 불록 조합으로 구성되는 투입대응(input correspondence)¹⁵⁾인데, 이를 본 연구의 경우에 맞게 표현하면 다음과 같다. 본 연구는 3개의 운영기관에 대한 23년, 25년 그리고 12년 동안의 연도별 자료, 즉 불균형 통합자

료(unbalanced panel data)를 이용하기 때문에 총 60개의 분석대상단위, 즉 관찰점으로 나타낼 수 있다. 이러한 60개의 관찰점 $l(l = 1, \dots, 60)$ 이 각각 투입요소 $i(i = 1, \dots, n)$ 를 사용하여 산출물 y 를 생산한다고 상정할 경우 이는 산출물 벡터 Y 와 투입요소행렬 X 로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{60} \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_{1(1)} & \cdots & x_{1(n)} \\ x_{2(1)} & \cdots & x_{2(n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{60(1)} & \cdots & x_{60(n)} \end{bmatrix}$$

여기서 Y 는 관찰점 l 이 생산하는 산출물인 스칼라 y_l 로 구성된 벡터가 되며, X 는 관찰점 l 이 이용하는 투입요소량 벡터 $x_l = (x_{l1}, \dots, x_{ln})$ 로 구성된 행렬이 된다.

블록 조합으로 구성되며, VRS와 투입요소의 강처분성을 만족하는 등량곡선 SS' 는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y_l &\leq z_1 \cdot y_1 + \cdots + z_{60} \cdot y_{60} \\ x_{l1} &\geq z_1 \cdot x_{1(1)} + \cdots + z_{60} \cdot x_{60(1)} \\ &\vdots \\ x_{ln} &\geq z_1 \cdot x_{1(n)} + \cdots + z_{60} \cdot x_{60(n)} \\ z_1 + \cdots + z_{60} &= 1 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 z_l 은 투입요소와 산출물의 불록조합을 나타내기 위해 60개의 관찰점당 하나씩 주어지는 집중계수(intensity parameters)이며, $z = (z_1, \dots, z_l, \dots, z_{60})$ 는 이러한 계수들의 벡터를 의미한다.

식(5)는 식(6)과 같이 간단하게 표현될 수 있다.

$$SS' = [x \in R_+^n; y_l \leq zY, zX \leq x_l, \sum_{l=1}^{60} z_l = 1 \in R_+^{60}] \tag{6}$$

식(6)의 등량곡선에 대한 가정에서 VRS를 의미하는 부분은 $\sum_{l=1}^{60} z_l = 1$ 인데¹⁶⁾, 이 제약을 통해 규모의 효과를 제거함으로써 보다 많은 관찰점들이 등량곡선상에 위치하게 되고 나머지 관찰점들도 등량곡선과의 거리가 짧아지게 된다. 한편 투입요소의 강처분성을

15) $SS' = \{ \text{산출물 } y \in R_+ \text{를 생산하는데 사용되는 모든 투입요소 행렬, } x \in R^n \}$

16) CRS의 경우에는 이 제약이 부과되지 않는다.

의미하는 부분은 $zX \leq x_i$ 이 되는데, 이 제약은 효율적 투입량이 등량곡선상에 있는 기준점보다 클 수 있고 초과투입량을 비용을 부담하지 않고 처분할 수 있음을 의미한다.¹⁷⁾

생산적 효율성을 계산하기 위해서는 식(6)의 등량곡선 SS' 와 투입요소가격 벡터 $p_i = (p_{i1}, \dots, p_{in})$ 이 주어질 때 비용을 극소화하는 투입요소조합, 즉 식(7)과 같이 관찰점마다 각각 비용변경을 설정하고 관찰점 수만큼 식(7)의 선형계획의 해인 요소별 최적 투입량 벡터의 전치(transpose)행렬, x_i^* 를 도출해야 한다.

$$\begin{aligned} \min \quad & p_i x_i^* = Q_i \\ \text{s.t.} \quad & y_i \leq zY, zX \leq x_i, \sum_{i=1}^{60} z_i = 1 \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 생산적 효율성은 식(8)과 같이 비용변경 Q_i 와 실제 비용 $p_i x_i^*$ 의 비율로 계산될 수 있다.

$$PE = Q_i / p_i x_i^* \quad (8)$$

식(8)에 의해 관찰점별로 계산되는 값은 표본에 포함된 관찰점 중 평균비용이 최소인 관찰점과 비교했을 때 총비용을 줄일 수 있는 정도를 나타낸다.¹⁸⁾ 즉 어떤 관찰점이 생산적으로 효율적이기 위해서는 실제 비용의 $(1-PE)$ 만큼을 줄여야 함을 의미한다. 한편 식(7)로부터 도출되는 요소별 최적 투입량(x_{ii}^*)과 실제 투입량(x_{ii})을 이용해 식(9)로 정의되는 요소별 초과투입비율(excess input, EI_i)을 도출할 수 있다.

$$EI_i = (x_{ii} / x_{ii}^*) - 1 \quad (9)$$

여기서 EI_i 가 0보다 크면 최적 투입량보다 많이 투입되었음을 의미하고, 0보다 작으면 최적 투입량보다 적게 투입되었음을 의미한다.

한편 기술적 효율성은 식(6)의 등량곡선 SS' 를 제약조건으로 하는 식(10)의 선형계획문제를 관찰점별로 풀면 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \lambda_{ii} = TE^{19)} \\ \text{s.t.} \quad & y_i \leq zY, zX \leq \lambda_{ii} x_i, \sum_{i=1}^{60} z_i = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)으로부터 도출되는 값은 산출량 수준이 주어져 있을 때 요소투입량을 최대로 줄일 수 있는 정도를 나타낸다. 즉 어떤 관찰점이 기술적으로 효율적이기 위해서는 평균적으로 요소투입량의 $(1-TE)$ 만큼을 줄여야 함을 의미한다.

또한 배분적 효율성은 생산적 효율성과 기술적 효율성간의 관계로부터 식(11)과 같이 도출된다. 마찬가지로 이 값은 어떤 관찰점이 배분적으로 효율적이기 위해서는 기술적으로 효율적인 비용의 $(1-AE)$ 만큼을 줄여야 함을 의미한다.

$$AE = PE / TE \quad (11)$$

앞에서 언급했듯이 식(7)과 (10)을 관찰점별로 각각 구성하고, GAMS 프로그램을 이용하여 관찰점 수만큼의 해를 추정한다.²⁰⁾ 이렇게 추정된 해는 각 관찰점의 생산적 및 기술적 효율성 값이 되며, 이들 값을 식(11)에 대입함으로써 배분적 효율성 값도 추정된다.

3. 토빗회귀분석기법을 이용한 조직효율성, 순 효율성 및 총효율성의 추정방법

자료포락분석을 통해 도출되는 생산적, 기술적 및 배분적 효율성 값에는 도시철도 운영기관이 통제할 수 있는 내부 요인인 생산활동 뿐만 아니라 통제할

17) 반면 약처분성을 가질 경우의 제약은 $zX = x_i$ 이 되며, 추가적인 비용의 부담없이 처분할 수 있는 초과투입량은 존재하지 않는다.
 18) 자료포락분석기법을 이용해 효율성을 추정할 때 기준이 되는 관찰점은 표본 내에서 상대적으로 가장 비용효율적인 관찰점이므로 현재의 표본에서 효율적이라고 판명된 것도 반드시 비용을 절감할 가능성이 없다고 볼 수는 없다.
 19) 본 연구에서 사용하고자 하는 비방사적 기법은 관찰점별로 n 가지의 투입요소에 대해서 각각 λ_i 를 구한 뒤, 이를 평균한 값을 그 관찰점의 기술적 효율성 값으로 정의한다. 반면 방사적 기법은 n 가지의 투입요소에 공통적으로 적용되는 하나의 λ 만을 구하고, 이를 기술적 효율성 값으로 정의한다. 따라서 방사적 기법을 사용할 때에는 $\min \lambda$ 가 목적함수가 된다.
 20) GAMS 프로그램 이용시 먼저 투입요소, 산출물, 관찰점(또는 분석대상단위)을 정의하고 특정 관찰점의 투입요소량과 산출량을 입력한 뒤 모든 관찰점들의 투입요소량과 산출량의 값, 즉 X와 Y를 입력함으로써 식(7)과 식(10)에 있는 변수 값들을 설정해야 한다. 다음으로 구하고자 하는 z_i, λ_i, x_i^* 와 같은 계수들을 정의하고, 각 식의 목적함수와 제약식을 본문에 제시된 대로 입력한 뒤 프로그램을 실행시키면 입력한 자료를 바탕으로 목적함수를 최적화하는 계수들을 도출할 수 있다. 본문에서 언급했듯이 이를 관찰점별로 시행하기 때문에 본 연구에서는 X와 Y를 그대로 유지하되 특정 관찰점의 투입요소량과 산출량만을 계속 바꾸어 가면서 이러한 과정을 60회 반복하게 된다.

수 없는 외부 요인인 조직 유형 등이 미치는 영향도 반영되어 있다. 따라서 운영기관의 생산활동과 관련된 순(true)효율성과 조직유형 자체의 효율성인 조직 효율성(organizational efficiency, *OE*) 및 이 두 효율성의 합인 총효율성(gross efficiency, *GE*)을 구하기 위해서는 이들 요인별로 효율성에 미치는 영향을 분리하여야 한다.

본 연구에서는 이를 위해 자료포락분석을 통해 도출되는 생산적 및 기술적 효율성 값을 종속변수로 하고, 이들 효율성 값에 영향을 미치는 것으로 판단되는 조직유형 등의 외부 요인들을 독립변수로 하는 토빗회귀식인 식(12)를 추정한다.²¹⁾

$$\begin{aligned}
 v_{pl} &= \alpha_p w_l + \beta_p D_l + \varepsilon_{pl}, \\
 & \quad (\text{or } v_{ul} = \alpha_l w_l + \beta_l D_l + \varepsilon_{ul}) \\
 \widehat{v}_{pl} &= 1, \quad \text{if } \overline{v}_{pl} \geq 1 \\
 & \quad (\text{or } \widehat{v}_{ul} = 1, \quad \text{if } \overline{v}_{ul} \geq 1) \\
 \widehat{v}_{pl} &= \widehat{v}_{pl}, \quad \text{if } 0 < \overline{v}_{pl} < 1 \\
 & \quad (\text{or } \widehat{v}_{ul} = \widehat{v}_{ul}, \quad \text{if } 0 < \overline{v}_{ul} < 1) \\
 \widehat{v}_{pl} &= 0, \quad \text{if } \overline{v}_{pl} \leq 0 \\
 & \quad (\text{or } \widehat{v}_{ul} = 0, \quad \text{if } \overline{v}_{ul} \leq 0)
 \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 하첨자 *p*와 *l*는 각각 생산적 효율성과 기술적 효율성을 나타내며, *v_l*은 자료포락분석기법에 의해 추정되는 관찰점별 생산적 또는 기술적 효율성 값을 나타낸다. 또한 α 와 β 는 추정해야 하는 모수, *w_l*은 조직유형 더미변수를 제외한 기타 외부 요인, *D_l*은 외부 요인들 중의 하나인 조직유형 더미변수, ε_l 은 정규 분포하는 백색오차(white noise), 그리고 \overline{v}_l 과 \widehat{v}_l 은 토빗회귀식에 의한 중간추정치와 최종추정치를 각각 의미한다.

식(12)는 도시철도 운영기관의 공공조직유형을 지방공기업(서울시지하철공사), 정부부처형 공기업(철도청의 수도권 전철부문) 및 국가공단(부산교통공단)의 세 가지로 구분하는 더미변수를 독립변수로 포함하고 있다. 표본에 포함된 도시철도 운영기관들의 조직유형간 효율성의 차이를 구명하기 위해 설정된 더미변

수의 값은 자료포락분석으로부터 도출되는 생산적 또는 기술적 효율성 값들의 조직유형별 평균값을 비교하여 평균값이 가장 높은 조직유형에 대해 0, 중간인 조직유형에 대해 1, 그리고 가장 낮은 조직유형에 대해 2로 놓고 토빗회귀식을 추정한다.²²⁾ 조직효율성은 식(13)과 같이 정의되며, 조직유형 더미변수의 계수 추정치를 이용해 산정된다.

$$OE = \text{EXP}(\widehat{\beta}D_l - (\widehat{\beta}D_l)_{\max}) \tag{13}$$

여기서 $(\widehat{\beta}D_l)_{\max}$ 는 세 조직유형들 중 가장 효율적인 조직유형에 대한 값을 나타내는데, 이 값은 $\widehat{\beta}$ 의 예상 부호가 음이고 더미변수값이 0이기 때문이 0이 된다. 따라서 조직효율성 값은 가장 효율적인 조직유형의 경우 1이 되고, 다른 조직유형들의 경우 1보다 작은 양수가 되며, 이는 운영기관을 보다 효율적인 조직유형으로 개편함으로써 비용을 절감할 수 있는 정도를 나타낸다.

한편 도시철도 운영기관의 순효율성 값은 자료포락 분석을 통해 얻는 효율성 값에서 조직효율성과 기타 외부 요인들이 미치는 영향을 제외한 나머지이므로, 식(12)의 추정결과로부터 도출되는 잔차인 $\widehat{\varepsilon}_l$ 을 이용해 구할 수 있다.²³⁾ 먼저 순생산적 효율성(true productive efficiency, *TPE*)은 생산활동만의 측면에서 가장 효율적인 관찰점을 비교대상으로 하여 측정할 상대적인 효율성을 의미하며, 식(14)와 같이 정의된다.

$$TPE = \text{EXP}(\widehat{\varepsilon}_{pl} - \widehat{\varepsilon}_{p\max}) \tag{14}$$

여기서 $\widehat{\varepsilon}_{p\max}$ 는 잔차의 최대값, 즉 표본 내에서 가장 효율적인 관찰점의 잔차를 나타낸다. 따라서 가장 효율적인 관찰점의 *TPE*는 1이 되고, 다른 관찰점들의 *TPE*는 0과 1 사이의 값이 된다.

식(14)로부터 도출되는 순생산적 효율성은 생산적 효율성과 같이 순기술적 효율성(*TTE*)과 순배분적 효율성(*TAE*)으로 나뉜다. 먼저 순기술적 효율성은

21) 보통최소사승법(ordinary least squares) 대신에 토빗회귀분석기법을 사용하는 이유는 자료포락분석으로부터 도출되는 효율성 값이 0과 1 사이의 값이므로 토빗회귀식에 의한 예측치도 0과 1 사이의 값을 갖도록 제한할 필요가 있기 때문이다. 한편 토빗회귀식인 식(12)는 LIMDEP 7.0 프로그램을 이용하여 추정된다.

22) 더미변수의 값을 이와 같이 놓고 식(12)를 추정하기 때문에 효율성 값이 조직유형간에 유의하게 차이가 난다면 더미변수의 계수추정치도 유의한 음의 값을 가질 것으로 예상된다.

23) 토빗회귀식의 잔차로부터 순효율성을 도출하기 때문에 이를 잔여효율성(residual efficiency)이라고도 한다.

기술적 효율성값을 종속변수로 하는 토빗회귀식의 추정결과로부터 도출되는 잔차를 식(15)에 대입해서 계산할 수 있다. 또한 순배분적 효율성은 식(16)과 같이 순생산적 효율성을 순기술적 효율성으로 나누어서 구할 수 있다.

$$TTE = \text{EXP}(\widehat{\varepsilon}_{it} - \widehat{\varepsilon}_{tmax}) \quad (15)$$

$$TAE = TPE / TTE \quad (16)$$

이러한 순효율성은 현재의 조직유형을 유지한 채 생산활동의 효율성만을 제고함으로써 비용을 절감할 수 있는 정도를 나타낸다. 마지막으로 어떤 운영기관을 보다 효율적인 조직유형으로 개편함과 동시에 생산활동의 효율성을 제고함으로써 절감할 수 있는 비용에 관한 정보를 제공하는 총효율성은 식(17)과 같이 정의되며, 0과 1 사이의 값을 갖는다.

$$GE = TPE \times OE \quad (17)$$

III. 자료

1. 자료포락분석에 사용되는 자료

자료포락분석에 사용되는 자료는 서울시지하철공사의 1976년부터 2000년까지, 철도청 수도권 전철부문의 1978년부터 2000년까지, 그리고 부산교통공단²⁴⁾의 1989년부터 2000년까지의 연도별 자료로 구축된 불균형통합자료(unbalanced panel data)이다. 본 연구에서는 먼저 산출물(y)로 공급관련지표인 전동차-km²⁵⁾

를 선택하였는데, 그 이유는 Oum과 Yu(1994)가 밝히고 있는 것처럼 도시철도 운송업과 같이 운임과 노선 등에 대해 정부가 규제하는 경우 운영기관의 생산활동과 관련된 순효율성 등을 측정할 때는 공급관련 지표가 승객수 등의 수요관련지표보다 적합한 것으로 알려져 있기 때문이다.²⁶⁾

또한 투입물(또는 요소, x_i)은 노동, 전력, 전동차, 궤도(또는 자본)의 네 가지²⁷⁾이며, 식(7)을 이용해 생산적 효율성 값을 추정하는 데 필요한 요소가격(p_i)은 요소비용(p_i, x_i)을 요소투입량(x_i)으로 각각 나누어 구하였다. 먼저 궤도를 제외한 세 투입물들의 요소비용 및 요소투입량 자료는 서울시지하철공사와 부산교통공단의 경우 도시철도만을 운행해 왔기 때문에 각 연도의 결산서와 운영기관의 내부 자료로부터 각각 구할 수 있었다. 그러나 철도청의 경우는 지역간 철도와 수도권 전철을 같이 운행해 왔기 때문에 철도통계연보와 경영성적보고서에 있는 자료로부터 수도권 전철서비스를 생산하는 데 사용된 세 투입물들 중 일부의 요소비용과 요소투입량을 구할 수 없었다.²⁸⁾ 특히 수도권 전철부문의 노동비용과 노동투입량, 즉 인원수 및 유지보수비용에 관한 자료는 지역간 철도부문과 분리되어 있지 않기 때문에 철도청 전체 값을 여러 가정 하에서 두 부문간에 분리하여 구할 수밖에 없었다.²⁹⁾

본 연구에서 수도권 전철부문의 노동비용은 이 부문의 노동가격, 즉 1인당 연간 노동비용과 투입된 인원수의 추정치를 각각 구한 다음, 이 두 추정치들을 곱해 구하였다. 여기서 수도권 전철부문의 노동가격은 철도청 전체의 노동가격과 같다는 가정 하에서 철도청 전체의 노동비용을 인원수로 나누어 구하였다. 또한 수도권 전철부문에 투입된 인원수는 철도청 전

24) 부산 지하철의 운영주체가 1988년 중반에 부산시에서 부산교통공단으로 바뀌면서 적용하는 회계기준도 달라졌으므로 자료의 일관성을 유지하기 위해 1989년 이전 자료를 분석대상에서 제외하였다.

25) 이는 <그림 1>과 <그림 2>에서 각각 SS' 와 S_0S_0' 에 해당된다.

26) 반면 수요관련지표는 정부의 관점에서 규제와 같은 공공정책의 효과를 분석하기 위해 생산적 효율성과 수요 효율성을 모두 측정할 때 적합한 것으로 알려져 있다. 즉 정부의 관점에서 규제는 통계가능한 변수이기 때문에 사회 전체의 후생과 관련된 진정한 효율성을 측정하는 데에는 수요관련지표가 적절함을 의미한다.

27) 이는 <그림 1>과 <그림 2>의 x_i 에 해당되는데, <그림 1>과 <그림 2>는 효율성의 개념과 측정방법을 알기 쉽게 2차원으로 표현하기 위해서 투입요소를 2가지로 가정한 것이다.

28) 수도권 전철부문에 대해 철도통계연보와 경영성적보고서로부터 구할 수 있었던 자료는 전력비용, 전력 사용량, 전동차 구입비용, 전동차 대수, 궤도연장 및 전동차-km 등이다.

29) 철도청 전체의 노동비용과 유지보수비용을 각각 수도권 전철부문과 지역간 철도부문으로 분리하기 위해서는 최소한 이들 부문간에 범위의 경계 또는 범위의 불경계가 존재하지 않는다는 가정이 필요하다. 이러한 가정은 다음의 예들에서 볼 수 있는 것처럼 이들 부문에서 공통으로 사용되는 투입물이 거의 없기 때문에 비교적 타당하다고 판단된다. 첫째, 수도권 전철과 지역간 열차는 거의 대부분의 구간에서 별도의 선로를 사용하고 있다. 둘째, 전동차를 운전하는 기관사는 지역간 철도부문의 디젤 또는 전기기관차를 운전하지 않는다. 마지막으로 수도권에 위치한 몇 역사는 전철 승객과 지역간 철도객 및 화물 운송에 (시간적으로 나누어) 공동으로 사용하고 있으나, 총비용에서 차지하는 비중은 미미한 편이다.

〈표 1〉 자료포락분석에 사용되는 자료(2000년)

변수	단위	서울시 지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산교통공단
총비용	백억원	103	81	41
산출량	백만전동차-km	221	215	54
요소 투입량	노동	인	11,492	2,721
	전력	kwh	835,162,817	737,393,709
	전동차	대	1,944	1,674
	궤도	m	394,725	573,845
요소 가격	노동	백만원/인	38	29
	전력	원/kwh	69	65
	전동차 ¹⁾	백만원/대	113	120
	궤도	십만원/궤도(m)	7.9	6.8
산출량/ 투입량 ²⁾	노동	전동차-km/인	19.212	35.662
	전력	전동차-km/kwh	0.26	0.29
	전동차	전동차-km/대	113,575	128,168
	궤도	전동차-km/궤도(m) ³⁾	559	374

주 : 1) 전동차 및 유지보수를 의미함.
 2) 자료포락분석시 사용되는 변수는 아니지만, 표본에 포함된 도시철도 운영기관의 부분생산성(partial productivity)을 나타내는 지표로 사료되어 포함시켰음.
 3) 선로운영밀도(density)와 의미가 같음.

체의 인원수에 철도청 전체의 실직원가에서 수도권 전철부문의 실직원가가 차지하는 비중을 곱해 구하였다.³⁰⁾

한편 수도권 전철부문의 유지보수비용은 총비용에서 자본비용을 제외한 운영비용의 추정치에서 노동비용의 추정치와 전력비용을 제하여 구하였다. 여기서 수도권 전철부문의 운영비용은 경영성적보고서에 있는 이 부문의 실직원가에서 감가상각비와 지급이자 추정치들을 제하여 구하였다. 또한 수도권 전철부문

의 감가상각비와 지급이자는 경영성적보고서에서 이 두 비용을 차량-km에 비례해 노선별로 배분한다는 점을 감안하여 철도청 전체의 감가상각비와 지급이자 총액에 철도청의 총차량-km에서 수도권 전철부문의 전동차-km가 차지하는 비율을 각각 곱하여 구하였다.

다음으로 세 운영기관들의 연도별 전동차 및 궤도 (또는 설비)비용은 전동차 구입비와 호선 및 설비별 투자비에 자본회수계수(capital recovery factor)³¹⁾를

30) 이 방법의 타당성을 검증하기 위해 2000년을 대상으로 두 가지 방법에 의해 산정된 수도권 전철부문의 인원수를 비교하면 다음과 같다. 먼저 본 연구에서 사용된 방법인 철도청의 전체 인원수에 철도청의 전체 실직원가에서 수도권 전철부문의 실직원가가 차지하는 비중을 곱하는 방법을 적용하면 31,705명×19.0%가 되므로 수도권 전철부문에 투입된 인원수는 6,016명으로 산정된다. 한편 교통개발연구원(2001, pp. 105-109)에서 제시된 분당선의 실제 투입인원수에 수도권 전철의 총영업연장을 분당선의 영업연장으로 나눈 값을 곱하는 방법을 적용하면 500명×(191.3/18.5)가 되므로 수도권 전철부문 전체의 인원수는 5,170명으로 산정된다.

본 연구에서 사용된 방법에 의한 수도권 전철부문 인원수 추정치인 6,016명이 분당선의 실제 투입인원수를 바탕으로 추정된 결과인 5,170명보다 다음의 두 가지 이유에서 보다 정확할 것으로 판단된다. 첫째, 5,170명에는 철도청의 본청에서 수도권 전철부문을 담당하는 인력과 복선인 분당선에 비해 일부 구간이 복복선인 경인선을 운영하는 데 추가로 소요되는 인력이 포함되지 않았을 것이기 때문이다. 둘째, 자동화율이 높은 분당선과 같은 신선에 비해 경인, 경수, 경원선은 역구부분 등이 보다 노동집약적이므로 실제 인원수는 분당선을 기준으로 산정된 인원수보다 더 많을 것으로 예상되기 때문이다.

31) 이 값을 산정할 때 사용한 설비별 내구연한과 할인율은 다음과 같다. 먼저 설비별 내구연한으로는 서울시지하철공사와 부산교통공단의 전 노선 및 철도청의 경인, 경수, 경원선은 설비를 기계, 전로, 선로 및 건물로 나누어 각각 범정내구연한인 10년, 20년, 60년, 40년을 적용하였으며, 철도청의 신선(과천/안산, 분당, 일산선)은 설비를 노반, 궤도, 건물, 신호, 통신, 전력으로 나누어 각각 범정내구연한인 60년, 25년, 60년, 20년, 20년, 20년을 적용하였다. 이와 같이 철도청의 신선에 대해 설비를 다르게 분류한 이유는 신선에 대한 설비별 투자비에 관한 자료가 없어서 총투자비와 신선의 건설지에 제시된 다른 설비분류체계 및 설비별 투자비용을 이용할 수밖에 없었기 때문이다. 한편 할인율은 철도청의 수도권 전철부문에 대해서는 7.5%, 그리고 서울시지하철공사와 부산교통공단에 대해서는 7%를 각각 적용하였다. 철도청 수도권 전철부문의 경우 경영성적보고서에서 적정투자보수비를 산정할 때 이용하는 최근 5년 평균 가중투자보수율을 할인율로 사용하였는데, 그 이유는 할인율이(자산에 대한 이자율로 볼 수 있기 때문에) 자산의 구성요소인 자본과 부채에 대해 적용되는 이자율을 가중평균한 값인 가중투자보수율과 의미가 같다고 판단되었기 때문이다. 또한 서울시지하철공사와 부산교통공단의 경우는 철도청의 수도권 전철부문보다 약간 낮은 할인율을 사용하였는데, 그 이유는 투자비의 상당 부분을 이자율 6%의 지하철공제 발행을 통해 충당해 왔었기 때문이다.

급해 산정하였다. 호선 및 설비별 투자비에 관한 자료는 서울지하철공사의 경우 국토개발연구원(1987)에서, 철도청 수도권 전철부문의 경우 국토개발연구원(1987)과 이종규·송우경·정지연(1996) 및 철도청(1994, 1995, 1996)에서, 그리고 부산교통공단의 경우 한국개발연구원 외(1999)에서 각각 구하였다.³²⁾

이러한 과정을 거쳐 산정된 요소비용은 소비자물가지수 또는 도매물가지수를 이용해 2000년 불변가격으로 환산되었고, 이를 요소투입량으로 나누어 요소가격을 구하였다. 자료포락분석에 사용되는 불균형 통합자료 중 가장 최근 연도인 2000년의 자료는 <표 1>과 같다.

2. 토빗회귀분석에 사용되는 자료

토빗회귀식의 종속변수로는 자료포락분석을 통해

도출되는 생산적 효율성과 기술적 효율성의 값을, 그리고 독립변수로는 도시철도 운영기관이 통제할 수 없는 외부 요인들인 조직유형 더미변수와 연말기준의 궤도연장을 실제 이용기간으로 가중평균한 궤도가동률 변수를 설정하였다. 독립변수로 조직유형 더미변수를 설정한 이유는 앞에서 언급했듯이 표본에 포함된 세 도시철도 운영기관들의 조직효율성을 추정하기 위해서이다. 또한 궤도가동률 변수를 설정한 이유는 신선의 전 구간 또는 일부 구간이 개통되기 전에 미리 직원을 채용하여 교육시키거나 전동차를 구입하여 시운전을 하는 등의 사전 준비를 하는 데 비용이 추가로 소요되므로 이에 기인한 비효율성을 분리하기 위해서이다.

본 연구에서 궤도가동률 변수의 값은 신선의 전 구간 또는 일부 구간이 개통된 연도의 경우 개통일 이

<표 2> 궤도가동률 변수의 값¹⁾

운영기관	연월일	개통구간	변수값
서울지하철공사	1980. 10. 31.	2호선 일부 구간(신설동~종합운동장)	0.461
	1982. 12. 23.	2호선 일부 구간(종합운동장~교대)	0.805
	1983. 9. 16.	2호선 일부 구간(을지로입구~성수)	0.723
	1983. 12. 17.	2호선 일부 구간(교대~서울대입구)	
	1984. 5. 22.	2호선 일부 구간(서울대입구~을지로입구)	0.867
	1985. 4. 20.	4호선 일부 구간(상계~한성대)	0.709
	1985. 7. 12.	3호선 일부구간(구파발~독립문)	
	1985. 10. 18.	3호선 일부 구간(독립문~양재), 4호선 일부 구간(한성대~사당)	
	1990. 7. 13.	3호선 연장 구간(구파발~지축)	0.994
	1992. 5. 22.	2호선 연장 구간(신도림~양천구청)	0.991
	1993. 4. 21.	4호선 연장 구간(상계~당고개)	0.949
	1993. 10. 30.	3호선 연장 구간(양재~수서)	
1994. 4. 1.	4호선 연장 구간(사당~남태령)	0.996	
1996. 3. 30.	2호선 연장 구간(양천구청~까치산)	0.994	
철도청	1988. 10. 25.	안산선 개통(금정~안산)	0.864
	1994. 4. 1.	과천선 개통(남태령~금정)	0.895
	1994. 9. 1.	분당선 개통(수서~오리)	
1996. 1. 30.	일산선 개통(대화~지축)	0.991	
부산교통공단	1990. 2. 28.	1호선 일부 구간(토성동~서대신동)	0.988
	1994. 6. 23.	1호선 일부 구간(서대신동~신평동)	0.901
	1999. 6. 30.	2호선 일부 구간(호포~서면)	0.800

주 : 1) 여기서 제시되지 않은 연도의 변수 값은 1임.

32) 수도권 전철부문의 신선(과천/안산, 분당, 일산선)과 경인북복선 및 부산교통공단의 경우 설비별 투자비에 관한 정확한 자료를 구할 수 없었기 때문에 다음과 같은 방법을 사용해 이들 노선의 설비별 투자비를 추정하였다. 먼저 수도권 전철부문의 신선은 철도청(1994, 1995, 1996)에서 구한 설비별 투자비용을, 경인북복선은 지상에 건설된 경인, 경수, 경원 및 안산선의 설비별 투자비용의 평균값을, 그리고 부산교통공단은 각 연도의 결산서에 포함되어 있는 유형고정자산명세서의 기말잔액을 이용해 산정된 설비별 투자비용을 각 호선의 총 투자비에 곱해 이들 노선의 설비별 투자비를 추정하였다.

전의 궤도연장과 이후의 궤도연장을 운행일수로 가중 평균하여 산정하였다.³³⁾ 따라서 신선의 전 구간 또는 일부 구간이 개통되면 이 변수의 값은 작고 개통일 이전의 사전 준비로 인해 효율성 값도 낮을 것이기 때문에 이 변수의 계수추정치는 양의 부호를 가질 것으로 예상된다. 운영기관별로 신선의 전 구간 또는 일부 구간이 개통된 연도의 궤도가동률 변수 값은 <표 2>에 제시되어 있다.

IV. 추정결과

1. 자료포락분석기법에 의한 효율성 추정결과

자료포락분석기법으로부터 도출된 세 가지 효율성 값의 운영기관별 평균은 <표 3>과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 식(7)을 적용해 추정된 생산적 효율성 값³⁴⁾은 평균적으로 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통공단 순서인 것으로 나타났다. 구체적으로 서울시지하철공사의 경우 비용변경점³⁵⁾과 같이 비용 효율적이기 위해

서는 평균적으로 실제 비용의 17.6%, 철도청의 경우는 18.5%, 마지막으로 부산교통공단의 경우는 21.3% 만큼을 줄여야 하는 것으로 나타났다. 세 운영기관의 연도별 생산적 효율성 값들을 평균한 총평균은 0.815로 도출되었는데, 이는 표본에 포함된 한국의 세 도시 철도 운영기관은 평균적으로 18.5% 정도 비효율적이므로 실제 비용의 18.5%를 줄여야 비용변경에 도달할 수 있음을 의미한다.

다음으로 식(10)의 자료포락분석기법을 적용해 추정된 기술적 효율성 값³⁶⁾은 <표 3>에서 볼 수 있는 것처럼 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높고, 다음으로 부산교통공단, 서울시지하철공사 순서인 것으로 나타났다. 구체적으로 서울시지하철공사의 경우 생산변경점³⁷⁾과 같이 기술적으로 효율적이기 위해서는 평균적³⁸⁾으로 실제 각 요소투입량의 14.4%, 철도청의 경우는 6.2%, 마지막으로 부산교통공단의 경우는 11.5% 만큼을 줄여야 하는 것으로 나타났다. 철도청의 기술적 효율성이 가장 높은 것으로 나타난 이유는 <표 1>에서 제시되었듯이 투입요소당 산출량이 전반적으로 가장 높고 특히 인당 산출량이 높기 때문인 것으로

<표 3> 자료포락분석기법에 의한 효율성의 추정결과

		서울시 지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산 교통공단	전체	변경 관찰점
생산적 효율성	평균	0.824	0.815	0.787	0.815	서울시지하철공사 : 1976, 1996, 2000 철도청 : 1999, 2000
	최대값	1.000	1.000	0.860	1.000	
	최소값	0.506	0.653	0.731	0.506	
	표준편차	0.135	0.087	0.042	0.104	
기술적 효율성	평균	0.856	0.938	0.885	0.893	서울시지하철공사 : 1976, 1996, 2000 철도청 : 1999, 2000
	최대값	1.000	1.000	0.929	1.000	
	최소값	0.603	0.878	0.847	0.603	
	표준편차	0.106	0.036	0.030	0.081	
배분적 효율성	평균	0.959	0.870	0.890	0.911	
	최대값	1.000	1.000	0.986	1.000	
	최소값	0.831	0.687	0.827	0.687	
	표준편차	0.050	0.096	0.047	0.081	

33) 따라서 추가로 개통된 구간이 없는 연도의 경우 이 변수의 값은 1이 되고, 추가로 개통된 구간이 있는 연도의 경우 이 변수의 값은 개통일이 연초에 가까울수록 1에 가까운 값이 되는 반면 연말에 가까울수록 1보다 작은 값이 된다.

34) 2장에서 언급했듯이 이는 <그림 1>의 OC/OA에 해당된다.

35) 이는 <그림 1>의 C점에 해당된다.

36) 2장에서 언급했듯이 이는 <그림 1>의 OB/OA에 해당된다.

37) 이는 <그림 1>의 B점에 해당된다.

38) 본 연구에서는 기술적 효율성을 도출하는데 있어서 비방사적 방법을 적용하였기 때문에 도출된 기술적 효율성 값은 각각의 요소에 하나씩 도출된 요소별 효율성 값들의 평균이 된다. 따라서 이 값은 각 요소들의 투입량을 평균적으로 절감할 수 있는 정도로 해석할 수 있다.

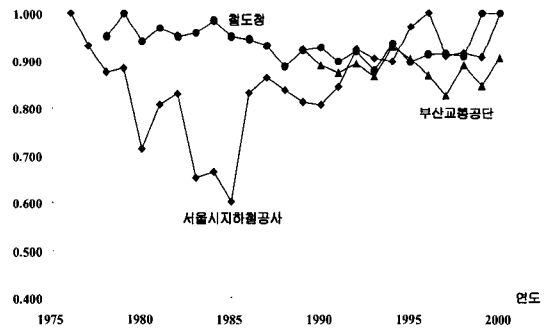
판단된다. 세 운영기관의 연도별 기술적 효율성 값들을 평균한 총평균은 0.893으로 도출되었는데, 이는 표본에 포함된 세 도시철도 운영기관이 평균적으로 10.7% 정도 기술적으로 비효율적이므로 각각의 요소 투입량을 10.7% 줄여야 생산변경에 도달할 수 있음을 의미한다.

마지막으로 배분적 효율성 값³⁹⁾은 <표 3>에서 볼 수 있는 것처럼 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 부산교통공단, 철도청의 수도권 전철부문 순서인 것으로 나타났다. 배분적 효율성은 주어진 투입량으로 산출물을 최대로 생산하고는 있지만 비용을 극소화시키는 요소의 결합비율로 생산하지 않음으로써 발생하는 생산변경점에서의 비용과 최소비용간의 차이를 의미함을 감안하면 서울시지하철공사의 경우 배분적으로 효율적이기 위해서는 기술 효율적인 비용의 4.1%, 철도청의 경우는 13.0%, 마지막으로 부산교통공단의 경우는 11.0% 만큼을 줄여야 하는 것으로 해석할 수 있다. 세 운영기관의 연도별 배분적 효율성 값들을 평균한 총평균은 0.911로 도출되었는데, 이는 표본에 포함된 세 도시철도 운영기관이 평균적으로 8.9% 정도 배분적으로 비효율적이므로 비용극소화 요소투입비율로 생산한다면 기술 효율적인 비용의 8.9%를 절감할 수 있음을 의미한다.

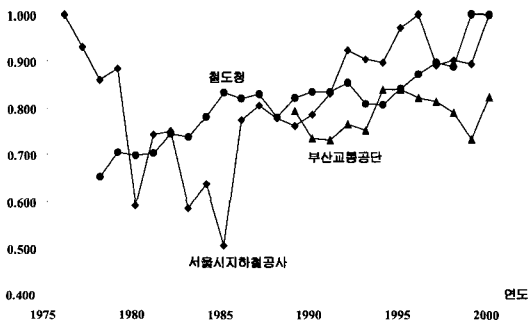
이러한 세 효율성의 운영기관별 연도별 추이는 <그림 3, 4, 5>에 도시되어 있다. 먼저 생산적 효율성의 경우 <그림 3>에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사는 1980년대에 효율성이 낮아졌다가 점차 증가하는 추이를 보이고 있으며 철도청의 수도권 전철부문도 서서히 증가하는 추이를 보이고 있는 반면, 부산교통공단은 별다른 추이 없이 비슷한 것으로 나타났다. 다음으로

기술적 효율성은 <그림 4>에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사와 부산교통공단은 그 추이가 생산적 효율성과 서로 비슷한 것으로 나타난 반면, 철도청의 수도권 전철부문은 생산적 효율성과는 달리 초기부터 최근까지 계속 높은 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 한편 배분적 효율성의 연도별 추이는 <그림 5>에서 알 수 있듯이 세 운영기관들 모두 생산적 효율성과 추이가 비슷하여 최근으로 올수록 증가하였는데, 서울시지하철공사와 부산교통공단은 기술적 효율성보다 절대값이 높아서 생산적 효율성에는 그리 큰 영향을 미치지 않았던 것으로 나타난 반면 철도청의 수도권 전철부문은 기술적 효율성보다 낮아서 생산적 효율성이 배분적 효율성의 영향을 크게 받았던 것으로 나타났다. 종합적으로 보면 세 효율성 모두 전반적으로 증가하는 추이를 보이고 있는 것으로 나타났으며, 최근으로 올수록 서울시지하철공사보다 철도청 수도권 전철부문의 효율성이 보다 높은 것으로 나타났다.

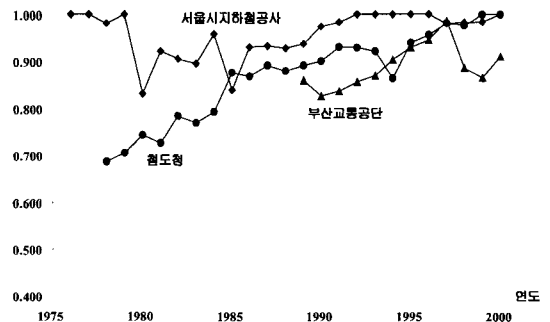
이러한 세 효율성의 측정기준이 되는 비용 및 생산



<그림 4> 세 운영기관들의 연도별 기술적 효율성 추이



<그림 3> 세 운영기관들의 연도별 생산적 효율성 추이



<그림 5> 세 운영기관들의 연도별 배분적 효율성 추이

39) 2장에서 언급했듯이 이는 <그림 1>의 OC/OB에 해당된다.

변경점⁴⁰⁾은 서울시지하철공사의 1976년, 1996년, 2000년과 철도청 수도권 전철부문의 1999년, 2000년으로 서로 동일하게 도출되었다. 이는 산출량 또는 규모가 작은 분석기간의 초기에는 서울시지하철공사의 1976년이 표본 내에서 상대적으로 가장 효율적인 관찰점으로 선정되었음을 의미하고 산출량 또는 규모가 커진 분석기간의 말기에는 서울시지하철공사의 1996년, 2000년과 철도청 수도권 전철부문의 1999년, 2000년이 상대적으로 가장 효율적인 관찰점으로 선정되었음을 의미한다. 철도청 수도권 전철부문의 1999년과 2000년이 선정된 이유는 분석기간 동안 산출량이 계속해서 증가했기 때문인 것으로 판단된다. 또한 서울시지하철공사의 경우는 1996년이 당산철교의 통행이 중지되기 전에 산출량이 가장 많았던 해였고, 2000년은 당산철교가 재개통되어 산출량이 1996년 수준으로 회복된 해였기 때문에 이 두 연도가 선정된 것으로 판단된다. 이와 같이 비용 및 생산변경점이 서울시지하철공사의 1976년을 제외하고는 대부분 최근 연도라는 사실은 세 효율성이 증가하는 추세와도 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉 각 연도의 효율성 값은 비용변경점에 대한 상대적인 값이므로 비용변경점의 근방에 있는 최근 연도의 효율성 값이 과거보다 클 가능성이 높기 때문이다. 마찬가지로 1976년이 효율적인 관찰점으로 나타난 서울시지하철공사의 경우도 1976년

무렵인 1970년대에는 효율성 값이 높은 것으로 나타났다.

한편 생산적 효율성으로부터 도출된 초과투입비율⁴¹⁾은 <표 4>에 제시되어 있다. 이 표에서 알 수 있듯이 자본을 제외한 다른 요소들, 즉 노동, 동력, 전동차와 유지보수의 경우 서울시지하철공사의 초과투입비율이 가장 높았던 것으로 나타난 반면 자본의 경우는 서울시지하철공사보다 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단의 초과투입비율이 높을 뿐만 아니라 절대적인 수치 면에서도 매우 높아서 평균적으로 철도청의 실제 자본투입량은 최적투입량보다 80.5%, 부산교통공단은 59.3% 과다투입된 것으로 나타났다. 이러한 결과가 도출된 이유는 초기부터 규모가 컸던 철도청 수도권 전철부문의 경우 유희용량, 즉 자본의 투입량이 과다했던 반면, 서울시지하철공사는 초기에는 규모가 작고 선로운영밀도는 높아서 유희용량이 거의 없었고 규모가 확장된 이후에도 계속 선로운영밀도가 증가하여 비용극소화 요소투입비율에 근접하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 서울시지하철공사의 경우 규모가 확장되던 1980년대 중반을 제외하고는 전반적으로 자본의 투입량이 과다하지 않았기 때문에 생산적 효율성이 가장 높게 도출되었다고 할 수 있다. 반면 부산교통공단의 생산적 효율성이 가장 낮게 추정된 이유는 다른 두 운영기관에 비해 지형적 특성

<표 4> 세 운영기관들의 생산요소별 초과투입비율

		서울시지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산교통공단	전체
노동	평균	0.491	0.154	-0.076	0.249
	최대값	1.173	0.385	0.094	1.173
	최소값	0.000	-0.059	-0.208	-0.208
동력	평균	0.108	-0.038	-0.066	0.017
	최대값	0.214	0.089	0.052	0.214
	최소값	-0.037	-0.178	-0.130	-0.178
전동차 및 유지보수	평균	0.082	-0.171	0.009	-0.030
	최대값	0.391	0.126	0.175	0.391
	최소값	-0.233	-0.293	-0.157	-0.293
자본	평균	0.287	0.805	0.593	0.547
	최대값	1.820	1.833	0.812	1.833
	최소값	-0.277	0.000	0.273	-0.277

40) 이들 변경점은 표본 내에서 상대적으로 가장 효율적이라는 의미이기 때문에 효율성을 개선할 여지가 전혀 없다고 단정할 수는 없다.

41) 이는 <그림 1>의 C점에서의 x_1^* 와 A점에서의 x_1 간의 비율을 의미한다.

때문에 선로건설비용이 많이 들었고, 열차편성대수도 6량과 8량으로 작아서 <표 4>에서처럼 비용극소화 요소투입조합보다 자본은 과다투입되고 노동은 과소 투입되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 추정결과는 도시철도의 건설비 중 국비지원비율이 높을수록 그 노선의 운영을 담당하는 기관은 자본의 초과투입 비율이 높다는, 즉 과잉자본화 경향이 크다는 가설의 타당성을 증명하는 것으로 사료된다.

2. 조직효율성, 순효율성 및 총효율성의 추정결과

<표 3>에서 제시된 운영기관별 효율성의 차이는 내부 요인인 생산활동 뿐만 아니라 외부 요인, 즉 생산활동과 무관한 조직효율성과 신선 또는 연장구간 개통에 의한 영향도 반영하고 있다. 이 두 외부 요인들 중 신선 또는 연장구간 개통 요인, 즉 궤도가동률은 <그림 3, 4, 5>에서 볼 수 있듯이 효율성과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉 산출량 또는 규모가 분석기간 동안 상대적으로 안정적이었던 철도청의 수도권 전철부문은 효율성의 기복이 심하지 않은 반면, 서울시지하철공사는 2, 3, 4호선이 개통되었던 1980년에서 1985년까지 효율성의 기복이 심하고 다른 연도에 비해 그 값도 낮은 것으로 나타났다. 또한 부산교통공단은 서울시지하철공사만큼 뚜렷하지는 않지만 1호선이 단계별로 개통되었던 연도와 2호선이 개통되었던 연도의 효율성 값이 전반적으로 낮은 것

으로 나타났다.

자료포락분석기법에 의한 세 운영기관들의 연도별 생산적 효율성과 기술적 효율성 추정치에서 외부 요인들의 영향을 분리하기 위해 토빗회귀분석을 시행한 결과는 <표 5>와 같다. <표 5>에서 확인할 수 있듯이 두 토빗회귀식의 계수추정치들은 거의 대부분 5% 이상의 수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 계수추정치들의 부호도 모두 기대부호와 일치하는 것으로 나타났다. 또한 모형 적합도의 판단 기준이 되는 수정 결정계수(\bar{R}^2) 값도 상당히 높은 것으로 나타났다.

토빗회귀식의 추정결과인 계수추정치와 잔차를 이용해서 조직효율성과 순생산적, 순기술적, 순배분적 효율성 및 총효율성을 추정한 결과⁴²⁾를 정리하면 <표 6>과 같다. 먼저 조직효율성은 자료포락분석기법에 의한 생산적 효율성과 기술적 효율성 추정치로부터 각각 도출되는데, <표 6>에서 볼 수 있는 것처럼 다른 요인이 같을 때 생산적 효율성이 가장 높은 조직유형, 즉 비용을 극소화하는 조직유형은 지방공기업인 서울시지하철공사인 것으로 나타났으며, 생산적 효율성이 가장 낮은 조직유형은 국가공단인 부산교통공단인 것으로 나타났다.

반면 기술적 효율성이 가장 높은 조직유형, 즉 산출량을 극대화하는 조직유형은 정부부처형 공기업인 철도청의 수도권 전철부문인 것으로 나타났으며, 기술적 효율성이 가장 낮은 조직유형은 지방공기업인 서울시지하철공사인 것으로 나타났다.

<표 5> 토빗회귀식의 추정결과

	종속변수					
	생산적 효율성			기술적 효율성		
	계수	t-통계량 ¹⁾	*	계수	t-통계량 ¹⁾	***
상수	0.187	1.555	*	0.439	5.071	***
조직유형 더미변수 ²⁾	-0.032	-2.063	**	-0.029	-3.202	***
궤도가동률	0.679	5.410	***	0.503	5.822	***
로그우도값	48.599			70.061		
\bar{R}^2	0.337			0.500		

주 : 1) ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 유의함을 의미함.
 2) 효율성의 평균값이 큰 순서로 값을 부여하였기 때문에 생산적 효율성을 종속변수로 하는 토빗회귀식의 더미변수 값은 서울시지하철공사가 0, 철도청의 수도권 전철부문이 1, 부산교통공단이 2가 되는 반면, 기술적 효율성의 경우는 철도청의 수도권 전철부문이 0, 부산교통공단이 1, 서울시지하철공사는 2가 됨.

42) 순효율성은 <그림 1>에서 앞의 효율성 추정방법과 동일한 방법으로 추정된다. 다만 외부 요인들의 영향을 제외하고 생산활동만으로 평가되기 때문에 생산변경 및 비용변경이 효율성을 추정할 경우와 달라져서 값이 다를 뿐이다. 한편 조직효율성은 효율성에서 조직유형에 해당되는 부분만으로 추정되며, 총효율성은 이러한 조직효율성과 순생산적 효율성을 곱하여 추정된다.

〈표 6〉 조직효율성과 순효율성 및 총효율성의 추정결과

		서울시 지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산 교통공단	전체	변경 관찰점
조직 효율성	생산	1.000	0.969	0.938		
	기술	0.944	1.000	0.971		
순생산적 효율성	평균	0.844	0.840	0.849	0.844	철도청: 1999년
	최대값	0.970	1.000	0.940	1.000	
	최소값	0.719	0.706	0.789	0.706	
	표준편차	0.073	0.074	0.045	0.068	
순기술적 효율성	평균	0.892	0.902	0.881	0.889	서울시지하철 공사: 1996년
	최대값	1.000	1.000	0.948	1.000	
	최소값	0.810	0.853	0.849	0.810	
	표준편차	0.068	0.040	0.029	0.052	
순배분적 효율성	평균	0.946	0.932	0.964	0.949	철도청: 1999년
	최대값	0.985	1.000	1.000	1.000	
	최소값	0.805	0.785	0.914	0.785	
	표준편차	0.037	0.076	0.032	0.055	
총효율성	평균	0.844	0.814	0.797	0.823	서울시지하철 공사: 2000년
	최대값	0.970	0.968	0.881	0.881	
	최소값	0.719	0.684	0.740	0.684	
	표준편차	0.073	0.072	0.042	0.069	

다음으로 생산적 효율성에서 조직효율성과 궤도가동률에 의한 영향이 제외된 순생산적 효율성은 〈표 6〉에서 볼 수 있는 것처럼 생산적 효율성과는 달리 부산교통공단이 가장 높고, 다음으로 서울시지하철공사, 철도청의 수도권 전철부문 순서인 것으로 나타났다. 이와 같이 이들 외부 요인에 의한 영향이 함께 포함될 경우 가장 효율성이 낮았던 부산교통공단이 외부 요인에 의한 영향이 제외됨에 따라 가장 높게 나타난 이유는 운영기관간 생산적 효율성 값의 차이가 크지 않았고, 세 운영기관들 중에서 가장 낮은 비용측면의 조직효율성이 제외되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 이러한 외부 요인에 의한 영향이 제외됨에 따라 세 운영기관들의 효율성이 〈표 3〉의 생산적 효율성보다 모두 증가하였는데, 이는 서울시지하철공사의 경우 궤도가동률의 영향이 제외되었기 때문이며, 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단의 경우는 낮은 조직효율성이 제외되었기 때문인 것으로 판단된다.

한편 외부 요인에 의한 영향이 제외됨으로써 세 운영기관들간의 순생산적 효율성 차이는 1% 이내로 줄었는데, 이러한 결과로부터 생산적 효율성의 차이는 순수한 생산활동에 기인되었다기 보다는 생활활동과

직접적인 관련이 없는 외부 요인에 더 큰 영향을 받았음을 알 수 있다. 어떤 한 운영기관에 대해서도 궤도가동률에 의한 영향이 제외됨으로써 효율성 값의 연도별 변동이 줄어 순생산적 효율성의 최대값과 최소값의 차이가 생산적 효율성의 차이보다 적은 것으로 나타났다. 이는 운영기관별로 순생산적 효율성의 연도별 추이를 도시한 〈그림 6〉에서 확인할 수 있다. 〈그림 6〉을 〈그림 3〉과 비교하면 증가하는 추세는 비슷하지만, 최근으로 올수록 운영기관간의 차이가 작아지며, 동일한 운영기관의 연도간 차이도 작아짐을 알 수 있다. 특히 서울시지하철공사의 경우 신선 또는 연장구간이 개통되기 시작한 1980년부터 1985년까지 생산적 효율성은 변동이 큰 반면, 순생산적 효율성은 이러한 요인에 의한 영향이 제외되므로 생산적 효율성에 비해 변동이 크지 않은 것으로 나타났다.

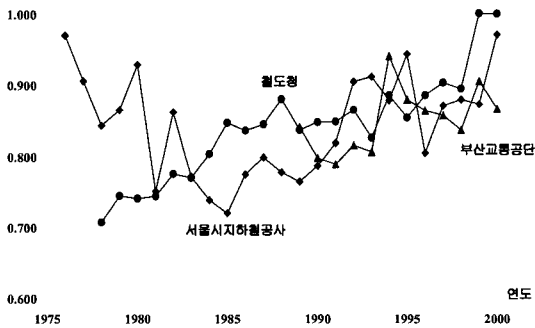
다음으로 순기술적 효율성은 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높고, 서울시지하철공사, 부산교통공단 순서인 것으로 나타났다. 철도청 수도권 전철부문의 순기술적 효율성이 가장 높은 점은 자료포락분석기법에 의한 기술적 효율성의 추정결과와 같지만, 서울시지하철공사와 부산교통공단의 순서는 서로 바뀌어 자료

포락분석기법에 의한 추정결과와 다른 것으로 나타났다. 이와 같이 두 운영기관의 효율성 순위가 바뀐 이유는 순수한 생산활동과 관련된 기술적 효율성을 평가할 경우 생산면에서 부산교통공단의 높은 조직효율성과 서울시지하철공사의 낮은 조직효율성이 제외됨으로써 서울시지하철공사의 순기술적 효율성이 높아졌기 때문이다. 이러한 외부 요인의 영향이 제외됨으로써 기술적 효율성이 낮았던 서울시지하철공사와 부산교통공단은 기술적 효율성보다 순기술적 효율성이 더 커진 반면, 기술적 효율성이 가장 높았던 철도청의 수도권 전철부문의 순기술적 효율성이 더 작아져서 세 운영기관들의 순기술적 효율성 값도 그 차이가 2% 정도로 줄어든 것으로 나타났다. 마찬가지로 한 운영기관에 대해서도 <표 6>과 <그림 7>에서 볼 수 있는 것처럼 효율성 값의 연도별 변동이 줄어든 것으로 나타났다.

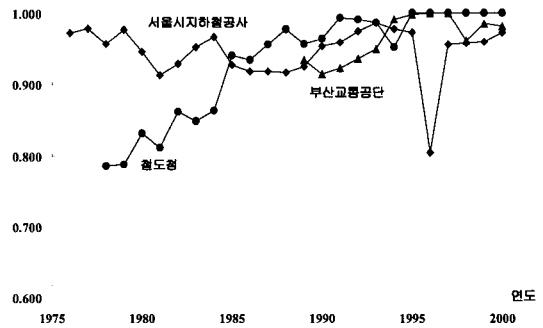
한편 순배분적 효율성은 부산교통공단이 가장 높고, 다음으로 서울시지하철공사, 철도청의 수도권 전철부문 순서인 것으로 나타났다. 외부 요인의 영향이 제외됨으로써 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단은 배분적 효율성보다 순배분적 효율성이 더 커진 반면, 서울시지하철공사는 오히려 더 작아져서 서울

시지하철공사와 부산교통공단의 순위가 서로 바뀐 것으로 나타났다. 이와 같이 서울시지하철공사와 부산교통공단의 효율성 순위가 바뀐 이유는 순생산적 효율성을 순기술적 효율성으로 나누어 순배분적 효율성을 도출하기 때문이다. 즉 부산교통공단의 경우 순생산적 효율성은 생산적 효율성에 비해 크게 높아진 반면 순기술적 효율성은 기술적 효율성에 비해 거의 변동이 없었기 때문에 순배분적 효율성이 크게 높아진 것이며, 서울시지하철공사는 순생산적 효율성보다 순기술적 효율성이 상대적으로 더 높아져서 순배분적 효율성은 낮아진 것이다. 한편 이러한 외부 요인의 영향이 제외됨으로써 세 운영기관들의 순배분적 효율성 값도 그 차이가 3% 정도로 줄었으며, 어떤 한 운영기관에 대해서도 <표 6>과 <그림 8>에서 볼 수 있는 것처럼 효율성 값의 연도별 변동도 줄어든 것으로 나타났다.

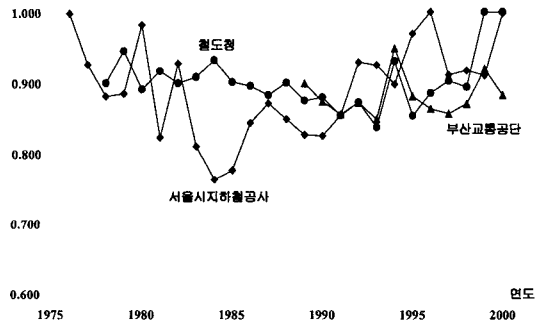
마지막으로 비용관련 조직효율성과 순생산적 효율성을 합한 총효율성은 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통공단 순서인 것으로 나타났는데, 이는 순생산적 효율성은 운영기관간 차이가 거의 없는 반면 조직효율성은 서울시지하철공사, 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통



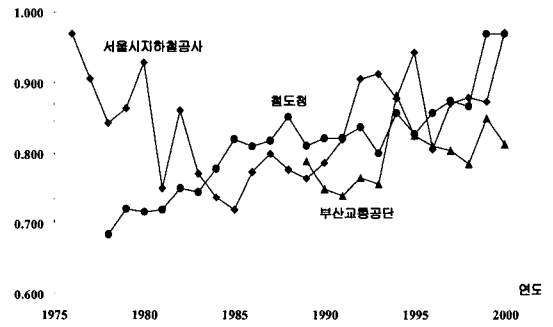
<그림 6> 세 운영기관들의 연도별 순생산적 효율성 추이



<그림 8> 세 운영기관들의 연도별 순배분적 효율성 추이



<그림 7> 세 운영기관들의 연도별 순기술적 효율성 추이



<그림 9> 세 운영기관들의 연도별 총효율성 추이

공단 순서로 높기 때문이다. 이러한 운영기관의 총효율성은 생산적 효율성에서 궤도가동율에 의한 영향만을 제외한 것이므로, 총효율성 추이를 나타내는 <그림 9>는 생산적 효율성 추이를 나타내는 <그림 3>과 비교하면 추이는 서로 비슷하지만 연도별 변동폭은 생산적 효율성에 비해 줄어드는 것으로 나타났다.

V. 결론

본 연구는 도시철도 운영기관을 노동, 전력, 전동차 및 유지보수와 궤도(또는 자본) 요소를 투입하여 전동차-km를 생산하는 기업형태로 상정한 다음, 강처분성의 VRS 및 비방사적 자료포락분석기법을 이용해 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 연도별 생산적, 기술적 및 배분적 효율성 값을 추정하였다. 또한 이들 값에서 토빗회귀식의 추정결과를 이용해 외부 요인들의 영향을 제함으로써 내부 요인인 생산활동만의 영향이 반영된 순생산적, 순기술적 및 순배분적 효율성 값을 구하였으며, 토빗회귀식의 추정결과로부터 세 도시철도 운영기관들의 조직효율성과 연도별 총효율성 값을 구하였다.

자료포락분석 결과 생산적 효율성과 배분적 효율성은 평균적으로 서울시지하철공사가 가장 높은 반면 기술적 효율성은 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높은 것으로 나타났으며, 최근으로 올수록 세 효율성 모두 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 평균적인 생산적 효율성 측면에서 서울시지하철공사가 가장 높은 것으로 나타난 주된 이유는 자본요소의 초과투입비율이 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단보다 상당히 낮았기 때문으로 추정된다.

한편 도시철도 운영기관의 내부 요인인 생산활동만을 대상으로 추정된 순생산적 효율성과 순배분적 효율성은 외부 요인들인 조직유형과 궤도가동율의 영향도 함께 반영된 자료포락분석의 효율성 추정결과와는 달리 오히려 부산교통공단이 가장 높은 반면, 순기술적 효율성은 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 순생산적, 순기술적 및 순배분적 효율성의 경우 외부 요인들의 영향이 배제됨에 따라 세 운영기관들간의 차이는 상당히 감소하는 것으로 나타났다.

조직효율성의 경우 생산적 효율성이 가장 높은 조직유형, 즉 비용을 극소화하는 조직유형은 지방공기업인 서울시지하철공사인 것으로 나타났으며, 생산적 효율성이 가장 낮은 조직유형은 국가공단인 부산교통공단인 것으로 나타났다. 반면 기술적 효율성이 가장 높은 조직유형, 즉 산출량을 극대화하는 조직유형은 정부부처형 공기업인 철도청의 수도권 전철부문인 것으로 나타났으며, 기술적 효율성이 가장 낮은 조직유형은 지방공기업인 서울시지하철공사인 것으로 나타났다. 마지막으로 비용관련 조직효율성과 순생산적 효율성을 합한 총효율성은 평균적으로 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통공단 순서인 것으로 나타났다.

이러한 추정결과와는 다음과 같은 정책적 시사점을 갖는다. 첫째, 도시철도 운영기관들의 효율성에는 조직유형 등의 외부 요인이 내부 요인보다 더 큰 영향을 미칠 수 있으므로 이들의 상대적인 경영상태를 공정하게 평가하기 위해서는 외부 요인이 미치는 영향을 배제할 수 있는 방안을 수립하여 시행할 필요가 있다고 판단된다. 둘째, 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단의 비용효율성을 제고하기 위해서는 이들의 조직유형을 지방공기업 또는 지방공단으로 바꿀 필요가 있다고 판단된다. 또한 대전시 및 광주시에서 신설될 예정인 도시철도 운영기관의 조직유형을 지방공기업 형태로 한다면 비용을 극소화할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 한계와 개선방안은 다음과 같다. 먼저 자료포락분석기법에 의한 본 연구의 추정결과는 사용된 자료에 이상점과 외부 요인들에 의한 확률적 오차 및 측정오차가 있었다면 이에 크게 영향을 받았을 수 있으며 통계적 검정도 할 수 없으므로, Ferrier와 Lovell (1990), Pollitt(1995), 그리고 Yu(1995) 등과 같이 동일한 자료를 사용해 변경집근법 중에서도 모수적 접근법인 확률적 변경집근법으로 추정한 결과와 비교하여 그 타당성을 검증할 필요가 있다. 또한 토빗회귀식에서 독립변수로 설정된 외부 요인들인 조직유형 더미변수와 궤도가동률 변수 이외에도 영향을 미치는 외부 요인들이 더 있을 수 있으므로, 도시철도 운영기관들의 조직효율성과 순효율성을 좀 더 정확하게 측정하기 위해서는 누락된 외부 요인들도 독립변수로 설정한 다음 토빗회귀식을 다시 추정할 필요가 있다.

참고문헌

1. 교통개발연구원(1997), “부산광역시 대중교통요
금구조연구”.
2. 교통개발연구원(2001), “일부노선 민간위탁 타당
성 조사 및 절차수립 연구”.
3. 국토개발연구원(1987), “수도권 전철·지하철 연
락운임정산을 위한 조사연구”.
4. 김성수·오미영·김민정(2002), “자료포락분석기
법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율
성과 규모의 경제성 분석”, 환경논총, 제40권,
pp.101~113.
5. 김태웅(1999), “국내 대형할인점의 효율성 분석
에 관한 연구”, 경영과학, 제16권 제2호, pp.1~
11.
6. 문춘걸(1998), “자료포락분석법 및 그 변형기법
을 통한 공공부문의 생산성 측정: 한국 중소도시
의 생산성 분석”, 한국조세연구원.
7. 민재형·김진환(1998), “DEA를 이용한 손해보
험회사의 효율성 측정에 관한 연구”, 한국경영과
학회지, 제23권 제2호, pp.201~217.
8. 부산교통공단(각년도), “결산서”.
9. 서울시지하철공사(각년도), “결산서”
10. 서울특별시(1998), “통계로 본 서울교통”.
11. 오미영·김성수·김민정(2002), “자료포락분석기법
(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성
분석”, 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통
학회, pp.59~68.
12. 윤경준(1998), “공공부문 성과측정을 위한 DEA
와 확률전선모형의 비교분석 -일선 경찰서의 기술
효율성 측정을 중심으로-”, 한국행정학보, 제32권
제4호, pp.257~273.
13. 윤석진·서우종·정재우(2001), “은행 지점의 효
율성 평가: DEA모형을 이용한 분석 절차 및 사례
분석”, 한국경영과학회지, 제26권 제3호, pp.39
~52.
14. 이상섭·김규덕(1998), “자료포락분석(DEA)에 의
한 지방정부 공공서비스의 상대적 효율성 측정 -
쓰레기수거서비스를 중심으로-”, 한국지방자치학
회보, 제10권 제2호, pp.169~187.
15. 이종규, 송우경, 정지연(1996), “도시철도사업의
민자유치 타당성 분석”, 서울시정개발연구원.
16. 이준구(1995), “미시경제학”, 제2판, 법문사.
17. 철도청(각년도), “경영성적보고서”.
18. 철도청(1994), “과천선복선전철건설지”.
19. 철도청(1995), “분당선복선전철건설지”.
20. 철도청(1996), “일산선복선전철건설지”.
21. 철도청(각년도), “철도통계연보”.
22. 철도청(2001), “철도투자평가편람”.
23. 한국개발연구원, 교통개발연구원, 앤더슨컨설팅
(1999), “지하철 및 광역전철의 건설·운영 개선
방안”.
24. 한국조세연구원(1994), “감가상각의 현황과 정
책방향”.
25. Bhattacharyya, A. et al.(1995), “Ownership
Structure and Cost Efficiency: A Study of
Publicly Owned Passenger-Bus Transpor-
tation Companies in India”, Journal of
Productivity Analysis, Vol. 6, pp.47~61.
26. Brooke, A. et al.(1988), “GAMS: A User’s
Guide”, The Scientific Press.
27. Charnes, A. W. et al.(1978), “Measuring
the Efficiency of Decision Making Units”,
European Journal of Operational Research,
Vol. 2, pp.429~444.
28. Coelli, T. et al.(1998), “An Introduction to
Efficiency and Productivity Analysis”, Kluwer
Academic Publishers.
29. Cowie, J.(1999), “The Technical Efficiency
of Public and Private Ownership in the
Rail Industry: The Case of Swiss Private
Railways”, Journal of Transport Economics
and Policy, Vol. 33, pp.241~252.
30. De Borger, B. et al.(2002), “Public Transit
Performance: What Does One Learn from
Frontier Studies?”, Transport Reviews, Vol.
22, pp.1~38.
31. Fare, R. et al.(1985), “The Relative Perfor-
mance of Publicly-Owned and Privately-Owned
Electric Utilities”, Journal of Econometrics,
Vol.26, pp.89~106.
32. Farrell, M. J.(1957), “The Measurement
of Productive Efficiency”, Journal of the Royal
Statistics Society A, Vol.120, pp.253~281.

33. Ferrier, G. D. and C. A. K. Lovell(1990), "Measuring Cost Efficiency in Banking: Econometric and Linear Programming Evidence", *Journal of Econometrics*, Vol.46, pp.229~245.
34. Kerstens, K.(1996), "Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies", *Transportation Research A*, Vol.30, pp.431~452.
35. Kim, M. and S. Kim(2001), "An Analysis of the Cost Structure of a Seoul's Rail Transit Property: A Stochastic Frontier Approach", *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*, Seoul.
36. Nolan, J. F. et al.(2001), "Measuring Efficiency in the Public Sector Using Non-parametric Frontier Estimators: A Study of Transit Agencies in the USA", *Applied Economics*, Vol.33, pp.913~922.
37. Odeck, J. and A. Alkadi(2001), "Evaluating Efficiency in the Norwegian Bus Industry Using Data Envelopment Analysis", *Transportation*, Vol.28, pp.211~232.
38. 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 and Policy*, Vol.28, pp.121~138.
39. Oum, T. H. et al.(1999), "A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.33, pp.9~42.
40. Pollitt, M. G.(1995), "Ownership and Performance in Electric Utilities : The International Evidence on Privatization and Efficiency", Oxford University Press.
41. Yu, C.(1995), "A Comparative Study of Alternative Methods for Efficiency Measurement with Applications to the Transportation Industry", Ph.D. Dissertation, University of British Columbia.

✉ 주 작 성 자 : 김민정

✉ 논문투고일 : 2003. 4. 25

논문심사일 : 2003. 6. 30 (1차)

2003. 8. 4 (2차)

심사판정일 : 2003. 8. 4

✉ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

Analyzing the Efficiency of Korean Rail Transit Properties using Data Envelopment Analysis

KIM, Minjung · KIM, Sungsoo

Using nonradial data envelopment analysis(DEA) under assumptions of strong disposability and variable returns scale, this paper annually estimates productive, technical and allocative efficiencies of three publicly-owned rail transit properties which are different in terms of organizational type: Seoul Subway Corporation(SSC, local public corporation), the Seoul Metropolitan Electrified Railways sector (SMESRS) of Korea National Railroad(the national railway operator controlled by the Ministry of Construction and Transportation(MOCT)), and Busan Urban Transit Authority (BUTA, the national authority controlled by MOCT). Using the estimation results of Tobit regression analysis, the paper next computes their true productive, true technical and true allocative efficiencies, which reflect only the impacts of internal factors such as production activity by removing the impacts of external factors such as an organizational type and a track utilization rate. And the paper also computes an organizational efficiency and annually gross efficiencies for each property. The paper then conceptualized that the property produces a single output(car-kilometers) using four inputs(labor, electricity, car & maintenance and track) and uses unbalanced panel data consisted of annual observations on SSC, SMESRS and BUTA.

The results obtained from DEA show that, on an average, SSC is the most efficient property on the productive and allocative sides, while SMESRS is the most technically-efficient one. On the other hand, BUTA is the most efficient one on the truly-productive and allocative sides, while SMESRS on the truly-technical side. Another important result is that the differences in true efficiency estimates among the three properties are considerably smaller than those in efficiency estimates. Besides, the most cost-efficient organizational type appears

to be a local public corporation represented by SSC, which is also the most grossly-efficient property. These results suggest that a measure to sort out the impacts of external factors on the efficiency of rail transit properties is required to assess fairly it, and that a measure to restructure (establish) an existing(a new) rail transit property into a local public corporation(or authority) is required to improve its cost efficiency.

Development of Traffic Accident Prediction Models by Traffic and Road Characteristics in Urban Areas

LEE, Soo Beom · KIM, Jeong Hyun · KIM, Tae-Hee

The current procedure of estimating accident reduction benefit shows fixed accident rates for each level of roads without considering the various characteristics of roadway geometries and traffics. In this study, in order to solve the problems mentioned in the above, models were developed considering the characteristics of roadway alignments and traffic characteristics. The developed models can be used to estimate the accident rates on new or improved roads. In this study, only urban highways were included as a beginning stage. First of all, factors influencing accident rates were selected. Those factors such as traffic volumes, number of signalized intersections, the number of connecting roads, number of pedestrian traffic signals, existence of median barrier, and the number of road lane are also selected based upon the obtainability at the planning stage of roads. The relationship between the selected factors and accident rates shows strong correlation statistically. In this study, roads were classified into 4 groups based on number of lanes, level of roads and the existence of median barriers. The regression analysis had been performed for each group with actual data associated with traffic, roads, and accidents. The developed regression models were verified with another data set. In this study, in order to develop

Analyzing the Efficiency of Korean Rail Transit Properties using Data Envelopment Analysis

KIM, Minjung · KIM, Sungsoo

Using nonradial data envelopment analysis(DEA) under assumptions of strong disposability and variable returns scale, this paper annually estimates productive, technical and allocative efficiencies of three publicly-owned rail transit properties which are different in terms of organizational type: Seoul Subway Corporation(SSC, local public corporation), the Seoul Metropolitan Electrified Railways sector (SMESRS) of Korea National Railroad(the national railway operator controlled by the Ministry of Construction and Transportation(MOCT)), and Busan Urban Transit Authority (BUTA, the national authority controlled by MOCT). Using the estimation results of Tobit regression analysis, the paper next computes their true productive, true technical and true allocative efficiencies, which reflect only the impacts of internal factors such as production activity by removing the impacts of external factors such as an organizational type and a track utilization rate. And the paper also computes an organizational efficiency and annually gross efficiencies for each property. The paper then conceptualized that the property produces a single output(car-kilometers) using four inputs(labor, electricity, car & maintenance and track) and uses unbalanced panel data consisted of annual observations on SSC, SMESRS and BUTA.

The results obtained from DEA show that, on an average, SSC is the most efficient property on the productive and allocative sides, while SMESRS is the most technically-efficient one. On the other hand, BUTA is the most efficient one on the truly-productive and allocative sides, while SMESRS on the truly-technical side. Another important result is that the differences in true efficiency estimates among the three properties are considerably smaller than those in efficiency estimates. Besides, the most cost-efficient organizational type appears

to be a local public corporation represented by SSC, which is also the most grossly-efficient property. These results suggest that a measure to sort out the impacts of external factors on the efficiency of rail transit properties is required to assess fairly it, and that a measure to restructure (establish) an existing(a new) rail transit property into a local public corporation(or authority) is required to improve its cost efficiency.

Development of Traffic Accident Prediction Models by Traffic and Road Characteristics in Urban Areas

LEE, Soo Beom · KIM, Jeong Hyun · KIM, Tae-Hee

The current procedure of estimating accident reduction benefit shows fixed accident rates for each level of roads without considering the various characteristics of roadway geometries and traffics. In this study, in order to solve the problems mentioned in the above, models were developed considering the characteristics of roadway alignments and traffic characteristics. The developed models can be used to estimate the accident rates on new or improved roads. In this study, only urban highways were included as a beginning stage. First of all, factors influencing accident rates were selected. Those factors such as traffic volumes, number of signalized intersections, the number of connecting roads, number of pedestrian traffic signals, existence of median barrier, and the number of road lane are also selected based upon the obtainability at the planning stage of roads. The relationship between the selected factors and accident rates shows strong correlation statistically. In this study, roads were classified into 4 groups based on number of lanes, level of roads and the existence of median barriers. The regression analysis had been performed for each group with actual data associated with traffic, roads, and accidents. The developed regression models were verified with another data set. In this study, in order to develop