

# 서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 효율성 변화 분석

-사고비용을 함께 고려한 자료포락분석기법을 이용하여  
An Analysis of Efficiency Changes

in the Seoul's Urban Bus Industry by Public Transport Reforms

- Using Data Envelopment Analysis with Consideration of Accident Costs

오미영

(서울대학교 환경대학원 박사과정)

김성수

(서울대학교 환경대학원 교수)

## 목 차

I. 서론	V. 추정결과 및 해석
II. 효율성의 개념과 선행연구의 고찰	VI. 결론
III. 자료포락분석기법과 방향성 생산거리함수	1. 결과 요약 및 정책적 시사점
1. 자료포락분석기법	2. 향후 연구과제
2. 방향성 생산거리함수	참고문헌
IV. 자료와 추정방법	부록
1. 자료	
2. 추정방법	

## I. 서론

서울 시내에서 자가용 승용차 이용 증가로 인해 교통혼잡이 심화됨에 따라 시내버스 승객수는 감소하였고, 시내버스업체들의 운영수지와 서비스 수준은 악화되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 서울시는 2004년 7월 대중교통체계를 노선, 요금 및 운영체계 측면에서 개편하였다.

버스노선 측면에서는 노선을 간지선으로 구분하고 노선특성에 맞도록 이동성과 접근성을 향상시키기 위하여 노선을 단축하고 노선수를 증가시키는 한편 중앙버스전용차로제를 도입하였다. 요금측면에서는 대중교통 통합요금거리비례제를 시행함으로써 환승시간 30분 이내의 광역버스를 제외한 모든 시내버스의 환승을 무료화하였다. 한편 요금수입과 운영비용을 시내버스업체가 스스로 관리하던 독립채산제에서 요금수입은 업체와 서울시가 공동관리하고 운영비용을 버스업체의 운영실적에 따라 지급보장하는 준공영제로 변경하였다.

개편 결과로는 노선수가 증가하고 승객수가

증가하였으며, 교통카드 이용률도 증가하였다. 한편 업체들의 해당 종사자수는 증가하고 대당 운행거리도 감소하였다. 따라서 버스운행 및 운영환경 뿐만 아니라 승객의 이용환경까지도 변화하였다. 한편, 준공영제 도입으로 도덕적 해이와 물가 상승으로 서울시가 업체에게 지급하는 운영비용의 증가가 우려되고 있다. 따라서 이와 관련하여 개편 전과 개편 후의 비효율성을 추정함으로써 운영비용과 관련있는 투입물과 사고비용의 절감 가능성을 살펴보고자 한다. 본 연구는 비용자료가 필요없고 업체별 효율성을 측정하는 자료포락분석기법의 방향거리함수를 이용해 서울시의 교통체계 개편으로 인한 시내버스업체들의 효율성 변화를 분석하는 데 목적이 있다. 즉 본 연구는 개편 전과 후를 구분하여 버스업체 자료를 구축하고 공급관련 지표인 운행거리와 수요관련 지표인 승객수 및 안전관련 지표인 사고비용을 시내버스운송업의 산출물로 상정하여 승객수와 운행거리는 주어진 것으로 하고 투입물과 사고비용의 비효율성을 추정한다. 이때 사고비용도 운영비용과 관련이 있는데, 운영비용을 지급하는 표준원가에 사고비

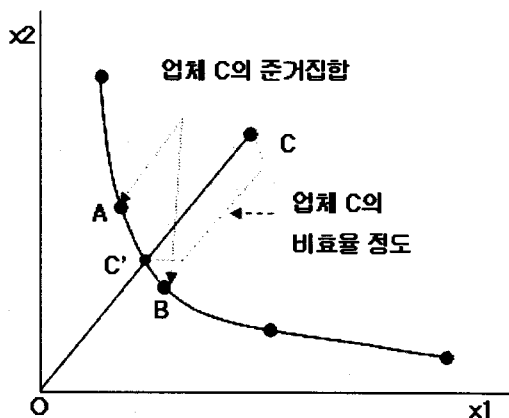
용과 보험관련 항목이 포함되어 있기 때문이다.

본 연구는 먼저 2장에서 효율성의 개념을 정의하고 선행연구를 고찰하며, 3장에서는 자료포락분석기법에 대해 살펴본다. 4장에서는 자료와 구체적인 추정방법을 설명하고, 5장에서는 추정 결과를 제시한다. 6장에서는 추정결과를 요약하고 시내버스업체들의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 논한 후, 향후 연구방향을 제시한다.

## II. 효율성의 개념과 선행연구의 고찰

모든 업체들은 이윤 극대화 또는 비용 최소화를 추구하지만 동질의 기술을 사용하더라도 업체 내부의 비효율성으로 인해 생산성의 차이가 발생한다. 투입물과 산출물의 비율을 생산성이라 할 때, 효율성은 업체들 사이의 생산성을 비교하는 정적인 개념이다. 이때 이상적으로 효율적인 상태를 아는 것은 현실적으로 불가능하므로, 현재 생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 효율성을 측정할 수 있다. 한편 효율성은 주어진 산출물에 대하여 투입물의 효율성을 측정할 수 있거나, 주어진 투입물에 대하여 산출물의 효율성을 측정할 수 있다.

<그림 1>은 주어진 산출물  $y$ 를 생산하기 위해 투입물  $x_1$ 과  $x_2$ 를 사용하는 의사결정단위(DMU : decision making unit)인 업체들로 구성된 생산영역과 생산변경을 나타낸다.



<그림 1> 준거집합과 비효율 정도(투입지향)

생산변경은 주어진 산출물에 대하여 최소의 투입물을 사용하는 업체들로 구축되며, 효율성은 원점과 업체 C를 연결한 방사선의 거리(OC)

와, 그 방사선 상의 생산변경과 만나는 점 C'와 원점을 연결하는 방사선의 거리(OC')의 비율로 효율성을 측정한다. 즉 점 C의 효율성은  $OC'/OC$ 로 나타낸다. 이때 양적 측면에서 효율성을 측정하는 것을 일반적으로 기술적 효율성이라고 하며, 투입물의 비용도 고려하여 측정하는 것을 배분적 효율성이라고 한다. 본 연구에서는 공공서비스 측정에 적합하며 비용자료가 필요없는 기술적 효율성 위주로 측정하고자 한다.

버스를 대상으로 효율성을 분석한 선행연구로는 외국의 경우 Kerstens(1996), Viton(1997), Nolan(2001)등이 있으며, 우리나라의 경우 오미영 외(2002)와 오미영·김성수(2005)가 있다. 하지만 이들 연구는 유해한 산출물을 포함하지 않은 연구들이며 이를 포함한 연구들은 외국의 경우 Lin and Lan(2006), Yu and Fan(2006)과 McMullen and Noh(2007)가 있으며<sup>1)</sup>, 우리나라의 경우 전무한 상태이다<sup>2)</sup>.

## III. 자료포락분석기법과 방향성 생산거리 함수

### 1. 자료포락분석기법

Charnes et al.(1978)에 의해 고안된 자료포락 분석기법은 유사한 생산과정을 갖고 다수의 투입물을 이용하여 다수의 산출물을 생산하는 업체들의 상대적 효율성을 평가하기 위한 방법이다. 이 기법은 생산 또는 비용함수를 추정하지 않고 업체별 양적 자료에 대해 선형계획기법을 적용하여 구축되는 생산변경을 기준으로 업체별 상대적인 효율성을 평가하는 비모수적(nonparametric) 접근법이다. 또한 선형적으로 함수형태와 오차항의 분포에 대한 가정이 필요없고, 가격 정보 없이 양적 자료만으로도 효율성을 분석할 수 있으며, 표본의 평균이 아니라 가장 생산성이 높은 업체들로 생산변경을 구축하여, 그 변경과 업체별 생산성의 거리를 상대적으로 측정하는 거리함수를 사용한다.

<그림 1>에서 자료포락분석기법을 이용한 효

1) 이들 연구는 방사적이면서 산출지향의 방향거리함수를 사용하였지만, 본 연구는 비방사적이면서 투입지향의 방향거리함수를 사용하여 비효율성을 추정하였다.

2) 부록 참고.

율성 측정방법은 먼저 생산성이 가장 높은 업체들로 생산변경을 구축한 후, 업체 C와 가장 가까운 변경 상에 위치하는 업체 C'를 찾는다. 이는 표본에 속해있는 업체 A와 업체 B를 연결한 변경 상에 위치하는 가상의 업체로, 이들 업체는 업체 C의 준거집합이 되며 업체 C와 생산기법이 비슷한 업체들이다. 즉 업체 C가 효율적인 업체 C'가 되기 위해서는 현재 투입물에서  $CC'/OC$ 만큼 투입물을 감소시켜야 한다. 이때 업체 C'의 투입물 구조를 찾아내기 위하여 업체 A와 업체 B의 가중치를 이용한 선형결합으로 도출하며, 업체 C는 업체 A보다는 업체 B에 더 가까이 있으므로 업체 B에 더 높은 가중치가 부여된다. 이러한 가중치는 자료포락분석 기법의 선형계획식의 해를 구하는 과정에서 도출된다.

한편 자료포락분석기법은 측정기법과 생산변경 구축기법에 따라 효율성 결과가 다르게 도출된다. 먼저 측정 기법으로는 첫째, 주어진 산출물에 대하여 투입물의 절감 가능성을 측정하는 투입지향(input orientation)기법과 주어진 투입물에 대하여 산출물의 증대 가능성을 측정하는 산출지향(output orientation)기법이 있다. 전자는 산출물에 대한 규제나 조정이 쉽지 않은 경우 비용극소화를 추구하는 생산과정에 적합하며, 후자는 수익극대화를 추구하는 생산과정에 적합하다. 둘째, 원점, 생산변경과 대상업체를 방사선으로 연결하여 생산변경상에 있는 점을 기준으로 효율성을 측정하는 방사적(radial) 기법과 방사선상을 벗어나 생산변경상에 더 효율적인 점이 있으면 그 점을 기준으로 대상업체의 효율성을 측정하는 비방사적(nonradial) 기법으로 나뉜다<sup>3)</sup>. 전자는 투입물이나 산출물들의 증감 가능성이 모두 같다고 가정하며, 후자는 각기 다르다고 가정하여 측정한다. 따라서 방사적 기법보다 비방사적 기법이 업체별 효율성 측정에 대해 더 판별력(discrimination power)이 있다. 또한 비방사적 기법은 투입물별 또는 산출물별로 비효율성을 추정하여 평균하는 것이기 때문에 중요도에 따라 각 요소에 가중치를 부여할 수 있다<sup>4)</sup>.

한편, 생산변경 구축 기법으로는 첫째, 현재 규모에서 효율적인 운영을 하고 있는 업체들로 생산변경을 구축하는 기법과 규모수익에 의해

발생하는 비효율성도 고려하여 불변규모수익 상태이면서 효율적인 운영을 하고 있는 업체들로 생산변경을 구축하는 기법이 있다. 전자는 가변규모수익(VRS)을 가정하고, 기술적 효율성(TE: technical efficiency)이라고 하며, 단기의 효율성 추정이나 제약으로 규모 조정이 용이하지 않은 경우에 적합하다. 반면, 후자는 불변규모수익(CRS)을 가정하고 생산적 효율성(PE: productive efficiency)이라고 하며, 장기의 효율성 추정이나 단기이더라도 규모 조정이 용이한 경우에 적합하다. 이때 불변규모수익을 가정한 생산영역이 가변규모수익을 가정한 때보다 더 크기 때문에 생산적 효율성은 기술적 효율성보다 작으며 생산적 효율성과 기술적 효율성의 비율은 규모수익에 의해 발생되므로 규모 효율성(SE: scale efficiency)이라고 한다.

둘째, 투입물이나 산출물을 증가시키거나 감소시킬 때 다른 투입물이나 산출물에 영향을 미쳐서 기회비용이 발생할 경우는 약처분성(weak disposability)을 가정하며, 영향이 미치지 않는 경우 강처분성(strong disposability)을 가정한다. 전자의 경우의 예로 하나의 투입물을 증가시킬 때 다른 투입물도 함께 증가시켜야 하는 경우, 또는 하나의 투입물을 증가시키면 산출물이 감소하는 경우에 적합하며, 후자의 경우는 어떠한 투입물이나 산출물의 증감도 다른 투입물이나 산출물의 변화에 영향을 미치지 않은 경우에 적합하다<sup>5)</sup>.

## 2. 방향성 생산거리함수

자료포락분석기법의 일종인 방향성 생산거리함수(directional technology distance function)는 유해한 산출물을 포함한 효율성과 생산성 변화를 추정하는데 적합한 거리함수이다. 기존의 거리함수는 유해한 산출물을 고려하지 않았기 때문에 유해한 산출물의 양을 다르게 생산할지라도 동일한 양의 투입물을 이용하여 동일한 양의 산출물을 생산하면 같은 효율성을 지닌다고 도출하여 왜곡된 결과를 초래하였다. 이에 유해한 산출물을 포함한 방향성 생산거리함수는 투입물의 감소 가능성과 산출물의 증가 가능성을 동시에 살펴볼 수 있을 뿐만 아니라, 유해한 산출물의 감소 가능성까지도 함께 나타

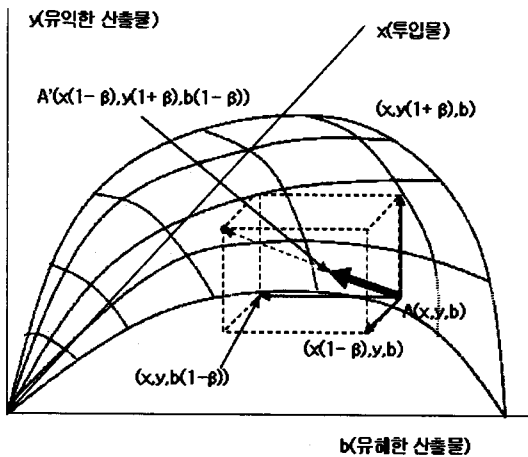
3) Viton (1998) 참고.

4) Zhou et al. (2007) 참고.

5) Viton (1997), Viton (1998) 참고.

낼 수 있다.

생산과정 중에는 유익한 산출물 뿐만 아니라 유해한 산출물도 함께 생산하게 되는데, 이때 투입물 벡터를  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 으로 하고, 유익한 산출물 벡터를  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 으로 하며, 유해한 산출물 벡터를  $(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 으로 나타낸다. 또한 생산과정은  $T = \{(x, y, b) : x \text{를 이용하여 } (y, b) \text{를 생산할 수 있다.}\}$ 로 나타낼 수 있다.



<그림 2> 방향성 생산거리함수의 효율성 측정방향

이때 방향성 생산거리함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \vec{D}_T(x, y, b; -g_x, g_y, -g_b) \\ = \sup \{ \beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in T \} \end{aligned}$$

이때  $(-g_x, g_y, -g_b)$ 는 0이 아닌 방향성 벡터이며, 이는 투입물과 유해한 산출물은 감소방향으로, 유익한 산출물은 증가방향으로 측정하도록 방향을 정해주는 역할을 한다. 이때  $\beta$ 값은 방사적 접근법의 비효율성 값으로 0이상으로 추정되며, 0이면 효율적, 0을 초과하면 그 값 자체가 비효율성 정도를 나타낸다. 예로  $\beta$ 값이 0.2라면, 투입물과 유해한 산출물은 20% 감소시킬 수 있으며, 유익한 산출물은 20% 증가시킬 수 있다는 것을 의미한다. 한편 방향성 생산거리함수는 기존의 거리함수와 같이 규모수익과 처분성, 방사 또는 비방사적 가정을 적용하여 효율성을 도출할 수 있다. 이때 기존의 거리함수가 1을 기준으로 효율성을 나타낸 반면, 방향성 생산거리함수는 0을 기준으로 비효율성을

나타낸다. 방향성 생산거리함수 값의 해석은 다음과 같다.

<표 1> 방향성 생산거리함수에 의한 비효율성 점수의 해석방법

구분	생산적 비효율성		
	기술적 비효율성	규모 비효율성	규모 비효율성
효율적	0	0	0
비효율적	0<	0<	0<

한편 방향성 생산거리함수는 기존의 거리함수를 포괄한다. 즉 방향벡터 설정에 따라 투입지향, 산출지향의 방향거리함수로 구분할 수 있는데, 만약 유익한 산출물의 방향벡터  $(+g_y)$ 를 0으로 설정하면 유해한 산출물과 투입물의 감소 가능성을 측정하는 투입지향의 방향거리함수가 되고, 투입물의 방향벡터  $(-g_x)$ 를 0으로 설정하면 유해한 산출물은 감소 가능성을, 산출물은 증가 가능성을 측정하는 산출지향의 방향거리함수가 된다. 유해한 산출물에 대한 비효율성만을 측정할 때는 투입물과 유익한 산출물의 방향벡터 모두를 0으로 설정한다. 만약 유해한 산출물을 고려하지 않은 채 측정할 경우에는 유해한 산출물에 대한 제약식을 방향성 생산거리함수에서 제외한다. 즉 방향성 생산거리함수는 분석대상의 특성과 연구목적에 적합하도록 방향벡터를 설정하여 측정할 수 있다. 단 유해한 산출물을 포함할 경우에는 생산활동이 전체되어야만 하므로 유해한 산출물에 대하여 약처분성 가정을 반드시 취해야 한다.

## IV. 자료와 추정방법

### 1. 자료

분석에 사용되는 자료는 서울의 52개 시내버스업체<sup>6)</sup>에 대한 개편 전 2003년과 개편 후 2005년의 횡단면 자료이다. 이 자료는 서울시와 서울시내버스 운송조합을 통해 구축되었다. 본 연구의 시내버스업체는 운송비용에서 가장 많

6) 개편 전의 서울시내버스업체는 57개이며, 개편 후에는 69개이나, 개편 전과 개편 후를 비교하기 위하여 개편 전과 후 모두 존재했던 57개 업체 중 자료가 미비한 5개 업체를 제외하였다.

<표 2> 개편 전과 개편 후 서울 시내버스업체들의 비효율성 추정에 사용되는 자료의 특성

구분		투입물					산출물		
		운전자 (인/월)	정비사 (인/월)	기타직원 (인/월)	차량 (대/월)	연료비용 (백만원/1년)	운행거리 (천km/1년)	승객수 (천통행/1년)	사고비용 (백만원/1년)
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(%)		-7.93	-8.70	-15.56	-10.29	-14.64	-19.27	-1.63	-32.30

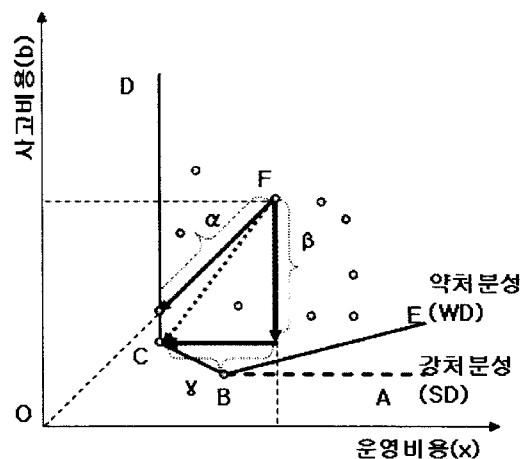
주: 1) 증감율(%)은 개편 전과 개편 후의 평균을 비교한 것임.

은 비중을 차지하는 운전자, 정비사, 기타직원, 차량, 연료비용<sup>7)</sup>를 이용하여 공급관련지표인 운행거리와 수요관련지표인 승객수 그리고 안전 관련 지표인 사고비용<sup>8)</sup>을 동시에 생산하는 기업형태로 상정되었다. 산출물 지표로 세가지 모두를 선택한 이유는 어떤 지표가 효율성 분석에 적합한지 논의가 계속 이루어지고 있으며, 이를 모두 포함한 종합적인 효율성을 측정하는 것도 의의가 있을 것이라 판단하였기 때문이다. 연료비용을 제외한 투입물은 월평균이며, 연료비용과 산출물들은 1년 합계를 사용하였다.

## 2. 추정방법

서울시내버스업체의 비효율성을 추정하기 위하여 버스산업의 특성을 반영할 필요가 있다.

서울시내버스업체는 요금 및 운행 규제와 공공서비스 준수 의무로 계획운행거리에 준하여 운행하고 있다. 또한 대중교통 특성상 요금이나 서비스 수준에 의해 승객수는 그다지 영향을 받지 않는다. 따라서 업체는 운행거리나 승객수를 증가시켜 수익극대화를 추구하기 보다는 비용최소화를 추구한다. 본 연구는 이러한 특성을



<그림 3> 운영비용과 사고비용 사이의 관계

고려하여 <그림 3>과 같이 주어진 산출물에 대하여 사고비용과 투입물의 감소 가능성을 측정하는 투입지향의 방향거리함수를 통해 효율성을 측정하고자 한다<sup>9)</sup>. 두 번째로 사고비용과 각각의 투입물의 감소 가능성은 동일하지 않을 것이므로 비방사적 기법을 적용하여 각각의 비효율성과 종합적인 업체의 비효율성을 측정한다. 이때 사고비용과 투입물의 비효율성에 적용하는 가중치 비율은  $1(\beta)$ 대  $4(\gamma)$ <sup>10)</sup>를 적용한다<sup>11)</sup>. 세 번째로 개편으로 인해 업체의 규모와 전체 노선연장 등이 변하였으므로 규모에 의해서도 비효율성이 발생할 수 있다. 따라서 불변

7) 연료량 집계는 서울시와 업체 모두 정확하게 이루어지지 않았고, 비용을 사용량으로 환산할지라도 왜곡될 우려가 있기 때문에 연료비용을 그대로 사용하였다. 대신 2003년과 2005년의 연료구입단가 비율을 적용하여 2003년의 연료비용으로 환산하였다.

8) 사고건수가 아닌 사고비용을 사용한 이유는 사망과 부상에 대한 경중을 고려하기 위함이다. 사고비용은 한국교통연구원(2006)의 "2004년 교통사고비용 추정"을 참고하였으며, PCS를 포함하여 추정되었다.

9) 유효한 산출물과 투입물과의 관계는 Lansink and Silva (2003) 참고.

10) 2003년도 추정된 사고비용과 운영비용의 비율은 1 : 4의 비율로 도출되었다.

11) 방사적 기법의 경우 사고비용, 투입물별 비효율성은 모두  $\alpha$ 로 나타내어 동일한 비율로 감소 가능성이 있다고 가정한다.

규모수익을 가정한 생산적 비효율성을 추정하고 이를 요인별로 분해하여 해석한다. 마지막으로 각각의 투입물 사이와 산출물 사이는 비례관계에 있으며, 특히 주어진 투입물에 대하여 유익한 산출물이 증가할 때, 또는 주어진 산출물에 대하여 투입물이 증가할 때 어느 수준 이상이면 기회비용이 발생하게 된다. 따라서 투입물 사이, 산출물 사이, 사고비용 모두 약처분성을 가정한다.

$$\begin{aligned} \vec{D}_i^t(x_o^t, y_o^t, b_o^t; -x_o^t, -b_o^t)_{CRS} = & \\ \max [0.2 \times \frac{1}{i} \sum_{i=1}^I \beta_{oi} + 0.8 \times \frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \gamma_{om}] & \quad (1) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^J \lambda_j^t y_{jk}^t = y_{ok}^t, & \quad (2) \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^t b_{ji}^t = (1 - \beta_{oi}) b_{oi}^t, & \quad (3) \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^t x_{jm}^t = (1 - \gamma_{om}) x_{om}^t, & \quad (4) \\ \lambda_j^t \geq 0, & \quad (5) \end{aligned}$$

$k$ =운행거리, 승객수

$i$ =사고비용

$m$ =운전, 관리, 정비, 차량, 연료

$j=1, \dots, 52$

$x$ 는 투입물,  $y$ 는 유익한 산출물(운행거리, 승객수),  $b$ 는 사고비용을 나타내며,  $t$ 는 분석적용연도,  $o$ 는 특정업체,  $j$ 는 업체의 수,  $k$ 는 유익한 산출물의 수,  $i$ 는 유해한 산출물의 수,  $m$ 은 투입물의 수를 나타낸다.  $\lambda$ 는 모든 업체를 포괄하도록 생산변경을 구축하는 승수이고,

$(-x_o^t, -b_o^t)$ 는 방향벡터이며, 식(1)의  $\vec{D}_i^t$ 는 목적함수로 업체  $o$ 의 비효율성 점수를 의미한다. 따라서 업체  $o$ 의 사고비용을  $\beta_o$ 배 감소시키고, 각 투입물을  $\gamma_{om}$ 배 감소시키면 투입물을 가장 적게 사용하고, 사고비용을 가장 적게 유발하는 업체와 같아진다는 것을 의미한다. 여기서 식(2)의  $k$ 는 운행거리, 승객수로 주어진 것으로 가정하고, 등호(=)로 산출물간에 약처분성의 관계가 존재한다는 것을 나타낸다<sup>12)</sup>. 식(3)은 사고비용에 대한 제약식으로 투입물과 산출물에 약처분성의 관계가 있기 때문에 등호로 표현하였다. 식(4)는 투입물에 대한 제약식으로 투입물간에 약처분성을 가정하였다. 식(5)는 생산변경이 분석대상이 되는 모든 업체를 포괄하며, 불변규모수익(CRS)상태로 생산적 비효율성을 추정함을 의미한다. 이때 가변규모수익(VRS)을 가정할 경우  $\lambda_j \geq 0$  대신  $\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1$ 의 제약조건이 가해진다.

선형계획식의 해를 추정하기 위해 GAMS 프로그램을 이용하였으며, 52개 업체의 개편 전과 개편 후 생산적 비효율성과 기술적 비효율성을 업체별로 추정하기 위해서 총 52×2×2회<sup>13)</sup>를 추정하였다.

## V. 추정결과 및 해석

공급측면과 수요측면 및 안전성 측면을 나타내는 운행거리와 승객수 및 사고비용을 산출물 지표로 상정하여 불변규모수익을 가정한 개편 전과 개편 후의 업체별 생산적 비효율성을 추정하고 요인별로 분해하였다. 효율업체는 비효

<표 3> 생산적 비효율성의 추정 결과와 요인별 분해 결과

구분	개편 전			개편 후		
	생산적 비효율성	기술적	규모	생산적 비효율성	기술적	규모
평균값	0.1074	0.0601	0.0474	0.0885	0.0663	0.0222
최대값	0.3848	0.3785	0.2422	0.3194	0.3156	0.2025
최소값	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
표준편차	0.1065	0.0882	0.0629	0.0980	0.0910	0.0452
효율적인 업체수	23	32	23	25	30	26

주: 1) 생산적 비효율성은 불변규모수익(CRS)을 가정함.

2) 기술적 비효율성은 가변규모수익(VRS)을 가정함.

3) 규모 비효율성은 생산적 비효율성과 기술적 비효율성의 차이임.

<표 4> 개편 전과 후의 효율 정도별 시내버스 업체 구분과 운행 특성

그룹	효율 정도		업체수	업체명	대당 운행거리(km/대)	
	개편 전	개편 후			개편 전	개편 후
1	효율적 (0.0000)	효율적 (0.0000)	16	c3, c4, c6, c7, c10, c11, c13, c19, c25, c28, c30, c40, c41, c43, c44, c46	280.74	261.14
2	효율적 (0.0000)	비효율적 (0.1778)	7	c18, c21, c23, c24, c27, c33, c36	256.60	215.43
3	비효율적 (0.1725)	효율적 (0.0000)	9	c1, c2, c8, c9, c12, c37, c38, c42, c50	253.07	228.98
4	비효율적 (0.2017)	비효율적 (0.1679)	20	c5, c14, c15, c16, c17, c20, c22, c26, c29, c31, c32, c34, c35, c39, c45, c47, c48, c49, c51, c52	253.65	228.71

주: 1) 생산적 비효율성을 기준으로 함.

<표 5> 사고비용과 투입물별 비효율성의 추정 결과

구분	개편 전						개편 후					
	사고	운전	정비	관리	차량	연료	사고	운전	정비	관리	차량	연료
평균값	0.112	0.044	0.081	0.046	0.025	0.040	0.146	0.024	0.090	0.086	0.017	0.016
최대값	0.582	0.309	0.443	0.421	0.201	0.400	0.685	0.190	0.478	0.579	0.147	0.125
최소값	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
표준편차	0.175	0.070	0.136	0.107	0.051	0.075	0.222	0.044	0.138	0.152	0.035	0.032
값 = 0	33	31	34	40	40	34	30	33	30	34	37	35
값 > 0	19	20	18	12	12	18	22	19	22	18	15	17

주: 1) 기술적 비효율성을 기준으로 함.

율성 점수가 0<sup>14)</sup>으로 나타나며, 비효율적인 경우는 0보다 크게 나타난다.

개편 전의 생산적 비효율성은 0.1074로 약 10.74% 발생하는데, 여기서 약 6.01%는 현재 규모에서 비효율적인 운영으로, 약 4.74%는 규모수익에 의한 투입물의 초과사용과 사고비용의 초과유발로 발생한다. 한편 개편 후의 생산적 비효율성은 0.0885로 약 8.85% 발생하는데, 여기서 약 6.63%는 현재 규모에서 비효율적인 운영으로, 약 2.22%는 규모수익에 의한 투입물의 초과사용과 사고비용의 초과유발로 발생한다. 즉 개편 전과 개편 후 모두 기술적 비효율성이 규모 비효율성보다 크게 나타났다. 또한 개편 후가 개편 전보다 생산적 비효율성과 표준편차가 상대적으로 작아졌으며, 비효율적인 업체수도 감소하였다.

업체별 개편 전과 후의 효율상태에 따라 네 그룹으로 업체를 구분한 후 그룹별 대당 운행

거리 특성을 <표 4>와 같이 살펴보았다. 개편 전과 후 모두가 효율적인 그룹 1에 속하는 업체는 16개로 대당 운행거리도 가장 높은 편에 속하였다. 한편 개편 전에는 효율적이었던 개편 후에 비효율적으로 변한 그룹 2에 속하는 업체는 7개로 대당 운행거리가 개편 전에는 높은 편에 속하였으나 개편 후에는 가장 낮은 편에 속하는 것으로 나타났다. 개편 전에 비효율적이었던 개편 후에 효율적으로 변한 그룹 3에 속하는 업체는 9개로 대당 운행거리가 개편 전보다 개편 후에 상대적으로 높은 편에 속하는 것으로 나타났다. 마지막으로 그룹 4는 개편 전과 후 모두 비효율적인 업체로 20개의 업체가 속하였으며 운행특성 또한 가장 낮은 편에 속하였다. 따라서 대당 운행거리가 높을수록 사고비용이 덜 발생했으며, 투입물을 효율적으로 사용할 수 있는 운행 및 운영 환경이 된다는 것을 예상할 수 있다.

한편 현재 규모에서 비효율적인 운영으로 발생하는 사고비용의 초과유발비율과 투입물별 초과사용비율을 구체적으로 살펴보면 <표 5>와 같다. 이를 통해 사고비용과 투입물을 좀 더 구체적으로 감소시킬 수 있는 가능성을 분석할

12) 강처분성을 가정할 경우에는 (=)를 부등호(≤ 또는 ≥)로 나타낸다.

13) 업체수×두개 연도×생산적 비효율성×기술적 비효율성

14) 비효율성 점수가 0인 효율적인 업체들은 모두 생산변경 상에 위치하고 있다. 이는 현재의 생산기술에서 더 이상의 효율성을 향상시킬 수 없으며, 효율성을 향상시키기 위해서는 새로운 생산기술을 도입해야 함을 의미한다.

수 있는데, 이는 운영비용<sup>15)</sup> 감소와 직접적인 관련이 있다. 개편 전과 개편 후 모두 투입물보다는 사고비용에서 비효율성이 상대적으로 많이 발생하는 것으로 나타났다. 투입물은 차량과 연료보다는 운전, 정비, 관리와 같은 노동에서 초과 투입비율이 더 높게 나타났다. 사고비용의 비효율성이 투입물보다 상대적으로 큰 이유는 사고비용이 효율적인 업체와 비효율적인 업체들 사이의 사고비용의 편차가 크기 때문이다.

위의 결과를 통해 개편 후가 개편 전보다 비효율성이 상대적으로 적게 나타났으며, 개편 전과 개편 후 모두 투입물 중에서 노동의 비효율성이 상대적으로 높게 나타났다.

## VI. 결론

### 1. 결과 요약 및 정책적 시사점

본 연구는 2004년 7월 교통체계 개편 전후의 서울 시내버스업체별 자료를 이용하여 자료포락분석기법의 방향거리함수에 의해 업체별 비효율성을 계산하고 비교하였다. 이때 시내버스 업체를 운전자, 정비사, 기타직원, 차량, 연료비용의 다섯가지 생산요소를 투입하여 공급, 수요 및 안전 측면의 세 가지 산출물인 운행거리, 승객수, 사고비용을 생산하는 기업형태로 상정하였다.

투입지향의 방향거리함수를 적용하여 개편 전과 개편 후를 비교한 결과, 개편 전의 경우 서울의 시내버스업체는 평균적으로 10.74% 정도의 비효율성을 발생시켰으며 23개 업체가 효율적인 것으로 나타났고, 개편 후의 경우는 평균적으로 8.85% 정도의 비효율성을 발생시켰으며 25개 업체가 효율적인 것으로 나타났다. 따라서 개편 후 업체들이 개편 전보다 비효율성 뿐만 아니라 비효율적인 업체수도 적게 나타났다. 이는 개편 후의 업체들이 개편 전보다 업체들이 생산변경에 더 가깝게 위치해 있으며, 이는 상대적으로 효율적 운영을 한다는 것을 의미한다. 이는 각각의 투입물과 산출물의 편차가

감소하여 효율적인 업체와 비효율적인 업체 사이의 차이가 상대적으로 작아졌기 때문이다. 또한 효율 정도별 업체를 구분해 본 결과, 대당 운행거리가 높을수록 업체는 효율적인 것으로 나타났다. 따라서 대당 운행거리를 높일 필요가 있는데 이는 원활한 운행과 운행속도를 의미하므로, 버스의 운행권 보장을 위한 중앙버스전용차로 확대설치와 주정차 단속을 통해 가능할 것이다. 한편 사고비용과 투입물별 비효율성을 추정한 결과, 투입물 중 노동 관련성의 비효율성이 차량이나 연료비용보다 상대적으로 크므로 노동 효율화에 중점을 두어야 할 것이다.

### 2. 향후 연구과제

본 연구의 한계와 이를 보완하기 위한 향후 과제는 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 각 연도의 업체들간 비교를 통해 비효율성을 측정하였기 때문에 실제 개편 후가 개편 전보다 더 효율적인 운영을 한다고 단언하기는 어렵다. 이를 분석하기 위해서는 시간에 따라 생산성의 증감을 측정하는 맘퀴스트 루엔버거 생산성 지수(ML: Malmquist Luenberger productivity index)를 통해 생산성 변화를 측정할 필요가 있다. 둘째, 유해한 산출물로 사고비용을 사용하였는데, 이뿐만 아니라 대기오염도 고려해 볼 필요가 있다. 셋째, 표본이 서울 시내버스업체이기 때문에 전반적으로 생산성이 낮다면 업체별 개선 정도가 바르게 추정되었다고 볼 수 없으므로 다른 도시의 표본을 포함하여 분석할 필요가 있다. 넷째, 업체의 노선, 운행 및 운영 특성들이 효율성에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 분석함으로써 효율성을 향상시킬 수 있는 정책적 시사점을 제시할 필요가 있다. 다섯째, 향후 대중교통 통합요금거리비례제 형태인 개편 후 수요측면의 효율성 측정은 이를 반영할 수 있도록 승객수 대신 승객-km를 사용할 필요가 있다.

### 참고문헌

1. 김미숙(2006), "환경오염을 고려한 도시생산성 연구-대기오염물질을 중심으로", 서울대학교 박사학위논문.

15) 업체에게 운영비를 지급하기 위한 기준이 되는 표준원가에는 투입물의 비용뿐만 아니라 사고비용 항목도 포함되어 있어 업체의 사고비용도 보장해줄 뿐만 아니라, 사고비용이 적게 발생하는 업체를 기준으로 사고비용의 표준원가를 산정하므로 업체가 사고비용을 감소시키도록 유도하기도 한다.



2. 김민정(2004), "한국 도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성 분석", 서울대학교 박사학위논문, 2004.
3. 김성수·오미영·김민정(2002), "자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성과 규모의 경제성 분석", 환경논총, 제40권, pp. 101-113.
4. 오미영·김성수(2004), "서울 시내버스의 노선별 연비 결정요인 분석", 대한교통학회 제44회 학술발표회.
5. 오미영·김성수(2005), "서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화", 대한교통학회, 제23권 제7호, pp.53-61.
6. 오미영·김성수·김민정(2002), "자료포락분석기법을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석", 대한교통학회, 제20권 2호, pp. 59-68.
7. 한국교통연구원(2006), "2004년 교통사고비용 추정".
8. Kerstens, K. (1996), "Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies, *Transportation Research A*, Vol. 30, No. 6, pp. 431-452.
9. Lansink, A. O. and E. Silva (2003), "CO<sub>2</sub> and Energy Efficiency of Different Heating Technologies in the Dutch Glasshouse Industry", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 24, pp. 395-407.
10. 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 2006*, Seoul, Korea, pp. 17-19.
11. 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 D*, Vol. 12, pp. 1-9.
12. Nolan, J. F. (1996), "Determinants of Productive Efficiency in Urban Transit", *Logistics and Transportation Review*, Vol. 32, pp. 319-342.
13. Nolan, J. F. et al. (2001), "Measuring efficiency in the public sector using nonparametric frontier estimators: a study of transit agencies in the USA", *Applied Economics*, Vol. 33, pp. 913-922.
14. Odeck, J. and A. Alkadi (2001), "Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis", *transportation* Vol. 28, pp. 211-232.
15. Tyteca, D. (1996), "On the Measurement of the Environmental Performance of Firms-A Literature Review and a Productive Efficiency Perspective", *Journal of Environmental Management* Vol. 46, pp. 291-308
16. Tyteca, D. (1997), "Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms - Concepts and Empirical Results", *Journal of Productivity Analysis*. Vol. 8, pp. 183-197
17. Viton, P. A. (1997), "Technical efficiency in multi-mode bus transit: a production frontier analysis", *Transportation Research B*. Vol. 31, No. 1, pp. 23-39.
18. Viton, P. A. (1998), "Changes in multi-mode bus transit efficiency, 1988-1992", *Transportation* Vol. 25, pp. 1-21.
19. Zhou, P., K. L. Poh and B. W. Ang(2007), "A non-radial DEA approach to measuring environmental performance", *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, pp. 1-7.

<부록> 시내버스업체들의 (비)효율성을 분석한 선행연구의 개요

구분	표본	가정	산출물	투입물	효율성(E) 또는 비효율성(IE)
Kerstens (1996)	프랑스 (1994) N=114	산출지향 강처분성, 약처분성 FDH VRS	차량-km(a) 좌석-km(b)	차량수, 노동자수, 연료량,	$E_a$ : 0.755 $E_a$ : 0.780 $E_a$ : 0.977 $E_b$ : 0.305 $E_b$ : 0.411 $FDH_b$ : 0.487
Viton (1997)	미국 (1990) N=200	투입지향(I), 산출지향(O) 약처분성, 강처분성 VRS, CRS, NIRS 비방사적	차량-마일 수단통행수	평균차령, 노선연장, 차량수, 연료소모량, 노동시간 부품비용, 공과금, 보험료	$E_I$ : 0.961 $E_O$ : 1.06
Viton (1998)	미국 (1988, 1992) N=352	투입지향(I), 산출지향(O) 약처분성 VRS 비방사적	차량-km 수단통행수 차량-시간	평균차령, 노선연장, 차량수, 연료량, 노동 시간, 부품비용, 서비스비용, 공과금, 보험료	$E_O^{1988}$ : 1.04 $E_O^{1992}$ : 1.026 $E_I^{1988}$ : 0.953, $E_I^{1992}$ : 0.965
Nolan et al. (2001)	미국 (1989-1993) N=25×4	투입지향 CRS 방사적(R), 비방사적(NR)	차량-마일	버스대수, 정비원수, 연료소모량, 노선연장, 비정비 근로자수	$E_R$ : 0.90 $E_{NR}$ : 0.83
오미영 외 (2002)	서울 (1996) N=69	투입지향(I), 산출지향(O) 강처분성 CRS, VRS 방사적	운행거리(a) 승객수(b)	노동, 차량, 유류, 정비	$E_{I,a}$ : 0.991 $E_{O,b}$ : 0.886
Lin and Lan(2006)	대만 (2002-2005) N=10×4	양방향 약처분성 방사적	운행거리 사고건수	노동 자본 연료	IE: 10.3%
Yu and Fan (2006)	대만 (2001) N=24	양방향 약처분성 CRS 방사적	승객-km 승객수 사고비용	운전자 차량수 노선연장 연료량 통행수	IE: 11.6%
McMullen and Noh(2007)	미국 (2000) N=43	양방향 약처분성 방사적	승객-마일 차량-마일 대기오염배출량	노동시간 연료소모량 좌석수	IE: 4%

주) 효율성 지수의 첨자는 가정 또는 산출물 지표 대안별 결과를 의미함.