

■ 論 文 ■

# 서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화 (사고비용을 고려한 자료포락분석기법을 이용하여)

Productivity Changes by Public Transport Reforms in the Seoul's Urban Bus Industry  
(Using Data Envelopment Analysis with Consideration of Accident Costs)

오 미 영

(서울시립대학교 교통공학과 연구교수)

김 성 수

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 선행연구의 고찰
- III. 생산성 변화의 개념 및 분석모형의 설정
  - 1. 생산성 변화의 개념
  - 2. 생산성 변화 분석모형의 설정
  - 3. 생산성 변화요인 분석모형의 설정
- IV. 자료
  - 1. 생산성 변화의 분석 자료
  - 2. 생산성 변화요인의 분석 자료
- V. 생산성 변화의 분석결과
  - 1. 사고비용 고려시 분석결과
  - 2. 사고비용 제외시 분석결과
  - 3. 사고비용 고려 여부에 따른 분석결과와의 비교
- VI. 생산성 변화요인의 분석결과
- VII. 결론
- 참고문헌

Key Words : 대중교통체계 개편, 시내버스업체, 사고비용, 자료포락분석기법, 방향거리함수, 생산성 변화  
public transport reforms, urban bus firms, accident costs, data envelopment analysis,  
directional distance function, productivity changes, Malmquist-Luenberger productivity index

요 약

서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화를 사고비용 고려여부에 따라 비교분석하였다. 사고비용과 같은 유해한 산출물을 고려하면서 공공기관의 생산성 분석에 적합한 자료포락분석기법의 방향거리함수를 사용하였으며, 그 값을 매크로스트 루엔버거 생산성 지수에 적용하였다. 시내버스업체는 운전, 정비, 관리, 차량, 연료의 투입물을 사용하여, 운행거리, 승객수 및 사고비용을 생산하는 기업형태로 상정하였다. 분석결과 사고비용 고려여부와 상관없이 생산성은 약간 증가한 것으로 나타났으며, 사고비용을 고려했을 때가 제외했을 때보다 약간 더 증가한 것으로 나타났다. 이는 시간의 흐름에 따라 운행거리와 승객 수에 대한 투입물의 사용이 줄어들었을 뿐만 아니라 그 이상으로 안전성과 관련한 서비스가 향상되었음을 의미한다. 또한 개편 분야별 생산성 변화에 미친 영향을 분석해본 결과, 운행속도 증가와 승객 수 증가가 생산성 증가에 가장 영향을 미친 것으로 나타났다. 이는 중앙버스전용차로 설치와 대중교통통합요금거리비례제 도입의 결과를 반영하는 것으로 이들이 시간의 흐름에 따라 투입물을 감소시키면서 사고비용을 줄이는데 효과적이었다고 볼 수 있다. 다만 준공영제를 포함한 운영체계의 개편은 생산성 증가와는 관련은 있었으나 큰 영향을 미치지 못하는 듯하였다.

Firstly, this study is to compare two types of productivity changes in Seoul's urban bus industry by public transport reforms: one with considering accident costs (ML), the other without considering accident costs (M). The directional distance function (DDF), which is a form of data envelopment analysis, and the Malmquist (Luenberger) productivity index (ML, M) are used for the analysis. The results show that productivity increased regardless of accident costs over time, and the ML index is a little higher than the M index, which means that most firms experienced more of a reduction ratio of accident costs than a reduction ratio of inputs.

Secondly, this paper is to analyze how reforms affect productivity changes. The results show that operational speed improvements or passenger increases most affect productivity increases, which means that the installment of median bus lanes or introduction of free transfers among public transport modes were effective in reducing both inputs and accident costs. However, operational system reforms including mid-public management were related with productivity changes but they were not as effective.

## I. 서론

서울시는 시내버스업체의 경영 효율성을 높이고 서비스 수준을 높이고자 2004년 7월 대중교통체계를 개편하였다. 그 이후로 서울시의 대중교통체계 개편에 따른 성과 및 지방대도시의 서울시와 같은 준공영체의 시행은 논란의 대상이 되고 있다. 이는 준공영체 도입으로 안정되고 수준 높은 서비스를 제공할 수 있다는 측과 업체의 도덕적 해이가 발생하여 운영비용이 증가될 것을 우려하는 측이 대립하고 있기 때문이다.

서울시의 대중교통체계는 크게 노선, 운영 및 요금체계로 구분하여 개편되었다. 먼저 노선체계는 이동성과 접근성을 향상시키기 위하여 노선연장을 단축하고 노선수를 늘리는 동시에 노선체계를 간선, 지선, 광역, 순환 노선으로 재구성하였으며, 일부 노선에 중앙버스전용차로제를 도입하였다. 운영체계는 노선의 공공성을 확보하고 안정적이고 좋은 서비스를 제공하기 위하여 서울시와 시내버스업체들의 공동수입금 관리와 서울시가 시내버스업체들에게 운행실적에 따라 운행비용을 지급하는 준공영체 방식을 도입하였다. 또한 종업원의 처우를 개선하기 위하여 주로 대당 운전자수를 늘리고 임금을 인상하였다. 한편 굴절버스와 저상버스와 같은 CNG버스를 개편 전보다 많이 도입하도록 유도하였다. 요금체계는 대중교통수단 간에 쉽게 환승할 수 있도록 통합거리비례제를 도입하였다.

한편 서울시는 준공영체를 도입하면서 시내버스업체의 도덕적 해이를 방지하기 위하여 간선노선의 일부에 노선일체제를 도입하여 시내버스업체들의 운영 경쟁을 유도하였으며, 운행비용 정산의 기준이 되는 표준원가를 산정할 때 운행비용이 낮은 50%의 시내버스업체들의 자료를 평균하여 이용함으로써 운행비용의 절감을 유도하였다. 따라서 대중교통체계 개편의 성과는 운영상태 뿐만 아니라 서비스 수준도 고려하여 판단할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 서비스의 안전성을 반영하는 사고비용을 고려하여 시내버스업체의 생산성 변화를 분석하고자 한다. 서비스의 안전성을 나타내는 사고 발생건수나 사고비용은 일반적인 산출물과는 다른 유해한 산출물이라고 할 수 있다. 선행 연구들은 이러한 산출물을 고려하지 않거나 고려하더라도 이를 줄이기 위한 비용 측면만을 분석함으로써 왜곡된 결과를 초래하였다.

본 연구의 목적은 두 가지로 구분된다. 첫째, 대중교통

체계 개편 전·후의 서울 시내버스업체 자료를 이용해 공급관련 지표인 운행거리와 수요관련 지표인 승객수를 유익한 산출물로 상정하고, 사고비용을 유해한 산출물로 상정하여 사고비용의 고려 여부에 따른 생산성 변화를 추정하고 비교분석한다. 이를 위하여 자료포락분석기법(data envelopment analysis, DEA)의 방향거리함수(directional distance function, DDF)와 맘퀴스트-루엔버거(Malmquist-Luenberger, ML) 생산성 지수를 이용한다. 이 기법들은 가격 자료없이 양적(quantitative) 자료만으로도 분석이 가능하여 도덕적 해이가 발생할 수 있는 공공기관의 성과를 측정하는데 적합하다. 또한 투입물을 적게 사용할 때 뿐만 아니라 유해한 산출물이 적게 발생할 때도 생산성을 높게 측정하는 장점을 가지고 있다. 둘째, 대중교통체계 개편을 노선, 운영, 요금체계로 구분하여 각 분야의 개편이 생산성 변화에 미친 영향을 통상적 회귀분석을 이용하여 분석함으로써 향후 생산성을 높일 수 있는 정책적 시사점을 제시한다.

본 연구는 먼저 2장에서 자료포락분석기법을 이용하여 시내버스운송업의 생산성을 분석한 연구들을 고찰한다. 3장에서는 생산성 변화의 개념을 정의하고 분석모형을 설정하며, 4장에서 분석에 사용되는 자료를 설명한다. 5장에서는 생산성 변화의 분석결과를 사고비용 고려 여부에 따라 비교분석한 후, 6장에서는 대중교통체계 개편이 시내버스업체들의 생산성에 미친 영향을 분석한다. 마지막으로 7장에서는 분석결과를 요약한 다음, 시내버스업체들의 생산성을 높일 수 있는 방안에 대해 논한다.

## II. 선행연구의 고찰

유해한 산출물을 고려한 생산성 추정은 유해한 산출물을 줄이기 위한 비용을 투입물로 간주하여 분석하는 방법과 비용을 투입물로 사용할 뿐만 아니라 유해한 산출물의 감소를 사회적 편익으로 간주하여 분석하는 방법이 있다. 전자의 분석방법은 유해한 산출물이 감소하더라도 투입물의 양적 증가만을 고려하기 때문에 생산성 감소라는 왜곡된 결과를 초래할 수 있다. 따라서 후자의 분석방법을 위주로 한 시내버스업체의 생산성을 분석한 연구들을 살펴 보았다. 유해한 산출물이 감소할수록 생산성을 높게 평가하는 접근법으로 자료포락분석기법이 있으며, 이를 적용한 버스업체의 생산성을 분석한 최근 연구들은 Lin and Lan(2006), McMullen and Noh(2007), 오미

영·김성수(2007) 등이 있다.

먼저 Lin and Lan(2006)은 2002년에서 2005년 동안의 10개 대북 시내버스업체에 대하여 4개 연도의 공통된 생산변경을 구축한 후 사고건수를 고려한 효율성<sup>1)</sup>을 분석하였다. 그 결과 약 10.3%의 비효율성이 존재하였고, 사고건수를 고려한 경우가 제외한 경우보다 효율성도 높고 효율적인 업체수도 더 많이 도출되어 사고건수를 제외할 경우 왜곡된 결과를 도출할 수 있다고 제시하였다. 또한 민영화된 업체들의 효율성이 민영화 이후 향상된 것으로 나타났다.

McMullen and Noh(2007)는 2000년의 43개 미국 버스업체를 대상으로 대기오염 배출량을 고려한 효율성을 분석하였다. 그 결과 약 4%의 비효율성이 도출되었고, 22개 업체가 효율적으로 도출되었다. 하지만 대기오염을 제외할 경우 5개 업체만이 효율적으로 도출되었다. 대기오염을 줄이기 위해 업체가 감수해야하는 잠재적 손실은 승객-마일 산출물의 약 16.5%였다. 또한 민영업체가 공영업체보다 더 효율적으로 운영하였으며, 민영, 기타, 공영조직 순으로 잠재적 손실이 적게 도출되어 지속적인 민영화의 필요함을 제안하였다.

오미영·김성수(2007)는 대중교통체계 개편에 따른 52개 서울 시내버스업체를 대상으로 개편 전(2003년)과 개편 후(2005년)의 사고비용을 고려한 효율성을 추정하였다. 그 결과 개편 전은 약 10.7%, 개편 후는 약 8.9%의 비효율성이 도출되어 개편 후가 개편 전보다 효율성이 높아졌다고 제시하였다.

오미영·김성수(2007)를 제외한 선행연구들은 유익한 산출물이 증가할수록 또는 유해한 산출물이 감소할수록 효율성을 높게 평가하는 자료포락분석기법을 이용하였으며, 유익한 산출물의 증가와 유해한 산출물의 감소 가능성이 동일한 비율로 존재한다고 가정하였다. 그러나 이러한 가정은 공공서비스를 제공하며 정부의 규제를 받는 시내버스업체에 대해서는 합리적이지 못하다. 또한 선행연구들은 각 연도의 업체간 효율성을 측정한 것이기 때문에 전년도보다 모든 업체의 산출물이 동일한 비율로 증가하거나 감소하면 효율성은 같게 측정되어 그 변화를 나타낼 수가 없다. 따라서 본 연구의 목적이 대중교통체계 개편에 따른 성과가 있는지를 분석하는 것이기 때문

에 개편 전에 비해 개편 후에 생산성이 증가하였는지 감소하였는지를 측정할 필요가 있다.

### III. 생산성 변화의 개념 및 분석모형의 설정

#### 1. 생산성 변화의 개념

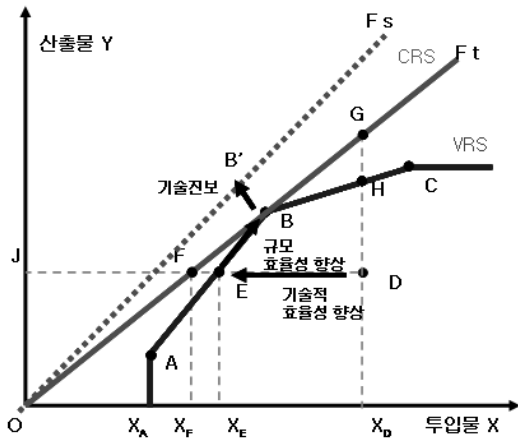
대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화를 분석하기 위해 효율성과 생산성 변화의 개념에 대해 살펴본다.

경제학에서 보는 업체는 이윤 극대화 또는 비용 최소화를 달성하고자 하며, 동일한 생산 기술을 보유할 때 업체 간의 성과차이는 업체 내부의 경영 비효율성 때문에 발생한다고 가정한다. 한편 효율성을 측정할 때 가격 자료를 이용하여 비용극소화 또는 수익극대화의 가능성을 분석하는 방법과, 양적 자료만을 이용하여 생산극대화의 가능성을 분석하는 방법이 있다. 본 연구는 준공영제 도입에 따른 생산성의 증감 여부를 측정하는 데 있어서 양적 자원의 효율적 사용 여부를 측정한다.

〈그림 1〉과 같이 산출물 Y를 생산하기 위하여 투입물 X를 사용한다고 할 때, t연도의 생산변경  $F^t$ 은 생산성이 가장 높은 업체들의 집합으로 효율적임을 나타내며, 생산변경 아래의 점들은 투입물과 산출물의 모든 가능한 조합이면서 생산성이 상대적으로 낮은 업체들로 비효율적임을 나타낸다. 이때 원점과 생산가능조합의 점을 연결할 때 기울기가 가장 큰 점 B는 가장 효율적이면서 적정 규모 상태이다.

효율성은 규모수익 가정에 따라 다르게 측정되는데, 적정 규모이면서 자원을 효율적으로 사용하는 업체를 기준으로 측정하는 것을 불변규모수익(CRS)을 가정한 효율성이라고 하며, 점 D의 효율성은  $JF/JD$ 로 측정한다<sup>2)</sup>. 한편 규모와는 상관없이 현재 규모에서 자원의 효율적 사용 여부를 측정하는 것을 가변규모수익(VRS)을 가정한 효율성(기술적 효율성)이라 하며, 이는  $JE/JD$ 로 측정한다. 이때 불변규모수익을 가정한 효율성과 가변규모수익을 가정한 효율성의 비율을 규모 효율성이라고 하고, 이를  $JF/JE$ 로 측정한다.

1) 업체의 생산성은 투입량을 이용하여 산출물로 전환하는 정도를 의미하며, 이때의 효율성은 동일 시점의 업체들을 대상으로 생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 상대적인 생산성을 나타내는 정적 개념이다. 한편 생산성 변화는 시간이 흐름에 따라 생산성이 증가 또는 감소함을 나타내는 동적 개념이다.  
2) 효율성 측정은 산출물에 대한 투입물의 절감가능성을 측정하는 투입지향 기법과 투입물에 대한 산출물의 증대가능성을 측정하는 산출지향 기법이 있다. 여기서는 투입지향 기법을 위주로 설명한다.



(그림 1) 효율성 및 생산성 변화의 개념

한편 생산성 변화는 시간이 흐름에 따라 투입물을 사용하여 산출물로 전환하는 정도의 변화를 나타내는 동적 개념이다. 시간이 흐름에 따라 점 D는 점 E로 이동함으로써 현재 규모에서 투입물을 더 적게 이용할 수 있는데, 이를 기술적 효율성의 증가라고 한다. 또한 점 E는 점 B로 규모를 조정함으로써 일정한 산출물을 생산하기 위해 더 적은 투입물을 사용할 수 있는데, 이를 규모 효율성의 증가라고 한다. 한편 새로운 기술을 도입하여 산출물을 생산하는데 사용되는 투입물을 절감할 수 있는데, 이를 기술진보라고 하고 생산변경의 상향이동( $F^t \rightarrow F^s(s)/t$ )으로 나타낸다. 따라서 생산성의 변화는 시간의 흐름에 따라 비효율적인 업체가 효율적인 업체를 얼마나 따라잡았는지를 나타내는 기술적 효율성 변화, 적정 규모로의 근접 여부를 나타내는 규모 효율성 변화와 발전된 생산기술의 도입이나 새로운 제도 도입에 의한 생산변경의 이동을 나타내는 기술변화로 분해할 수 있다.

생산성 변화는 t기의 생산변경을 기준으로 t기 업체의 기준년도 효율성과 s기 동일업체의 교차년도 효율성을 도출하여 이들의 변화로 측정할 수 있다. 단 기술 변화로 인한 생산변경의 이동이 동일한 비율로 이루어지지 않을 수 있으므로 t기와 s기의 생산변경을 기준으로 기준년도와 교차년도의 효율성을 측정한 뒤 기하평균하여 최종 생산성 변화를 측정한다.

## 2. 생산성 변화 분석모형의 설정

### 1) 방향거리함수

본 연구에서는 양적 자료만으로도 분석이 가능한 자료포락분석기법의 방향거리함수를 이용하였다. 이 기법은 도덕적 해이가 발생할 가능성이 높은 공공기관이 자원을 얼마나 효율적으로 사용하는지에 대한 분석에 적합하다. 또한 다수의 산출물과 투입물을 함께 고려할 수 있어서, 여러 산출물이 생산되는 시내버스업체의 생산성 분석에 적합하며, 투입물과 산출물 비율을 이용하여 업체들의 생산성을 상대적으로 비교하는 선형계획기법이므로 다중공선성을 고려할 필요가 없다. 한편 투입물의 사용량이 적을수록 효율성을 높게 평가하는 것과 마찬가지로 사고비용의 발생량이 적을수록 효율성을 높게 평가하는 장점을 지닌다<sup>3)</sup>.

방향거리함수 기법을 이용할 때 시내버스업체의 특성을 반영한 가정을 세울 필요가 있다. 첫째, 투입지향은 산출물에 대한 투입물의 절감 가능성을 측정하는 기법이며, 산출지향은 투입물에 대한 산출물의 증대 가능성을 측정하는 기법이다. 시내버스운송업의 특성상 운행거리와 승객수는 정부의 규제 또는 토지이용 등에 주로 영향을 받기 때문에, 조절이 쉽지 않다. 따라서 운행거리와 승객수에 대한 투입물의 절감 가능성을 측정하는 투입지향의 기법을 적용한다.

둘째, 투입물을 가장 적게 이용하는 동시에 불변규모 수익 상태인 업체를 기준으로 측정하는 불변규모수익의 측정기법과 규모와는 상관없이 현재 규모에서 투입물을 가장 적게 이용하는 업체를 기준으로 측정하는 가변규모수익의 측정기법이 있다<sup>4)</sup>. 시내버스운송업은 규모 조절이 쉽지는 않지만, 시내버스업체나 이용자의 민원으로 운행규모에 대한 조절이 가능하기 때문에 불변규모수익을 가장한 측정기법을 적용한다.

셋째, 투입물이나 산출물을 조절할 때 기회비용이 발생한다면 제약처분성을 가정하며, 어떠한 기회비용도 발생하지 않는다면 자유처분성을 가정한다<sup>5)</sup>. 사고비용은 운영을 해야만 발생하며, 운행규모가 커질수록 증가하는

3) 이상점과 선정된 산출물 및 투입물에 민감한 단점이 있다. 이상점 검토를 위해 super-efficiency 기법을 적용한 결과 시내버스업체 간에는 이상점이라고 규정지을 수 있는 업체는 존재하지 않았다. 또한 선정된 산출물에 대한 논란을 피하기 위하여 유익한 산출물에서는 운행거리와 승객수를 함께 사용하였다.  
 4) 불변규모수익을 가장한 기법을 사용하면 가변규모수익을 가장한 기법을 사용할 때보다 효율적인 업체수는 적게 도출된다.  
 5) 제약처분성을 가장한 기법을 사용하면 자유처분성을 가장한 기법을 사용할 때보다 생산영역이 상대적으로 줄어들기 때문에 효율적인 업체수는 더 많이 도출된다.

한편, 투입물의 일부가 증가하면 사고비용은 감소하는 경향이 있다. 또한 운행거리와 승객수 사이, 그리고 투입물들 사이에는 비례 관계에 있다. 즉 투입물 또는 산출물을 조절할 때 다른 투입물이나 산출물의 일부를 조절해야 하는 음의 생산영역이 존재한다. 따라서 사고비용과 투입물들 사이, 사고비용과 산출물들 사이, 투입물들 사이, 그리고 산출물들 사이 각각에 제약처분성을 가정한다.

마지막으로 원점과 대상업체를 방사선으로 연결하여 방사선상에 있는 생산변경을 기준으로 효율성을 측정하는 방사적(radial) 측정기법과 방사선 상을 벗어나 더 효율적인 점이 있으면 그 점을 기준으로 효율성을 측정하는 비방사적(nonradial) 측정기법으로 구분한다<sup>6)</sup>. 전자는 모든 투입물들의 절감가능성이 동일하다는 것을 가정하는 반면, 후자는 동일하지 않다는 것을 가정한다<sup>7)</sup>. 대부분의 선행연구에서는 계산이 용이한 방사적 기법을 적용하였지만, 본 연구에서는 좀 더 합리적이라고 판단되는 비방사적 기법을 적용한다. 또한 사고비용과 투입물별 절감가능성의 산술평균을 효율성 값으로 측정하였던 선행연구와는 달리, 사고비용과 투입물들의 가중치를 1 대 4로 부여한다. 이는 2003년의 사고비용과 투입물비용의 비율을 측정한 결과이다.

이러한 가정들을 적용한 방향거리함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$y_{ok}$ 는  $o$ 번째 업체의  $k$ 번째 유익한 산출물의 생산량,  $b_{oi}$ 는  $o$ 번째 업체의  $i$ 번째 유해한 산출물의 생산량,  $x_{om}$ 은  $o$ 번째 업체의  $m$ 번째 투입물의 투입량,  $\lambda$ 는 모든 업체를 포괄하도록 생산변경을 구축하는 승수이고,  $(-x'_o, -b'_o)$ 는 방향벡터이다.

식(1a)의  $\overline{D}_i^t(\cdot)$ 는 목적함수로  $o$ 번째 업체의 비효율성 점수이다. 따라서 일정한 운행거리와 승객수를

$$\overline{D}_i^t(x'_o, y'_o, b'_o; -x'_o, -b'_o)_{CRS} = \max \left[ 0.2 \times \frac{1}{i} \sum_{o=1}^I \beta_{oi} + 0.8 \times \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \gamma_{om} \right] \quad (1a)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^J \lambda_j^t y_{jk}^t = y'_{ok}, \quad (1b)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j^t y_{ji}^t = (1 - \beta_{oi}) b'_{oi}, \quad (1c)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j^t x_{jm}^t = (1 - \gamma_{om}) x'_{om}, \quad (1d)$$

$$\lambda_j^t \geq 0, \quad (1e)$$

- $o$  : 시내버스업체,  $j=1, \dots, J$  : 업체의 수
- $y$  : 유익한 산출물,  $k=1, \dots, K$  : 산출물의 수
- $b$  : 유해한 산출물,  $i=1, \dots, I$  : 산출물의 수
- $x$  : 투입물,  $m=1, \dots, M$  : 투입물의 수

생산하기 위해  $o$ 번째 업체의 사고비용을  $\beta_o$ 배 감소시키고 각 투입물을  $\gamma_{om}$ 배 감소시키면, 투입물을 가장 적게 사용하고 사고비용을 가장 적게 유발하는 업체와 같아진다는 것을 의미한다. 여기서 등호(=)는 산출물 간, 투입물 간, 또는 산출물과 투입물 간에 제약처분성의 관계가 존재한다는 것을 나타낸다<sup>8)</sup>. 식(1e)는 불변규모수익(CRS)을 가정한 비효율성 추정을 나타내며, 가변규모수익(VRS)을 가정할 비효율성 추정을 나타낼 때에는  $\lambda_j^t \geq 0$  대신  $\sum_{j=1}^J \lambda_j^t = 1$ 의 제약조건을 가한다. 이때 사고비용을 제외한 비효율성은 식(1a)를  $\max \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \gamma_{om}$ 로 전환하고, 식(1c)는 제외하면 된다.

기존의 자료포락분석기법이 효율 정도를 측정하였던 것과는 달리, 방향거리함수는 비효율 정도를 측정하기 때문에 값이 0이면 효율적임을, 0을 초과하면 비효율적임을 의미한다. 선형계획식의 해를 추정하기 위해 52개 업체의 개편 전과 개편 후, 기준년도와 교차년도<sup>9)</sup>, 불변규모수익과 가변규모수익을 가정한 비효율성을 업체별로 추정하기 위해서 총 416(52×2×2×2)회를 추정하였다.

## 2) 맘퀴스트 (루엔버거) 생산성 지수

생산성 변화를 구하기 위해서는  $t$ 기의 생산변경을 기준으로  $t$ 기와  $s$ 기 업체의 효율성을 추정한다. 사고비용이 줄면 투입물이 감소한 것과 마찬가지로 생산성 증가로 평가할 수 있는 기법을 맘퀴스트-루엔버거 생산성 지수(ML)라 하며<sup>10)</sup>, 사고비용을 제외한 생산성 변화 측

6) Viton(1997)과 Viton(1998) 참조.

7) 비방사적 기법을 사용하면 방사적 기법을 사용할 때보다 효율성 점수가 더 차이가 나기 때문에 효율적인 업체수는 더 적게 도출된다.

8) 강처분성을 가정할 경우에는 등호(=)를 부등호( $\leq$  또는  $\geq$ )로 나타낸다.

9) 상대년도의 생산변경에 대한 효율 정도를 측정하기 때문에 기술 진보가 있을 경우 생산변경을 벗어나서 대상업체가 위치할 수 있다. 이럴 경우 효율성 값은 0보다 작게 나타날 수 있다.

10) Chung et al.(1997) 참조.

정기법은 맘퀴스트 생산성 지수(M)라 한다.

생산성 지수는 생산변경이 동일한 비율로 이동하지 않을 수 있기 때문에  $t$ 기의 생산변경과  $s$ 기의 생산변경을 기준으로  $t$ 기와  $s$ 기 업체의 효율성을 추정하고 기하 평균하여 도출한다. ML지수를 나타낸 식은 식(2)와 같으며, M지수는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 단, M지수의 경우 사고비용을 제외한 방향거리함수 값을 1에서 차감한 효율성 값을 적용한다.

$$ML_t^s = (ML^t \times ML^s)^{(1/2)} \tag{2a}$$

$$ML^t = \frac{[1 + \overrightarrow{D^t}(x^t, y^t, b^t : -x^t, y^t, -b^t)]}{[1 + \overrightarrow{D^t}(x^s, y^s, b^s : -x^s, y^s, -b^s)]} \tag{2b}$$

$$ML^s = \frac{[1 + \overrightarrow{D^s}(x^t, y^t, b^t : -x^t, y^t, -b^t)]}{[1 + \overrightarrow{D^s}(x^s, y^s, b^s : -x^s, y^s, -b^s)]} \tag{2c}$$

$$M_t^s = (M^t \times M^s)^{(1/2)} \tag{3a}$$

$$M^t = \frac{D^t(x^s, y^s : -x^s, y^s)}{D^t(x^t, y^t : -x^t, y^t)} \tag{3b}$$

$$M^s = \frac{D^s(x^s, y^s : -x^s, y^s)}{D^s(x^t, y^t : -x^t, y^t)} \tag{3c}$$

한편 불변규모수익을 가정한 생산성 변화는 효율성 변화와 기술변화로 분해할 수 있다.

$$M_t^s = \left[ \frac{D^s(x^s, y^s)_{CRS}}{D^t(x^t, y^t)_{CRS}} \right] \times \tag{4}$$

$$\left\{ \left[ \frac{D^t(x^s, y^s)_{CRS}}{D^s(x^s, y^s)_{CRS}} \right] \cdot \left[ \frac{D^t(x^t, y^t)_{CRS}}{D^s(x^t, y^t)_{CRS}} \right] \right\}$$

이를 M지수를 기준으로 나타내면, 우변의 첫째항은 효율성 변화이며, 두 번째 항은 생산변경의 이동을 나타내는 기술변화이다. 이때의 효율성 변화는 불변규모수익을 가정한 것이며, 이는 다시 가변규모수익을 가정한 효율성 변화(기술적 효율성 변화)와 규모 효율성 변화로

〈표 1〉 생산성 변화의 해석방법

생산성 변화		기술적 효율성 변화		규모 효율성 변화		기술변화	
증가	감소	증가	감소	증가	감소	진보	퇴보
1초과	1미만	1초과	1미만	1초과	1미만	1초과	1미만

분해할 수 있다. 이와 같은 방식으로 ML지수도 분해가 가능하다. 이에 대한 해석방법은 〈표 1〉과 같다.

이때 생산성 증가율 또는 감소율은 생산성 지수값에서 1을 뺀 절대값에 100을 곱한 값이다.

한편 ML지수와 M지수와의 관계는 투입물의 증감율과 사고비용의 증감율에 따라 달라지는데, 사고비용 감소율이 투입물 감소율의 절대치보다 크다면 ML지수가 M지수보다 크게 나타나며, 반대의 경우는 ML지수가 M지수보다 작게 나타난다.

〈표 2〉 ML지수와 M지수의 관계(투입지향)

구분	관계
ML > M	사고비용의 감소율의 절대치가 투입물의 감소율보다 클 때
ML < M	사고비용의 감소율 절대치가 투입물의 감소율보다 작을 때

### 3. 생산성 변화요인 분석모형의 설정

생산성 변화에 외생적으로 영향을 줄 수 있는 요인들을 대중교통체계 개편과 관련지어 분석하기 위해, 추정된 생산성 지수를 종속변수로 하고 선정된 요인들을 독립변수로 하는 식(5)와 같은 통상적 회귀식(OLS)를 추정한다.

$$\hat{y} = \alpha x + \epsilon \tag{5}$$

여기서  $\hat{y}$ 는 종속변수의 예측치이며,  $\alpha$ 는 추정계수 벡터,  $x$ 는 독립변수 벡터이며,  $\epsilon$ 은 무작위적이고 정규분포를 이루는 오차항이다. 보통최소자승법(OLS)에 의해 계수가 추정되며, 식의 유의성은 수정결정계수와 로그우도(Log likelihood)로 판단한다. 추정계수의 부호가 양이면 해당 변수가 증가할수록 생산성은 증가하며, 음이면 해당 변수가 증가할수록 생산성은 감소하는 관계이다.

## IV. 자료

### 1. 생산성 변화의 분석 자료

서울시의 대중교통체계 개편에 따른 52개<sup>11)</sup> 시내버

11) 노선입찰제 도입으로 신설된 4개 업체, 마을버스에서 시내버스업체로 전환한 8개 업체, 그리고 자료가 미비한 5개 업체를 제외하였다.

산업체의 생산성 변화를 추정하기 위해 개편 전인 2003년과 개편 후인 2005년 투입물과 산출물의 자료를 사용하였다.

투입물은 시내버스업체의 운행비용에서 비중을 많이 차지하는 운전, 정비, 관리, 차량, 연료로 구분되며, 산출물은 운행거리와 승객수<sup>12)</sup>를 유익한 산출물로, 사고비용을 유해한 산출물로 구분하여 사용하였다. 운전, 정비, 관리는 1년 동안의 평균인 운전자수, 정비사수, 임직원수로 측정되며, 차량은 보유대수로, 연료는 유류보조금을 제외한 경유와 CNG의 1년 동안의 비용을 2003년의 비용으로 환산하여 사용하였다. 운행거리와 승객수도 1년 동안의 합을 사용하였다. 사고비용은 서울시내버스 운송조합의 사고건수와 사상자수로 구분된 사고현황 자료를 사용하였으며, 심재익·성낙문(2006)을 참고하여 사망자와 부상자의 PGS를 고려한 사고비용을 각각 추정 후, 이를 사망자수와 부상자수에 각각 적용함으로써 사고의 경중을 반영하였다.

〈표 3〉의 개편 후 시내버스업체의 투입물과 산출물은 모두 감소하였다. 투입물 중 특히 관리가 가장 많이 감소하였는데, 이는 주로 친인척으로 구성된 임직원의 수를 업체 스스로 변화시켰거나 새로 설립된 업체<sup>13)</sup>로 이동시켰기 때문으로 판단된다. 산출물 중에서는 운행거리가 가장 많이 감소하였는데, 이는 수요를 감안한 노선조정이 있었기 때문이다. 그에 비해 승객수는 덜 감소하였다. 한편 산출물 지표에 따른 투입물의 변화율은 다르게 해석된다. 먼저 운행거리에 비해 투입물 모두는 덜 감소하

였으며, 승객수에 비해 투입물 모두는 더 감소하였다. 또한 사고비용은 약 30% 이상 감소하여, 어떤 산출물과 투입물보다도 더 감소하였다.

이러한 자료들을 식(1)에 적용하여 선형계획의 해를 도출한 후, 사고비용 고려 여부에 따라 식(2) 또는 식(3)에 적용함으로써 생산성 지수를 도출하였다. 선형계획 프로그램은 GAMS를 이용하였다.

## 2. 생산성 변화요인의 분석 자료

생산성의 변화요인을 분석하기 위하여 대중교통체계 개편에 의해 변화된 업체의 노선, 운행, 운영 특성들의 변화율을 개편 분야별로 구분하여 선정하였다(표 4).

먼저 노선체계 분야의 경우 이동성과 접근성을 향상시키기 위해 노선을 조정하였는데, 이를 반영하기 위해 노선당 평균연장, 노선수, 그리고 전체 노선연장을 선정하였다. 하지만 다중공선성의 문제로 약 5.8%가 증가한 노선수만을 분석에 사용하였다. 한편 이동성을 향상시키기 위해 중앙버스전용차로를 설치하고 노선을 직선화하였는데, 이를 반영하기 위해 운행속도를 선정하였다. 평균적으로 약 3.7%가 감소하였고 절반 이상의 업체가 감소하였다.

운영체계 분야에서는 종업원의 처우를 개선하고 안정적인 서비스 제공을 위해 대당 종업원수를 확충하였는데, 이는 대당 운전자수와 대당 정비사수로 선정하였다. 시내버스의 이미지 개선에 대한 변수로는

〈표 3〉 생산성 변화를 추정하기 위해 사용된 자료의 특성

구분	투입물					산출물			
	운전 (인)	정비 (인)	관리 (인)	차량 (대)	연료 (백만원/년)	운행거리 (천km/년)	승객수 (천인/년)	사고비용 (백만원/년)	
개편 전	합계	15,083	1,201	2,352	7,086	183,651	682,555	1,317,554	222,031
	평균	290	23	45	136	3,532	13,126	25,338	4,270
	최대값	733	61	115	358	9,273	35,395	64,713	9,528
	최소값	105	7	14	50	1,065	4,691	8,928	1,207
	표준편차	138	12	23	64	1,806	6,440	12,404	2,209
개편 후	합계	13,873	1,096	1,984	6,357	156,782	550,973	1,296,033	150,315
	평균	267	21	38	122	3,015	10,596	24,924	2,891
	최대값	688	58	96	315	7,267	26,168	59,109	7,655
	최소값	104	8	12	49	1,090	3,818	9,987	847
	표준편차	115	10	19	54	1,359	4,876	11,551	1,517
증감율(%) <sup>1)</sup>	-7.93	-8.70	-15.56	-10.29	-14.64	-19.27	-1.63	-32.30	

주: 1) [(개편 후의 평균-개편 전의 평균)/(개편 전의 평균)×100]으로 산정하였음.

12) 운행거리는 공급관련 지표이며, 승객수는 수요관련 지표로 두 지표를 모두 선택한 이유는 어떤 지표가 효율성 분석에 더 적합한지에 대한 논의는 계속 이루어지고 있으며, 동시에 생산되는 산출물이기 때문이다.

13) 입찰간선을 운행하는 업체를 의미한다.

〈표 4〉 시내버스업체들의 특성 변화

구분		변화율(%) <sup>1)</sup>				감소한 업체수
개편 분야	변수	평균	최대값	최소값	표준편차	
노선	노선수	5.81	233.33	-47.06	39.57	25
	운행속도	-3.74	13.01	-27.21	7.80	34
운영	대당 운전자수	3.24	35.61	-9.03	9.09	24
	대당 정비사수	3.78	42.01	-29.19	14.56	18
	CNG차량 비율 <sup>2)</sup>	0.09	0.42	-0.07	0.11	4
	km당 수입금	27.19	73.49	-21.25	19.47	2
요금	km당 승객수	23.14	57.49	-30.76	20.26	7

주: 1)  $[(2005\text{의 값}-2003\text{의 값})/2003\text{의 값}\times 100]$ 으로 산정하였음.  
2) (2005년의 비율-2003년의 비율)로 산정하였음.

CNG차량 비율을 선정하였다. 이는 평균 0.09%로 미미하게 증가하였지만 대부분의 업체가 증가하였다. 또한 노선의 공공성 확보 및 안정적인 서비스를 제공하기 위해 준공영제를 도입함으로써 시내버스업체와 서울시가 공동으로 요금수입을 관리하고 서울시가 시내버스업체의 운행실적에 따라 운영비를 지급하였는데, 이는 km당 수입금 비율로 선정하였다. 이 변수는 개편 전의 요금수입과 개편 후의 서울시로부터 정산하여 지급받는 운영비용의 변화율로 나타낸다. 따라서 개편 전에 비수익노선을 많이 보유하던 업체일수록 km당 수입금 비율의 변화는 크다. 이 변수는 평균적으로 약 27.1%가 증가하였으며 거의 모든 업체가 증가하였다.

마지막으로 요금체계 분야에서는 대중교통에 대한 접근성을 향상시키고자 대중교통 간 무료환승을 도입하였다. 이를 반영하는 변수로 km당 승객수의 변화율을 사용하였는데, 평균 약 23.1% 이상이 증가하였고, 대부분의 업체가 증가하였다.

이러한 자료들은 통상적 회귀식의 독립변수로 적용하고, 도출된 생산성 지수는 종속변수로 적용함으로써 그 관계를 도출한다. 프로그램은 EVIEWS 3.0을 이용하였다. 자료는 서울시와 서울시내버스운송조합의 월별 버스 운행계획, 현황자료 및 감사보고서를 활용하였다.

## V. 생산성 변화의 분석결과

### 1. 사고비용 고려시 분석결과

개편 전과 개편 후의 기준년도와 교차년도의 사고비용을 고려한 비효율성 값을 도출하고, 맘퀴스트-루엔버거 생산성 지수(ML)에 적용한 결과, 평균적으로 약 3.46%의 생산성이 증가하였고 30개 업체의 생산성이 증가하였다. 생산성 변화를 분해하면, 기술적 효율성은

〈표 5〉 생산성 변화(사고비용 고려)의 분석결과

구분	생산성 변화	기술적 효율성 변화			기술변화
		기술적 효율성 변화	규모 효율성 변화	규모 효율성 변화	
평균값	1.0346	0.9987	1.0246	1.0144	
최대값	1.3287	1.2129	1.2228	1.1962	
최소값	0.7495	0.7985	0.9236	0.7495	
표준편차	0.1072	0.0927	0.0672	0.0679	
업체 수	불변	0	21	17	0
	증가	30	14	21	30
	감소	22	17	14	22

주: 1) 생산성 변화는 "생산성 변화 = 기술적 효율성 변화×규모 효율성 변화×기술 변화"의 관계가 있음.  
2) 값이 1이면 불변, 1을 초과하면 증가, 1 미만이면 감소를 의미함.

약 0.13%로 약간 감소한 반면, 규모 효율성은 약 2.5% 증가하고, 기술은 약 1.4% 진보하였다. 기술적 효율성의 감소는 효율적인 업체들과 비효율적인 업체들 사이의 생산성 격차가 증가하였다는 것을 의미한다. 하지만 규모 효율성의 증가로 적정규모에 더 가까워지고 기술의 진보로 투입물 또는 사고비용이 감소하는 방향으로 기술이 변하여 결과적으로 생산성은 증가하였다.

그러나 이러한 결과는 투입물에 의한 것인지, 또는 사고비용에 의한 생산성 증가인지를 명확하게 판단하기가 어렵다. 따라서 사고비용을 제외한 생산성 변화를 비교할 필요가 있다.

### 2. 사고비용 제외시 분석결과

개편 전과 개편 후의 기준년도와 교차년도의 사고비용을 제외한 비효율성 값을 도출하고, 맘퀴스트 생산성 지수(M)에 적용한 결과, 평균적으로 약 2.74%의 생산성이 증가하였고 32개 업체의 생산성이 증가하였다. 생산성 변화를 분해하면, 기술적 효율성은 약 1.17% 증가하고, 규모 효율성도 약 2.4% 증가한 반면, 기술은 약



〈표 6〉 생산성 변화(사고비용 제외)의 분석결과

구분	생산성 변화	기술적	규모	기술변화	
		효율성 변화	효율성 변화		
평균값	1.0274	1.0117	1.0244	0.9954	
최대값	1.2491	1.3115	1.1713	1.1901	
최소값	0.7696	0.7128	0.9077	0.8710	
표준편차	0.1070	0.1073	0.0609	0.0661	
업체 수	불변	0	18	11	0
	증가	32	19	27	23
	감소	20	15	14	29

주: 1) 생산성 변화는 "생산성 변화 = 기술적 효율성 변화×규모 효율성 변화×기술 변화"의 관계가 있음.  
 2) 값이 1이면 불변, 1을 초과하면 증가, 1 미만이면 감소를 의미함.

0.46% 퇴보하였다. 기술적 효율성의 증가는 효율적인 업체들과 비효율적인 업체들 사이의 생산성 격차가 감소하였다는 것을 의미한다. 이는 준공영제 도입으로 인한 도덕적 해이를 방지하기 위해 서울시가 시내버스업체의 운영을 엄격하게 관리하였기 때문으로 판단된다. 또한 규모 효율성의 증가는 적정규모에 가까워졌음을 의미한다. 하지만 기술의 퇴보는 투입물이 증가하는 방향으로 기술이 변화하였음을 의미하는데, 이는 종업원의 처우개선과 안정적인 서비스 제공을 위한 해당 종업원수를 증가시켰기 때문으로 판단된다. 하지만 기술의 퇴보 정도는 기술적 효율성과 규모 효율성의 증가에 비해 작았다.

3. 사고비용 고려 여부에 따른 분석결과의 비교

시내버스업체들의 ML지수와 M지수는 모두 증가하였는데, 두 지수를 비교해 보면 평균적으로 ML지수가 M지수보다 약간 큰 것으로 나타났다. 이는 투입물 감소율에 비해 사고비용의 감소율의 절대치가 더 크다는 것으로, 투입물 사용에 대한 생산성이 증가한 것 이상으로 안전성과 관련한 서비스가 향상되었다는 것을 의미한다. ML과 M의 평균값 차이는 크지 않았지만 두 값이 일치하는 개별 업체 또한 존재하지 않았다. 생산성 변화 차이(ML-M)의 절대값 평균은 약 5.71%였고, 가장 차이가 큰 업체는 약 29.0%까지 벌어졌다. 이러한 결과는 사고비용을 제외한 생산성은 과대 또는 과소평가될 수 있음을 의미한다.

VI. 생산성 변화요인의 분석결과

대중교통체계 개편의 영향을 분석하기 위한 회귀식을 추정한 결과, 사고비용과 상관없이 km당 승객수가 양의

부호로 5% 수준 이상에서 유의하였으며, 사고비용을 제외한 경우의 운행속도가 양의 부호로 10% 수준에서 유의하였다.

먼저 노선체계 개편에 의한 노선수 변화는 음의 부호로 유의하지 않아서, 노선체계의 재구성은 생산성을 증가시키는데 효과적이지는 못하였다고 볼 수 있다. 반면 운행속도는 양의 부호로 사고비용을 제외한 경우만이 유의하게 도출되어 운행속도가 증가할수록 투입물을 더 적게 사용할 수 있었는데, 이는 중앙버스전용차로제 도입과 같은 이동성을 향상시키기 위한 정책이 효과적이었음을 의미한다. 하지만 사고비용을 고려한 경우 유의하지 않았는데, 이는 운행속도가 실제 현황자료가 아닌 운행계획 자료에서 추출한 자료로 사고가 반영되지 않았기 때문으로 판단된다. 한편 운영체계 개편에 선정된 모든 변수들은 유의하지 않았으며, 사고비용을 제외한 경우의 해당 정비사수를 제외하고 양의 부호로 도출되었다. 즉 운영체계 개편은 생산성 증가와 관련은 있지만 변화에는 영향을 미치지 못하였다고 볼 수 있다.

반면 요금체계 개편의 대중교통통합거리비례제 도입을 반영하는 km당 승객수는 사고비용과 상관없이 상당히 유의하게 도출됨으로써 생산성 증가에 가장 큰 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

VII. 결론

본 연구는 서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화를 분석하기 위하여 자료포락분석 기법의 방향거리함수와 맘퀴스트-루엔버거 생산성 지수

〈표 7〉 회귀식(OLS)의 추정결과

구분	추정계수		
	사고비용 고려	사고비용 제외	
상수	0.9859***	0.9562***	
노선체계	노선수	- 0.0004	- 0.0002
	운행속도	0.0019	0.0030*
운영체계	대당 운전자수	0.0007	0.0018
	대당 정비사수	0.0010	- 0.0003
	CNG차량 비율	0.0614	0.1100
	km당 수입금	0.0001	0.0002
요금체계	km당 승객수	0.0019**	0.0028***
	로그우도값	48.8127	54.4964
	$\bar{R}^2$	0.2203	0.2718

주: 1) \*\*\*는 1%, \*\*는 5%, \*는 10% 수준에서 유의함을 의미함.  
 2) 변수들은 개편 전과 개편 후의 변화율로 나타냄.

를 이용하여 사고비용 고려여부에 따른 생산성 변화를 분석한 다음, 통상회귀식을 이용한 대중교통체계 개편 분야별 생산성 변화 요인들을 분석하였다. 이때 시내버스업체는 운전, 정비, 관리, 차량, 연료를 이용하여 운행거리, 승객수와 사고비용을 생산하는 기업형태로 상정되었다.

사고비용을 고려한 경우(3.46%)가 제외된 경우(2.74%)의 생산성보다 더 증가한 것으로 도출되어, 투입물 사용에 대한 생산성 증가 이상으로 안전과 관련한 서비스 수준이 향상되었음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 개편 후에 해당 종업원수를 증가시켰음에도 불구하고, 서울시의 엄격한 업체 경영관리와 안전운행에 대한 환경이 조성되었기 때문으로 판단된다.

또한 생산성을 높이기 위해서는 버스의 운행속도와 km 당 승객수를 증가시킬 필요가 있었다. 개편과 관련하여, 노선체계 분야의 중앙버스전용차로제와 요금체계 분야의 대중교통통합거리비례제의 도입은 생산성 증가에 가장 효과적이었다고 볼 수 있다. 반면 운영체계 개편은 노선의 공공성 확보를 통해 서울시의 대중교통체계 개편을 시행할 수 있었던 환경을 마련해주었다는 측면에서 의의가 있지만 생산성을 증가시키는 데는 효과적이었다고 볼 수 없다.

이러한 결과를 통해 향후 서울시와 같은 대중교통체계 개편을 준비 중인 도시들은 분석결과를 참고하는 동시에 재정적인 측면도 함께 고려하여 개편할 필요가 있을 것으로 판단된다.

향후 입찰버스업체를 포함한 효율성과 생산성 변화를 분석함으로써 일반업체보다 모범적인 운영을 하고 있는지 여부를 검증할 수 있을 것이다. 또한 유해한 산출물로 대기오염 배출량을 고려한 생산성 변화를 분석하고, 사고비용을 고려한 연구와도 비교할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 심재익·성낙문(2006), "2004년 교통사고비용 추정", 한국교통연구원.
2. 오미영·김성수(2005), "서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화", 대한교통학회지, 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.53~61.
3. 오미영·김성수(2007), "교통체계개편에 따른 서울

시내버스업체의 효율성 변화 분석 (사고비용을 함께 고려한 자료포락분석기법을 이용하여)", 제57회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, pp.87~96.

4. Chung, Y. H., R. Fare and S. Grosskopf(1997), "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach", Journal of Environmental Management, Vol. 51, pp.229~240.
5. Lin, E. T. J. and L. W. Lan(2006), "Measuring Technical Efficiency with Consideration of Undesirable Outputs: the Case of Taipei Bus Transit", Asia-Pacific Productivity Conference, August 2006, Seoul, Korea.
6. McMullen, B. S. and D. W. Noh(2007), "Accounting for Emissions in the Measurement of Transit Agency Efficiency: A Directional Distance Function Approach", Transportation Research Part D, Vol. 12, pp.1~9.
7. Viton, P. A.(1997), "Technical Efficiency in Multi-mode Bus Transit: a Production Frontier Analysis", Transportation Research B, Vol. 31, pp.23~39.
8. Viton, P. A.(1998), "Changes in Multi-mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992", Transportation, Vol. 25, pp.1~21.

✉ 주 작 성 자 : 오미영

✉ 교 신 저 자 : 오미영

✉ 논문투고일 : 2008. 2. 22

✉ 논문심사일 : 2008. 5. 14 (1차)

2008. 6. 30 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 6. 30

✉ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필