

확률적 비용변경접근법을 이용한 서울 시내버스업체의 효율성 분석

노승원* · 김성수**

<目 次>

I. 서론	4. 효율성의 요인 분석방법
II. 관련 이론 및 선행연구의 고찰	IV. 자료 및 특성
1. 확률적 비용변경접근법의 이론 고찰	1. 비용함수모형의 추정에 사용된 자료
2. 선행연구의 고찰	2. 효율성의 요인 분석에 사용된 자료
III. 모형의 설정 및 추정방법	V. 추정결과
1. 비용함수모형의 설정	1. 비용함수모형의 추정결과
2. 오차항의 분포와 비용효율성의 추정방법	2. 효율성의 추정결과
3. 비용함수모형의 추정방법	VI. 결론

I. 서론

서울시의 시내버스 분담율은 소득 증가에 따른 승용차 보유대수 및 이용의 증가와 지하철 노선망의 확장 때문에 지속적으로 감소해 왔다. 이로 인해 시내버스업체의 적자폭이 증가함에 따라 비수익 노선에 대해서는 시내버스업체가 운행을 기피하는 현상마저 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 서울시는 2004년 7월부터 시내버스체계를 개편하고 준공영제를 도입하였다. 서울시의 버스체계 개편은 크게 버스노선체계 개편, 버스운영체계 개편, 대중교통 요금정책의 세 부분으로 나눌 수 있다.

이런 버스체계 개편 중에서 준공영제는 버스운영체계 개편에 해당하는 것으로, 현재 버스노선체계 개편 등과 함께 좋은 평가를 받고 있다. 그러나 버스업체에 적자가 발생하는 이유는 운행노선의 승객 감소와 불균등한 노선 배정 등의 이유가 있겠지만, 버스업체 자체의 효율적이지 못한 운영 또한 그 이유이다. 따라서 이 제도가 안정적이고 양질의 버스서비스를 제공하는 좋은

* 서울대학교 環境大學院 석사과정 졸업

** 서울대학교 環境大學院 教授

점을 갖추고 있지만 적자 보전을 위한 보조금 지급으로 자칫 효율적이지 못한 버스서비스 생산이 지속될 여지가 있다는 단점이 있다. 특히 버스업체에 제공되는 보조금이 서울시민의 세금으로 충당되고 있는 상황에서 업체 자체의 효율적이지 못한 운영에 기인하는 적자까지 보전해 주는 것은 문제라고 할 수 있다.

이에 본 연구는 버스업체의 적자유발 요인들 중 하나로 추론되는 버스업체의 효율성을 분석하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해 확률적 비용변경접근법을 이용하여 서울의 시내버스업체별 효율성을 추정하고자 한다. 이렇게 추정된 효율성을 토대로 시내버스업체별 효율성의 차이에 대한 요인분석을 하고, 버스노선체계 개편 방향과 준공영제 도입에 따른 보조금 지급제도를 비교하여 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구는 크게 두 부분으로 이루어진다. 먼저 유연한 초월대수(translog) 형태의 비용함수모형을 확률적 비용변경접근법을 이용해 추정하고, 시내버스업체별 효율성을 산정하고자 한다. 이러한 초월대수함수를 추정하는 데 있어서 추정의 효율성을 높이기 위해 결합일반화최소사승법(iterative seemingly unrelated regression)을 이용함으로써 비용함수로부터 도출된 생산요소비용비중식(cost share equation)을 비용함수와 연립방정식체계를 형성하여 동시에 추정하고자 한다. 다음으로 시내버스업체별 효율성에 간접적으로 영향을 주는 요인들을 설명하고, 이러한 요인들과 효율성과의 관계를 회귀식을 추정하여 분석하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서 확률적 비용변경접근법의 이론을 고찰한 후, 버스운송업에 대한 효율성 분석사례를 고찰하였다. 3장에서는 비용함수모형을 설정하고, 비효율성 관련 오차항의 분포를 반정규분포와 지수분포로 가정한 후 효율성 추정방법을 설명하였다. 또한 효율성의 요인 분석을 위한 회귀식을 설정한 후 추정방법을 설명하였고, 4장에서는 추정에 이용된 자료와 그 특성을 설명하였다. 5장에서는 비용함수모형과 효율성의 추정결과를 제시하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 이론 및 선행연구의 고찰

1. 확률적 비용변경접근법의 이론 고찰

비용함수는 비용과 산출량의 효율적 관계를 묘사하는 함수이다. 그러나 비용함수를 추정하는 데 있어서 보통의 회귀분석기법은 비용과 산출량의 효율적 관계보다는 평균적 관계를 추정하게 되므로, 그 추정결과는 비용함수의 이론적 정의와 부합되지 않는다. 그 이유는 생산과정의 비효율성으로 인해 관측되는 비용 자료는 최소비용과 차이가 있을 수 있기 때문이다.

확률적 변경접근법(stochastic frontier approach)은 Meeusen과 Broeck(1977), Aigner et al.(1977)에서부터 연구되기 시작하였다. 초기의 연구는 모두 확률적 생산변경(stochastic production frontier)에서 발전하기 시작했다. 여기서는 확률적 비용변경(stochastic cost frontier)을 상정하며, 이에 따

른 비용함수를 정의하면 식 (1)과 같다.

$$C_i = C(y_i, w_i; \beta) + \varepsilon_i \tag{1}$$

여기서 y_i 는 산출물, w_i 는 투입요소가격 벡터, β 는 추정해야 할 모수(parameter), ε_i 는 오차항이다. β 를 추정하기 위해서는 보통 오차항의 분포에 관한 가정을 하게 되는데, 확률적 비용변경은 오차항을 두 가지 오차로 구분하여 각각 다른 분포로 가정한다.

$$\varepsilon_i = v_i + u_i \tag{2}$$

여기서 v_i 는 기업의 외생적 충격(exogenous shock)에 의해 발생하는 오차로 양방향(two-sided)의 대칭 분포인 정규분포($N(0, \sigma_v^2)$)로 가정하고, u_i 는 기업의 비효율성을 나타내는 항상 양의 값을 갖는 일방향(one-sided)분포¹⁾를 가정한다. 비용함수를 다시 나타내면 식 (3)과 같다.

$$C_i = C_i^* + (v_i + u_i) \tag{3}$$

비용함수에서 관찰된 비용은 반드시 $C_i^* + v_i$ 보다 위에 존재해야 한다. 이는 u_i 가 비음일 경우 $C_i - (C_i^* + v_i) = u_i \geq 0$ 이기 때문이다. 따라서 최소비용변경(minimum cost frontier)은 $C_i^* + v_i$ 임을 의미하고, 최소비용변경 자체가 v_i 때문에 확률변수가 된다. 이러한 접근법은 최소비용변경이 기업의 관찰된 비용 밑에서 확률변수로서 변경을 형성하고 있다는 점에서 확률적 비용변경접근법이라고 한다.

본 연구에서는 이러한 확률적 비용변경접근법을 이용하고자 한다. 확률적 비용변경접근법을 이용하여 관찰되는 비용에서 비효율적인 비용을 도출하고, 이를 제거한 뒤에 비용과 산출량 간의 관계를 다시 추정하여 추정치의 정확성을 높이고 효율적인 산출량과 비용 간의 관계를 추정하고자 한다.

2. 선행연구의 고찰

버스업체의 효율성에 대한 선행연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 물론 국내보다 국외의 사례가 대다수를 차지하고 있고, 그 분석방법 또한 본 연구에 적용할 확률적 비용변경접근법 뿐만 아니라 자료포락분석기법(DEA) 등이 사용되었다. 자료포락분석기법을 이용하여 버스업체의 효율성을 분석한 연구로 국내에는 오미영·김성수(2002)와 외국의 Cowie와 Asenova(1999)을 살펴보고, 확률적 비용변경접근법을 이용한 연구로 Jorgensen et al.(1997)을 살펴보고자 한다.

오미영·김성수(2002)는 자료포락분석기법을 이용하여 시내버스업체들의 효율성을 분석하고, 토빗(Tobit)회귀식을 추정하여 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 분석에는 서울의

1) Aigner et al.(1977)에 의해 제안된 반정규분포와 지수분포, Stevenson(1980)에 의해 제안된 truncated normal 분포, Greene(1980)에 의해 제안된 gamma 분포들이 있다.

69개 시내버스업체들에 대한 1996년 자료를 이용하였다. 또한 시내버스업체는 노동(운전기사 및 행정직원 수), 차량, 유류, 정비(정비직원 수)의 네 가지 생산요소를 투입하여 두 종류의 두 가지 산출물, 즉 도시형버스-km와 좌석버스-km 또는 도시형버스와 좌석버스의 승객을 생산하는 기업 형태로 상징되었다. 추정결과 서울의 시내버스업체는 평균적으로 아주 작은 비율인 0.9% 정도의 투입물만을 절감할 수 있는 것으로 나타난 반면, 산출물인 승객수는 12.9% 정도 더 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 한편 이들 업체는 총직원에서 정비직원이 차지하는 비율이 낮을수록, 그리고 좌석버스의 보유비율과 운행속도가 높을수록 효율성은 높아지는 것으로 나타났다.

Cowie와 Asenova(1999)는 규모에 대한 수익과 기술적 효율성의 정도를 추정하기 위해 자료포락분석기법을 사용하였다. 또한 기술적 효율성을 경영 효율성과 구조적 효율성으로 나누고, 민영화 이후 버스업체의 소유구조별 평균적인 효율성을 비교하기 위해 Mann-Whitney 검정을 이용하였다. 영국 버스업체 141개의 1995-1996년 자료를 이용하여 분석한 결과 우선 작은 회사에서 규모에 대한 체증적 수익이 발견되나, 그 수익의 크기는 회사유형별로 다르게 나타났다. 또한 평균적인 기술적 효율성은 장·단기의 차이가 있지만 최소 56.9%(장기, 시립)에서 최대 71.6%(단기, 제한된 민영)로 나타나 상당히 비효율적으로 나타났다. 민영버스업체가 기술적으로 보다 효율적으로 나타났지만, 이런 민영버스업체에 상당한 경영 비효율성이 존재하기 때문에 비효율성이 소유형태를 반영하지는 않는다고 결론내리고 있다.

Jorgensen et al.(1997)은 노르웨이 버스업체의 비효율성 정도와 경쟁노선입찰제(competitive tendering)와의 관계를 구명하기 위해 노르웨이 버스업체 170개의 1991년 자료를 이용하여 코브-더글라스 비용함수를 추정하였다. 비효율성의 분포를 지수(exponential)분포와 반정규(half-normal) 분포로 가정하고 추정한 결과 지수분포의 경우 7.2%, 반정규분포의 경우 13.7% 정도의 비효율성이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 도출된 비효율성 추정치들을 소유구조와 보조금 지급방식의 더미 변수에 회귀시킨 결과 소유구조는 생산성에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 표준비용 기준을 도입해 보조금 액수를 결정하는 경우 비효율성이 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구는 국내에 사례가 없는 확률적 비용변경접근법을 이용하여 서울 시내버스운송업의 비용함수를 추정하고, 효율성을 분석하는 데 의의가 있다.

III. 모형의 설정 및 추정방법

1. 비용함수모형의 설정

실제 추정을 위해 본 연구는 유연한 초월대수함수형태의 비용함수를 이용하고자 한다. 이는 유연하지 않은, 즉 사전적인 제약(a priori restrictions)이 부과되는 함수형태를 이용하는 경우 이 함수형태의 적합성을 검증할 수 없으므로 도출되는 결과를 유의하다고 할 수 없기 때문이다. 초

월대수비용함수를 설정하기 전에 먼저 비용함수를 일반화하여 표시하면 식 (4)와 같다.

$$TC = TC(P_i, Y_q) \quad i, q = 1, \dots, n \quad (4)$$

여기서 TC 는 총비용, P_i 는 생산요소 i 의 가격, Y_q 는 산출물 q 의 산출량을 각각 나타낸다.

본 연구에서는 서울의 시내버스업체를 네 가지의 생산요소(노동, 유류, 정비 및 자본)를 투입해 세 가지의 이질적인 산출물(도시형버스-km, 좌석버스-km, 지역순환버스-km)을 생산하는 기업 형태로 상정하여 비용함수모형을 설정한다. 초월대수함수는 식 (4)의 모든 변수에 자연로그를 취한 비용함수로 변형시킨 후 테일러시리즈(Taylor series)로 전개하여 근사치화(approximation)하는 것으로, 2차항까지 테일러시리즈로 전개하면 식 (5)와 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} \ln TC_t = & a_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_{it} + \sum_q \beta_q \ln Y_{qt} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln P_{it} \cdot \ln P_{jt} \\ & + \frac{1}{2} \sum_q \sum_r \delta_{qr} \ln Y_{qt} \cdot \ln Y_{rt} + \sum_i \sum_q \phi_{iq} \ln P_{it} \cdot \ln Y_{qt} + u_t + v_t \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

TC_t : t 번째 업체의 총비용

P_{it} : t 번째 업체의 생산요소 i 의 가격

Y_{qt} : t 번째 업체의 산출물 q 의 산출량

i, j : l (노동), f (유류), m (정비), k (자본)

q, r : d (도시형버스-km), s (좌석버스-km), h (지역순환버스-km)

u_t : t 번째 업체의 비효율성으로 인한 일방향의 오차항

v_t : t 번째 업체의 백색잡음으로 인한 양방향의 오차항

식 (5)는 이차항의 테일러시리즈 전개를 통해 도출되므로 함수 $\ln TC$ 에 대한 헤시안 행렬이 대칭(symmetry)²⁾이어야 한다. 이는 식의 계수가 식 (6)의 조건을 충족해야 함을 의미한다.

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji}, \quad \delta_{qr} = \delta_{rq} \quad (6)$$

또한 식 (5)의 비용함수가 잘 정의된 생산기술을 반영하기 위해서는 생산요소가격에 대한 1차 동차성조건(homogeneous of degree one in input prices)³⁾을 만족해야 한다. 여기서 이 조건은 식 (5)의 모수에 대한 다음의 선형 제약조건으로 주어진다.

2) 여기서 대칭은 $\frac{\partial^2 TC}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 TC}{\partial y \partial x}$ 조건을 만족하는 것을 의미한다.

3) 이 조건은 비용함수에서 $TC(ap, y) = aTC(p, y)$ (단, $a > 0$)의 관계가 성립하는 것을 의미한다. 이 조건 때문에 추정해야 할 모수의 수가 제약조건의 수만큼 감소한다.

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i &= 1 \\ \sum_j \gamma_{ij} &= 0, \quad \text{for all } j = l, f, m, k \\ \sum_q \phi_{iq} &= 0, \quad \text{for all } q = d, s, h \end{aligned} \quad (7)$$

이러한 초월대수함수의 추정 효율성을 높이기 위해 결합일반화최소자승법(iterative seemingly unrelated regression)을 이용하여 비용함수와 연립방정식체계를 구성하여 동시에 추정하게 되는 생산요소비용비중식(cost share equation)⁴⁾은 Shephard의 정리(Shephard's lemma)⁵⁾에 따라 식 (8)과 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} S_i &= \frac{P_i X_i}{TC} = \frac{P_i}{TC} \cdot \frac{\partial TC}{\partial P_i} = \frac{\partial \ln(TC)}{\partial \ln(P_i)} \\ &= \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_{jt} + \sum_q \phi_{iq} \ln Y_{qt} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 X_i 는 생산요소 i 의 비용극소화투입량을 나타낸다.

2. 오차항의 분포와 비용효율성의 추정방법

본 연구는 확률적 비용변경접근법을 이용하여 초월대수형태의 비용함수를 추정하기 때문에 오차항($\varepsilon_i = u_i + v_i$)의 분포를 가정해야 한다. 본 연구에서는 오차항 확률변수의 분포에 관해 Aigner et al.(1977)과 같이 v_i 는 평균이 0이고 분산이 σ_v^2 인 정규분포로 가정하고, u_i 에 대해서는 평균이 0이고 σ_u^2 인 반정규(half-normal)분포와 지수(exponential)분포로 가정한다. 또한 u_i 와 v_i 는 독립임을 가정하고, 이런 가정 하에서 오차항의 분포를 다시 설정하게 된다.

반정규분포와 지수 분포의 차이는 전자는 매우 효율적인 해와 매우 비효율적인 해가 모두 없는 경우에 적합한 반면, 후자는 매우 비효율적인 해와 매우 효율적인 해가 공존하는 경우에 적합한 데 있다. 본 연구는 두 가지 분포를 모두 적용하여 효율성을 분석하고자 하는데, 그 이유는 시내버스업체들이 평균적인 효율성을 나타내는지 또는 효율성의 차이가 크지를 미리 알 수 없기 때문이다.

또한 각 업체의 비효율성을 나타내는 오차항 \hat{u}_i 는 Kumbhakar와 Lovell(2000)에 따라 다음과 같이 복합오차항 추정치($\hat{\varepsilon}_i$)에 대한 조건부확률분포의 기대값($E(u_i | \hat{\varepsilon}_i)$) 또는 최빈값($M(u_i | \hat{\varepsilon}_i)$)에 의해 구할 수 있다. 이 값들은 반정규분포를 가정하는 경우 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

4) 요소가 n 개라면 생산요소비용비중식도 n 개가 도출된다. 그러나 n 개의 생산요소비용비중식 간에는 $\sum S_i = 1$ 이 성립하기 때문에 추정시 선형 종속관계가 발생한다. 따라서 하나를 제외하여야 하는데, 본 연구에서는 자본요소의 비용비중식을 제외하였다.

5) Shephard의 정리는 비용함수를 어떤 임의의 생산요소가격에 대하여 편미분한 값은 임의의 생산요소 투입량과 동일하다는 정리이다.

$$E(u_i|\varepsilon_i) = \frac{\sigma_u \sigma_v}{\sigma} \left[\frac{f^*(\varepsilon_i \lambda / \sigma)}{1 - F^*(-\varepsilon_i \lambda / \sigma)} + \left(\frac{\varepsilon_i \lambda}{\sigma} \right) \right] \quad (9)$$

$$M(u_i|\varepsilon_i) = \varepsilon_i (\sigma_u^2 / \sigma^2) \quad \text{if } \varepsilon_i \geq 0 \\ = 0 \quad \text{if } \varepsilon_i < 0$$

여기서 $\varepsilon_i = u_i + v_i$, $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$, $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ 이며, f^* 와 F^* 는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수 및 확률누적함수이다.

또한 지수분포를 가정하는 경우에는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$E(u_i|\varepsilon_i) = \sigma \left[\frac{f^*(A)}{F^*(-A)} - A \right] \\ M(u_i|\varepsilon_i) = \bar{u}_i \quad \text{if } \bar{u}_i \geq 0 \\ = 0 \quad \text{if } \bar{u}_i < 0 \quad (10)$$

여기서 $A = -\bar{u} / \sigma_v$, $\bar{u} = \varepsilon - (\sigma_v^2 / \sigma_u)$ 이다.

위에서 구한 \hat{u}_i 의 조건부 기대값 또는 회빈값으로부터 각 업체의 비용효율성(cost efficiency, CE_i)은 식 (11)과 같이 구한다. CE_i 는 1부터 무한대까지의 값을 가지며, 1의 값을 가질 때 완전 비용 효율적이다. 따라서 비용 비효율성은 $CE_i - 1$ 로 구할 수 있다.

$$CE_i = \exp(E(u_i|\varepsilon_i)) \\ CE_i = \exp(M(u_i|\varepsilon_i)) \quad (11)$$

3. 비용함수모형의 추정방법

본 연구에서는 앞에서 언급했듯이 비용함수의 오차항을 비효율성으로 인한 일방향의 오차항과 백색오차로 인한 양방향의 오차항으로 구분하여 추정한다. 비용함수모형을 추정하는 방법은 수정최소자승법(COLS, corrected ordinary least squares)과 최우추정법(MLE, maximum likelihood estimation)이 있다. 본 연구에서는 수정최소자승법을 이용하는데, 그 이유는 관찰점이 적은 경우 수정최소자승법이 최우추정법보다 효율적인 추정치를 제공하는 것으로 알려져 있고 최우추정법은 방법이 복잡하다는 단점이 있기 때문이다.⁶⁾

수정최소자승법은 통상적인 회귀분석을 통해서 도출된 잔차들의 적률(moments)을 이용하여 계수를 추정하는 방법이다. 수정최소자승법의 단계를 설명하면 다음과 같다.

먼저 1단계에서는 결합일반화최소자승법을 이용하여 비용함수모형을 추정한다. 이 추정결과

6) Olson et al.(1980), p. 74.

로부터 얻어지는 잔차를 이용하여 잔차의 2차 적률(m_2)과 3차 적률(m_3)을 계산한다. Weinstein(1964)은 다음과 같은 관계가 있음을 보였다.

$$\begin{aligned} \mu &= E(u) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_u \\ \sigma_u^2 &= \left[\sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{\pi}{4-\pi} \right) m_3 \right]^{2/3} \\ \sigma_v^2 &= m_2 - \left(\frac{\pi-2}{\pi} \right) \sigma_u^2 \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $m_r = \frac{1}{n} \sum_t \varepsilon_t^r$ 인데, 결합일반화최소자승법의 오차항 ε 를 이용하면 m_2 와 m_3 의 추정치 \widehat{m}_2 와 \widehat{m}_3 을 구할 수 있다. 또 이로부터 μ , σ_u^2 , σ_v^2 에 대한 추정량 $\widehat{\mu}$, $\widehat{\sigma}_u^2$, $\widehat{\sigma}_v^2$ 를 구할 수 있다. 그러나 추정과정에서 $\widehat{m}_3 < 0$ 이면 $\widehat{\sigma}_u^2 < 0$ 이 되고, $\widehat{m}_2 < \frac{\pi-2}{\pi} \widehat{\sigma}_u^2$ 이면 $\widehat{\sigma}_v^2 < 0$ 이 되므로 $\widehat{\sigma}_u^2$ 과 $\widehat{\sigma}_v^2$ 이 정의되지 않을 수 있다.⁷⁾

각 업체의 비효율성 오차항 \widehat{u}_t 는 앞에서 설명한 것과 같은 방법으로 계산된다. 이렇게 계산된 업체별 \widehat{u}_t 으로 비용함수를 식 (13)과 같이 조정한다. 이렇게 조정된 비용함수는 측정오차와 외생적 충격만을 포함하는 확률적 비용변경이 된다.

$$\ln C_t - \widehat{u}_t = \ln C_t^*(y_t, w_t) + v_t \quad (13)$$

2단계 추정에서는 조정된 비용함수와 1단계에서 사용한 생산요소비용비중식으로 구성된 연립 방정식체계의 비용함수모형을 다시 결합일반화최소자승법으로 추정한다. 2단계 추정모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln C_t - \widehat{u}_t &= \ln C_t^*(y_t, w_t) + v_t \\ S_{ij} &= S_j^*(y_t, w_t) + e_{ij} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 $j = 1, \dots, M-1$ $t = 1, \dots, N$

4. 효율성의 요인 분석 방법

업체의 생산과정에 간접적으로 영향을 미치고 업체 간 효율성 차이의 원인으로 예상되는 요인들의 특성을 분석하기 위해 회귀식을 설정한다. 앞에서 추정한 비용효율성을 종속변수로 하고, 비용효율성에 영향을 주는 업체의 특성들을 독립변수로 하여 회귀식을 추정한다.

$$CE_t = \beta X_t + \varepsilon_t \quad (15)$$

여기서 CE_t 는 비용효율성, β 는 추정될 모수의 벡터, X_t 는 독립변수의 벡터이고, ε_t 는 오차

7) 이에 대한 자세한 논의는 Olson et al.(1980)을 참조.

항이다. 통상적 최소자승법(Ordinary Least Squares)을 이용해 β 를 추정하고, 회귀식의 적합도는 수정결정계수로 판단한다.

IV. 자료 및 특성

1. 비용함수모형의 추정에 사용된 자료

비용함수모형을 추정할 때 사용된 자료는 서울의 54개 시내버스업체에 대한 2003년의 횡단면 자료이다. 이는 시내버스업체의 경영상태를 분석하기 위해 구축된 서울시 내부 자료로서 시내버스업체별 종사원수, 보유대수, 운행거리 및 운송원가명세서와 손익계산서로 구성되어 있다. 이 자료에서 운행거리, 운송원가명세서와 손익계산서는 1년 자료로 구축되었지만 종사원수와 보유대수는 12월의 1개월 자료로 구축되어 있다.⁸⁾ 본 연구에서 사용된 자료는 총비용 자료, 산출량 자료, 생산요소가격 자료의 세 가지로 분류된다.

우선 총비용 자료는 시내버스업체가 모든 생산요소의 투입량을 최적으로 조절할 수 있다고 가정하기 때문에 4가지의 요소비용을 합하여 구하였다. 먼저 노동비용은 운전기사와 관리직원의 임금과 복리후생비를 합하여 구하였으며, 유류비용은 유류비와 천연가스비를 합하여 구하였다. 정비비용은 정비직원의 임금과 복리후생비를 정비비(타이어비와 차량정비비)에 합해 구하였다. 마지막으로 자본비용은 차량감가상각비에 차량보험료, 벌과금, 사고보상비를 더해 구하였다. 시내버스업체들의 총비용 자료를 개관하면 <표 1>과 같다.

또한 비용함수모형을 추정하기 위해서는 생산요소비용비중식을 구성하여야 한다. 이때 요소비용비중은 생산요소별 비용을 총비용으로 나누어 구하였다. 이렇게 계산된 요소비용비중의 업체 전체 및 규모별 평균과 최대, 최소값은 <표 2>와 같다.

<표 1> 업체규모별 총비용 자료의 개요

(단위: 억원)

구분	업체수	평균	최대값	최소값
전체	54	173.1	452.7	54.7
상위 30%	16	270.4	452.7	176.1
중위 40%	22	161.4	253.4	103.6
하위 30%	16	91.9	109.0	54.7

주: 상위, 중위 및 하위 구분의 기준은 총산출량(도시형, 좌석 및 지역순환버스의 운행거리 합)임.

8) 시내버스업체별 종사원수와 보유대수의 1년 평균 자료를 구축할 수 없었기 때문에 2003년 12월의 1개월 자료를 1년 평균 자료로 가정하여 추정에 사용하였다.

〈표 2〉 업체규모별 요소비용비중 자료의 개요

구분		업체수	평균	최대값	최소값
전체	노동	54	0.597	0.680	0.481
	유류		0.232	0.294	0.183
	정비		0.074	0.113	0.037
	자본		0.096	0.156	0.060
상위 30%	노동	16	0.578	0.637	0.481
	유류		0.244	0.294	0.212
	정비		0.072	0.101	0.037
	자본		0.107	0.149	0.071
중위 40%	노동	22	0.606	0.680	0.526
	유류		0.229	0.259	0.188
	정비		0.073	0.095	0.042
	자본		0.092	0.156	0.060
하위 30%	노동	16	0.604	0.657	0.569
	유류		0.225	0.260	0.183
	정비		0.078	0.113	0.061
	자본		0.092	0.120	0.066

주: 상위, 중위 및 하위 구분의 기준은 총산출량임.

산출량 자료는 도시형버스-km, 좌석버스-km 및 지역순환버스-km의 세 가지를 사용하였다. 비용함수모형의 추정시 사용한 자료는 산출물별 산출량을 평균값을 기준으로 정규화해서 산정한 지수 자료이다.

생산요소가격 자료는 총비용을 산정할 때 사용한 요소비용 자료를 이용한다. 그러나 비용함수를 추정할 때 요소비용을 그대로 사용하지 않고 요소투입량으로 나누어 단위가격으로 변환시킨 뒤 그 평균값으로 나누어 정규화한 지수 자료를 사용한다. 노동요소 투입량은 운전기사와 관리 및 임원직 직원 수의 합으로 산정하였다. 또한 유류요소 투입량은 총버스-km를 사용하는 대신 각 버스유형의 경유 1리터당 운행거리⁹⁾를 기준으로 산정한 도시형환산 버스-km를 사용하였다. 마지막으로 정비요소와 자본요소 투입량은 정비직 직원수와 보유차량대수를 각각 사용하였다.

9) 오미영(2004)은 경유 1리터당 운행거리를 도시형버스 2.352(km/ℓ), 좌석버스 2.361(km/ℓ), 중형버스 2.998(km/ℓ)로 제시하였다.

〈표 3〉 산출량과 요소가격 자료의 개요

구분		단위	최대값	최소값	평균
버스유형별 산출량	도시형	천버스-km	26,603	2,601	10,357
	좌석		14,812	0	2,117
	지역순환		4,958	0	720
	총산출량		35,395	4,691	13,494
총보유대수		대	357	50	138.4
요소 단위 가격	노동	백만원	45.1	21.1	30.1
	정비		114.5	37.1	58.8
	자본		20.6	7.5	12.1
	유류	원	460.5	222.5	304.9

〈표 4〉 업체규모별 산출량의 특성

구분	산출량 구성비율(%)	버스유형별 보유비율(%)	평균총비용(원/버스-km)	
전체	도시형	81.8	82.2	1,300.6
	좌석	12.1	10.9	
	지역순환	6.1	6.9	
	계	100.0	100.0	
상위 30%	도시형	72.7	74.2	1,216.8
	좌석	23.2	20.6	
	지역순환	4.1	5.2	
	계	100.0	100.0	
중위 40%	도시형	82.9	82.8	1,357.6
	좌석	11.9	10.9	
	지역순환	5.2	6.3	
	계	100.0	100.0	
하위 30%	도시형	89.5	89.4	1,306.1
	좌석	1.2	1.3	
	지역순환	9.3	9.3	
	계	100.0	100.0	

주: 상위, 중위 및 하위 구분의 기준은 총산출량임.

〈표 3〉은 산출량 자료와 요소가격 자료의 최대, 최소, 평균값을 정리한 것이다.

시내버스업체들의 산출량 규모와 산출량 구성비율, 버스유형별 보유비율, 평균총비용의 관계는 〈표 4〉에 나타나 있다. 이 표에서 확인할 수 있는 것처럼 버스-km당 평균총비용은 산출량 규모가 클 때 가장 낮은 것을 알 수 있다. 또한 산출량 규모가 클 때 산출물의 구성비율은 도시형 버스의 비율이 낮고, 좌석버스의 비율이 높은 것으로 나타났다.

2. 효율성의 요인 분석에 사용된 자료

본 연구의 두 번째 단계인 효율성이 업체의 경영, 노선, 운행환경 특성들과 어떠한 관계가 있는지를 밝히기 위해 회귀분석의 독립변수로 사용된 요인들의 개요는 〈표 5〉와 같다.

정비직 비율과 보유대당 정비원수, 보유대당 운전자수는 업체의 경영 특성을 반영하고, 보유대당 운행거리, 좌석버스 운행거리비율, 대-km당 유류비는 시내버스업체가 운행하는 노선의 특성을 반영하는 변수로 생각할 수 있다. 마지막으로 대-km당 승객수는 시내버스업체가 조절할 수는 없지만 승·하차에 따른 혼잡과 관련이 있으므로 운행환경 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있다.

회귀분석에 사용되는 독립변수들이 많을수록 결정계수나 로그우도값은 높아지지만, 변수들 간에 상관관계가 있을 경우 다중공선성이 존재하기 때문에 회귀분석을 시행하기 앞서 변수들 간의 상관관계를 분석하였다. 〈표 6〉은 상관관계 분석을 통해 회귀분석에 사용할 독립변수와 기대부호를 나타낸 것으로 음의 부호는 효율성에 양의 영향을 주는 변수이며, 양의 부호는 효율성에 음의 영향을 주는 변수를 의미한다. 이는 앞에서 설명한 것처럼 비용효율성(CE)이 1부터 무한대까지의 값을 가지며, 1의 값을 가질 때 완전 비용효율적이기 때문이다.

〈표 5〉 효율성의 요인 분석에 사용된 독립변수자료의 개요

변수	최대값	최소값	평균값	표준편차
정비직 비율(%)	9.81	2.02	6.20	1.49
보유대당 운행거리(천km)	141.85	79.28	97.28	12.44
좌석버스 운행거리비율(%)	69.07	0.00	12.11	19.54
대-km당 승객수(명)	2.61	1.00	2.00	0.37
보유대당 운전자수(명)	2.53	1.69	2.16	0.19
보유대당 정비원수(명)	0.24	0.05	0.17	0.04
대-km당 유류비(원)	460	217	301	38

〈표 6〉 효율성의 요인 분석에 사용된 독립변수들의 기대부호

구분	보유대당 운행거리	보유대당 운전자수	보유대당 정비원수	대-km당 유류비
기대부호	+, -	+	+	+

V. 추정결과

1. 비용함수모형의 추정결과

비용함수모형의 추정과정에서 함수형태에 관한 세 가지 가설을 설정하고, 이를 검정함으로써 설정한 모형의 타당성을 검증하였다. 앞에서 설정한 비용함수형태에 동조성(homotheticity), 동차성(homogeneity) 및 Cobb-Douglas 생산기술에 관한 제약조건을 부과한 함수형태를 검정하였다. 그 결과 〈표 7〉에서 볼 수 있는 것처럼 동조성, 동차성 및 Cobb-Douglas 형태의 생산기술에 관한 가설은 모두 기각되었다.

따라서 초월대수형태의 비용함수를 그대로 추정에 이용하였다. 또한 본 연구는 수정최소자승법을 이용해 1단계와 2단계 추정으로 이루어지기 때문에 추정결과 역시 1단계와 2단계로 나누어 제시한다. 비효율성을 제거하기 전의 1단계 추정결과와 비효율성을 제거한 후의 2단계 추정결과를 〈표 8〉에 각각 제시하였다. 이 때 2단계 추정결과는 비효율성 오차항의 가정이 반정규분포인 경우와 지수분포인 경우로 나누어 제시하여야 하지만, 결과 값에 큰 차이가 없으므로 반정규분포인 경우만 제시하였다. 〈표 8〉에서 볼 수 있는 것처럼 추정계수들 중 대부분은 1% 수준에서 유의하며, 수정결정계수도 높은 값을 보이고 있다.

2. 효율성의 추정결과

서울 시내버스업체의 비효율성 오차항은 복합오차항 추정치($\hat{\epsilon}_i$)에 대한 조건부확률분포의 기대값($E(u_i | \hat{\epsilon}_i)$)을 이용하여 계산하였다. 또한 비효율성 오차항에 대한 가정이 반정규분포인

〈표 7〉 생산기술에 관한 가설 검정결과기대값

가설	우도비 검정통계량	n_{R1}	$\chi^2(n_R)$ (유의수준 1%)	검정결과
동조성	25.950	9	21.66	기각
동차성	120.821	15	30.57	기각
Cobb-Douglas	262.195	21	38.93	기각

주: 1) 0으로 제약되는 모수의 개수임.

〈표 8〉 비용함수모형의 추정결과

모수	1단계			2단계		
	추정치	t-통계량		추정치	t-통계량	
α_0	23.560	745.783	***	23.522	805.881	***
α_1	0.586	90.138	***	0.586	90.162	***
α_f	0.236	46.279	***	0.236	46.294	***
α_m	0.077	20.687	***	0.077	20.680	***
α_k	0.101	6.564	***	0.101	6.566	***
β_d	0.212	10.767	***	0.211	10.725	***
β_s	0.150	11.741	***	0.150	11.731	***
β_h	0.028	4.261	***	0.028	4.266	***
γ_{ll}	0.077	0.796	***	0.077	0.795	***
γ_{ff}	-0.134	-9.667	***	-0.134	-9.635	***
γ_{mm}	-0.007	-0.814	***	-0.007	-0.821	***
γ_{kk}	-0.070	-1.663		-0.070	-1.655	
γ_{lf}	-0.015	-2.442	***	-0.015	-2.442	***
γ_{lm}	-0.001	-0.020		-0.001	-0.026	
γ_{lk}	-0.006	-0.267	*	-0.006	-0.265	*
γ_{fm}	0.584	14.698	**	0.586	15.977	**
γ_{fk}	0.222	11.355		0.222	12.322	
γ_{mk}	0.072	6.480		0.073	7.024	
δ_{dd}	0.403	7.408	***	0.400	7.969	***
δ_{ss}	0.031	10.563	***	0.031	11.472	***
δ_{hh}	0.010	6.074	***	0.010	6.594	***
δ_{ds}	-0.021	-7.660	***	-0.021	-8.263	***
δ_{dh}	-0.009	-3.006	***	-0.009	-3.180	***
δ_{sh}	0.000	-1.390		0.000	-1.555	
ϕ_{ld}	0.001	0.121		0.001	0.136	
ϕ_{ls}	-0.002	-3.090	***	-0.002	-3.105	***
ϕ_{lh}	0.001	1.497		0.001	1.492	
ϕ_{fd}	0.007	1.180		0.006	1.166	
ϕ_{fs}	0.001	2.667	***	0.001	2.684	***
ϕ_{fh}	-0.001	-2.579	***	-0.001	-2.572	***
ϕ_{md}	-0.007	-1.687	*	-0.007	-1.686	*
ϕ_{ms}	0.000	0.692		0.000	0.685	
ϕ_{mh}	0.000	0.935		0.000	0.929	
ϕ_{kd}	-0.001	-0.039		-0.001	0.000	
ϕ_{ks}	0.000	0.254		0.000	0.257	
ϕ_{kh}	0.000	0.000		0.000	0.002	
	수정결정계수					
	1단계			2단계		
비용함수	0.906			0.920		
노동비용비중식	0.545			0.545		
유류비용비중식	0.099			0.099		
정비비용비중식	0.071			0.071		

주: t-통계량의 ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 유의함을 각각 의미함.

경우와 지수분포인 경우로 나누어 각각 계산하였다. 그 결과 서울의 시내버스업체들은 평균적으로 반정규분포를 가정할 경우 3.65%, 지수분포를 가정할 경우 4.08%만큼 비효율적이었던 것으로 추정되었다. 서울의 시내버스업체별 비효율성을 효율성 순위에 따라 상·중·하위로 나누어 요약하면 <표 9>와 같다.

시내버스업체별로 비효율성을 추정한 결과 전자의 경우 최대 5.87%에서 최소 2.03%로 나타났고, 후자의 경우 최대 9.34%에서 최소 1.75%로 나타났다. 전자는 효율적인 업체와 비효율적인 업체의 차이가 크지 않게 나타났고, 후자는 그 차이가 크게 나타난 것으로 앞에서 설명한 각 분포의 특징을 잘 나타내는 결과라고 할 수 있다.

다음으로 효율성 순위와 시내버스업체들의 규모와의 관계를 알아보기 위해 효율성 순위별 버스 보유대수를 살펴보았다. <표 10>을 보면 효율성 상위 업체들의 평균보유대수가 중·하위 업체들에 비해 더 많음을 알 수 있으나, 효율성 순위와 보유대수 사이에 뚜렷한 관계를 찾을 수는 없었다.

<표 9> 효율성 순위별 비효율성 추정결과

구분	업체수	분포	평균	최대값	최소값
전체	54	반정규	3.65	5.87	2.03
		지수	4.08	9.34	1.75
상위 30%	16	반정규	2.84	3.19	2.03
		지수	2.73	3.19	1.75
중위 40%	22	반정규	3.50	3.89	3.19
		지수	3.65	3.19	4.30
하위 30%	16	반정규	4.66	5.87	3.92
		지수	6.03	9.34	4.35

<표 10> 시내버스업체의 효율성 순위별 버스보유대수

구분	업체수	평균	최대값	최소값
전체	54	138	357	50
상위 30%	16	154	357	50
중위 40%	22	125	250	59
하위 30%	16	141	285	65

〈표 11〉에는 서울 시내버스업체들의 비효율적 비용을 정리하였다. 평균적으로 반정규분포를 가정할 경우 보유대당 458만원, 지수분포를 가정할 경우 513만원으로 나타났다. 시내버스업체들의 비효율적 비용은 평균적으로 전자의 경우 업체당 6.3억원, 후자의 경우 7.1억원으로 나타났다.

〈표 12〉는 효율성이 높은 상위 50%에 포함된 업체들과 효율성이 낮은 하위 50%에 포함된 업체들의 업체별 비효율적 비용에 관한 분석결과를 나타낸 것이다. 이를 보면 효율성 상위 50% 업체들도 평균 5억원 이상의 비용이 비효율적으로 사용되었음을 알 수 있다.

〈표 11〉 시내버스업체의 효율성 순위별 보유대당 비효율적 비용

(단위: 백만원)

구분	업체수	분포	평균	최대값	최소값
전체	54	반정규	4.58	9.36	2.52
		지수	5.13	13.27	2.17
상위 30%	16	반정규	3.51	4.46	2.52
		지수	3.38	4.36	2.17
중위 40%	22	반정규	4.44	5.50	3.66
		지수	4.63	5.69	3.69
하위 30%	16	반정규	5.83	9.36	4.59
		지수	7.56	13.27	5.14

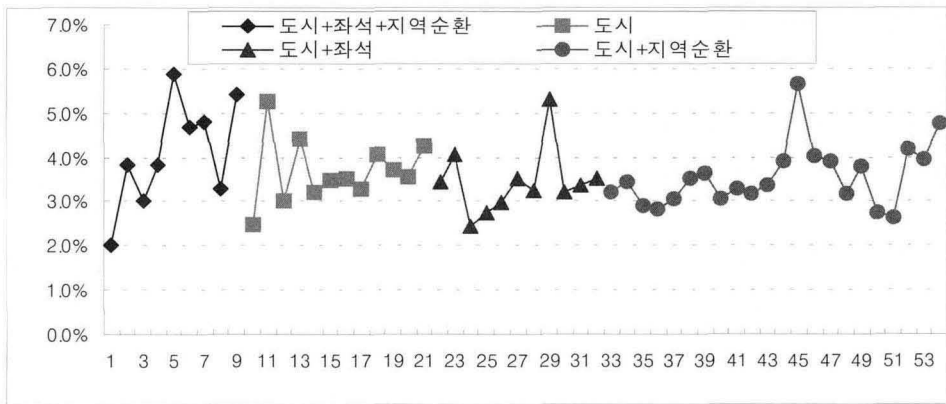
〈표 12〉 시내버스업체의 효율성 순위별 비효율적 비용

(단위: 백만원)

구분	업체수	분포	평균	최대값	최소값
전체	54	반정규	634	1,817	136
		지수	712	2,643	125
상위 50%	27	반정규	539	1,365	136
		지수	533	1,335	125
하위 50%	27	반정규	728	1,817	350
		지수	891	2,643	375

또한 <그림 1>과 <표 13>에 시내버스업체들의 운행특성별로 비효율성 추정결과를 정리하였다. 운행하는 버스유형별로 업체를 구분하여 각 업체의 비효율성 추정치를 나타내면 <그림 1>과 같다. 효율적인 업체와 비효율적 업체가 네 개의 운행특성 그룹에 혼재하여 같은 운행특성을 갖는 버스업체들 간에도 비효율성이 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 <표 13>에서 볼 수 있는 바와 같이 평균적인 비효율성을 살펴보면 도시형버스와 좌석버스를 함께 운행하는 시내버스업체들이 가장 낮게 나타났다. 또한 세 유형의 버스를 모두 운행하거나 도시형버스 하나만을 운행하는 업체에 비해 도시형버스와 좌석버스 또는 도시형버스와 지역순환버스 등의 두 가지 버스를 함께 운행하는 업체들의 비효율성이 낮음을 알 수 있다.

앞에서 언급하였듯이 계산된 효율성에 간접적으로 영향을 줄 것으로 판단되는 요인들을 독립변수들로 설정하여 회귀식을 추정하였다. <표 14>는 회귀분석의 결과를 나타낸 것으로 앞에서



<그림 1> 시내버스업체별 및 운행특성별 비효율성

<표 13> 시내버스업체의 운행특성별 비효율성의 추정결과

(단위: %)

운행특성	업체수	분포	평균	최대값	최소값
도시+좌석+지역순환	9	반정규	4.08	5.87	2.03
		지수	5.08	9.34	1.75
도시	12	반정규	3.68	5.25	2.48
		지수	4.08	7.40	2.29
도시+좌석	11	반정규	3.44	5.28	2.45
		지수	3.70	7.49	2.25
도시+지역순환	22	반정규	3.55	5.66	2.62
		지수	3.87	8.65	2.45

〈표 14〉 효율성의 요인들에 관한 회귀분석 결과

구분	반정규분포			지수분포		
	계수추정치	t-통계량		계수추정치	t-통계량	
상수	1.0132	85.05	***	0.9921	40.41	***
보유대당 운행거리	-0.0003	-3.67	***	-0.0005	-3.05	***
보유대당 운전자수	0.0175	3.69	***	0.0342	3.49	***
보유대당 정비원수	0.0684	3.13	***	0.1167	2.59	**
수정결정계수	0.403			0.339		
로그우도값	198.27			159.21		

주: t-통계량의 ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 유의함을 각각 의미함.

설정된 설명변수들 중 대-km당 유류비에 대한 계수추정치는 유의하지 않아 제외된 결과이다. 그 외의 변수들은 1% 수준에서 유의하게 추정되었고, 수정결정계수 역시 상당히 높은 수준으로 나타났다.

보유대당 운행거리는 노선의 길이, 운행속도 등을 반영하는 요인으로 보유대당 운행거리가 길수록 효율성이 높은 것으로 나타났다. 이는 곧 효율성이 높은 업체는 노선의 길이가 길거나 노선의 교통 혼잡이 심하지 않아 운행속도가 상대적으로 높다는 것을 의미한다. 한편 보유대당 운전자수가 상대적으로 적을수록 업체의 효율성은 좋은 것으로 나타났다. 즉 노동효율성이 높은 업체는 효율성이 높은 업체로 볼 수 있다. 마지막으로, 보유대당 정비원수는 보유대당 운전자수와 비슷하게 업체가 고용한 정비원수가 상대적으로 적을수록 효율성이 높은 업체임을 나타낸다. 즉 업체가 정비효율성을 높게 유지할수록 업체의 효율성도 높음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 확률적 비용변경접근법을 이용해 서울 시내버스업체의 효율성을 분석하였다. 이때 시내버스업체를 네 가지의 생산요소(노동, 유류, 정비 및 자본)를 투입해 세 가지의 이질적인 산출물(도시형버스-km, 좌석버스-km, 지역순환버스-km)을 생산하는 기업형태로 상정하였고, 초월대수(Translog) 형태의 비용함수모형을 추정하였다. 그리고 비용함수의 비효율성 오차항을 반정규분포와 지수분포로 가정하여 시내버스업체별 효율성을 추정하였다. 또한 시내버스업체의 효율성에 간접적으로 영향을 줄 것으로 예상되는 요인들을 독립변수로, 그리고 업체별 효율성을 종속변수로 설정하여 회귀식을 추정하였다.

분석결과 서울의 시내버스업체들은 평균적으로 반정규분포를 가정할 경우 약 3.65%, 지수분포를 가정할 경우 약 4.08%의 비효율성이 있었던 것으로 나타났다. 즉 서울의 시내버스업체들은 총비용을 평균적으로 6.3억원 또는 7.1억원만큼 절감할 수 있었던 것으로 나타났다. 또한 업체별 비효율성 추정치들 중 최대값은 9.34%로 국의 선행연구¹⁰⁾에 비해 그 값이 작으므로 서울의 시내버스업체들은 외국보다 효율적으로 운영되어 왔다고 할 수 있다. 또한 업체별 비효율성은 업체규모가 클 경우가 업체규모가 작을 경우보다 약간 낮고, 도시형버스와 좌석버스를 함께 운행하는 시내버스업체가 평균적으로 가장 낮은 것으로 나타났다.

다음으로 보유대당 운행거리, 보유대당 운전자수, 보유대당 정비원수, 대-km당 유류비를 독립변수로 사용하여 종속변수인 효율성에 대한 설명력을 알아보았다. 그 결과 대-km당 유류비를 제외한 모든 변수들의 계수가 유의하게 추정되었으며, 적합도 역시 높은 것으로 나타났다. 또한 보유대당 운행거리가 긴 업체일수록, 보유대당 운전자와 정비원 수가 적은 업체일수록 효율성이 높게 나타났다.

본 연구의 2003년 효율성 분석 결과와 2004년 7월에 시행된 버스체계 개편 방향을 비교해 정책적 시사점을 제시하면 다음과 같다. 먼저 노선체계 개편을 통해 운행속도를 향상시키고 불필요한 운행을 최소화함으로써 버스업체의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 중앙버스전용차로제를 확대 시행함으로써 버스의 운행속도를 높이면 버스업체의 효율성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

그리고 준공영제 도입에 대해서는 장·단점을 모두 갖고 있는 것으로 판단된다. 현재 시내버스업체들에게 제공되는 보조금은 서울의 시내버스업체들 중 효율성 상위 50% 업체들의 운송원가를 토대로 표준원가를 산정해서 운송실적에 따라 정산하는 방법을 사용하고 있다. 이와 같은 방법은 효율성이 낮은 업체들에게는 효율성을 높이고자 하는 유인을 제공하기 때문에 서울 시내버스운송업 전체의 효율성 향상을 기대 할 수 있다. 그러나 효율성 상위 50% 업체들도 평균 5억원 이상의 비용을 비효율적으로 사용했던 것으로 나타났기 때문에 비효율적 비용도 보조금으로 보전해 주는 문제가 발생하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 서울 시내버스운송업의 표준원가를 산정할 때 효율성 상위 업체들의 비효율적인 운영에 기인하는 비용을 찾아 표준원가 산정시 제외하는 방식 등의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 또한 표준원가 산정시 대상이 되는 업체들을 효율성 상위 50%로 제한하지 말고 검증을 통해 대상 업체들을 선정할 필요가 있다.

마지막으로 본 연구는 기법과 가정, 자료 등 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 첫째, 본 연구는 비효율성 오차항의 분포를 반정규분포와 지수분포로 가정하였는데, 실제 서울 시내버스업체들의 비효율성 분포가 두 분포만으로 나타낼 수 있는지는 검증하지 못하였다. 이 두 분포 외에도

10) Jorgensen et al.(1997)은 노르웨이 버스업체의 평균적인 비효율성을 지수분포의 경우 7.2%, 반정규분포의 경우 13.7% 정도로 추정하였다. 또한 Barros(2005)는 포르투갈 버스업체의 평균적인 비효율성을 8.3%로 추정하였다.

절단정규(truncated-normal)분포와 gamma분포 등에 대해서도 검토가 필요하며, 정확한 연구를 위해서는 어떤 분포를 택할 것인지를 검토를 통해서 결정할 필요가 있다.

둘째, 본 연구는 2003년의 서울 시내버스업체 자료를 이용하였다는 한계를 지닌다. 이는 2004년 7월 시내버스체계가 개편되고 준공영체가 시행 중인 현재의 서울 시내버스운송업을 명확히 설명한다고 할 수는 없기 때문이다. 이런 자료의 한계는 현 시점에서 구축 가능한 자료에 한계가 있었기 때문이다. 따라서 향후에는 시내버스체계 개편 후의 자료를 함께 구축하여 비교 분석할 필요가 있다.

셋째, 회귀분석에서는 효율성에 영향을 주는 요인들의 자료가 충분하지 않아 좀 더 심도있는 분석이 어려웠다. 업체가 운영하는 노선들의 실제 길이나 업체가 보유하고 있는 버스의 차량(fleet age) 등에 관한 자료를 구축하는 데 어려움이 있었다. 좀 더 많은 자료를 확보한다면 좀 더 다양한 시사점을 제시할 수 있었을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김민정(2000), “확률적 비용변경접근법을 이용한 서울지하철의 비용구조 분석”, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 김성수·김민정(2001), “서울 시내버스운송업의 규모 및 범위의 경제성 분석”, 대한교통학회지 제19권 제6호, pp. 89-102.
- 오미영·김성수(2002), “자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석”, 대한교통학회지 제20권 제2호, pp. 59-68.
- 오미영·김성수(2004), “서울 시내버스의 노선별 연비 결정요인 분석”, 제44회 학술발표회, 대한교통학회.
- 한광호·김상호(1996), “한국 제조업의 생산요소 수요구조”, 한국경제학회, 제44집 3호, pp. 137-163.
- Aigner, D., Lovell, C.A. and Schmidt, P.(1977), “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models”, Journal of Econometrics, Vol. 6, pp. 21-37.
- Barros, C. P.(2005), “Estimating the efficiency of the Portuguese bus industry with a stochastic cost frontier model”, International Journal of Transport Economics, Vol. 32, No. 3, pp. 323-338.
- Boame, A. K.(2004), “The technical efficiency of Canadian urban transit systems”, Transportation Research Part E, Vol. 40, pp. 401-416.
- Cowie, J. and Asenova, D.(1999), “Organisation form, scale effects and efficiency in the British bus industry”, Transportation, Vol. 26, pp. 231-248.
- Dalen, D. M., Gomez-Lobo, A.(2003), “Yardsticks on the road: Regulatory contracts and cost

- efficiency in the Norwegian bus industry”, *Transportation* Vol. 30, pp. 371-386.
- Farsi, M., Filippini, M. and Kuenzle, M.(2006), “Cost efficiency in regional bus companies: An application of alternative stochastic frontier models”, *Journal of Transport Economics and Policy* Vol. 40, pp. 95-118.
- Greene, W. H.(1980), “On the estimation of a flexible frontier production model”, *Journal of econometrics*, Vol. 13, pp. 101-115.
- Harmatuck, D. J.(2005), “Cost functions and efficiency estimates of midwest bus transit systems”, *Transportation Research Record*, pp. 43-53.
- Jorgensen, F., Pedersen, P. A. and Volden, R.(1997), "Estimating the inefficiency in the Norwegian bus industry from stochastic cost frontier models", *Transportation*, Vol. 24, pp. 421-433.
- Kumbhakar, S. and Lovell, C. A.(2000), “Stochastic frontier analysis”, Cambridge University Press.
- Meeusen, W. and Broeck, J.(1977), “Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error”, *International Economic Review*, Vol. 18, pp. 435-444.
- Odeck, J. and Alkadi, A.(2001), “Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis”, *Transportation*, Vol. 28, pp. 211-232.
- Olson, J. A., Schmidt, P. and Waldman, D. M.(1980), “A monte carlo study of estimators of stochastic frontier production function”, *Journal of Econometrics*, Vol. 13, pp. 67-82.
- Piacenza, M.(2006), “Regulatory contracts and cost efficiency: Stochastic frontier evidence from the Italian local public transport”, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 25, pp. 257-277.
- Stevenson, R. E.(1980), “Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation”, *Journal of econometrics*, Vol. 13, pp. 57-66.
- Weinstein, M. A.(1964), “The sum of values from a normal and a truncated normal distribution”, *Technometrics*, Vol. 6, pp. 104-105.