▣ 論 文 ▣

사고 및 대기오염 비용을 고려한 서울 시내버스업체의 효율성 분석
(방향거리함수를 이용하여)

Analysis of the Efficiency of Urban Bus Companies in Seoul Considering Accident and Emission Costs
(Using a Directional Distance Function)

오 미 영
(서울시립대학교 교통공학과 BK조교수)

김 성 수
(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 선행연구의 고찰
Ⅲ. 분석모형의 설정
1. 방향거리함수
2. 토빗회귀분석
Ⅳ. 자료
1. 효율성의 분석자료
2. 효율성 영향요인의 분석자료
Ⅴ. 추정 결과
1. 효율성의 추정 결과
2. 효율성 영향 요인의 추정결과
Ⅵ. 결론
참고문헌

Key Words : 방향거리함수, 효율성, 효율성 영향 요인, 사고비용, 대기오염 비용
Directional distance function, Efficiency, Factors affecting the efficiency, Accident costs, Emission costs

요 약

본 연구는 2004년 서울시 대중교통개편 이후 시내버스업체가 효율적인 운영을 하고 있는지, 사고와 대기오염을 줄이려는 노력을 하고 있는지에 대한 성과를 업체별로 비교하기 위하여 방향거리함수를 통한 효율성을 측정하였다. 2005년 6월 한달 동안의 자료로서 운전사, 정비사, 임직원수, 차량, 연료를 투입물 자료로, 차량-km(유익한 산출물), 사고비용, 대기오염 비용(유해한 산출물)을 산출물 자료로 사용하였다. 유해한 산출물 고려여부에 따른 대안별 효율성을 비교해 본 결과, 유해한 산출물을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 평균적으로 효율성은 낮았으나 효율업체 수는 더 많게 나타났다. 이유는 유해한 산출물을 고려할 경우 투입물의 감소가능성보다 유해한 산출물의 감소가능성이 적은 업체의 수가 증가한 반면, 업체들 간의 효율성 편차는 커지기 때문이다. 한편 효율성에 영향을 미치는 요인들을 살펴본 결과, CNG차량의 보급을 늘리고, 운행속도를 높이며, 정비효율을 높일수록 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

The aim of this paper was to estimate efficiency using a directional distance function to compare performances of bus agencies to determine if they have made efforts to operate efficiently and reduce emissions and accidents since public transportation reforms 2004. Drivers, mechanics, staff, buses, and fuel were used as input data and vehicle-kilometers (a desirable output), accident costs, and emission costs (undesirable outputs) as output data during June 2005.

As a result, the efficiency with undesirable outputs was lower than the efficiency without undesirable outputs. However, the number of efficient agencies was more in case of the consideration of undesirable outputs. The reason is that the number of agencies whose possibility to reduce undesirable outputs are less than the possibility to reduce inputs was increasing, while the efficiency deviation among agencies was larger in case of the consideration of undesirable outputs. Meanwhile, the increase of CNG buses and operating speed and the improvement of mechanical efficiency had positive influence on the efficiency.

Ⅰ. 서론

2004년 7월 서울시는 대중교통체계를 개편하면서 민간운영제였던 시내버스 운송산업에 준공영제를 도입하였다. 서울시의 준공영제는 시내버스업체의 요금수입을 시내버스업체와 서울시가 공동으로 관리하고 시내버스업체의 차량이 운행한 만큼의 비용을 표준원가를 기준으로 정산하여 지급하는 제도이다. 이는 시내버스업체들의 요금수입이 운영비용보다 적다면 서울시가 그 적자금액을 보조하는 방식으로 안정적인 버스 서비스 제공을 가능하게 한다.[1)]

대중교통체계 개편의 목적은 안정적인 서비스를 제공하고 사고나 대기오염과 같은 사회적 비용을 줄임으로써 서비스의 수준을 높이고 버스 승객을 증가시키는 것이었다. 하지만 준공영제는 시내버스업체의 도덕적 해이로 인해 비효율을 야기 시킬 우려가 있다. 이에 서울시는 경영실태와 운행실태 조사 및 이용자의 만족도 조사로 구성된 평가제도를 개발하여 그 결과를 시내버스업체의 성과이윤을 지급하는데 활용한다. 또한 서울시는 노선입찰제도를 도입함으로써 버스업체들 간에 경영과 서비스를 경쟁하도록 유도하였다. 10개의 입찰노선을 운행하는 4개의 시내버스업체를 선정하기 위하여 기존에 존재하고 있던 시내버스업체들이 컨소시엄을 구성하여 입찰에 참여하도록 하였다. 그리고 컨소시엄을 구성하는 각 업체의 경영실태와 운행행태 및 서비스 수준과 향후 서비스 및 경영개선 계획 등을 고려하여 평가하였다.

본 연구에서는 업체의 성과를 개편목적에 부합하도록 평가하기 위해 방향거리함수를 이용한다. 방향거리함수는 자료포락분석기법(DEA)의 확장개념으로 전통적인 DEA가 생산과정 중 발생하는 부산물, 즉 유해한 산출물을 고려하지 못한 단점을 극복한다. 예로 동일한 양의 투입물을 이용하여 동일한 양의 산출물을 생산하는 두 업체가 있을 때, 한 업체가 유해한 산출물을 줄이기 위해 투입물을 더 사용할 경우 다른 업체보다 효율성이 떨어지게 된다. 그러나 방향거리함수는 더 소요된 투입물뿐만 아니라, 그로 인한 유해한 산출물의 감소도 고려하여 효율성을 측정한다.

이에 본 연구는 첫째, 방향거리함수(directional distance function)를 이용하여 유해한 산출물인 사고와 대기오염을 고려한 각 업체의 효율성 점수[2)]를 계산하고 입찰노선 운행업체와 일반노선 운행업체의 효율성 점수를 비교한다. 둘째 효율성에 영향을 미치는 요인들을 토빗회귀식을 통해 분석함으로써 효율성을 높일 수 있는 정책에 대해 논한다.

본 연구는 먼저 2장에서 유해한 산출물을 고려한 상태에서 자료포락분석기법 또는 방향거리함수를 이용한 시내버스업체의 효율성 또는 생산성 변화[3)]를 분석한 연구들을 고찰한다. 3장에서는 효율성의 개념을 정의하고 분석모형을 설정하며, 4장에서는 분석에 사용되는 자료를 설명한다. 5장에서는 유해한 산출물의 고려 대안에 따른 효율성 점수를 비교분석한 후, 효율성에 영향을 미친 요인들을 분석한다. 마지막으로 6장에서는 분석결과를 요약하고 시내버스업체들의 효율성을 높일 수 있는 정책적 방향을 제시한다.

Ⅱ. 선행연구의 고찰

본 연구와 같이 유해한 산출물을 고려한 시내버스업체의 효율성 또는 생산성 변화를 분석한 연구는 외국의 경우, Lin and Lan(2006), McMullen and Noh(2007)가 있으며, 국내에는 오미영·김성수(2008)를 들 수 있다.

먼저 Lin and Lan(2006)은 대만 수도 대북의 2002년부터 2005년까지 10개 시내버스업체에 대하여 사고건수를 고려한 효율성을 분석하였다. 그 결과 약 10.3%의 효율성을 높일 수 있는 가능성이 있었다. 또한 사고건수를 고려한 경우가 제외한 경우보다 효율성도 높고 효율적인 업체수도 더 많게 도출되어서 사고건수를 제외할 경우 왜곡된 결과를 도출할 수 있다고 제시하였다. 또한 사고를 줄이기 위해 감수해야 하는 운행거리의 잠재적 손실을 추정하였다.

McMullen and Noh(2007)는 2000년의 43개 미국 버스업체를 대상으로 대기오염 배출량을 고려한 효율성을 분석하였다. 그 결과 약 4%의 효율성을 향상할 수 있는 것으로 도출되었으며, 22개 업체가 효율적인 것으로 나타났다. 하지만 대기오염을 제외할 경우 5개 업체만이 효율적인 것으로 도출되었다. 또한 민영업체가 공영업체보다 더 효율적으로 운영하는 것으로 나타났다. 한편 민영, 기

1) 개편 전에는 시내버스업체들의 만성적인 적자로 인해 운전자나 정비사수가 부족하여 운행을 하지 않거나 고장이 잦아서 불안정한 서비스를 제공하곤 하였다.
2) 효율성은 생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 상대적인 생산성을 측정하는 정적 개념이다.
3) 생산성 변화는 시간이 흐름에 따라 생산성이 증가하는지 감소하는지를 측정하는 동적 개념이다.

타, 공영조직 순으로 대기오염을 줄이는데 필요한 운행거리의 잠재적 손실이 적게 도출되어 지속적인 민영화가 필요함을 제안하였다.

오미영·김성수(2008)는 대중교통체계 개편에 따른 52개 서울 시내버스업체를 대상으로 개편 전(2003년)에서 개편 후(2005년)로의 사고비용을 고려한 경우와 고려하지 않은 생산성 변화를 추정하고 비교하였다. 그 결과 사고비용과는 상관없이 생산성은 증가하였으며, 사고비용을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 더 증가한 것으로 나타나서, 시내버스업체들이 생산요소를 더 규모있게 사용하였을 뿐 아니라 안전성과 관련한 서비스의 수준도 향상시켰다고 제시되었다.

이들 연구는 유해한 산출물을 고려하지 않고 효율성이나 생산성 변화를 분석할 경우, 유해한 산출물을 줄이기 위해 투입물을 더 사용한 업체들의 기여를 간과할 수 있다고 제시하였다(McMullen and Noh, 2007).

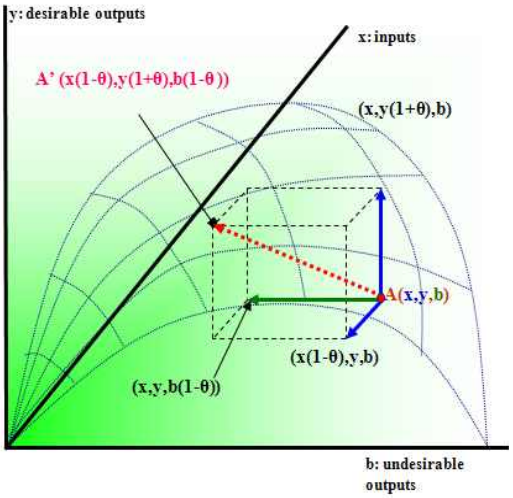
본 연구는 오미영·김성수(2008)의 연장 분석으로 입찰노선을 운행하는 시내버스업체를 포함하며, 사고비용 뿐만 아니라 대기오염비용도 고려한 효율성을 분석하고자 한다.

III. 분석모형의 설정

1. 방향거리함수

모든 업체는 경제활동을 하면서 이윤을 극대화하거나 비용을 최소화하려고 한다. 하지만 동일한 생산기술을 적용하더라도 업체 내부의 경영 비효율로 인해 업체 간 성과는 차이가 나게 된다. 업체의 생산성은 투입물을 산출물로 전환하는 정도를 의미한다. 이때 산업내의 효율성은 생산기술이 동일하다고 가정한 상태에서 생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 상대적 생산성을 추정하는 정적인 개념이다. 즉 효율성은 생산성이 가장 높은 업체만큼 생산이 가능하도록 해당업체의 투입물 절감가능성이나 산출물 증대가능성을 측정하는 것이다.

효율성 측정방법으로서 비용 자료없이 양적 자료만으로도 분석이 가능한 자료포락분석기법의 확장개념인 방향거리함수를 이용한다. 자료포락분석기법은 도덕적 해이가 발생할 가능성이 높은 공공기관의 효율성 측정에 유용하며, 다수의 투입물을 사용하여 다수의 산출물을 생산하는 산업의 효율성 분석에 적합하다. 한편 투입물과 산출물



<그림 1> 유해한 산출물을 고려한 효율성 측정

의 비율을 이용하여 업체 간의 생산성을 상대적으로 비교하는 선형계획기법이기 때문에 다중공선성을 고려할 필요가 없다.

자료포락분석기법을 아우르는 방향거리함수는 유해한 산출물도 고려하여 효율성(θ)을 측정할 수 있으며, 측정방법에 따라 투입물과 유해한 산출물이 적을수록 또는 유익한 산출물은 크고 유해한 산출물은 적을수록 효율성을 높게 평가할 수 있는 장점을 지닌다. 하지만 이상점(outlier)과 산출지표에 따라 결과가 민감한 단점이 있다.[4)]

방향거리함수는 크게 네 가지의 측정기법이 있다. 첫째, 분석대상이 되는 업체들의 경영목적에 따라 투입지향 및 산출지향기법으로 구분된다. 먼저 투입지향기법(input orientation)은 산출량이 고정된 상태에서 효율적인 업체가 되기 위해 절감해야 하는 투입량을 추정하는 기법으로 비용최소화를 추구하는 업체와 관련이 있으며, 산출지향기법(output orientation)은 투입물이 고정된 상태에서 효율적인 업체가 되기 위해 증가시켜야 하는 산출량을 측정하는 기법으로 산출극대화를 추구하는 업체와 관련이 있다.

둘째, 규모수익 가정에 따라 불변규모수익(constant returns scale, CRS)기법과 가변규모수익(variable returns scale, VRS)기법으로 구분된다. 먼저 불변규모수익기법은 최적규모, 즉 불변규모수익 상태이면서 생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 효율성을 측정하며, 가변규모수익기법은 규모수익에 관계없이 현재 규모 상태에서

4) Oum et al.(1999) 참조

생산성이 가장 높은 업체를 기준으로 효율성을 측정하는 기법이다. 따라서 불변규모수익 기법이 가변규모수익 기법보다 효율적인 업체수가 적게 도출된다.

셋째, 투입물이나 산출물을 조절할 때 기회비용이 발생한다면 제약처분성(weakly disposability)을 가정하며, 발생하지 않는다면 자유처분성(strongly disposability)을 가정한다.[5] 제약처분성을 가정한 경우가 자유처분성을 가정한 기법보다 생산영역이 상대적으로 감소하므로 효율적인 업체수는 더 많이 도출하게 된다.

넷째, 원점과 분석업체를 방사선으로 연결하고 그 방사선상에 있는 효율적인 점을 기준으로 효율성을 측정하는 방사적(radial) 측정기법과 방사선 상을 벗어나 더 효율적인 점이 있으면 그 점을 기준으로 측정하는 비방사적(non-radial) 측정기법이 있다. 전자는 조절대상(다수의 투입물 또는 다수의 산출물)이 동일한 비율로 조절이 가능한 반면, 후자는 동일하지 않다고 가정하여 측정한다.

이러한 기법을 적용하기 위해서는 우선 서울시 시내버스운송업의 특성을 고려할 필요가 있다. 첫째, 서울 시내버스 운송업은 운행스케쥴에 준하여 운행하고 있으며, 운영수입과는 상관없이 운행스케쥴에 제시되어 있는 운행거리 이하의 운행실적만큼 운영비용을 보장받는다. 따라서 버스업체는 운행거리를 극대화하기 보다는 운행스케쥴 하에서 투입물을 줄이려고 할 것이므로 투입지향 기법을 적용한다. 둘째, 서울시는 시내버스업체의 규모가 최적이 되도록 유도하고 있어서 장기적으로 업체의 규모를 조절할 수 있으므로 불변규모수익(CRS)기법[6]을 적용한다. 셋째, 정부의 규제 또는 노조 등으로 인해 초과 투입량을 처분하거나 사고나 대기오염을 줄이는데 비용[7]이 소요되므로 음이 되는 부분을 비효율성에서 제외하고 효율성을 측정하는 제약처분성을 가정한다. 넷째, 투입물별 그리고 사회적 비용을 발생시키는 사고나 대기오염 등의 절감 가능성은 현실적으로 동일하지 않으므로 비방사적 기법을 적용한다.

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

$$\overrightarrow{D_t^t}(x_o^t, y_o^t, b_o^t : -x_o^t, -b_o^t)_{CRS} = \tag{1}$$

$$max[\frac{1}{M+I} \times \{\sum_{m=1}^{M} \gamma_{om} + \sum_{i=1}^{I} \beta_{oi}\}] \tag{1a}$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{J} \lambda_j^t y_{jk}^t \geqq y_{ok}^t, \tag{1b}$$

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j^t b_{ji}^t = (1-\beta_{oi}) b_{oi}^t, \tag{1c}$$

$$\sum_{j=1}^{J} \lambda_j^t x_{jm}^t = (1-\gamma_{om}) x_{om}^t, \tag{1d}$$

$$\lambda_j^t \geqq 0, \tag{1e}$$

o : 시내버스업체, $j = 1,..,o,.,59$
y_{ok} : 유익한 산출물, $k = 1$
b_{oi} : 유해한 산출물, $i = 1 \ \ or \ \ 1,2$
x_{om} : 투입물, $m = 1,...,5$

여기서, y_{ok}는 o번째 업체의 k번째 산출물의 산출량, b_{oi}는 o번째 업체의 i번째 유해한 산출물의 산출량, x_{om}은 o번째 업체의 m번째 투입물의 투입량을, 그리고 λ_j는 가상적인 승수를 나타낸다. 식(1a)는 투입물과 유해한 산출물 각각의 절감 가능성을 산술평균한 목적함수 식으로서 0 이상의 값이 도출된다. 부등호는 자유처분성을, 등호는 제약처분성을 가리킨다. 따라서 산출물은 자유처분성을, 투입물과 바람직하지 않은 산출물은 제약처분성을 지닌다. 식(1b)는 유익한 산출물에 대한 식으로 고정되어 있음을 가리킨다. 식(1c)는 유해한 산출물에 대한 식으로 β만큼을 줄일 수 있으며, 식(1d)는 투입물을 γ만큼 줄일 수 있음을 의미한다. 또한 식(1)의 부등식에서 좌변에 있는 식은 생산변경을 구축하는 식으로 분석대상이 되는 모든 업체들로 구성되며, (1e)는 생산변경을 불변규모수익[8]인 업체들로 구성하도록 제약하며 분석대상이 되는 업체는 생산변경 내에 위치하고 있음을 의미한다.

기존의 자료포락분석기법이 효율 정도를 측정하였던 것과는 달리, 방향거리함수는 비효율 정도를 측정하기 때

5) Viton(1997) 참고.

6) 여기서 불변규모수익 가정은 모든 서울시내버스가 불변규모수익 상태에 있다는 것이 아니라, 효율성 측정의 기준인 생산변경 상에 위치하고 있는 업체들이 불변규모수익 상태이면서 투입물도 효율적으로 사용함을 의미한다. 즉, 생산변경 내에 위치하는 업체들은 현재 투입물을 효율적으로 사용하지 않거나 가변규모수익 상태일 때 비효율적으로 도출된다.

7) 서울시는 사고를 줄이기 위해서 부족한 인력을 더 확충하거나 안전운전 교육을 실시하며, 대기오염을 줄이기 위해 경유버스에는 대기오염절감장치(DPF)를 설치하거나 CNG차량으로 대체하는 등의 노력을 기울이고 있다.

8) 한편 가변규모수익을 가정하기 위해서는 $\lambda_j^t \geqq 0$대신 $\sum_{j=1}^{J} \lambda_j^t = 1$의 제약조건을 가한다.

문에 값이 0이면 효율적임을, 0을 초과하면 비효율적임을 의미한다. 선형계획식의 해는 시내버스업체별로 59회 추정하게 되며, 프로그램은 GAMS를 이용한다.

2. 토빗회귀분석

업체의 경영 효율성은 내부적인 요인에 의해 발생하나, 외생적인 요인에 의해 영향을 받기도 한다. 방향거리함수로부터 추정된 값은 0이상이므로, 종속변수를 제한된 범위 내에서 추정하는 식(2)의 토빗회귀식을 적용한다.

$$Z_l = \beta' P_l + \epsilon_l \quad (2a)$$

$$\hat{\hat{Z}}_l = 0, \ if \ \ \hat{Z}_l \leqq 0, \quad (2b)$$

$$\hat{\hat{Z}}_l = \hat{Z}_l, \ if \ \ \hat{Z}_l > 0 \quad (2c)$$

여기서 Z_l은 방향거리함수로부터 추정되는 비효율성 점수이며, β는 추정해야 하는 모수, P_l은 비효율성에 간접적인 영향을 줄 것으로 예상되는 요인, ϵ_l은 정규분포하는 백색오차(white noise), $\hat{Z}_l$과 $\hat{\hat{Z}}_l$은 토빗회귀식에 의한 중간 추정치와 최종추정치를 의미한다. 토빗회귀식의 적합성을 판단하는 수정 결정계수($\overline{R^2}$)와 유사한 형태의 지표가 이용된다.[9]

종속변수에 비효율성 점수가 대입되기 때문에 추정된 모수가 양의 부호가 나오면 해당 변수는 효율성에 부정적인 영향을 미치며, 음의 부호가 나오면 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 해석된다. 식은 EVIEWS 3.0을 이용하여 추정한다.

Ⅳ. 자료

1. 효율성의 분석자료

분석을 위해 서울의 입찰노선 운행업체를 포함한 59개 시내버스업체의 2005년 6월 한 달 동안의 횡단면 자료를 이용한다.

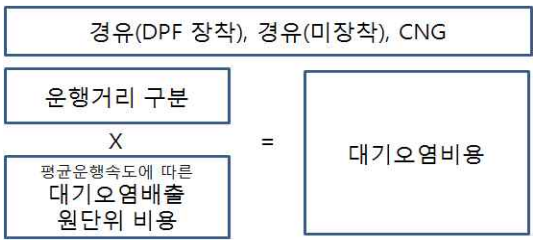
본 연구에서는 유익한 산출물로서 공급관련 지표인 운행거리와 유해한 산출물로서 안전성 관련 지표인 사고비용 및 쾌적성 관련 지표인 대기오염을 선택하여 산출물 대안을 2개로 구성하고 각 대안에 대한 분석을 수행한다.

각각의 산출물지표 대안별 자료포락분석에 사용된 투입물은 시내버스업체의 운영비용에서 많은 비중을 차지하는 운전, 정비, 관리, 차량, 연료로 구성되며, 산출물은 운행거리를 유익한 산출물로, 사고비용과 대기오염 비용을 유해한 산출물로 구성된다. 운전, 정비, 관리는 한 달 동안의 평균으로써, 각각 운전자수, 정비사수, 임직원수로 측정되며, 차량은 보유대수로, 연료는 서울시가 시내버스업체에게 지급한 경유와 CNG의 한 달 동안의 실제 연료지급비용을 사용하였다.[10] 운행거리는 한 달 동안의 합을 사용하였으며, 사고비용은 사상자수에 사망자와 부상자의 경중을 반영하기 위하여 심재익 성낙문(2006)이 추정한 사망자와 부상자 각각의 한 명당 사고비용을 적용하여 계산하였다.

대기오염비용은 시내버스업체별로 구축된 자료가 없어서 다음과 같은 절차로 추정하였다. 먼저 시내버스는 연료유형에 따라 대기오염의 배출량이 다르기 때문에 시내버스의 연료유형별 차량대수와 운행거리를 먼저 검토할 필요가 있었다. 현재 서울시는 대기오염을 줄이기 위하여 대·폐차하는 경유차량에 대하여 CNG차량으로 구입하도록 유도하고 있으며, 현재 운행 중인 경유차량에 대해서는 대기오염절감장치(DPF)를 장착하도록 하고 있다.[11] 따라서 업체별 차량을 CNG차량, 경유차량, DPF장착차량으로 구분하여 각 차량유형에 대한 대기오염 비용을 추정한다. 이때 대기오염비용을 추정하기 위하여 먼저 모든 차량의 내구연수, 경유차량의 DPF장착과 미장착 차량의 차량크기와 대당 운행거리는 동일하다고 가정하였다.[12]

다음으로 업체별로 운행스케줄에 제시되어 있는 노선별 운행시간과 운행거리를 이용하여 업체별 평균운행속도[13]를 계산한 후, 업체별 평균운행속도에 따른 대기오염배출원단위비용[14]을 경유차량, DPF장착 차량 및 CNG차량별로 각각 계산한다. 그리고나서 원단위비용을 앞서 계산

9) 편의상 수정결정계수로 나타내며, 보다 자세한 설명은 Veall과 Zimmermann(1994)를 참조한다.
10) 경유와 CNG의 단위가 다르므로 양적(quantity) 자료가 아닌 비용 자료를 사용하였다.
11) 서울시는 2010년 말까지 모든 차량을 CNG차량으로 대체할 계획이다.
12) 시내버스의 실제 운행거리는 노선별로 경유차량과 CNG차량을 구분하여 구축되어 있지만 DPF를 장착한 차량과 장착하지 않은 차량의 운행거리는 구분되어 있지 않으므로 차량수를 각각 구한 후 그 비율을 적용하여 운행거리를 구분하였다.
13) 서울시는 시내버스업체에게 노선의 운행환경을 반영한 운행시간, 운행거리, 배차간격, 운행횟수 등을 작성하여 제출하도록 하며, 검토 후 운행스케줄을 작성하여 이용자에게 배포한다. 따라서 현 상황이 충분히 반영되었다고 보고 운행스케줄에서 운행속도를 계산하여 대기오염배출 추정에 적용하였다.



<그림 2> 대기오염비용 추정절차

한 연료유형별 운행거리에 적용함으로써 각 업체의 대기오염배출비용을 추정한다.

한편, 오미영·김성수(2008)는 유익한 산출물로 운행거리와 승객수를 모두 적용하였는데 이는 시간의 흐름에 따른 경영 효율성 변화는 운행거리에 대한 투입량으로 반영되며, 전반적인 서비스 변화는 승객수에 반영된다고 보고 생산성 변화를 추정하였기 때문이다. 반면 본 연구에서는 유익한 산출물로 운행거리만을 적용하였는데, 그 이유는 시내버스업체가 승객수 뿐만 아니라 다른 운행환경을 모두 고려하여 최적의 운행계획을 작성하였다고 볼 수 있으며, 서비스 수준을 직접적으로 반영하는 사고비용과 대기오염비용을 고려하였기 때문이다. 또한 무엇보다도 업체에게 지급되는 운행비용이 운행거리에 따라 지급되기 때문이다[15].

자료는 <표 1>과 같으며 서울시 시내버스 운송조합과 서울시의 내부자료를 활용하였다.

이러한 자료를 바탕으로 식(1)에 적용하여 업체 수만큼의 선형계획의 해를 도출한다. 고려하는 산출물 지표에 따라 운행거리(A), 운행거리, 사고비용 및 대기오염비용(B)의 2개 대안으로 구분하고 비교·분석한다.

2. 효율성 영향요인의 분석자료

토빗회귀분석에 사용되는 변수는 정부나 업체가 조절할 수 있는 변수와 조절할 수 없는 변수로 구분할 수 있다. 조절할 수 있는 변수는 정비직원 비율, 보유대당 운행거리, 노선수, 노선평균연장, CNG차량의 비율로 구성하였으며, 조절할 수 없는 변수는 운행거리당 승객수로 구성하였다.

조절할 수 있는 변수로 첫째, 정비직원 비율은 전체 직원에 대한 정비직원의 비율로써 정비직과 정비직 이외의 직원이 효율성에 미치는 상대적인 영향과 정비 효율이 업체의 전체적인 효율성에 미치는 영향을 측정하기 위해 채택되었다.

둘째, 보유대당 운행거리는 한 달 동안의 운행거리를 보유대수로 나눈 값으로서, 업체가 운행하고 있는 노선들의 도로 운행여건을 간접적으로 반영한다. 따라서 보유대당 운행거리가 클수록 운행이 원활하게 이루어진다고 볼 수 있으며, 정차횟수가 적다는 것을 의미한다.

셋째, 노선수는 차량이나 종업원의 배치 및 스케쥴링의 효율여부와 관련이 있으며, 노선수가 많을수록 효율이 낮아질 것으로 예상된다.

넷째, 노선평균연장은 업체가 보유하고 있는 노선의 특성을 간접적으로 반영한다. 이 변수가 유의하며 효율성에 긍정적인 영향을 미친다면 단거리 노선보다는 장거리 노선이 더 효율적임을 의미한다.

다섯째, CNG차량 비율은 전체 보유대수에 대한 CNG차량의 비율로서 CNG차량은 주로 간선 또는 광역노선을 운영하며, 경유차량에 비해 내구연수가 적을 뿐만 아니라 대기오염도 적게 배출된다. 따라서 CNG차량의 비율이 높을수록 정비횟수가 적으며 대기오염도 적게 배출할 것이므로 효율성에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

여섯째, km당 승객수는 전체 운행거리에 대한 승객수

<표 1> 비효율성 추정에 사용되는 투입물과 산출물 자료의 특성

구분	투입물					산출물		
	운전(명)	정비(명)	관리(명)	차량(대)	연료(백만원)	운행거리(천km)	사고비용(천원)	대기오염비용 (백만원)
평균값	273	22	38	128	355	955	222,841	186
최대값	680	58	98	318	849	2,238	954,833	446
최소값	104	8	12	49	134	339	36,031	70
표준편차	113	10	18	54	157	425	179,461	87

14) 연료유형별 대기오염배출원단위는 먼저 '보조 철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 보완 연구(개정판)'의 2003년 경유버스의 대기오염 비용 원단위에 소비자 물가지수를 적용하여 2005년의 비용으로 환산한 후, '한국기계연구원(DPF연구실, http://dpf.kimm.re.kr)의 DPF장착 여부에 따른 대기오염 배출비율'과 '환경부 대기보전국의 교통환경계획과에서 제시(2005.5.18)한 경유와 CNG 배출계수 비율'을 참고하여 계산하였다.

15) 효율성 분석 논문들의 산출물 지표는 주로 보조금을 지급하는 기준 지표에 따라 결정되는 경향이 있다. McMullen and Noh(2007)은 미국의 보조금이 차량-마일, 승객-마일, 인구, 운행비용과 인구밀도를 고려하여 지급되기 때문에 차량-마일과 승객-마일 두 지표를 산출물 지표로 사용하였으며, Odeck and Alkadi(2001)은 노르웨이의 운영보조금은 좌석-km를 기준으로 지급되기 때문에 이를 산출물 지표로 사용하였다.

<표 2> 비효율성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들의 특성

구분	정비직원 비율	보유대당 운행거리 (km/대·한달)	노선수 (개)	노선평균연장 (km)	CNG차량 비율	km당 승객수 (명/km)
평균	0.064	7,455	6.2	37.3	0.222	2.407
최대값	0.095	11,134	17.0	67.9	1.000	3.350
최소값	0.045	5,836	3.0	17.5	0.000	0.896
표준편차	0.013	1,169	3.1	13.2	0.277	0.593

의 비율로서 승객수가 많다는 것은 승하차횟수가 많으며 지선을 운행할 확률이 많다는 것을 의미한다. 이는 운행속도가 낮고 정비를 더 자주 필요로 할 것으로 예상되어 효율성에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 토빗회귀식 추정에 사용되는 독립변수 자료의 특성은 <표 2>와 같다.

Ⅴ. 추정결과

1. 효율성의 추정결과

<부록 1>과 <그림 3>에서 보듯이 산출물 대안에 따라 업체의 비효율성 점수와 업체 간 순위는 다르게 나타났다.

산출물 대안에 따라 도출된 59개 시내버스업체의 비효율성 점수의 기술적 통계는 <표 3>과 같다. 유해한 산출물을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 효율업체수가 더 많음에도 불구하고 평균적으로 덜 효율적인 것으로 도출되었다. 그 이유는 평균적으로 투입물보다 유해한 산출물의 감소가능성이 크고, 업체 간 비효율성의 편차가 더 커졌기 때문이다.

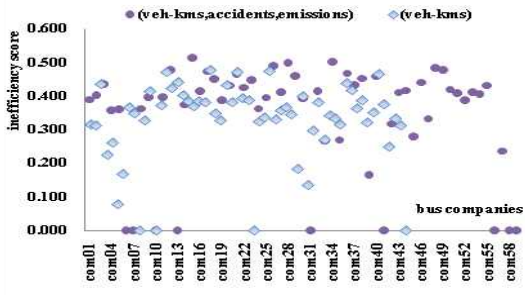
<표 3>에서 산출물 대안이 운행거리(A)인 경우 시내버스 업체들은 평균적으로 약 32.8%의 투입물을 줄일 수 있으며, 가장 비효율적인 업체는 약 47.9%를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 한편 오미영 외(2002)의 경우는 시내버스 업체들이 평균적으로 약 0.9%의 투입물을 줄일 수 있으며 최대 약 1.9%를 줄일 수 있는 것으로 측정하였다. 2002년의 연구와 차이가 큰 이유는 두 가지로 제시할 수 있다. 첫째, 2002년의 연구에서는 방사적 기법을 적용한 반면, 이번 연구에서는 비방사적 기법을 적용하여 비효율성이 더 크게 도출될 가능성이 있다. 둘째, 2002년의 시내버스운송업의 운영체제는 민영제로서 시내버스업체가 스스로 요금수입을 관리하고 그 수입에 준하여 운영을 해야 하는 상황이었다. 반면 2004년 이후부터는 준공영제로서 시내버스업체와 서울시가 공동으로 요금수입을 관리하고 운영실적에 따라 비용을 서울시가 보장해주고 있다. 따라서 서울시가 경영 효율과 관련하여 시내버스업체를 평가한다 하더라도 업체 간 비효율성의 편차는 더 커질 수 있는 여지가 있다. 민영제가 준공영제보다 업체 스스로 경영을 효율적으로 하고자 하는 동기 부여가 더 강하기 때문이다.

<표 3> 산출물 대안에 따른 비효율성 추정결과의 특성

구분	운행거리(A)	운행거리, 사고비용, 대기오염비용(B)
평균	0.328	0.343
최대값	0.479	0.514
최소값	0.000	0.000
표준편차	0.119	0.159
효율업체 수	4	9

하지만 2005년의 시내버스업체가 2002년보다 더 비효율적이라고 결론내릴 수는 없다. 이는 각 연도에 대한 효율업체를 기준으로 생산변경을 구축하여 상대적으로 측정하기 때문이다. 따라서 2005년의 업체가 2002년보다 더 효율적으로 변하였는지 또는 비효율적으로 변하였는지는 공통된 생산변경을 구축하여 분석하거나 생산성 변화를 분석함으로써 가능하다. 이에 대한 연구는 오미영 김성수(2008)를 참고한다.

산출물 대안별 효율 여부에 따라 업체들을 4개의 그룹으로 구분하여 <표 4>에 제시하였다. 1군은 산출물 대안 모두에서 효율적으로 추정된 업체들이며, 2군은 다른 업체들보다 사고비용 또는 대기오염이 많이 발생하는 업체들이다. 3군은 대기오염 또는 사고비용이 다른 업체들보



<그림 3> 산출물 대안별 비효율성의 분포

<표 4> 산출물 대안별 효율여부에 따른 군별 업체수

군	산출물 대안		업체명	업체수
	운행거리 (A)	운행거리, 사고비용, 대기오염비용(B)		
1	효	효	com10, com13, com31, com59	4
2	효	비	-	0
3	비	효	com6, com7, com41, com56, com58	5
4	비	비	위의 업체를 제외한 모든 업체	50

다 상대적으로 적게 발생하는 업체들이다. 반면, 4군은 모든 산출물 대안에서 비효율적으로 추정된 업체들로 경영을 비효율적으로 할 뿐만 아니라 안전성과 쾌적성 측면의 서비스 수준도 낮다고 볼 수 있다. 이는 비효율적인 업체들이 서비스 수준도 낮음을 의미한다. 따라서 4군에 속하는 업체들의 경영 및 서비스를 중점적으로 관리할 필요가 있다.

한편 <부록 1>의 업체 com56, com57, com58, com59는 입찰노선을 운행하는 업체들이다. 유해한 산출물을 고려하지 않을 경우 업체 com59만이 효율적인 것으로 나타났으나 유해한 산출물도 고려할 경우 다른 업체보다 비효율성이 줄어들었으며 순위도 올라갔다. 특히 사고비용과 대기오염비용도 모두 고려하였을 경우 4개 중 3개의 업체가 효율적인 것으로 나타났으며 나머지 한 개 업체도 상위 20%이내에 포함되었다. 운행노선 유형에 따른 업체들의 비효율성 평균은 <표 5>과 같이 입찰노선 운행업체가 일반노선 운행업체보다는 두 산출물 대안 모두에서 평균적으로 더 효율적이어서 안전성과 쾌적성 측면에서 우월한 수준의 서비스를 제공한다고 볼 수 있다.

2. 효율성 영향 요인의 추정결과

효율성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 6개 요인들의 상관관계를 분석한 결과, 노선평균연장은 CNG차량 비율, 보유대당 운행거리, km당 승객수 비율과 각각 양, 양 및 음의 높은 상관관계가 있었으며, km당 승객수는 보유대당 운행거리와 음의 높은 상관관계가 있었다. 따라서 노선평균연장과 km당 승객수는 제외하고 나머지 요인들이 효율성에 미친 영향을 살펴보았다.

토빗회귀식의 추정결과는 <표 6>과 같으며, 2개의 산출물 대안 모두 노선수를 제외한 모든 요인들의 계수추정

<표 5> 운행노선유형에 따른 업체들의 비효율성 평균

운행노선	운행거리 (A)	운행거리, 사고비용, 대기오염(B)
일반노선	0.3351	0.2688
입찰노선	0.2242	0.0586

<표 6> 효율성 영향요인의 추정결과

구분	운행거리(A)	운행거리, 사고비용, 대기오염비용(B)
상수	0.898 ***	1.023 ***
CNG 차량비율	-0.035 ***	-0.086 ***
보유대당 운행거리	-0.682 ***	-0.734 ***
정비사 비율	0.135 ***	0.114 **
노선수	0.008	0.013
로그우도값	86.643	42.62
수정결정계수($\overline{R^2}$)	0.842	0.723

주: ***는 1% 이상의 수준에서 유의함을 의미함.

치는 5%이상의 수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 계수 추정치의 부호들도 기대부호와 일치하며 모형의 적합도인 수정결정계수도 약 70% 이상으로 높게 나타났다.

<표 6>의 추정결과를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. CNG 차량의 비율이 높을수록, 보유대당 운행거리가 클수록, 정비사 비율이 차지하는 비율이 낮을수록 업체는 효율적인 것으로 나타났다. 이는 CNG차량이 많을수록, 차량운행이 원활할수록, 정비효율성이 높을수록 업체의 경영 및 안전성과 쾌적성의 서비스 수준도 높음을 의미한다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 방향거리함수를 통해 2005년 6월의 서울시내버스업체별 경영자료와 유해한 산출물인 사고비용과 대기오염의 자료를 이용하여 산출물 지표 대안에 따른 업체별 비효율성을 계산한 후, 비효율성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들을 토빗회귀분석을 통해 분석하였다. 이때 시내버스업체는 노동, 정비, 관리, 차량 및 연료를 투입하여, 공급측면을 반영하는 운행거리와 안전성과 쾌적성 측면의 서비스를 반영하는 사고비용 및 대기오염비용 등을 생산하는 기업형태로 상정하였다.

분석결과 시내버스업체는 운행거리만을 고려할 경우 평균적으로 투입물을 약 32.8% 감소시킬 수 있었다. 사고비용과 대기오염비용도 고려하였을 때는 이보다 더 감소시킬 수 있는 것으로 나타났는데, 이는 투입물을 더 줄일 수 있는 것이 아니라 사고비용과 대기오염비용을 투입물보다 더 줄일 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 한편 사고

비용과 대기오염비용도 고려하였을 때 고려하지 않았을 때보다 효율적인 업체수가 더 증가하였는데, 이는 사고비용이나 대기오염비용이 상대적으로 적게 발생하는 업체들은 증가하는 반면, 업체 간 편차는 더 커졌기 때문이다. 따라서 업체 간 편차를 줄일 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다.

입찰노선 운행업체들은 일반노선 운행업체들보다 더 효율적으로 운영하여서 투입물을 상대적으로 적게 사용할 뿐만 아니라 사고비용이나 대기오염비용도 적게 발생시켰다. 이는 노선입찰제를 확대시행함으로써 업체 간에 경영과 서비스를 경쟁하도록 해야 함을 의미한다.

효율성 영향요인 분석결과, CNG차량의 비율과 보유대당 운행거리를 높일수록, 정비사 비율을 낮출수록 효율성 향상에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 2010년까지 서울 시내버스를 100% CNG버스로 교체하며, 중앙버스 전용차로 설치를 확대할 계획이 있는 서울시의 정책에 부합한다고 볼 수 있다.

한편 본 연구의 향후 연구로는 크게 세 가지를 들 수 있다. 첫째, 대기오염비용을 추정할 때 많은 가정들을 부여하였다. 따라서 보다 현실에 가깝게 추정할 수 있도록 뒷받침할 수 있는 자료를 수집하여야 할 것이다. 둘째, 개편 후 시내버스업체들의 생산성 변화를 살펴볼 필요가 있다. 개편 후에도 서울시는 시내버스업체의 효율적인 경영과 운행서비스의 수준을 향상시키기 위한 평가를 지속해 왔으나 실제 생산성이 증가하였는지 그리고 바람직한 정책을 시행하고 있는지를 검증할 필요가 있다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제61회 학술발표회(2009.11.6)에서 발표된 내용을 수정.보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 오미영·김성수·김민정(2002), “자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석”, 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.59~68.
2. 오미영·김성수(2005), “서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화”, 대한교통학회지, 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.53~61.
3. 오미영·김성수(2008), “서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화(사고비용을 고려한 자료포락분석기법을 이용하여)”, 대한교통학회지, 제26권 제4호, 대한교통학회, pp.77~86.
4. 한국개발연구원(2004), “도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)”.
5. 한국교통연구원(2006), “2004년 교통사고비용 추정”.
6. 한국기계연구원(DPF 연구실), http://dpf.kimm.re.kr.
7. 환경부, http://www.me.go.kr/.
8. Chung Y. H., R. Fare and S. Grosskopf(1997), “Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach” Journal of Environmental Management, 51, pp.229~240.
9. 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.
10. 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, 12, pp.1~9.
11. Nolan, J. F. (1996), “Determinants of Productive Efficiency in Urban Transit” The Logistics and Transportation Review, 32, pp.319~342.
12. Odeck, J. and A. Alkadi (2001), “Evaluating Efficiency in the Norwegian Bus Industry Using Data Envelopment Analysis” Transportation, 28, pp.211~232.
13. Oum, T. H., W. G. Waters II and Chunyan Yu(1999), “A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport” Journal of Transport Economics and Policy, 33, pp.9~42.
14. Veall, M. R. and K. F. Zimmermann (1994), “Goodness of Fit Measures in the Tobit Model” Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 56, pp.485~499.
15. Viton, P. A. (1997), “Technical Efficiency in Multi-mode Bus Transit: A Production Frontier Analysis” Transportation Research B, 31, pp.23~39.
16. Viton, P. A. (1998), “Changes in Multi-mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992” Transportation, 25, pp.1~21.

♧ 주 작 성 자 : 오미영

<부록 1> 시내버스업체별 비효율성 추정결과 및 순위

업체명	운행거리		운행거리, 사고비용, 대기오염비용	
	비효율성	순위	비효율성	순위
com1	0.315	16	0.389	24
com2	0.312	14	0.403	29
com3	0.436	52	0.436	43
com4	0.224	9	0.357	17
com5	0.262	11	0.361	18
com6	0.080	5	0.000	1
com7	0.169	7	0.000	1
com8	0.368	34	0.362	19
com9	0.350	29	0.397	27
com10	0.000	1	0.000	1
com11	0.327	21	0.398	28
com12	0.416	48	0.477	53
com13	0.000	1	0.000	1
com14	0.373	36	0.374	21
com15	0.472	56	0.514	59
com16	0.424	50	0.416	36
com17	0.442	54	0.473	52
com18	0.403	47	0.451	46
com19	0.386	42	0.389	23
com20	0.369	35	0.432	41
com21	0.385	41	0.466	50
com22	0.381	39	0.425	39
com23	0.479	59	0.447	45
com24	0.348	28	0.362	20
com25	0.327	20	0.395	26
com26	0.434	51	0.490	56
com27	0.383	40	0.412	33
com28	0.472	56	0.499	57
com29	0.393	45	0.460	49
com30	0.387	43	0.392	25
com31	0.000	1	0.000	1
com32	0.324	19	0.414	35
com33	0.336	25	0.266	12
com34	0.475	58	0.502	58
com35	0.331	22	0.269	13
com36	0.358	31	0.467	51
com37	0.366	33	0.433	42
com38	0.344	27	0.452	47
com39	0.183	8	0.166	10
com40	0.401	46	0.458	48
com41	0.137	6	0.000	1
com42	0.297	13	0.317	15
com43	0.380	38	0.410	32
com44	0.271	12	0.416	37
com45	0.342	26	0.280	14
com46	0.334	24	0.440	44
com47	0.316	17	0.332	16
com48	0.438	53	0.483	55
com49	0.417	49	0.478	54
com50	0.364	32	0.420	38
com51	0.388	44	0.408	31
com52	0.321	18	0.387	22
com53	0.352	30	0.412	34
com54	0.464	55	0.405	30
com55	0.376	37	0.431	40
com56	0.250	10	0.000	1
com57	0.333	23	0.237	11
com58	0.314	15	0.000	1
com59	0.000	1	0.000	1

♧ 교 신 저 자 : 오미영
♧ 논문투고일 : 2010. 4. 19
♧ 논문심사일 : 2010. 5. 24 (1차)
2010. 6. 29 (2차)
♧ 심사판정일 : 2010. 6. 29
♧ 반론접수기한 : 2010. 12. 31
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필