

■ 論 文 ■

한국 도시철도 운영기관의 생산성 : 비모수적 Malmquist 접근법에 의한 분석

Analyzing the Productivity of Korean Rail Transit Authorities :
A Nonparametric Malmquist Approach

김민정

(교통개발연구원 항공교통연구실 책임연구원)

김성수

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| I. 서론 | 2. 자료포락분석기법에 의한 Malmquist TFP 지수 추정방법 |
| II. 생산성의 개념과 Malmquist TFP 지수 | IV. 추정결과 |
| 1. 생산성의 개념 | V. 결론 |
| 2. Malmquist TFP 지수 | 참고문헌 |
| III. 자료와 생산성의 추정방법 | |
| 1. 자료 | |

Key Words : 도시철도 운영기관, 생산성, 증가요인별 분해, Malmquist 총요소생산성 지수, 자료포락분석기법

요 약

본 연구는 비모수적 방법인 자료포락분석기법을 이용해 도시철도 운영기관인 서울지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 연도별 Malmquist 총요소생산성 지수를 구하고, 이를 생산성의 세 가지 증가요인인 생산적 효율성과 기술진보 및 규모의 경제 효과별로 분해하였다. 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.

추정 결과 세 도시철도 운영기관들의 연평균 임금상승률은 생산성 증가율을 상회했던 것으로 나타났다. 또한 생산성 증가에 대한 요인별 기여도는 기술 진보, 규모의 경제 효과, 그리고 생산적 효율성 순이었으며, 각 요인의 기여도는 모두 20% 이상이었던 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 생산성 둔화를 방지하기 위해서는 임금인상률을 생산성 증가율 수준으로 조정하는 것이 필요하며, 새로운 기술의 도입보다는 기존 기술의 활용도를 높여 생산적 효율성을 향상시키는 것이 선행될 필요가 있음을 시사하고 있다. 또한 도시철도 운영기관의 생산성 증가율 추정시 편의를 줄이기 위해서는 세 가지 요인들을 모두 고려할 필요가 있음을 시사하고 있다.

I. 서론

현재까지 도시철도 운송업은 공적서비스 의무(public service obligation)라는 관점에서 철도청과 서울시 및 광역시들이 건설을 담당해 왔으며, 여러 유형의 공공기관들이 운영을 담당해 왔다. 이러한 공공 운영기관들은 도산의 위험이 없기 때문에 민간 기업에 비해 경영성과를 개선하고자 하는 유인이 적어 임금 결정시 운영기관의 성과에 기반하여 임금 인상이 결정되지 못하는 것으로 알려져 있다. 또한 정부의 재정지원때문에 도시철도 운영기관들은 기존 기술의 활용도에 대한 신중한 검토 없이 신기술을 도입하여 기술 투자의 효율성이 낮은 것으로 알려져 있다. 이처럼 도시철도 운영기관들이 성과에 대한 분석과 기술 투자의 효과에 대한 정밀한 분석 없이 운영됨에 따라 이들의 효율성이 악화되고 생산성 증가율이 둔화될 가능성이 높아지고 있다. 이러한 도시철도 운영기관들은 공공기관이기 때문에 효율성 악화와 생산성 증가율의 둔화는 중앙 또는 지방정부의 재정부담으로 연결되고, 최종적으로는 국민의 부담으로 이어지게 된다.

이를 막기 위해 정부는 예산 편성시점에서 임금 인상율의 상한을 지정하여 공기업이 이러한 상한을 준수했는지 여부를 평가하고 있다. 그러나 정부가 정하는 임금 인상율의 근거가 모호할 뿐만 아니라 영위하는 업종에 관계없이 일률적으로 동일한 임금 인상률을 적용하는 것은 공기업의 생산성 향상 유인을 저하시킬 수 있으므로 도시철도 운영기관별로 추정된 생산성 증가율을 바탕으로 임금 인상율을 결정할 필요가 있다. 또한 기존 기술을 효과적으로 활용하지 못하여 효율성이 낮은 여건 하에서는 신기술을 도입하더라도 생산성을 극대화할 수 없으므로 도시철도 운영기관별로 추정된 생산성 증가율을 생산적 효율성, 기술 진보, 규모의 경제

효과 등과 같은 요인별로 분해(decompose)했을 때 생산적 효율성의 증가율이 낮게 도출된다면 신기술에 대한 투자보다 먼저 기존 기술을 보다 효율적으로 활용함으로써 생산성을 개선할 필요가 있다.

본 연구는 분석 대상의 효율성을 측정할 수 있게 하는 변형접근법(frontier approach) 중 비모수적(nonparametric) 방법인 자료포락분석기법(data envelopment analysis)을 이용해 Malmquist 총요소생산성(total factor productivity, TFP) 지수¹⁾를 추정함으로써 도시철도 운영기관들의 총요소생산성 증가율을 구하고, 이를 세 가지 요인인 생산적 효율성과 기술진보 및 규모의 경제 효과별로 분해하고자 한다. 본 연구에는 김민정·김성수(2003)에서 사용된 서울시 지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 연도별 자료로 구축된 불균형통합자료가 사용된다. 이러한 추정을 통해 한국 도시철도 운영기관의 생산성 증가율을 임금상승률과 비교할 수 있으며, 신기술에 대한 투자에 비해 효율성 향상이 선행되었는지 여부를 검증할 수 있다. 또한 생산성 증가율을 요인별로 분해하여 요인별 기여도를 분석함으로써 생산성 측정시 어떤 요인의 영향을 무시하는 데 따른 편의도 검증할 수 있다.

본 연구와 같이 자료포락분석기법을 이용해 도시철도 운영기관들의 Malmquist TFP 지수를 추정하고, 이를 생산성의 증가요인별로 분해한 연구는 우리나라와 외국 모두에서 전무한 상태이다. 다만 외국의 경우 본 연구와 유사한 연구로 자료포락분석기법을 이용해 유럽 철도산업의 Malmquist TFP 지수를 분석한 Cantos et al.(1999)²⁾와 미국 버스업체들의 Malmquist TFP 지수를 분석한 Viton(1998)³⁾을 들 수 있을 뿐이다. 즉 이제까지 대부분의 연구들은 분석대상이 되는 운영기관이 효율적임을 가정하거나 규모의 경제 효과로

- 1) 총요소생산성을 분석할 때 사용할 수 있는 지수(index number)로는 Tornqvist 지수와 Malmquist 지수가 있다. Tornqvist 지수는 분석대상이 효율적임을 가정하기 때문에 총요소생산성의 증가율을 요인별로 분해할 수 없는 한계가 존재하는 반면, Malmquist 지수는 분석대상이 효율적이지 않을 수도 있음을 가정하고 변형접근법을 이용하기 때문에 총요소생산성의 증가율을 요인별로 분해할 수 있다는 장점이 있다.
- 2) Cantos et al.(1999)은 유럽 철도 운송업체의 생산성 증가율을 분석하기 위해 1970년부터 1995년까지 17개 유럽 철도 운송업체의 통합 자료를 이용하여 자료포락분석기법을 적용한 뒤 Malmquist TFP 지수를 도출하였다. 추정결과 25년 동안 TFP는 30% 정도 증가한 것으로 나타났으며, 구체적으로 기술 진보가 19%, 기술적 효율성 증가가 11%로 도출되어 생산성 증가는 기술 진보에 더 큰 영향을 받은 것으로 나타났다. 이를 수직 분리(vertical separation)와 철도 개혁이 발생하기 이전인 1985년 이전과 1985년 이후로 나누어 분석한 결과 1985년 이전은 기술 퇴보로 인해 생산성이 감소한 반면 1985년 이후는 기술 진보가 크게 발생하여 생산성이 증가한 것으로 나타났다.
- 3) Viton(1998)은 미국 버스 운송업체의 생산성 증가율을 분석하기 위해 1988년 183개 업체와 1992년 169개 업체로 구성된 통합자료를 이용하여 자료포락분석기법을 적용한 뒤 Malmquist TFP 지수를 도출하였다. 추정결과 평균적으로 1988년의 평균 기술적 효율성 값은 0.953이고 183개 업체 중 74%가 효율적인 것으로 나타난 반면, 1992년의 평균 기술적 효율성 값은 0.965이고 169개 업체 중 82%가 효율적인 것으로 나타나 미국 버스 운송업체의 기술적 효율성은 증가된 것으로 도출되었다. 또한 Malmquist TFP 지수는 연간 0.5% 정도 증가한 것으로 나타났으며, 이러한 생산성 향상은 기술 진보보다는 기술적 효율성 증가에 기인하는 것으로 나타났다.

인한 생산성 변화는 고려하지 않는 비현실적인 가정을 부과함으로써 실제 발생한 성과를 제대로 측정하지 못했다는 문제가 있다.

본 연구는 먼저 2장에서 생산성의 개념과 Malmquist TFP 지수를 생산성의 세 가지 증가요인별로 분해하는 과정에 대해 설명한다. 3장에서는 분석에 사용되는 자료와 자료포락분석기법을 이용해 Malmquist TFP 지수를 추정하고 요인별로 생산성 증가율을 분해하는 방법에 대해 설명하고, 4장에서 도시철도 운영기관들의 생산성 증가율과 요인별 기여도 등의 추정결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 추정결과를 요약하고 도시철도 운영기관들의 생산성을 제고할 수 있는 방안에 관해 논한다. 다음, 본 연구의 한계와 개선 방안을 제시한다.

II. 생산성의 개념과 Malmquist TFP 지수

1. 생산성의 개념

생산성(productivity)은 투입요소를 이용해 산출물로 전환하는 정도, 즉 산출량 대비 비용(또는 투입량 대비 산출량)으로 측정된다. 이러한 생산성은 단일 요소의 투입당 산출량, 즉 부분요소생산성(partial factor productivity)으로 측정될 수도 있고 모든 요소와 산출량을 각각 집계하여 하나의 지수로 표현한 총요소생산성으로 측정될 수도 있다.⁴⁾ 이 중에서 부분요소생산성은 쉽게 추정할 수 있고 널리 쓰이는 방법이나, 요소와 산출물이 여러 개인 경우 요소들 간에 서로 밀접한 관련이 있을 때에는 한 요소의 부분요소생산성만을 측정하면 생산성 측정에 편의를 야기⁵⁾할 수 있기 때문에 총요소생산성을 측정하는 것이 적합하다.

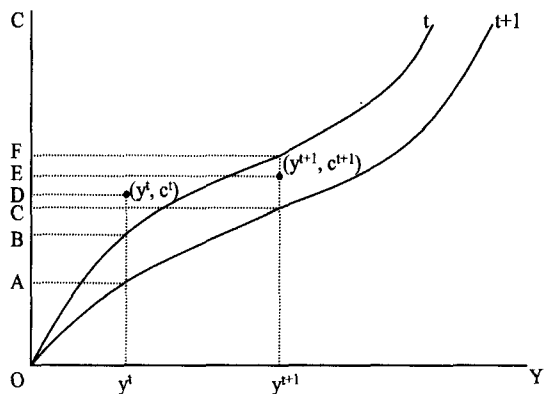
총요소생산성은 보통 생산성 증가율이라는 동적인 형태로 표현되어 산출량 한 단위당 비용, 즉 평균비용의 감소율로 측정된다.⁶⁾ 생산성 증가에 따른 평균비용 감소는 각 기간의 주어진 기술 하에서 일정 산출량을 생산하기 위해 요소들의 투입량과 비율을 보다 더 효율

적으로 이용함으로써 생산적 효율성이 증가한 경우와 종래와 동일한 산출량을 더 적은 비용으로 생산할 수 있도록 하는 기술 진보가 이루어진 경우, 마지막으로 주어진 기술 하에서 산출량이 증가할수록 평균비용이 감소하는 규모의 경제 효과가 존재하는 경우에 발생하게 된다.

2. Malmquist TFP 지수

생산성 증가율을 세 가지 요인인 생산적 효율성과 기술진보 및 규모의 경제 효과별로 분해하기 위해 필요한 Malmquist TFP 지수를 추정하는 과정에 대해 <그림 1>을 이용해 설명하면 다음과 같다.

<그림 1>에서 두 곡선은 각각 t 기와 $t+1$ 기의 비용변경선을, 그리고 (y^t, c^t) 와 (y^{t+1}, c^{t+1}) 는 각각 이 두 기간의 산출량과 비용 관찰점을 나타낸다. 이 두 기간 사이의 Malmquist TFP 지수를 추정하기 위해서는 변경접근법을 적용해 변경선을 측정한다. 거리함수(distance function, d)를 도출해야 한다. 거리함수는 실제 관찰점과 변경선에 있는 점간의 거리로서 변경선을 기준으로 측정되므로, <그림 1>에서 관찰점 (y^t, c^t) 과 t 기 변경선간의 거리함수 $d_t^t(y^t, c^t)$ 는 OD/OB 로 정의된다.⁷⁾ 따라서 거리함수는 값이 작을수록 효율적임을 의미한다.



<그림 1> Malmquist TFP 지수

4) 부분요소생산성과 총요소생산성 중 Tornqvist 지수는 투입당 산출량으로 측정되며, Malmquist 지수는 투입당 산출량과 산출당 비용으로 모두 측정될 수 있다.
 5) 예를 들면, 노동에 대체하는 자동화기계를 설치한 경우 노동 투입량이 줄어들어 따라 노동 생산성은 증가하는 반면 자본 투입량은 증가하므로 자본 생산성은 감소하게 된다.
 6) 한편 효율성(eficiency)은 투입요소를 이용해 산출물로 전환하는 정도를 측정한다는 점에서 생산성과 유사한 반면, 현재의 기술을 이용해 주어진 산출량을 최소의 비용으로 생산할 수 있는 정도를 측정한다는 점에서 동적인 변화율을 측정하는 생산성과는 다르다.
 7) 이는 생산적 효율성(OB/OD)과 역수 관계에 있기 때문에 0과 1사이로 도출되는 생산적 효율성과는 달리 1이상으로 도출된다.

이러한 거리함수를 이용하여 먼저 생산성 증가율을 구성하는 세 요인 중에서 규모의 경제 효과가 제외된 Malmquist TFP 지수 (M)를 구하고, 이로부터 생산적 효율성 증가율과 기술 진보율을 도출한다. 여기서 M 은 식(1)과 같이 t 기의 관찰점과 t 기의 비용변경선간의 거리함수 $d^t(y^t, c^t)$ 와 실제 변경선은 다르지만 같은 변경선으로 평가한, 즉 교차하여 평가한 $t+1$ 기의 관찰점 (y^{t+1}, c^{t+1})과 t 기의 비용변경선간의 교차기간(cross period) 거리함수 $d^t(y^{t+1}, c^{t+1})$ 를 비교함으로써 추정된다. 이때 M 은 기준이 되는 비용변경선에 따라 다르게 추정될 수 있기 때문에 두 기간의 비용변경선에 대해 모두 추정한 다음 그 기하평균을 Malmquist TFP 지수로 사용한다. 이처럼 기하평균을 사용하는 이유는 기술 진보가 Hicks비중립적(Hicks non-neutral technical change)⁸⁾으로 이루어지면 기준이 되는 비용변경선에 따라 다르게 추정될 수 있으므로 한 기간의 비용변경선만을 기준으로 M 을 추정하면 편이가 발생하기 때문이다. 거리함수의 정의에 따라 $d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})$ 이 $d_i^t(y^t, c^t)$ 보다 작고 $d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})$ 이 $d_i^{t+1}(y^t, c^t)$ 보다 작으면, 즉 M 이 1보다 크면 $t+1$ 기에 생산성이 증가하였음을 의미한다.

$$M(y^{t+1}, c^{t+1}, y^t, c^t) = \left[\frac{d_i^t(y^t, c^t)}{d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})} \cdot \frac{d_i^{t+1}(y^t, c^t)}{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

한편 식(1)의 우변은 식(2)와 같이 분리될 수 있다. 식(2)에서 우변의 첫 번째 비율식은 각 기간의 관찰점과 같은 기간의 비용변경선간 거리의 비율로서 두 기간 동안의 생산적 효율성 변화 지수가 되며, 대괄호 안의 비율식은 두 기간을 기준으로 모두 측정된 비용변경선간 거리의 기하평균으로서 두 기간 동안에 발생한 기술 진보 지수가 된다. 첫 번째 비율식인 생산적 효율성 변화 지수는 생산적 효율성이 증가하면 $d_i^t(y^t, c^t)$ 이 $d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})$ 보다 더 크기 때문에 비율식 값이 1보다 크게 추정된다. 또한 대괄호 안의 비율식인 기술 진보 지수에는 교차기

간 거리함수가 포함되어 있으며, 기술 진보가 발생하면 $d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})$ 보다 $d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})$ 이 그리고 $d_i^{t+1}(y^t, c^t)$ 보다 $d_i^t(y^t, c^t)$ 이 더 크기 때문에 값이 1보다 크게 추정된다.

$$M(y^{t+1}, c^{t+1}, y^t, c^t) = \frac{d_i^t(y^t, c^t)}{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})} \cdot \left[\frac{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})}{d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})} \cdot \frac{d_i^{t+1}(y^t, c^t)}{d_i^t(y^t, c^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

이러한 M 을 <그림 2>에 제시된 기호를 이용해 나타내면 거리함수의 정의에 따라 식(3)과 같이 표현된다.

$$M(y^{t+1}, c^{t+1}, y^t, c^t) = \frac{OD/OB}{OE/OC} \cdot \left[\left(\frac{OE/OC}{OE/OF} \right) \left(\frac{OD/OA}{OD/OB} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

이러한 관계로부터 생산적 효율성 증가율(the rate of productive efficiency change, PEC)과 기술 진보율(the rate of technical change, TC)은 식(2)를 이용해 추정된 각 지수들에서 1을 뺀 값을 %로 표시한 값이 되며, 이들을 합한 값이 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율(the growth rate of productivity under constant returns to scale, P)로 정의된다. 따라서 이러한 값들이 양수로 추정되면 생산적 효율성이 증가하거나 기술 진보가 발생하여 생산성이 증가하였음을 의미한다.

한편 규모의 경제 효과(the effect by economies of scale, ES)는 식(4)를 이용해 추정된다. 이 값과 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율을 더한 값이 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율(the growth rate of productivity under variable returns to scale, P_v)로 정의되며, 실제로 도시철도 운영기관에서 발생한 생산성 증가율을 의미한다.

$$ES = (EOS^t \times \Delta y) \times 100 \quad (4)$$

여기서 EOS 는 규모의 경제성 지수(economies of scale)⁹⁾를 의미하며, Δy 는 두 기간 동안의 산출량

8) 요소간에 절감되는 정도가 다르게 기술 진보가 발생하는 경우를 의미한다. 예를 들면, $x_2(x_1)$ 요소가 상대적으로 더(덜) 절감되는 방향으로 기술 진보가 발생한 경우 이를 $x_2(x_1)$ 요소절약적(요소집약적)인 Hicks비중립적 기술 진보라고 한다.

9) 이 값은 규모의 경제가 존재하면 양수가 되고, 규모의 불경제가 존재하면 음수가 된다. 자료포락분석기법을 이용하여 규모의 경제성 지수를 추정하는 구체적인 방법에 대해서는 3장의 추정방법을 참조.

변화율을 의미한다.

규모의 경제 효과로 인해 생산성이 증가하는 경우는 규모의 경제가 존재하면서 산출량이 증가(Δy가 양수)하거나 규모의 불경제가 존재하면서 산출량이 감소(Δy가 음수)할 때이므로 양수로 추정되며, 규모의 경제 효과는 식(4)와 같이 %로 표시한 값이 된다.¹⁰⁾

III. 자료와 생산성의 추정방법

1. 자료

분석에 사용되는 자료는 김민정·김성수(2003)에서 사용된 서울시지하철공사 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-km¹¹⁾를, 그리고 투입물(또는 요소, x_i)로 노동, 전력, 전동차 및 유지보수, 궤도를 설정하였다.¹²⁾

2. 자료포락분석기법에 의한 Malmquist TFP 지수 추정방법¹³⁾

자료포락분석기법¹⁴⁾을 이용해 Malmquist TFP 지수, M을 추정하기 위해서는 먼저 거리함수를 추정해야 한다. 이때 거리함수는 생산적 효율성과 역의 관계에 있기 때문에 생산적 효율성을 측정하기 위한 선형계획식¹⁵⁾의 역수로 표현된다. 따라서 식(1)의 M을 추정하기 위해 필요한 거리함수는 식(5)부터 식(8)까지의 네 식으로 구성된다.

$$\begin{aligned}
 [d_i^t(y^t, c^t)]^{-1} &= PE_i^t(y^t, c^t) \\
 &= \min p_i x_i^* / p_i x_i \\
 \text{s.t. } y_i^t &\leq z Y^t, z X^t \leq x_i^t, \sum_{i=1}^n z_i = 1
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 [d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})]^{-1} &= PE_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1}) \\
 &= \min p_i x_i^* / p_i x_i \\
 \text{s.t. } y_i^{t+1} &\leq z Y^{t+1}, z X^{t+1} \leq x_i^{t+1}, \sum_{i=1}^n z_i = 1
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 [d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})]^{-1} &= PE_i^t(y^{t+1}, c^{t+1}) \\
 &= \min p_i x_i^* / p_i x_i \\
 \text{s.t. } y_i^{t+1} &\leq z Y^t, z X^t \leq x_i^{t+1}, \sum_{i=1}^n z_i = 1
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 [d_i^{t+1}(y^t, c^t)]^{-1} &= PE_i^{t+1}(y^t, c^t) \\
 &= \min p_i x_i^* / p_i x_i \\
 \text{s.t. } y_i^t &\leq z Y^{t+1}, z X^{t+1} \leq x_i^t, \sum_{i=1}^n z_i = 1
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

여기서 식(5)와 식(6)은 기간별 생산적 효율성의 역수를 측정하는 선형계획식이다. 또한 식(7)과 식(8)은 교차기간 거리함수로서 식(7)은 t기의 비용변경선과 t+1기의 관찰점간의 거리를 측정하며, 식(8)은 t+1기의 비용변경선과 t기의 관찰점간의 거리를 측정하는 선형계획식이다. 이와 같이 선형계획식을 이용해 교차기간 거리함수를 추정할 때에는 본 연구에서와 같이 한 연도를 구성하는 관찰점수, 즉 운영기관의 수가 적을 경우 연도별로 비용변경선간의 거리를 추정하지 못하는 문제가 발생한다.¹⁶⁾

이와 같이 연도별로 비용변경선간의 거리를 추정하는데 필요한 연도별 관찰점수가 부족할 경우¹⁷⁾ 인접한 연도들을 통합하여 하나의 기간으로 간주하고 분석하는 방법을 이용할 수 있다.¹⁸⁾ 따라서 본 연구에서는 관찰점

10) 반면 규모의 경제 효과로 인해 생산성이 감소하는 경우는 규모의 경제가 존재하면서 산출량이 감소하거나 규모의 불경제가 존재하면서 산출량이 증가하는 경우이다.

11) Oum and Yu(1994)가 밝히고 있는 것처럼 운임과 노선 등에 대해 정부가 규제하는 경우 효율성과 생산성을 측정하는 데는 공급지표가 적합한 것으로 알려져 있다. 우리나라의 도시철도 운송업은 정부가 운임과 노선을 규제하는 대표적인 산업으로 볼 수 있기 때문에 공급지표인 전동차-km를 산출물로 사용하였다.

12) 이러한 산출물과 투입물의 자료를 구축하는 구체적인 과정은 김민정·김성수(2003)의 pp. 121-124를 참조.

13) 이 절에서 나오는 선형계획식들은 GAMS 프로그램을 이용하여 추정되었다.

14) 자료포락분석기법의 특징과 장단점에 대한 개괄적인 설명은 김민정·김성수(2003)의 p. 116을 참조.

15) 이러한 선형계획식은 제약식으로 표현된 주어진 산출량 수준을 생산하는데 드는 최소한의 비용, 즉 목적함수와 실제 비용간의 비율을 측정한다. 이 식에 대한 구체적인 설명은 김민정·김성수(2003)의 pp. 118-119를 참조.

16) 반면 모수적 접근법을 이용할 때에는 교차기간 거리함수를 시간을 포함시켜 추정한 비용함수의 계수들로부터 도출하기 때문에 추정된 비용함수가 유의하면 이러한 문제가 발생하지 않는다.

17) 선형계획식을 추정하기 위해 필요한 최소한의 관찰점수는 요소와 산출물의 갯수를 합한 값의 두 배 이상이므로, 본 연구에서 교차기간 거리함수를 추정하기 위해서는 적어도 한 기간에 대해 10개의 운영기관이 존재해야 한다. 그러나 본 연구에서 추정에 사용되는 표본은 3개의 운영기관만으로 구성되어 있기 때문에 연도별 관찰점수가 부족하다.

18) Coelli et al.(1998), p.240.

〈표 1〉 자료포락분석기법에 의한 교차기간 거리함수 추정방법의 개요

거리함수	관찰점이 속한 기간과 운영기관	변경선을 형성하는 관찰점이 속한 기간과 운영기관	관찰점수	변경선을 형성하는 관찰점수
$d^2(y^1, c^1)$	$t=1$ (1976년-1988년) (서울시지하철공사, 철도청)	$t=2$ (1989년-1994년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	24 (12×2)	18 (6×3)
$d^3(y^2, c^2)$	$t=2$ (1989년-1994년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	$t=3$ (1995년-2000년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	18 (6×3)	18 (6×3)
$d^1(y^2, c^2)$	$t=2$ (1989년-1994년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	$t=1$ (1976년-1988년) (서울시지하철공사, 철도청)	18 (6×3)	24 (12×2)
$d^2(y^3, c^3)$	$t=3$ (1995년-2000년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	$t=2$ (1989년-1994년) (서울시지하철공사, 철도청, 부산교통공단)	18 (6×3)	18 (6×3)

수를 고려하여 기술 진보율의 분석기간을 90년대 이전 ($t=1$, 1976년-1988년), 90년대 초반($t=2$, 1989년-1994년), 그리고 90년대 후반($t=3$, 1995년-2000년)의 세 기간으로 설정하였다.¹⁹⁾ 앞서처럼 측정기간을 t 와 $t+1$, 두 기간으로 할 경우 측정해야 하는 교차기간 거리함수는 식(7)과 식(8)인데, 본 연구와 같이 측정기간을 세 기간으로 설정할 경우 측정해야 하는 교차기간 거리함수는 $d_i^{t+1}(y^{t+2}, c^{t+2})$ 과 $d_i^{t+2}(y^{t+1}, c^{t+1})$ 이 추가되어 총 4개가 된다. 본 연구에서 자료포락분석기법을 이용해 추정되는 교차기간 거리함수를 정리하면 〈표 1〉과 같다.

본 연구에서 선형계획식을 이용해 추정되는 교차기간 거리함수 값들은 어떤 한 연도가 아니라 일정 기간에 대한 값이기 때문에 평균을 사용하여 M 을 구하며, 거리함수의 역수는 생산적 효율성과 같다는 관계로부터 M 은 식(9)와 같이 표현된다. 식(9)로부터 식(2)와 동일한 방법으로 M 을 생산적 효율성 변화 지수와 기술 진보 지수로 분리한 다음, 생산적 효율성 증가율과 기술 진보율 및 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율 P 를 도출한다.

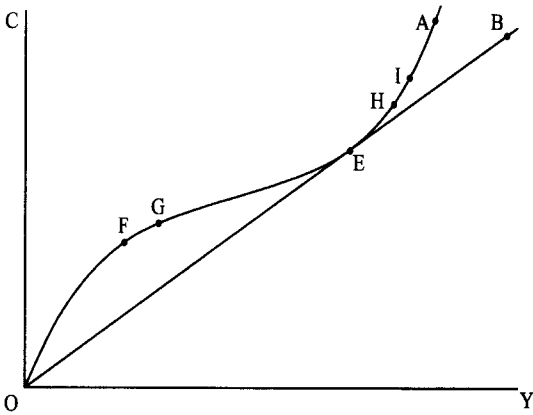
$$\begin{aligned}
 M &= \left[\frac{d_i^t(y^t, c^t)}{d_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})} \frac{d_i^{t+1}(y^t, c^t)}{d_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[\frac{PE_i^t(y^{t+1}, c^{t+1})}{PE_i^t(y^t, c^t)} \frac{PE_i^{t+1}(y^{t+1}, c^{t+1})}{PE_i^{t+1}(y^t, c^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}
 \end{aligned}$$

여기서 $-$ 는 어떤 일정 기간의 교차기간 거리함수

값들, 즉 교차하여 추정한 생산적 효율성(productive efficiency, PE) 값들의 평균을 의미한다.

한편 자료포락분석기법을 이용해 규모의 경제성을 분석하기 위해서는 규모수익불체증(non-increasing returns to scale, $NIRS$) 가정 하에서 추정되는 비용변경선을 규모수익가변(VRS)과 규모수익불변(CRS) 가정 하에서 추정되는 비용변경선과 비교하여야 하는데, 이 과정을 〈그림 2〉를 이용해 설명하면 다음과 같다. 〈그림 2〉에서 원점과 점 E , 점 B 를 연결한 직선, 즉 산출량에 비례하여 비용이 증가하는 선은 CRS 가정 하에서의 비용변경선을 나타낸다. 반면 점 E 를 기준으로 좌측에 있는 선, 즉 CRS 비용변경선보다 기울기(slope)는 크지만 기울기가 점차 감소하는 선은 규모의 경제가 존재하는 경우를 나타내고, 우측에 있는 선, 즉 CRS 비용변경선보다 기울기가 크면서 점차 증가하는 선은 규모의 불경제가 존재하는 경우를 나타낸다. 따라서 규모의 경제와 불경제가 존재하는 경우를 다 함께 나타내는 선, 즉 $OFGEHIA$ 가 VRS 가정 하에서의 비용변경선이 되고 CRS 와 규모의 불경제가 존재하는 경우를 함께 나타내는 선, 즉 $OEHIA$ 가 $NIRS$ 가정 하에서의 비용변경선이 된다. $NIRS$ 가정 하에서의 비용변경선의 경우 규모의 경제가 존재하는 구간에서는 CRS 가정 하에서의 비용변경선과 같고 규모의 불경제가 존재하는 구간에서는 VRS 가정 하에서의 비용변경선과 같기 때문에 $NIRS$ 가정 하에서 도출되는 최소비용 C^*_{NIRS} 가 CRS 가정 하에서 도출되는 최소비용 C^*_{CRS} 와 같을 때에는 규모의 경제가 존재하는 경우이고, VRS 가정

19) 본 연구에서 세 기간으로 분류한 이유는 우선적으로 추정에 필요한 최소 관찰점수를 만족하면서 기간별 관찰점수도 최대한 비슷하게 구성 되도록 하기 위해서이며, 다음으로는 최소 필요 관찰점수가 10개 이상이라 할지라도 추정의 신뢰성을 높이기 위해 한 기간당 관찰점수를 극대화하면서 부산교통공단이 개통된 이후 최소 두 기간에는 세 기관이 모두 포함될 수 있도록 구성하기 위해서이다.



〈그림 2〉 자료포락분석기법에 의한 규모의 경제성 추정방법

$$EOS = 1 - \frac{C_{CRS}}{C_{VRS}} \text{ (규모의 경제성)} \quad (13)$$

$$\text{또는 } 1 - \frac{C_{VRS}}{C_{CRS}} \text{ (규모의 불경제성)}$$

여기서 C_{VRS}^* 는 C_{CRS}^* 보다 항상 크거나 같기 때문에 규모의 경제가 존재하는 경우라면 EOS는 양수로, 규모의 불경제가 존재하는 경우라면 음수로 도출된다.²¹⁾

마지막으로 식(13)을 이용해 추정된 규모의 경제성 지수를 이용해 규모의 경제 효과와 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 P_v 를 추정한다.

하에서 도출되는 최소비용 C_{VRS}^* 와 같을 때에는 규모의 불경제가 존재하는 경우가 된다.

한편 CRS와 NIRS 가정 하에서의 선형계획식은 VRS 가정 하에서의 선형계획식인 식(10)의 제약식을 변화시킴으로써 가능하다. 즉 CRS 가정 하에서의 선형계획식은 식(11)로, 그리고 NIRS 가정 하에서의 선형계획식은 식(12)로 표현된다. 제약식에서 VRS 가정을 의미하는 부분은 $\sum_{i=1}^{60} z_i = 1$ 인데, CRS 가정 하에서는 이 제약이 제외되는 반면 NIRS 가정 하에서는 $\sum_{i=1}^{60} z_i \leq 1$ 제약이 부과된다.²⁰⁾

$$\begin{aligned} \min \quad & p_i x_i^* = C_{VRS} \\ \text{s.t.} \quad & y_i \leq zY, zX \leq x_i, \sum_{i=1}^{60} z_i = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \min \quad & p_i x_i^* = C_{CRS} \\ \text{s.t.} \quad & y_i \leq zY, zX \leq x_i \end{aligned} \quad (11)$$

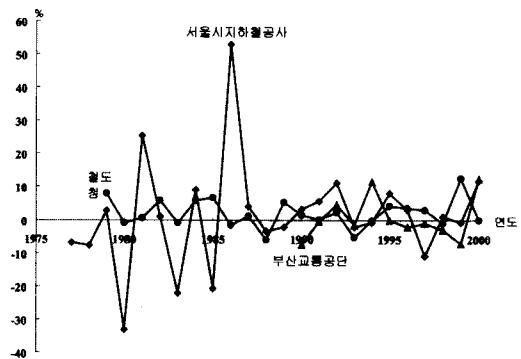
$$\begin{aligned} \min \quad & p_i x_i^* = C_{NIRS} \\ \text{s.t.} \quad & y_i \leq zY, zX \leq x_i, \sum_{i=1}^{60} z_i \leq 1 \end{aligned} \quad (12)$$

이러한 선형계획식들의 추정을 통해 규모의 경제 또는 불경제의 존재 여부가 파악되면 규모의 경제성 지수 (EOS)는 식(13)을 이용해 추정된다.

N. 추정결과

자료포락분석기법을 이용해 추정된 규모수익불변 가정 하에서의 생산성과 규모수익가변 가정 하에서의 생산성의 연평균 증가율과 이를 구성하는 요인들의 운영기관별 평균 및 최대값과 최소값은 〈표 2〉와 같다.

먼저 생산성의 증가 요인 중 생산적 효율성의 연평균 증가율은 〈표 2〉에서 볼 수 있는 것처럼 철도청의 수도권 전철부문이 가장 높고, 다음으로 서울시지하철공사, 부산교통공단 순인 것으로 나타났다. 구체적으로 연평균 서울시지하철공사는 1.3%, 철도청의 수도권 전철부문은 2.1%, 그리고 부산교통공단은 0.6% 만큼 생산적 효율성이 향상된 것으로 나타났다. 또한 세 운



〈그림 3〉 세 운영기관들의 연도별 생산적 효율성 증가율 추이

20) 효율성 측정시 이러한 제약은 VRS 가정의 경우 분석대상 업체를 규모가 비슷한 업체들과 비교함으로써 규모의 경제 효과를 제거한다는 의미이며, CRS 가정의 경우는 분석대상 업체를 (규모에 관계없이) 모든 업체들과 비교함으로써 규모의 경제 효과도 포함한다는 의미이다. 마지막으로 NIRS 가정의 경우 분석대상 업체를 이보다 규모가 작은 업체들과 비교함으로써 규모의 불경제가 존재하는 영역에서만 규모의 경제 효과를 배제한다는 의미이다.

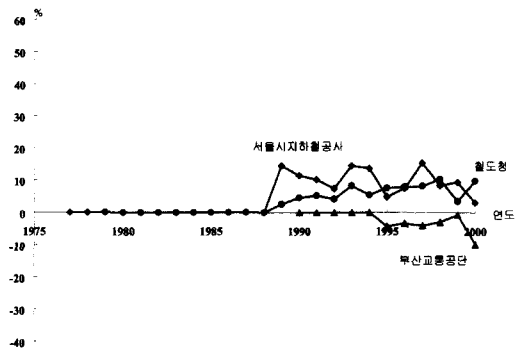
21) VRS는 NIRS보다, 그리고 NIRS는 CRS보다 관찰점들을 더 가깝게 포락하기 때문에 CRS, NIRS, VRS 가정 순서로 추정되는 최소비용이 커지게 된다. 자료포락분석기법을 적용해 규모의 경제성을 분석할 때에는 이러한 차이를 이용한다.

〈표 2〉 생산성 증가율과 요인별 증가율의 추정결과(단위: %)

				서울시 지하철공사	철도청의 수도권 전철부문	부산 교통공단	전체
규모 수익 가변 가정 하에 서의 생산 성증 가율	규모 수익 불변 가정 하에 서의 생산 성증 가율	생산적 효율성 증가율	연평균	1.3	2.1	0.6	1.3
			최대값	53.6	12.4	11.2	53.6
			최소값	-32.5	-8.3	-6.3	-32.5
			표준편차	16.8	4.8	5.1	11.3
	기술 진보율	연평균	5.0	3.5	-2.3	3.1	
		최대값	15.5	10.4	0.0	15.5	
		최소값	0.0	0.0	-9.8	-9.8	
		표준편차	5.8	3.8	3.1	5.3	
	계	연평균	6.2	5.6	-1.8	4.4	
		최대값	52.9	16.1	11.5	52.9	
		최소값	-33.0	-6.0	-7.9	-33.0	
		표준편차	17.1	5.3	6.0	12.1	
	규모의 경제 효과	연평균	3.1	1.0	2.1	2.1	
		최대값	17.5	8.0	7.2	17.5	
		최소값	-0.3	-0.1	-0.6	-0.6	
		표준편차	5.2	2.0	2.5	3.9	
계	연평균	9.4	6.5	0.4	6.6		
	최대값	58.0	16.1	18.7	58.0		
	최소값	-28.7	-6.0	-6.9	-28.7		
	표준편차	17.7	5.4	7.4	12.7		

영기관들의 연도별 생산적 효율성 증가율 값들을 평균한 결과 이들은 연구기간 동안 매년 1.3% 정도 생산적 효율성이 향상된 것으로 나타났다. 세 운영기관들의 연도별 생산적 효율성 증가율 추이를 나타낸 〈그림 3〉에서 볼 수 있는 것처럼 1985년까지 서울시지하철공사의 신선이 개통되던 시기에 생산적 효율성 증가율도 불규칙적인 것으로 나타났으며, 최근으로 올수록 산출량의 증가 정도가 작아짐에 따라 추이도 안정적인 것으로 나타났다.

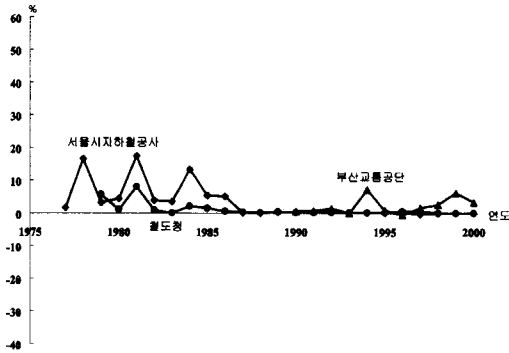
다음으로 기술 진보율은 〈표 2〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통공단 순인 것으로 나타났다. 구체적으로 연평균 서울시지하철공사는 5.0%, 철도청의 수도권 전철부문은 3.5% 만큼 기술적으로 진보한 반면, 부산교통공단은 2.3% 만큼 기술적으로 퇴보한 것으로 나타났다. 또한 세 운영기관들의 연도별 기술 진보율 값들을 평균한 결과 이들은 매년 3.1% 정도 기술적으로 진보한 것으로 나타났다. 이와 같은 도시철도 운영기관의 기술 진보를 가능하게 했던 요인은 신



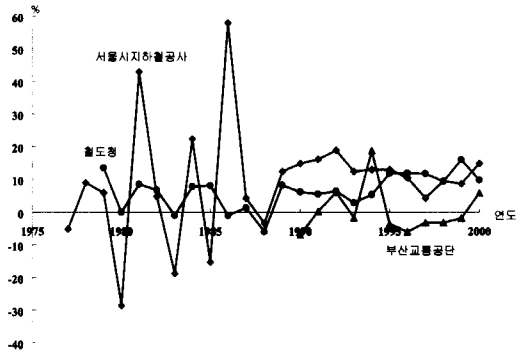
〈그림 4〉 세 운영기관들의 연도별 기술 진보율 추이

호, 통신, 궤도자동화와 같은 기반시설 기술의 혁신과 근무형태의 변경 등으로 예상된다. 그러나 이러한 기술적 요인들에 대해서는 구체적인 변화를 알 수 없기 때문에 각 요인에 따른 기술 진보율은 추정할 수 없으며, 단지 기술 진보율의 총량만을 알 수 있을 뿐이다.22) 한편 기술 진보율의 추이는 〈그림 4〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문은 안정적으로 기술이 진보한 반면 부산교통공단은 기술이

22) 한편 Tornqvist 지수를 추정해 호주 철도 운송업체의 생산성 증가율을 평가한 Hensher et al.(1995)는 기술 진보에 대한 상세한 자료를 이용해 기술 진보 요인들이 발생한 연도와 그 이후의 연도를 1로 하는 더미변수를 포함한 회귀식을 추정함으로써 기술 진보와 관련된 각각의 요인들이 생산성 증가율에 미치는 영향을 분석하였다.



〈그림 5〉 세 운영기관들의 연도별 규모의 경제 효과 추이



〈그림 6〉 세 운영기관들의 규모수익가변 가정 하에서의 연도별 생산성 증가율 추이

〈표 3〉 도시철도 운영기관별 연평균 생산성 증가율과 임금상승률의 비교 (단위: %/년)

운영기관	생산성 증가율	임금상승률
서울시지하철공사	9.4	9.1
철도청의 수도권 전철부문	6.5	7.0
부산교통공단	0.4	3.2
전체	6.6	7.1

주: 임금상승률은 노동단위가격의 연평균 증가율을 의미함.

퇴보한 것으로 나타났다.²³⁾

마지막으로 생산성의 증가 요인 중 규모의 경제 효과는 〈표 2〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 부산교통공단, 철도청의 수도권 전철부문 순인 것으로 나타났다. 구체적으로 연평균 서울시지하철공사는 3.1%, 철도청의 수도권 전철부문은 1.0%, 그리고 부산교통공단은 2.1% 만큼 규모의 경제 효과로 인해 생산성이 향상된 것으로 나타났다. 또한 세 운영기관들의 연도별 규모의 경제 효과 값들을 평균한 결과 이들은 규모의 경제 효과로 인해 매년 2.1% 정도 생산성이 향상된 것으로 나타났다. 한편 규모의 경제 효과 추이는 〈그림 5〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사와 부산교통공단의 경우 규모가 확장되던 시기에는 큰 폭으로 상승한 것으로 나타난 반면, 철도청의 수도권 전철부문은 초기부터 최근까지 비교적 안정적인 것으로 나타났다.

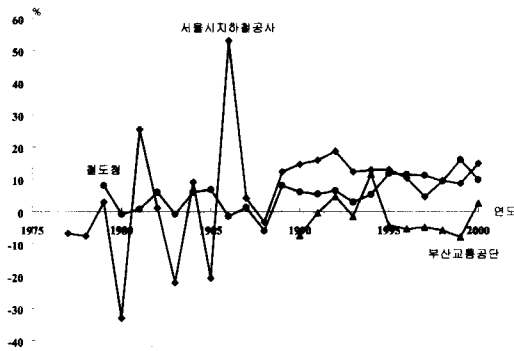
앞에서 설명한 생산성의 세 가지 증가요인별 분해 결과를 모두 더한 규모수익가변 가정 하에서의 연평균 생산성 증가율은 〈표 2〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도

권 전철부문, 부산교통공단 순인 것으로 나타났다. 구체적으로 연평균 서울시지하철공사는 9.4%, 철도청의 수도권 전철부문은 6.5%, 그리고 부산교통공단은 0.4% 만큼 생산성이 향상된 것으로 나타났다. 또한 세 운영기관들의 규모수익가변 가정 하에서의 연도별 생산성 증가율 값들을 평균한 결과 이들은 매년 6.6% 정도 생산성이 증가한 것으로 나타났다. 한편 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 추이는 〈그림 6〉에서 알 수 있듯이 서울시지하철공사의 경우 규모가 확장되던 1980년대 중반까지는 매우 불규칙적이었다가 규모의 확장이 끝난 1990년대부터는 안정적인 반면, 철도청의 수도권 전철부문과 부산교통공단의 경우는 초기부터 최근까지 계속 안정적인 것으로 나타났다.

본 연구에서 도출된 도시철도 운영기관별 연평균 생산성 증가율, 즉 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 추정치와 임금상승률을 비교한 결과는 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉에서 알 수 있듯이 세 도시철도 운영기관 전체의 연평균 생산성 증가율은 6.6%로 추정된 반면 연평균 임금상승률은 7% 이상으로 추정되어 임금상승률이 생산성 증가율을 상회한 것으로 나타났으며, 이는 운영기관별로 비교해도 서울시지하철공사를 제외하고는 모두 임금상승률이 생산성 증가율을 상회한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운영기관별로 생산성 증가율이 다르기 때문에 모든 기관에

23) 〈그림 4〉에서 서울시지하철공사와 철도청 수도권 전철부문의 1977년부터 1988년까지와 부산교통공단의 1990년부터 1994년까지의 기술진보율이 1로 표현된 것은 3장에서 언급했듯이 연도별로 변경선을 형성하기에는 관찰점이 부족하여 기간별로 분석하였기 때문이다. 즉 연도별 분석시의 연도단위와 기간별 분석시의 기간단위가 동일하게 간주되어 연도별 분석시의 첫 해인 1976년의 값이 1이 되는 것과 마찬가지로 서울시지하철공사와 철도청 수도권 전철부문의 첫 기간인 1977년부터 1988년까지와 부산교통공단의 첫 기간인 1990년부터 1994년까지의 값이 1이 되기 때문이다.



〈그림 7〉 세 운영기관들의 규모수익불변 가정 하에서의 연도별 생산성 증가율 추이

동일한 임금인상율을 적용하는 것은 운영기관의 비효율성을 높일 수 있음을 의미하며, 전반적으로 임금상승률이 생산성 증가율을 상회한 것으로 나타났기 때문에 임금인상율을 생산성 증가율 수준으로 낮추든지 또는 생산성 증가율을 임금인상율 수준으로 높일 필요가 있음을 의미한다.

한편 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율을 구성하는 세 요인들의 기여도는 기술 진보가 46%, 규모의 경제 효과가 30%, 그리고 생산적 효율성이 24%로서 기술 진보가 생산성 증가에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 세 도시철도 운영기관들이 기존 기술을 충분히 활용하지 않았던 상태에서 노선망을 확장하고 신기술을 도입함으로써 생산성 증가율을 극대화하지 못하였음을 의미한다.²⁴⁾

또한 이러한 결과는 생산성을 측정할 때 세 가지 증가 요인들 중의 하나를 제외시킬 경우 편이가 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 규모수익불변 가정 하에서의 연평균 생산성 증가율은 서울시지하철공사가 가장 높고, 다음으로 철도청의 수도권 전철부문, 부산교통공단 순인 것으로 나타났다. 구체적으로 연평균 서울시지하철공사는 6.2%, 철도청의 수도권 전철부문은 5.6% 만큼 생산성이 향상된 반면, 부산교통공단은 1.8% 만큼 생산성이 악화된 것으로 나타나 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율과 상당히 다른 것으로 나타났다. 마찬가지로 세 운영

기관들의 규모수익불변 가정 하에서의 연도별 생산성 증가율 값들을 평균한 결과 이들은 매년 4.4% 정도 생산성이 증가한 것으로 나타나 규모수익가변 가정 하에서의 추정결과와 상당히 다른 것으로 나타났다. 또한 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율 추이를 나타내는 〈그림 7〉을 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 추이를 나타내는 〈그림 6〉과 비교하면 추이 자체는 비슷하지만, 운영기관간과 동일한 운영기관의 연도간 차이가 작아지는 것으로 나타났다.

이와 같이 규모의 경제 효과로 인해 생산성이 증가하는 경우 규모수익불변 가정 하에서의 생산성 증가율 추정치는 규모수익가변 가정 하에서의 생산성 증가율 추정치보다 작은 것으로 나타났다. 특히 부산교통공단은 규모의 경제 효과에 기인한 생산성 증가율이 비교적 크게 추정되기 때문에 규모수익불변을 가정할 경우 생산성이 악화된 것으로 나타난 반면 규모의 경제 효과를 감안할 경우에는 생산성이 증가한 것으로 나타났다. 따라서 도시철도 운영기관의 생산성 증가율을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 세 가지 요인들을 모두 고려하는 것이 필요하다고 판단된다.

V. 결론

본 연구는 자료포락분석기법을 이용해 서울시지하철공사와 철도청의 수도권 전철부문 및 부산교통공단의 연도별 Malmquist TFP 지수를 구하고, 이를 생산성의 세 가지 증가요인인 생산적 효율성과 기술진보 및 규모의 경제 효과별로 분해하였다. 이 때 이들 도시철도 운영기관은 노동, 전력, 전동차 및 유지보수와 궤도(또는 자본) 요소를 투입하여 전동차-km를 생산하는 기업형태로 상정되었다.

추정 결과 세 도시철도 운영기관들의 연평균 생산성 증가율은 6.6%이었던 반면 연평균 임금상승률은 7% 이상이었기 때문에 임금상승률이 생산성 증가율을 상회했던 것으로 나타났다. 또한 도시철도 운영기관별로 연평균 생산성 증가율과 임금상승률을 비교했을 때에도 서울시지하철공사를 제외한 두 운영기관들의 임금상승률이 생산성 증가율을 상회했던 것으로 나타났다. 이러한 결과는 생산성 둔화를 방지하기 위해서는 임금인상률을 생산성 증가율 수준 이내로 하

24) 이는 연구기간 동안 도시철도 노선망이 확장 추세에 있었던 점과 관련되는 것으로 판단된다.

향 조정하거나 생산성 증가율을 임금인상률 수준으로 높여야 함을 의미한다.

또한 생산성 증가에 가장 큰 기여를 했던 요인은 기술 진보이며, 다음으로 규모의 경제 효과, 생산적 효율성 순인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 세 도시철도 운영기관들이 기존 기술을 충분히 활용하지 않았던 상태에서 노선망을 확장하고 신기술을 도입하였음을 의미한다. 따라서 생산성을 향상시키기 위해서는 먼저 기존 기술을 보다 효율적으로 활용함으로써 실제 생산점을 비용변경선에 있는 점으로 유도한 다음, 노동투입량을 줄이면서 산출량을 증가시킬 수 있는 신기술을 도입함으로써 기술 진보율을 높여야 할 것으로 판단된다.

마지막으로 세 가지 요인들의 생산성 증가에 대한 기여도는 모두 20% 이상이었던 것으로 나타났다. 특히 규모의 경제 효과가 생산성에 미치는 영향의 포함 여부에 따라 도시철도 운영기관의 생산성 증가율이 상당히 다른 것으로 나타났기 때문에 생산성 증가율 추정 시 편의가 발생할 가능성을 줄이기 위해서는 세 가지 요인들을 모두 고려하여야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계와 개선방안은 다음과 같다. 먼저 본 연구에서는 한 기간을 구성하는 관찰점의 수, 즉 운영기관의 수가 적어 연도별로 비용변경선간의 거리를 추정할 수 없었기 때문에 인접한 연도들을 통합하여 하나의 기간으로 간주하고 기술 진보율을 추정하는 방법을 이용하였다. 그러나 기술 진보율을 보다 정확하게 추정함과 동시에 다른 운영기관들과 생산성 증가율을 다양하게 비교하기 위해서는 보다 많은 운영기관들을 분석대상에 포함시켜 연도별 관찰점 수를 증가시킬 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 자료의 한계로 기술 진보율의 총량만을 추정하고, 기술 진보를 가능하게 하는 기술적 요인들에 대해서는 분석을 하지 못하였다. 기술 투자의 효율성을 높여 생산성을 증가시킬 수 있는 구체적인 정책 방안을 제시하기 위해서는 향후 이에 대해 정량적으로 분석할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김민정(2004), "한국 도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성 분석-자료포락분석기법과 확률적 비용변경점근법이용하여", 도시계획학 박사학위논문, 서울대학교.

2. 김민정·김성수(2003), "자료포락분석기법을 이용한 도시철도 운영기관의 효율성 분석", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.113~132.

3. 한광호·김상호(1999), "한국 제조업의 총요소생산성과 기술적 효율성", 경제학연구, 47집 4호, pp.5~28.

4. Bauer, P. W.(1999), "Recent Development in the Econometric Estimation of Frontiers", Journal of Econometrics, Vol.46, pp.39~56.

5. Berechman, J.(1993), "Public Transit Economics and Deregulation Policy", Amsterdam: North-Holland.

6. Cantos, P. et al.(1999), "Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: a Non-parametric Approach", Transportation, Vol.26, pp.337~357.

7. Coelli, T. et al.(1998), "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis", Boston: Kluwer Academic Publishers.

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. Kumbhakar, S. C. and A. Bhattacharyya (1996), "Productivity Growth in Passenger-Bus Transportation: a Heteroskedstic Error Component Model with Unbalanced Panel Data", Empirical Economics, Vol.21, pp.557~573.

10. Mizutani, F.(1996), "Japanese Urban Railways", Aldershot: Ashgate Publishing.

11. 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.

12. Pattison, T.(2002), "Jane's Urban Transport

Systems 2000-2001", Jane's Information Group.

13. 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 : 2004. 10. 11

논문심사일 : 2004. 11. 23 (1차)

2004. 12. 8 (2차)

심사판정일 : 2004. 12. 8

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30