

■ 論 文 ■

자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석

Analyzing Efficiency in the Seoul's Urban Bus Industry
Using Data Envelopment Analysis

오 미 영

(서울시정개발연구원 연구원)

김 성 수

(서울대학교
환경대학원 부교수)

김 민 정

(서울대학교
환경대학원 박사과정)

목 차

- I. 서론
- II. 자료포락 및 토빗회귀분석기법
 - 1. 자료포락분석기법
 - 2. 토빗회귀분석기법
- III. 자료와 추정방법
 - 1. 자료와 추정방법
 - 2. 토빗회귀분석에 사용되는 독립변수
- IV. 추정결과 및 해석
 - 1. 자료포락분석기법에 의한 효율성 추정결과
 - 2. 토빗회귀식의 추정결과
- V. 결론
- 참고문헌
- 부록

Key Words : 효율성, 시내버스업체, 자료포락분석기법(DEA), 토빗회귀분석, 서울

요 약

본 논문은 자료포락분석기법(Data Envelopment Analysis, DEA)을 이용하여 서울 시내버스업체들의 효율성을 분석하고, 토빗(Tobit)회귀식을 추정하여 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 시내버스업체는 노동, 차량, 유류, 정비의 네 가지 생산요소를 투입하여 두 종류의 두 가지 산출물, 즉 도시형버스-km와 좌석버스-km 또는 도시형버스와 좌석버스의 승객을 생산하는 기업형태로 상정되었다. 분석에는 서울의 69개 업체들에 대한 1996년의 자료가 사용되었다.

추정결과 서울의 시내버스업체는 평균적으로 아주 작은 비율인 0.9% 정도의 투입물만을 절감할 수 있었던 것으로 나타난 반면, 산출물인 승객수는 12.9% 정도 더 생산할 수 있었던 것으로 나타났다. 한편 이들 업체는 총직원에서 정비직원이 차지하는 비율이 낮을수록 보다 효율적인 것으로 나타났다. 또한 좌석버스의 보유비율과 운행속도가 높을수록 이들 업체의 효율성은 높아지는 것으로 나타났다.

I. 서론

현재 서울의 많은 시내버스업체들은 경영여건의 악화로 인한 재정난에 처해 있다. 1990년대 초반 이후 시내버스의 운행비용은 인건비의 상승과 더불어 자동차의 보급 및 이용 증가에 따른 교통혼잡 때문에 급격히 증가하였다. 반면 운임수입은 연례적인 운임 인상에도 불구하고 지하철노선망의 확장과 자가용승용차의 보유 및 이용 증가에 따른 승객수 감소로 인해 크게 증가하지 않았다. 이러한 이유로 서울의 많은 시내버스업체들은 일부 또는 완전 자본잠식상태 하에서 버스를 운행해 왔다.¹⁾

이에 서울시는 시내버스운송업의 경쟁력을 강화하고 효율성을 제고하기 위한 정책들을 시행하고 있거나 시행할 계획이다.²⁾ 그러나, 시내버스운송업의 효율성을 향상시키기 위한 정책들의 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 각 업체의 효율성을 추정하고, 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석할 필요가 있다.

본 연구는 Charnes et al.(1978)에 의해 개발된 자료포락분석기법(data envelopment analysis, DEA)을 이용하여 각 업체별 효율성³⁾ 점수를 계산하고, 이러한 효율성 점수에 대해 토빗(Tobit)회귀식을 추정하여 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석함으로써 시내버스운송업의 잠재적인 효율성 개선 정도와 효율성을 향상시킬 수 있는 정책에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 외국의 경우 버스운송업의 효율성을 분석하기 위해 이 기법을 이용한 선행연구로는 Kerstens (1996), Nolan(1996), Nolan et al.(2001), Viton (1997, 1998), Odeck과 Alkadi(2001) 등이 있으나,⁴⁾ 우리나라의 경우 버스운송업의 효율성을 분석한 선행연구는 전무한 상태이다.

본 연구는 먼저 2장에서 자료포락분석기법과 토빗회귀분석기법의 이론적 전개를 통해 분석모형을 제시하고, 3장에서 자료와 추정방법을 설명한다. 4장에서는 자료포락분석기법에 의한 효율성 추정결과와 토빗회귀식의 추정결과를 제시한 뒤, 5장에서 시내버스운송업의 효율성을 향상시킬 수 있는 정책들에 대해 논한다.

II. 자료포락 및 토빗회귀분석기법

1. 자료포락분석기법

자료포락분석기법은 생산 또는 비용함수를 추정하지 않고 실제 업체별 자료에 대해 선형계획기법을 적용하여 구축되는 생산변경을 기준으로 각 업체의 상대적인 기술적 효율성을 평가하는 비모수(nonparametric) 접근법이다. 이 기법은 선형적으로 함수형태와 오차항의 분포에 대한 가정을 할 필요가 없고, 표본의 평균이 아니라 가장 효율적인 업체들을 기준으로 업체별 효율성이 측정되며, 산출물과 투입물이 각각 다수일 경우에도 투입물의 가격에 대한 정보 없이 기술적 효율성을 분석할 수 있기 때문에 널리 쓰이고 있다.⁵⁾

자료포락분석기법은 효율적인 점을 원점과 대상업체간의 방사선상에 있는 생산변경점으로 하여 대상업체의 기술적 효율성을 측정하는 방사적 측정기법(radial measurement technique)과 방사선상을 벗어나 더 효율적인 점이 있으면 그 점을 기준으로 대상업체의 기술적 효율성을 측정하는 비방사적 측정기법(nonradial measurement technique)으로 나뉜다.⁶⁾ 계산이 용이하다는 잇점으로 인해 대부분의 선행연구에서 방사적 측정기법을 사용하였기 때문에 본 연구에서도 이

1) 손의영·이우승(2000), pp.14~16.

2) 이러한 정책으로는 버스업체의 대형화를 유도하기 위해 부실업체를 퇴출시키고 업체간 인수합병을 지원하는 정책 등을 들 수 있다. 이에 대해서는 서울특별시(2000, pp.378~387)와 손의영·이우승(2000, pp.13~14) 등을 참조.

3) 시내버스업체의 효율성은 두 측면, 즉 기술적 효율성(technical efficiency)과 배분적 효율성(allocative efficiency) 측면에서 분석이 가능하다. 여기서 기술적 효율성은 생산되는 산출물의 양과 생산에 사용되는 투입물인 자원의 양 사이의 관계를 말한다. 즉 어떤 시내버스업체가 현재 사용하고 있는 투입량으로 보다 많은 산출량을 생산할 수 없거나 현재의 산출량을 보다 적은 투입량으로 생산할 수 없다면 기술적으로 효율적인 업체가 된다. 그러나 기술적으로 효율적인 업체라고 하더라도 비용이 극소화되지 않는 투입물의 조합을 사용해 현재의 산출량을 생산하고 있다면 배분적으로 비효율적인 업체가 된다. 본 논문은 논리적으로 배분적 효율성에 선행하며, 일반적으로 비효율성의 정도가 배분적 효율성 측면보다 상대적으로 대단히 크다고 알려진 기술적 효율성을 분석하는 데 그 초점을 둔다.

4) 이들의 연구에서 사용된 자료유형, 표본규모, 분석기법, 투입물, 산출물 및 평균 효율성 점수의 추정결과에 대해서는 <부록>을 참조.

5) 자료포락분석기법의 이러한 장점에 관한 좀 더 자세한 설명에 대해서는 Odeck과 Alkadi(2001) 및 Nolan et al.(2001) 등을 참조. 그리고, 자료포락분석기법을 이용한 약 700편의 실증 연구사례에 관한 개괄적인 설명에 대해서는 Seiford(1995) 참조. 반면 자료포락분석기법은 다음과 같은 단점을 갖고 있다. 즉, 이 기법에 의해 추정되는 업체별 효율성 점수는 이상점(outliers)과 측정오차(measurement errors) 및 선정된 산출물과 투입물에 민감한 편이다. 이 기법의 단점에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Oum et al.(1999) 등을 참조.

6) 방사적 측정기법과 비방사적 측정기법의 다른 점에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Viton(1997) 및 Dervaux et al.(1998)을 참조.

를 따르고자 한다.

한편 자료포락분석기법은 분석대상 업종에 속하는 업체들의 목적이 무엇인지에 따라 적용하기에 적합한 기법을 다음의 두 종류로 나눌 수 있다. 먼저 투입지향기법(input orientation)은 산출량이 고정된 상태에서 효율적인 업체와 동일한 효율성을 달성하기 위해 절감해야 하는 투입요소량을 구하는 기법이기 때문에 분석대상 업체가 비용극소화를 추구하는 경우에 적합하다. 반면 산출지향기법(output orientation)은 투입요소량이 고정된 상태에서 효율적인 업체와 동일한 효율성을 달성하기 위해 증가시켜야 하는 산출량을 구하는 기법이기 때문에 분석대상 업체가 산출극대화를 추구하는 경우에 적합하다. 따라서 산출물의 지표로 운행거리와 같은 공급관련지표를 사용할 경우에는 비용극소화와 관련이 되기 때문에 투입지향기법이 적합하며, 승객수 등의 수요관련지표를 사용할 경우에는 산출극대화와 관련이 되기 때문에 산출지향기법이 적합하다.⁷⁾

또한 자료포락분석기법은 최적 규모이면서 효율적인 업체를 기준으로 기술적 효율성을 측정하는지 여부에 따라 불변수익규모기법(constant returns scale, CRS)과 가변수익규모기법(variable returns scale, VRS)으로 나뉜다. 불변수익규모기법은 최적규모이기 때문에 수익규모불변 상태에 있는, 즉 장기적으로 최적인 상태에 있는 업체를 기준으로 기술적 효율성을 측정하는 반면, 가변수익규모기법은 규모에 대한 수익(returns to scale)의 특성⁸⁾이 무엇인지에 관계없이 단기적으로 최적인 상태에 있는 업체들을 기준으로 기술적 효율성을 측정하는 기법이다.⁹⁾ 궁극적으로 업체는 규모수익이 불변인 최적의 규모를 달성하면서 장기적인 효율성을 개선해야 하므로 불변수익규모기법을 사용해 기술적 효율성을 분석하는 것이 타당할 것으로 판단되므로 본 연구에서는 이 기법을 채택하고자 한다.

불변수익규모를 상정하는 경우 투입지향과 산출지향의 승수형태(multiplier form) 자료포락분석기법은 식(1)과 (2)의 선형계획문제로 각각 나타난다.¹⁰⁾

$$\text{Max } z_i^I = \sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} \tag{1a}$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{il} \nu_{il} = 1 \tag{1b}$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} - \sum_{i=1}^m x_{il} \nu_{il} \leq 0 \tag{1c}$$

$$\mu_{rl} \geq 0 \tag{1d}$$

$$\nu_{il} \geq 0 \tag{1e}$$

$$\text{Min } z_i^O = \sum_{i=1}^m x_{il} \nu_{il} \tag{2a}$$

$$\text{s. t. } \sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} = 1 \tag{2b}$$

$$- \sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} + \sum_{i=1}^m x_{il} \nu_{il} \geq 0 \tag{2c}$$

$$\mu_{rl} \geq 0 \tag{2d}$$

$$\nu_{il} \geq 0 \tag{2e}$$

여기서

j : 시내버스업체, $j = 1, \dots, l, \dots, n$

r : 산출물, $r = 1, \dots, s$

i : 투입물, $i = 1, \dots, m$

따라서 y_{rl} 은 l 번째 업체의 r 번째 산출물의 산출량, x_{il} 은 l 번째 업체에 대한 i 번째 투입물의 투입량, 그리고 μ_{rl} 과 ν_{il} 은 산출물 r 과 투입물 i 의 가상적인 승수를 각각 나타낸다.

식(1)의 투입지향기법에서 식(1b)와 (1c)의 두 제약조건은 효율성 점수(Z_i^I)가 1인 업체가 효율적이고, 1보다 작을수록 보다 비효율적임을 의미한다. 반면 식(2)의 산출지향기법에서 식(2b)와 (2c)의 두 제약조건은 효율성 점수(Z_i^O)가 1인 업체가 효율적이고, 1보다 클수록 보다 비효율적임을 의미한다. 그러나 본 연구에서는 투입지향기법의 결과와 쉽게 비교될 수 있도록 산출지향기법을 이용해 추정되는 업체별 효율성 점수는 역수를 취해 1과 0 사이의 값으로 변환하였다.

7) 이에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Odeck과 Alkadi(2001)를 참조.

8) 이에 관한 좀 더 자세한 설명에 대해서는 이준구(1995, pp.239~244)를 참조.

9) 따라서 불변수익규모기법을 이용할 경우 가변수익규모기법에 비해 효율적인 업체수가 적게 도출된다.

10) 자료포락분석기법의 형태는 승수형태와 포락형태(envelopment form)가 있으며, 이들은 서로 쌍대적 선형계획(dual linear programs)의 특성을 갖는다. 즉 계산 원리는 동일하나 식의 형태는 다르게 나타난다. 투입지향 자료포락분석기법의 경우 승수형태는 극대화문제로 해가 계산되는 반면, 포락형태는 극소화문제로 해가 계산된다. 이에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Nolan(1996)을 참조.

2. 토빗회귀분석기법

각 업체의 기술적 효율성이 생산과정에는 외생적이지만, 즉 자료포락분석기법에서의 투입물은 아니지만, 효율성에는 영향을 줄 수 있는 변수들에 의해 어떠한 영향을 받는지를 분석하기 위해 제한된 범위의 값을 갖는 업체별 효율성 점수를 종속변수로 하는 식(3)과 같은 토빗회귀식을 추정한다.

$$Z_i = \beta P_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$\hat{Z}_i = 1, \quad \text{if } Z_i \geq 1$$

$$\hat{Z}_i = Z_i, \quad \text{if } 0 < Z_i < 1$$

$$\hat{Z}_i = 0, \quad \text{if } Z_i \leq 0$$

여기서 Z_i 은 투입지향기법과 산출지향기법을 이용해 추정되는 효율성 점수인 Z_i^I 와 Z_i^O , β 는 추정해야 하는 모수, P_i 은 독립변수, ε_i 은 정규분포하는 백색오차(white noise), 그리고 \hat{Z}_i 과 \tilde{Z}_i 은 토빗회귀식에 의한 중간추정치와 최종추정치를 각각 의미한다.

토빗회귀식의 독립변수들은 정부나 시내버스업체가

조절할 수 있는 변수들과 조절할 수 없는 변수들로 구성된다. 이러한 토빗회귀식의 적합도를 판단하는 기준으로 통상적인 최소자승 추정에서 사용되는 수정 결정계수($\overline{R^2}$)와 유사한 형태의 지표가 이용된다.¹¹⁾

III. 자료와 추정방법

1. 자료와 추정방법

분석에 사용되는 자료는 서울의 69개 시내버스업체에 대한 1996년의 횡단면 자료이다. 이 자료는 산동회계법인(1997)의 17개 업체, 한국산업관계연구원(1997)의 18개 업체, 그리고 안전회계법인(1998)의 34개 업체에 대한 경영보고서를 이용해 구축되었다.

본 연구에서는 산출물로 공급관련지표인 운행거리와 수요관련지표인 승객수를 선택하여 각각에 대해 자료포락분석을 수행하였다.¹²⁾ 공급과 수요관련지표를 모두 선택한 이유는 어떤 지표가 효율성 분석에 더 적합한 지에 대한 논의는 계속 이루어지고 있으나, 일치된 결론이 도출되지 않았기 때문이다.¹³⁾ 각각의 자료포락분석에 사용된 투입물은 노동, 즉 기사

〈표 1〉 자료포락분석에 사용되는 투입물과 산출물 자료의 특성

	투입물				산출물					
	노동	차량	유류	정비	도시형 ¹⁾	좌석	계	도시형 ¹⁾	좌석	계
	(인)	(대)	(천/)	(인)	운행거리(천버스-km)			승객수(천인)		
최대값	633	243	12,362	75	16,574	18,640	30,764	47,241	16,516	50,770
최소값	125	48	1,836	10	2,636	534	4,454	5,417	195	7,965
평균값	266	106	4,141	31	6,693	3,430	10,122	18,203	3,390	21,593
표준편차	105	40	1,783	14	2,913	3,006	4,443	8,193	2,993	8,902

주 : 1) 도시형버스의 산출물에는 지역순환버스의 산출물이 포함되었음.

〈표 2〉 토빗회귀분석에 사용되는 독립변수 자료의 특성

조절가능변수	변수	최대값	최소값	평균값	표준편차
		정비직원비율(%)	19.35	5.00	10.36
	노선평균연장(km)	75.56	22.88	39.86	9.423
	노선수	14	2	6.01	2.758
	보유대당 운행거리(천km)	143.35	65.14	95.25	14.78

11) 여기서는 이 지표를 편이상 수정결정계수로 부르고자 한다. 이 지표에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Veall과 Zimmermann(1994)을 참조.

12) Oum과 Yu(1994)에 따르면 공급관련지표는 운임과 노선 등에 대해 정부가 규제하는 경우의 효율성을 측정할 때 적합한 반면, 수요관련 지표는 규제가 존재하지 않는 경우의 효율성 측정에 적합한 것으로 알려져 있다.

13) Odeck과 Alkadi(2001)는 공급관련지표인 좌석-km와 수요관련지표인 승객-km를 함께 사용한 반면, Nolan(1996)과 Nolan et al.(2001)은 공급관련지표인 운행거리(차량-마일)를 사용하였다.

및 행정직원, 유류, 차량, 정비직원이며, 산출물인 운행거리와 승객수는 도시형버스와 좌석버스로 구분된다. 자료포락분석에 사용되는 투입물과 산출물 자료의 특성은 <표 1>과 같다.

이러한 자료를 바탕으로 식(1)과 (2)를 업체마다 각각 구성하여 업체 수만큼의 선형계획의 해를 도출한다. 이렇게 도출된 해가 각 업체의 기술적 효율성 점수가 된다. 업체별 효율성 점수와 토빗회귀식은 각각 GAMS 프로그램과 LIMDEP 7.0 프로그램을 이용하여 추정되었다.

2. 토빗회귀분석에 사용되는 독립변수

토빗회귀식 추정에 사용되는 독립변수는 정부나 업체의 관점에서 조절가능한 변수와 조절불가능한 변수가 있는데, 본 연구에서는 조절가능변수만을 선정하였다.¹⁴⁾ 선정된 조절가능변수로는 총직원에서 정비직원이 차지하는 비율, 노선평균연장, 노선수, 보유대당 운행거리이다.¹⁵⁾

조절가능변수로 첫째, 정비직원이 차지하는 비율은 버스 운행에서 정비의 중요성을 고려하며, 정비직과 정비직 이외의 직원이 효율성에 미치는 상대적인 영향을 측정하기 위해서 채택되었기 때문에 기대부호는 음수 또는 양수일 수 있다.

둘째, 노선평균연장과 노수는 총노선연장 또는 규모가 효율성에 미치는 영향을 구분하여 고려하기

위한 것이다. 운행거리가 산출물일 경우에는 이 두 변수 모두 스케줄링과 정비 등의 문제 때문에 효율성과 음의 관계가 있을 것으로 예상된다. 반면, 승객수가 산출물일 경우에는 노선연장이 길고 노수가 많을수록 단위 운행거리당 승객수가 증가할 확률이 높기 때문에 양의 관계가 있을 것으로 예상된다.

셋째, 보유대당 운행거리는 업체가 보유하고 있는 전체 버스 중 좌석버스가 차지하는 비율과 운행노선의 도로혼잡 효과를 간접적으로 반영하는데, 보유대당 운행거리가 증가할수록 좌석버스의 보유비율이 높고, 혼잡이 적어 운행속도가 높음을 의미한다. 따라서 좌석버스의 보유비율이 높고 혼잡이 적을수록, 즉 보유대당 운행거리가 증가할수록 정차횟수가 줄어들어 정비횟수가 줄어들 가능성이 높기 때문에 운행거리가 산출물일 경우에는 효율성이 증대될 것으로 보인다. 또한 승객수가 산출물일 경우에도 혼잡이 적을수록 운행속도가 높기 때문에 승객수가 증가할 확률이 높으므로 효율성이 증대될 것으로 보인다. 토빗회귀식 추정에 사용되는 독립변수 자료의 특성은 <표 2>와 같다.

IV. 추정결과 및 해석

1. 자료포락분석기법에 의한 효율성 추정결과

산출물 지표에 따라 각각 도출된 시내버스업체의 효율성 점수는 <그림 1>과 같다.

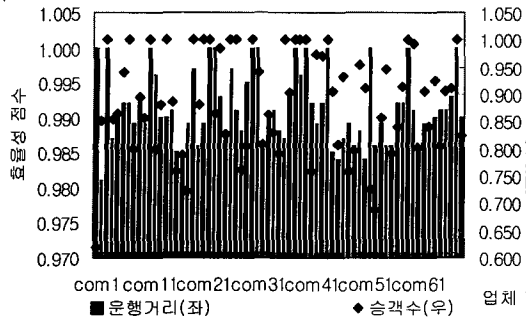
<표 3> 자료포락분석기법을 이용한 기술적 효율성의 추정결과

	운행거리(투입지향)		승객수(산출지향)	
	CRS	VRS ¹⁾	CRS	VRS ¹⁾
최대값	1.000	1.000	1.000	1.000
최소값	0.981	0.981	0.619	0.619
평균값	0.991	0.993	0.886	0.899
표준편차	0.005	0.005	0.094	0.099
효율적인 업체수	13	19	17	23

주 : 1) 가변수의규모기법(VRS)을 이용한 추정결과는 단순비교 목적으로 제시하였음.

14) 조절불가능변수로 버스-km당 승객수 등을 선정하였으나, 다른 독립변수들과의 상관관계가 유의하게 높아서 제외하였다.

15) 보유대당 운행거리는 시내버스업체가 보유하고 있는 도시형버스와 좌석버스의 연간 총운행거리를 도시형버스와 좌석버스의 총보유대수로 나누어 구한 값이다. 이들 네 변수 이외에도 총직원에서 운전기사가 차지하는 비율과 좌석버스 운행거리의 비율도 선정하였으나, 운전기사비율은 정비기사비율과 그리고 좌석버스 운행거리의 비율은 보유대당 운행거리와 상관관계가 높아서 이 두 변수를 제외하였다. 먼저 정비직원비율대신에 운전기사비율을 제외한 이유는 이 두 변수를 모두 포함한 토빗회귀식을 추정할 결과 정비직원의 비율의 계수추정치는 5% 이상의 수준에서 유의한 경우가 있었던 반면, 운전기사비율의 계수추정치는 10% 이상의 수준에서도 유의한 경우가 없었기 때문이다. 또한 보유대당 운행거리 대신에 좌석버스 운행거리의 비율을 제외한 이유는 보유대당 운행거리의 좌석버스 운행거리의 비율뿐만 아니라 혼잡효과도 반영하기 때문이다.



〈그림 1〉 시내버스업체별 효율성 분포

〈그림 1〉에서 알 수 있듯이 산출물에 따라 업체의 효율성 점수 및 업체간 효율성 순위의 변화가 큰 것으로 나타났다. 구체적으로 〈표 3〉에서 제시되어 있듯이 승객수가 산출물일 경우에는 운행거리의 경우에 비해 효율적인 업체수는 많지만, 평균 효율성 값이 낮으며, 업체간의 효율성 편차가 큰 것으로 나타났다. 반면 운행거리가 산출물일 경우에는 승객수의 경우에 비해 효율적인 업체수는 적어도 평균 효율성 값은 높으며, 업체간의 효율성 편차도 작은 것으로 나타났다.

이와 같이 산출물이 승객수인 경우의 효율성 점수 편차가 큰 이유는 시내버스업체가 운행하는 노선들의 수익성 차이가 산출물에 직접적으로 반영되기 때문인 것으로 판단된다. 한편 산출물에 관계없이 두 경우 모두 평균 효율성 점수의 절대값 면에서는 외국의 경우와 비교해서 상당히 큰 것으로 나타났는데,¹⁶⁾ 이는 서울의 시내버스업체가 민간기업이기 때문인 것으로 판단된다. 또한 두 경우 모두 예상대로 불변수익규모기법을 이용했을 때의 효율적인 업체수가 가변수익규모기법을 이용했을 때보다 더 적은 것으로 나타났다.

〈표 3〉으로부터 산출물이 운행거리인 경우 표본에 포함된 서울의 시내버스업체들 중 가장 비효율적인 업체는 실제 투입물의 98.1%만을 사용해서 운송서비스를 생산할 수 있었으며, 평균적으로는 99.1%를 사용해서 생산할 수 있었음을 알 수 있다. 즉, 이는 투입물을 각각 1.9%, 0.9% 정도 절감할 수 있었음을 의미한다. 반면 산출물이 승객수인 경우 가장 비효율적인 업체는 61.6%, 평균적으로는 12.9% 더 생산할 수 있었던 것으로 나타났다. 그러나, 이는 운행노

〈표 4〉 산출물별 효율성 여부에 따른 군별 업체수 및 평균사고율

군	운행거리	승객수	업체수	사고건수 / 백만km ¹⁾
1	비효율적	비효율적	48	9.493
2	효율적	비효율적	4	18.150
3	비효율적	효율적	8	6.943
4	효율적	효율적	9	6.486

주 : 1) 69개 업체 중 9개 업체는 자료가 없어 제외하였음.

선에 대한 수요와 관련되기 때문에 시내버스업체의 자체적인 노력만으로 승객수를 크게 증가시키는 데에는 한계가 있다.

한편, 표본에 포함된 69개의 시내버스업체들을 산출물별로 효율적인지 여부에 따라 4개의 군으로 분류하였을 때 각 군에 속하는 업체수와 이들의 평균 사고율을 구한 결과는 〈표 4〉와 같다. 여기서 1군은 두 산출물 측면에서 모두 비효율적으로 추정된 업체들을 말하는 반면, 4군은 모두 효율적으로 추정된 업체들을 말한다. 또한 2군은 승객수가 적어 수익성이 낮은 노선들을 효율적으로 운행하는 업체들을 말하는 반면, 3군은 수익성이 높은 노선들을 비효율적으로 운행하는 업체들을 말한다.

대부분의 업체들이 1군과 4군에 포함되는 이유는 앞에서 제시된 것처럼 산출물 지표에 따라 효율성 점수와 분포는 어느 정도 차이가 있지만, 업체의 효율성 여부는 크게 바뀌지 않음을 의미한다. 또한 〈표 4〉에서 볼 수 있는 것처럼 4군에 속하는 업체들의 평균 사고율은 네 군 중 가장 낮기 때문에 효율성과 안전도는 반비례하는 것이 아니라 비례하는 것으로 판단된다.

〈표 5〉와 〈표 6〉은 1군과 4군에 속하는 업체들을 여러 측면에서 비교하기 위한 것이다. 이 두 표의 비교를 통해 4군 업체들은 1군 업체들에 비해 정비직원 비율과 대당 정비원수가 작은 반면, 보유대당 운행거리의 크음을 알 수 있다. 이는 정비직원 비율을 낮추고 보유대당 운행거리를 높일 경우 운행거리와 승객수의 양 측면 모두에서 효율성이 증대될 수 있음을 의미한다. 또한 4군 업체들은 1군 업체들에 비해 좌석서비스의 승객수 및 운행거리 비율이 더 크음을 알 수 있다.

16) 본 연구와 같이 불변수익규모의 투입지향 자료포락분석기법을 이용해 추정된 외국 버스업체에 대한 평균 효율성 점수의 예로는 다음을 들 수 있다. Nolan et al.(2001)에서 제시된 미국 버스업체의 경우는 0.90 정도이며, Odeck과 Alkadi(2001)에서 제시된 노르웨이 버스업체의 경우는 0.78 정도이다.

〈표 5〉 1군 업체의 요인별 특성

	정비직원 비율(%)	노선평균 연장(km)	노선수	운행거리 (천km/대)	승객수(인/ 버스-km)	좌석버스 승객수 비율	좌석버스 운행거리 비율	총노선 연장 (km)	정비 원수 (인/대)	차량 (대)
최대값	19.36	75.56	14	109.6	2.86	0.44	0.63	604.50	0.59	214
최소값	6.49	27.36	2	65.1	1.45	0.02	0.08	63.00	0.19	48
평균값	10.49	39.47	6	90.8	2.26	0.15	0.30	226.78	0.30	105
표준편차	2.38	8.31	3	10.1	0.32	0.09	0.13	116.91	0.08	38

〈표 6〉 4군 업체의 요인별 특성

	정비직원 비율(%)	노선평균 연장(km)	노선수	운행거리 (천km/대)	승객수(인/ 버스-km)	좌석버스 승객수 비율	좌석버스 운행거리 비율	총노선 연장 (km)	정비 원수 (인/대)	차량 (대)
최대값	16.17	52.94	10	143.4	2.97	0.56	0.73	476.50	0.43	123
최소값	5.00	23.20	3	80.1	1.16	0.01	0.07	133.20	0.11	62
평균값	8.82	40.90	7	107.8	1.83	0.23	0.43	255.89	0.22	94
표준편차	3.24	11.07	2	19.0	0.65	0.21	0.27	90.23	0.09	17

이는 총승객수 또는 총운행거리가 일정할 경우 좌석 버스의 운행비율이 높은 업체가 더 효율적임을 의미하므로, 도시형 버스와 좌석버스의 운행 사이에 범위의 경계가 존재함을 시사한다. 한편 두 군에 속하는 업체들은 차량의 평균보유대수 측면에서는 비슷하나, 4군 업체들은 주로 평균값 근처에 분포되어 있는 반면 1군 업체들은 그 차이가 큼을 알 수 있다.

2. 토빗회귀식의 추정결과

토빗회귀식의 추정결과를 제시한 〈표 7〉에서 알 수 있듯이 노선평균연장과 노선수를 제외한 독립변수들의 계수추정치는 5% 이상의 수준에서 유의한 것으로

나타났으며, 계수추정치의 부호들도 이 두 변수를 제외하고는 모두 기대부호와 일치하는 것으로 나타났다. 노선평균연장과 노선수의 계수추정치는 유의하지 않은 것으로 나타났기 때문에 이 두 변수의 계수추정치 부호가 기대와 다른 점은 그리 큰 문제는 아닌 것으로 판단된다. 모형 적합도의 판단기준이 되는 R^2 값도 선행 연구들과 비교해서 크게 낮지 않은 것으로 나타났다.¹⁷⁾

〈표 7〉의 추정결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 정비직원이 차지하는 비율이 낮을수록 업체는 더 효율적인 것으로 나타났다. 이는 정비직원이 차지하는 비율이 낮을수록 정비효율성이 높음을 의미한다. 둘째, 노선평균연장과 노선수는 운행거리와 승객수의 양 측면 모두에서 업체의 효율성에

〈표 7〉 토빗회귀식의 추정결과

	운행거리		승객수	
	계수추정치	t-통계량 ¹⁾	계수추정치	t-통계량 ¹⁾
상수	0.97367	210.517***	0.69225	7.237***
정비직원비율	-0.00067	-2.711***	-0.02045	-4.014***
노선평균연장	0.00003	0.500	-0.00092	-0.648
노선수	0.00028	1.242	0.00713	1.550
보유대당운행거리	0.00023	4.801***	0.00440	4.287***
로그 우도값	204.423		34.190	
수정결정계수(R ²)	0.324		0.258	

주 : 1) ***는 1% 수준에서, **는 5% 수준에서, *는 10% 수준에서 유의함을 의미함.

17) 노선평균연장과 노선수를 제외한 토빗회귀식을 다시 추정하였으나, 정비직원비율과 보유대당 운행거리의 계수추정치, 부호 및 t-통계량과 R^2 값이 〈표 7〉의 추정결과와 거의 같은 것으로 나타났기 때문에 다시 추정한 결과를 별도로 제시하지 않았다.

유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 마지막으로, 보유대당 운행거리가 클수록 좌석버스의 보유비율이 높고, 운행속도도 높으므로 정차횟수와 정비횟수도 줄어들기 때문에 운행거리가 산출물일 경우에 효율성이 증대되는 것으로 나타났으며, 승객수가 산출물일 경우에도 혼잡이 적을수록 속도가 증가하여 승객수가 증가하기 때문에 효율성이 증대되는 것으로 나타났다.

V. 결론

본 연구는 1996년의 서울의 시내버스업체별 자료를 이용하여 자료포락분석기법으로 업체별 효율성을 계산한 다음, 토빗회귀식을 추정함으로써 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 이 때 시내버스 업체를 노동, 차량, 유류 및 정비의 네 생산요소를 투입하여 공급과 수요 측면의 두 가지 산출물, 즉 도시형버스-km와 좌석버스-km 또는 도시형버스와 좌석버스의 승객을 생산하는 기업형태로 상정하였다.

산출물 지표별로 각각 투입 및 산출지향 자료포락 분석기법을 적용한 결과 운행거리의 경우 서울의 시내버스업체는 평균적으로 투입물을 0.9% 정도 절감할 수 있었던 것으로 나타난 반면, 승객수의 경우는 평균적으로 12.9% 정도 더 생산할 수 있었던 것으로 나타났다. 이는 서비스공급, 즉 운행 측면에서 서울의 민간 시내버스업체가 상당히 효율적임을 의미한다. 반면 수요, 즉 승객수 측면에서 효율성이 상대적으로 낮게 도출된 이유는 서울의 버스노선들 중 상당수가 승객수가 적어 수익성이 낮기 때문이다.

현재에도 공급 측면에서 상당히 효율적이지만 더욱 효율성을 높이고 승객수도 증가시키기 위해서는 첫째, 정비직원 비율을 효율적인 업체들의 수준으로 낮출 필요가 있다. 둘째, 도시형버스와 좌석버스 사이에 범위의 경계가 존재하므로 좌석버스의 운행비용을 높일 필요가 있다. 마지막으로, 버스의 통행 속도를 증가시켜 보유대당 운행거리를 높일 수 있는 정책들, 예를 들어 버스전용차로제와 혼잡통행료부과방안 등을 시행할 필요가 있다.

참고문헌

1. 강운규(1998), "DEA 모형을 이용한 은행의 효율성 분석", 서울대학교 경영학석사학위논문.
2. 박순달(1999), "선형계획법", 민영사.
3. 산동회계법인(1997), "'96 서울 시내버스요금 운송원가 검증 및 경영분석 (I)·(II)".
4. 안건회계법인(1998), "서울특별시 시내버스업체 경영진단 보고서".
5. 이준구(1995), "미시경제학", 제2판, 법문사.
6. 한국산업관계연구원(1997), "'96 서울 시내버스요금 운송원가 검증 및 경영분석 (I)·(II)".
7. Banker, R. D. et al.(1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA", *Management Science*, Vol.30, pp.1078~1092.
8. Brooke, A. et al.(1988), "GAMS: A User's Guide", The Scientific Press.
9. Charnes, A. W. et al.(1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Vol.2, pp.429~444.
10. Dervaux, B. et al.(1998), "Radial and Nonradial Static Efficiency Decompositions : A Focus on Congestion Measurement", *Transportation Research B*, Vol.32, pp. 299~312.
11. Gillen, D. and S. Lall(1997), "Developing Measures of Airport Productivity and Performance : An Application of Data Envelopment Analysis", *Transportation Research E*, Vol.33, pp.261~273.
12. Kerstens, K.(1996), "Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies", *Transportation Research A*, Vol.30, pp.431~452.
13. Nolan, J. F.(1996), "Determinants of Productive Efficiency in Urban Transit", *The Logistics and Transportation Review*, Vol.32, pp.319~342.
14. Nolan, J. F. et al.(2001), "Measuring Efficiency in the Public Sector Using Non-parametric Frontier Estimators : A Study of Transit Agencies in the USA", *Applied Economics*, Vol.33, pp.913~922.
15. Odeck, J. and A. Alkadi(2001), "Evaluating

- Efficiency in the Norwegian Bus Industry Using Data Envelopment Analysis", *Transportation*, Vol.28, pp.211~232.
16. Oum, T. H. and C. Yu(1994), "Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy", *Transportation*, Vol.28, pp.121~138.
 17. Oum, T. H. et al.(1999), "A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.33, pp.9~42.
 18. Seiford, L.(1995), "Data Envelopment Analysis : The Evolution of the State of the Art (1978-1995)", *Journal of Productivity Analysis*, Vol.7, pp.99~137.
 19. Veall, M. R. and K. F. Zimmermann(1994), "Goodness of Fit Measures in the Tobit Model", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol.56, pp.485~499.
 20. Viton, P. A.(1997), "Technical Efficiency in Multi-mode Bus Transit : A Production Frontier Analysis", *Transportation Research B*, Vol.31, pp.23~39.
 21. Viton, P. A.(1998), "Changes in Multi-mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992", *Transportation*, Vol.25, pp.1~21.

✿ 주 작 성 자 : 오미영

✿ 논문투고일 : 2002. 2. 14

논문심사일 : 2002. 4. 1 (1차)

2002. 4. 11 (2차)

심사판정일 : 2002. 4. 11

✿ 반론접수기간 : 2002. 8. 30

[부록]

DEA를 이용해 시내버스운송업의 효율성을 분석한 선행연구의 비교

선행연구	국가 및 자료유형	표본규모	분석기법	투입물	산출물	추정결과 : 평균 효율성 점수 ¹⁾
Kerstens (1996)	프랑스 횡단면 자료	114개 업체 (1990)	방사적 산출지향 VRS	노동 차량 유류	차량-km(VK) 좌석-km(SK)	VK : 0.768 SK : 0.358
Nolan (1996)	미국 통합자료	25개 업체 (1989-1993)	방사적 산출지향 VRS/CRS	노동 차량 유류	차량-마일	VRS : 0.905 CRS : 0.855
Nolan et al. (2001)	미국 통합자료	25개 업체 (1989-1993)	방사/비방사적 투입지향 CRS	노동, 차량 유류, 정비 총노선연장	차량-마일	방사 : 0.898 비방사 : 0.830
Viton (1997)	미국 횡단면 자료	217개 업체 (1990)	비방사적 투입/산출지향 VRS	노동(MB/DR) ²⁾ 차량(MB/DR) 유류(MB/DR) 평균속도(MB/DR) 평균차령 총버스노선연장타이어 및 부품비용(MB/DR) 서비스비용 전력수도로 보험료	차량-마일(MB/DR) + 승객(MB/DR)	투입지향 : 0.961 산출지향 : 0.943
Viton (1998)	미국 통합자료	183개 업체 (1988) + 169개 업체 (1992)	비방사적 투입/산출지향 VRS	Viton(1997)에서 사용된 투입물 중 평 균속도를 제외한 나 머지 전부	차량-마일(MB/DR) + 승객(MB/DR) + 차량-시간(MB/DR) ³⁾	투입지향 : 0.959 산출지향 : 0.968
Odeck과 Alkadi (2001)	노르웨이 횡단면 자료	47개 업체 (1994)	방사적 투입/산출지향 CRS/VRS	운전기사 비운전기사 차량의 좌석 유류 타이어 및 부품비용	좌석-km(SK), 좌석-km(SK) +인-km(PK)	투입지향 : CRS, SK+PK=0.78 VRS, SK+PK=0.85 VRS, SK =0.82 산출지향: VRS, SK+PK=0.83

주 : 1) 효율성 점수는 사용한 기법에 관계없이 0과 1사이의 값을 갖으며, 1에 가까울수록 보다 효율적임을 의미함. 산출지향기법을 적용한 연구 중 효율성 점수가 1이상으로 추정된 경우에는 본 연구의 결과와 쉽게 비교할 수 있도록 그 역수를 취해 0과 1사이의 값으로 변환하여 제시하였음.

2) MB(meter-bus)/DR(demand-responsive)은 노동 투입물을 두 수단, 즉 버스와 수요대응서비스로 구분해 사용하였다는 의미임. 또한 이 연구에서는 노동 투입물을 운전기사, 행정직원, 정비직원 및 기타 직원으로 세분하였으므로 총 8가지의 노동 투입물이 사용되었음.

3) 하나의 버스업체가 4가지의 산출물, 즉 버스-마일, 수요대용차량-마일, 버스승객 및 수요대용차량의 승객을 동시에 생산한다고 상정하였다는 의미임.

4) 하나의 버스업체가 6가지의 산출물, 즉 버스-마일, 수요대용차량-마일, 버스승객, 수요대용차량의 승객, 버스-시간 및 수요대용차량-시간을 동시에 생산한다고 상정하였다는 의미임.