

자료포락분석기법 (DEA) 을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성과 규모의 경제성 분석

金成洙* · 吳美英** · 金珉廷***

<目 次>

I. 서론	1. 효율성
II. 자료포락분석기법	2. 규모의 경제성과 최소효율규모
III. 자료와 추정방법	V. 결론
IV. 추정결과 및 해석	참고문헌

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 지하철노선의 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 위해 서비스 및 경영 부실업체를 퇴출시키고 우량업체로의 인수합병을 지원함으로써 버스업체의 대형화를 유도하는 정책 등을 시행하고 있다.²⁾ 그러나 이러한 정책의 타당성 여부를 검증하기 위해서는 각 업체의 효율성과 함께 서울의 시내버스운송업에 규모의 경제가 존재하는 지를 분석할 필요가 있다.

* 서울대학교 環境大學院 副教授

** 서울市政開發研究院 研究員

*** 서울대학교 環境大學院 博士過程 在學

1) 손의영 · 이우승(2000), pp. 14-16.

2) 이에 대해서는 서울특별시(2002, pp. 646-655) 등을 참조.

본 연구는 Charnes et al. (1978)과 Banker et al. (1984)에 의해 개발된 자료포락분석기법 (data envelopment analysis, DEA)을 이용하여 업체별 효율성 점수를 추정하고, 이러한 효율성 점수로부터 규모의 경제성 또는 효율성을 도출함으로써 서울 시내버스운송업의 잠재적인 효율성 개선 정도와 업체의 적정규모에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 외국의 경우 버스운송업의 효율성과 규모의 경제성을 분석하기 위해 이 기법을 이용한 선행연구로는 Cowie와 Asenova (1999), Odeck과 Alkadi (2001) 등이 있으나, 우리나라의 경우 이 기법을 이용해 버스운송업의 효율성과 규모의 경제성을 함께 분석한 선행연구는 전무한 상태이다.³⁾

본 연구는 먼저 2장에서 자료포락분석기법의 이론적 전개를 통해 분석모형을 제시하고, 3장에서 자료와 추정방법을 설명한다. 4장에서는 자료포락분석기법에 의한 효율성과 규모의 경제성에 관한 추정결과를 제시한 뒤, 5장에서 본 연구로부터 도출된 결과를 바탕으로 서울 시내버스업체의 효율성 개선 정도와 대형화 정책에 대한 시사점에 관해 논한다.

II. 자료포락분석기법

자료포락분석기법은 생산 또는 비용함수를 추정하지 않고 실제 업체별 자료에 대해 선형계획기법을 적용하여 구축되는 생산변경을 기준으로 각 업체의 상대적인 기술적 효율성 (technical efficiency)⁴⁾을 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 이점

- 3) 교통분야에서 자료포락분석기법을 이용한 국내 선행연구로는 서울 시내버스운송업의 효율성만을 분석한 오미영·김성수·김민정 (2002)이 유일하다.
- 4) 기술적 효율성이란 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.
- 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 Sciford (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

으로 인해 대부분의 선행연구에서 방사적 측정기법을 사용하였기 때문에 본 연구에서도 이를 따르고자 한다.

한편 자료포락분석기법은 최적 규모이면서 효율적인 업체를 기준으로 기술적 효율성을 측정하는지 여부에 따라 불변수익규모기법(constant returns to scale, CRS)과 가변수익규모기법(variable returns to scale, VRS)으로 나뉜다. CRS는 최적 규모이기 때문에 규모수익불변 상태에 있는, 즉 장기적으로 최적인 상태에 있는 업체를 기준으로 기술적 효율성을 측정하는 반면, VRS는 규모에 대한 수익(returns to scale)의 특성⁷⁾이 무엇인지에 관계없이 단기적으로 최적인 상태에 있는 업체들을 기준으로 기술적 효율성을 측정하는 기법이다.⁸⁾ 따라서 CRS를 이용해 추정되는 효율성 값에는 순(pure)기술적 효율성과 규모 효율성(scale efficiency)이 혼재하는 반면 VRS를 이용해 추정되는 값에는 순기술적 효율성만이 존재하므로, 이 두 기법을 이용해 추정되는 효율성 값의 차이로부터 순규모 효율성을 도출할 수 있다. 이 때 두 기법에 의해 추정된 어떤 한 업체의 효율성 값이 같다면 순규모 효율성은 없으므로, 그 업체는 규모수익불변 상태에 있음을 의미한다. 반면 효율성 값이 같지 않다면 순규모 효율성이 존재하는, 즉 규모수익체증(increasing returns to scale) 또는 규모수익체감(decreasing returns to scale) 상태에 있음을 의미한다.

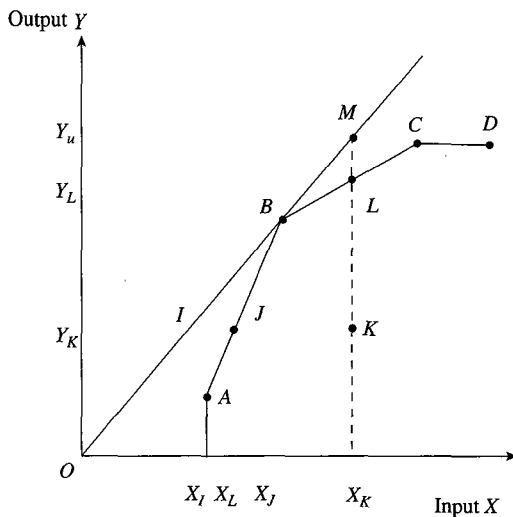
또한 자료포락분석기법은 측정 기준에 따라 다음의 두 종류로 나눌 수 있다. 먼저 투입기준 또는 지향기법(input orientation)은 산출량이 고정된 상태에서 효율적인 업체와 동일한 효율성을 달성하기 위해 절감해야 하는 투입요소량을 구하는 기법이다. 반면 산출기준 또는 지향기법(output orientation)은 투입요소량이 고정된 상태에서 효율적인 업체와 동일한 효율성을 달성하기 위해 증가시켜야 하는 산출량을 구하는 기법이다. 즉 투입기준기법은 산출량 수준을 고정시킨 채 최대도 감축시킬 수 있는 투입요소량을 측정하며, 산출기준기법은 투입요소량 수준을 고정시킨 채 최대도 증가시킬 수 있는 산출량을 측정한다. CRS의 경우는 최적 규모를 가정하기 때문에 규모 효율성이 존재하지 않아서 투입기준과 산출기준기법으로 측정한 기술적 효율성 값이 동일한 반면, VRS의 경우는 최적 규모를 가정하지 않기 때문에 두 기법으로 측정한 기술적 효율성 값이 동일하지 않다. VRS에 의한 투입기준의 효율성 점수가 산출기준의 효율성 점수보다 크다면 산출기준의 효율성을 증가시킬 가능성이 있으므로 규모수익체증을 의미하며, 그 반대의 경우는 규모수익체감을 의미한다.

Odeck과 Alkadi(2001)에서 제시된 <그림 1>을 이용해 뒤에서 추정되는 다섯 가지의 효율성과 규모의 경제성을 구체적으로 정의할 수 있다. 여기서 의사결정단위(decision making unit)인 기업은 단일 투입물 X 를 사용하여 단일 산출물 Y 를 생산하는 경우로 상정된다. 먼저 VRS의 경우 효율적인 생산변경(efficient production frontier)은 $X_A ABCD$, 즉 투입량에 비례하여 산출량이 증가

Dervaux et al. (1998)을 참조.

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

8) 따라서 CRS를 이용할 경우 VRS에 비해 효율적인 업체수가 적게 도출된다.



〈그림 1〉 효율성의 측정

하지 않는 꺾적이 되는 반면, CRS의 경우는 원점과 B를 연결한 직선, 즉 투입량에 비례하여 산출량이 증가하는 꺾적이 된다. 〈그림 1〉에서 투입량 X_K 를 사용하여 산출량 Y_K 를 생산하는 기업 K의 효율성과 규모의 경제성은 두 생산변경을 이용해 식 (1)과 같이 정의된다.

$$E_1 = X_I / X_K, \text{ 투입기준의 기술적 효율성 (VRS)} \quad (1a)$$

$$E_2 = Y_K / Y_L, \text{ 산출기준의 기술적 효율성 (VRS)} \quad (1b)$$

$$E_3 = X_I / X_K, \text{ 투입기준의 총 (gross) 규모 효율성 (CRS)}^9 \quad (1c)$$

$$E_4 = E_3 / E_1 = X_I / X_J, \text{ 투입기준의 순규모 효율성} \quad (1d)$$

$$E_5 = E_3 / E_2 = Y_I / Y_M, \text{ 산출기준의 순규모 효율성} \quad (1e)$$

$$SE = E_2 / E_1 = (Y_K / Y_L) / (X_I / X_K), \text{ 규모의 경제성} \quad (1f)$$

점 K에 위치한 기업은 투입기준의 경우 동일한 산출량을 생산하는데 더 적은 투입량을 사용하는 다른 점 X_I 와 X_J 가 존재하기 때문에 비효율적이며, 산출기준의 경우도 동일한 투입량을 사용하여 더 많은 산출량을 생산하는 다른 점 Y_L 과 Y_M 이 존재하기 때문에 비효율적이다. 식 (1a), (1b) 및 (1c)에 의하면 비효율적인 점 K는 투입기준과 산출기준 모두 효율성 값이 1보다 작다. 즉 1보다 작은 효율성 값은 비효율적임을 의미한다.

업체별 규모수의 상태를 나타내는 순규모 효율성, 즉 E_4 와 E_5 는 식 (1d)와 (1e)와 같이 CRS

9) CRS의 경우는 투입기준과 산출기준기법을 이용해 추정되는 총규모 효율성 값이 같기 때문에 투입기준만 제시하였다.

에 의한 투입 (또는 산출) 기준의 효율성 값을 VRS에 의한 투입 및 산출기준의 효율성 값으로 각각 나누어줌으로써 산정된다. 순규모 효율성의 값이 1이면 분석대상 업체는 규모수익불변 상태에 있음을 의미하는 반면, 1보다 작으면 규모수익체증 또는 체감상태에 있음을 의미한다.

또한 규모의 경제성, SE는 식 (1f)와 같이 VRS에 의한 투입기준의 효율성 값을 산출기준의 효율성 값으로 나누어줌으로써 산정된다. 이 값이 1이면 순규모 효율성의 경우와 같이 분석대상 업체는 규모수익불변 상태에 있음을 의미한다. 반면 이 값이 1보다 작으면 분석대상 업체는 투입량의 절감 가능성에 비해 산출량의 증가 가능성이 더 크므로 규모수익체증 또는 규모의 경제 (economies of scale) 상태에 있음을 의미하는 반면, 1보다 크면 규모수익체감 또는 규모의 불경제 (diseconomies of scale) 상태에 있음을 의미한다.

투입물과 산출물이 다수인 본 연구에서 E_1 과 E_2 는 Banker et al.(1984)에서 제시된 VRS인 BCC 모형을 이용해 추정되며, E_3 는 Charnes et al.(1978)에서 제시된 CRS인 CCR모형을 이용해 추정된다. 투입기준과 산출기준의 승수형태 (multiplier form) VRS 자료포락분석기법은 식 (2)와 (3)의 선형계획문제로 각각 다음과 같이 나타난다.¹⁰⁾

$$E_1 = \text{Max } z_l^I = \sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} + w_l \quad (2a)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^m x_{il} v_{il} = 1 \quad (2b)$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_{rl} - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_{il} + w_l \leq 0 \quad (2c)$$

$$\mu_{rl} \geq 0 \quad (2d)$$

$$v_{il} \geq 0 \quad (2e)$$

$$w_l \geq 0 \quad (2f)$$

$$E_2 = \text{Min } z_l^0 = \sum_{i=1}^m x_{il} v_{il} + w_l \quad (3a)$$

$$\text{s.t. } \sum_{r=1}^s y_{rl} \mu_{rl} = 1 \quad (3b)$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_{rl} - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_{il} + w_l \leq 0 \quad (3c)$$

$$\mu_{rl} \geq 0 \quad (3d)$$

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. 투입기준 자료포락분석기법의 경우 승수형태는 극대화문제로 해가 계산되는 반면, 포락형태는 극소화 문제로 해가 계산된다. 이에 관한 보다 자세한 설명에 대해서는 Nolan (1996)을 참조.

$$v_{il} \geq 0 \quad (3e)$$

$$\omega_i \geq 0 \quad (3f)$$

여기서 j 는 시내버스업체, $j=1, \dots, l, \dots, n$.

r 은 산출물, $r=1, \dots, s$.

i 는 투입물, $i=1, \dots, m$.

따라서 y_{rl} 은 l 번째 업체의 r 번째 산출물의 산출량, x_{il} 은 l 번째 업체의 i 번째 투입물의 투입량, 그리고 μ_{rl} 과 v_{il} 은 산출물 r 과 투입물 i 의 가상적인 승수를 각각 나타낸다. 또한 w_l 은 규모 수익을 의미하는 가상적인 승수를 나타낸다. 반면 E_3 를 추정하는 데 이용되는 승수형태의 CRS 자료포락분석기법은 식 (2)와 (3)에서 w_l 만이 제외된 선형계획문제가 된다.

식 (2)의 투입기준기법에서 식 (2b)와 (2c)의 두 제약조건은 효율성 점수(Z_l^0)가 1인 업체가 효율적이고, 1보다 작을수록 보다 비효율적임을 의미한다. 반면 식 (3)의 산출기준기법에서 식 (3b)와 (3c)의 두 제약조건은 효율성 점수(Z_l^0)가 1인 업체가 효율적이고, 1보다 클수록 보다 비효율적임을 의미한다. 그러나 본 연구에서는 투입기준기법의 결과와 쉽게 비교할 수 있도록 산출기준기법을 이용해 추정되는 업체별 효율성 점수는 역수($1/Z_l^0$)를 취해 1과 0 사이의 값으로 변환하였다.

Ⅲ. 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 안건회계법인(1998)의 34개 업체에 대한 경영보고서를 이용해 구축되었다.

본 연구에서는 산출물로 다음과 같은 두 가지 이유에서 공급관련지표인 운행거리를 선택하였다. 먼저 Oum과 Yu(1994)가 밝히고 있는 것처럼 서울과 같이 운임과 노선 등에 대해 정부가 규제하는 경우의 효율성을 측정할 때는 공급관련지표가 승객수 등의 수요관련지표보다 적합한 것으로 알려져 있기 때문이다. 또한 시내버스운송업을 대상으로 비용함수의 추정을 통해 규모의 경제성을 분석한 선행연구들이 공급관련지표를 보다 많이 사용하였기 때문이다. 자료포락 분석에 사용된 투입물은 노동, 즉 기사 및 행정직원, 유류, 차량, 정비직원이며, 산출물은 도시형버스와 좌석버스로 구분된다.¹¹⁾ 자료포락분석에 사용되는 투입물과 산출물 자료의 특성은 <표 1>과 같다.

이러한 자료를 바탕으로 식 (2)와 (3)을 업체마다 각각 구성하여 업체 수만큼의 선형계획의

11) 일반적으로 서울의 시내버스업체는 도시형, 좌석, 지역순환버스를 운행하나, 지역순환버스가 전체에서 차지하는 비중이 1.86%에 불과하기 때문에 이를 도시형버스에 포함시켰다.

〈표 1〉 자료포락분석에 사용되는 투입물과 산출물 자료의 특성

	투입물				산출물		
	노동	차량	유류	정비	도시형 ¹⁾	좌석	계
	(인)	(대)	(천 l)	(인)	운행거리(천버스-km)		
최대값	633	243	12,362	75	16,574	18,640	30,764
최소값	125	48	1,836	10	2,636	534	4,454
평균값	266	106	4,141	31	6,693	3,430	10,122
표준편차	105	40	1,783	14	2,913	3,006	4,443

주: 1) 도시형버스의 산출물에는 지역순환버스의 산출물이 포함됨.

해를 도출한다. 이렇게 도출된 해가 각 업체의 기술적 효율성 점수가 된다. 업체별 효율성 점수는 GAMS 프로그램을 이용하여 추정되었다.

IV. 추정결과 및 해석

1. 효율성

〈표 2〉는 자료포락분석에 의한 69개 업체의 효율성 및 규모의 경제성 추정결과를 요약한 것이다. 첫째, E_1 , 즉 VRS에 의한 투입기준의 효율성 값은 업체의 규모에 관계없이 단기적으로 가장 효율적인 업체와 같게 되기 위해 투입량을 절감해야 하는 정도를 제시한다. E_1 의 평균값은 0.993, 그리고 가장 비효율적인 업체의 효율성도 0.981로 추정되므로 표본에 포함된 모든 업체는 대단히 효율적이라고 할 수 있다. 이러한 결과가 나온 이유는 분석대상 지역이 협소하여 거의 동질적인 환경 내에 있고, 민간이 운영하기 때문으로 추론된다. 또한 평균업체¹²⁾와 가장 비효율적인 업체의 효율성은 각각 98.9%와 98.1%인 것으로 나타났다. 이는 평균업체와 가장 비효율적인 업체가 현재보다 투입량을 1.1%와 1.9%만큼 각각 절감할 수 있음을 의미한다. 반면 전체 업체는 평균적으로 투입량을 0.7%만큼 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

한편 〈그림 2〉에서 볼 수 있는 것처럼 업체의 총운행거리 또는 규모가 작을수록 효율적인 업체가 보다 많은 것으로 나타났다. 그러나 〈표 3〉에서 볼 수 있는 것처럼 표본에 포함된 69개 업체를 총운행거리를 기준으로 23개 업체씩 3등분한 후 업체의 규모별로 E_1 의 평균값을 구한 결과 하위, 상위, 중위 순서로 높고, 그 값도 거의 같기 때문에 업체의 순기술적 효율성과 규모간에 관련이 있다고 단정하기는 어려운 것으로 판단된다.¹³⁾

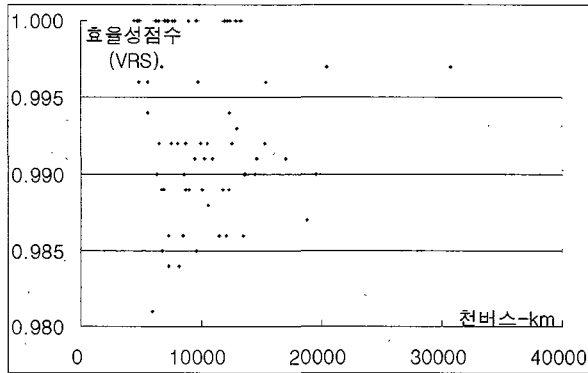
12) 평균업체란 투입물과 산출물의 표본 평균값을 갖는 가상의 업체를 의미한다. 이러한 평균업체를 상정한 이유는 평균값은 전체 업체의 효율성을 단순 평균한 값이므로 개별업체와 비교가 어려우나, 평균업체는 개별업체와 직접적인 비교가 가능하기 때문이다.

13) Odeck과 Alkadi(2001)에서도 VRS를 이용해 추정된 효율성과 산출물(또는 업체)의 규모 간에는 상관관계가 대단히 낮은 것으로 추정되었다.

<표 2> 효율성 및 규모의 경제성 추정결과

	E_1	E_2	E_3	$E_4^{1)}$	$E_5^{1)}$	SE(규모의 경제성) ²⁾
최대값	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.011
최소값	0.981	0.982	0.981	0.985	0.989	0.984
평균값	0.993	0.993	0.991	0.998	0.998	1.000
표준편차	0.005	0.005	0.005	0.004	0.003	0.005
효율적 업체수	19	21	13	-	-	-
CRS 업체수	-	-	-	54	37	23 ³⁾
평균업체	0.989	0.991	0.989	1.000	0.998	1.002

- 주: 1) 분석대상업체의 규모수의 상태를 나타냄. 이 값이 1이면 분석대상업체는 규모수익불변(CRS) 상태를 의미하고, 1보다 작으면 규모수익가변 상태임을 의미함.
 2) E_2/E_1 로 계산됨. 이 값이 1보다 작으면 규모의 경제 또는 규모수익체증을 의미하고, 1보다 크면 규모의 불경제 또는 규모수익체감을 의미함.
 3) 표본에 포함된 업체들 중 17개 업체는 규모의 경제, 그리고 30개 업체는 약한 규모의 불경제가 존재하는 산출량 영역에서 시내버스를 운행하는 것으로 추정됨.



<그림 2> 업체의 총운행거리와 효율성(E_1) 사이의 관계

<표 3> 업체의 규모별 효율성(E_1) 특성

	상위	중위	하위
최대값	1.000	1.000	1.000
최소값	0.986	0.984	0.981
평균값	0.993	0.991	0.995
표준편차	0.005	0.005	0.006
효율적 업체수	5	4	10

둘째, E_2 , 즉 VRS에 의한 산출기준의 효율성 값은 어떤 업체가 단기적으로 가장 효율적인 업체와 같게 되기 위해 산출량을 증가시켜야 하는 정도를 제시한다. <표 2>에서 볼 수 있는 것처럼 평균업체와 가장 비효율적인 업체의 효율성은 각각 99.1%와 98.2%인 것으로 나타났다. 이는 평균업체와 가장 비효율적인 업체가 현재보다 산출량을 각각 0.9%¹⁴⁾와 1.8%만큼 증가시킬 수 있음을 의미한다. 반면 전체 업체는 평균적으로 산출량을 0.7%만큼 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, E_3 , 즉 CRS에 의한 투입기준의 효율성 값은 어떤 업체가 장기적으로 가장 효율적인 최적 규모의 업체와 같게 되기 위해 투입량을 절감해야 하는 정도를 제시한다. <표 2>에서 볼 수 있는 것처럼 평균업체와 가장 비효율적인 업체의 효율성 값은 E_1 과 같지만, 평균값은 E_1 보다 약간 낮으며 효율적인 업체수도 E_1 보다 적은 것으로 나타났다. 이는 E_1 의 경우 순기술적 효율성만이 측정되는 반면, E_3 의 경우에는 규모 효율성도 측정되기 때문이다. 즉 어떤 업체의 규모가 최적이지 아닐 경우에는 기술적으로 효율적이라고 하더라도 E_3 를 기준으로 할 때에는 비효율적인 것으로 나타나기 때문이다.

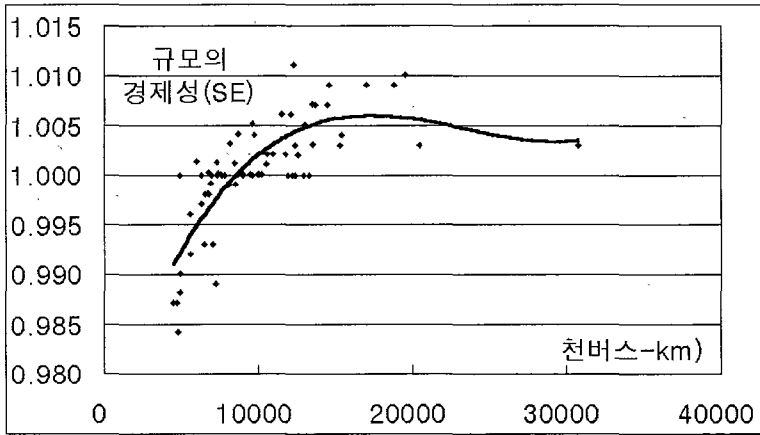
마지막으로, E_4 와 E_5 , 즉 투입기준과 산출기준의 순규모 효율성은 어떤 업체가 규모수익불변 상태에 있는 지 또는 규모수익가변(체증 및 체감) 상태에 있는 지를 제시한다. <표 2>에서 볼 수 있는 것처럼 평균업체와 가장 비효율적인 업체 모두 E_4 와 E_5 의 값이 1 또는 거의 1과 같으므로 규모수익불변 상태에 있는 것으로 나타났다. 또한 전체 업체도 평균적으로 규모수익불변 상태에 있는 것으로 나타났다.

2. 규모의 경제성과 최소효율규모

<그림 3>은 업체별 SE, 즉 규모의 경제성을 업체의 산출량 규모를 나타내는 총운행거리에 대하여 산포도로 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 소규모 업체들의 대부분은 규모의 경제가 존재하는 산출량 영역에서 운송서비스를 생산하고 있는 반면, 대규모 업체들의 대부분은 약한 규모의 불경제가 존재하는 영역에서 운송서비스를 생산하고 있는 것으로 나타났다.

시내버스업체의 총운행거리 기준으로 최소효율규모(minimum efficient scale)를 구하기 위해 <그림 3>의 산포도에 여러 함수형태의 회귀선을 적합시킨 결과 수정결정계수(\bar{R}^2)와 계수추정치 유의도가 높은 식 (4)의 3차다항식이 채택되었다. 식 (4)를 이용해 y 값이 1이 되는 x 의 값을 구한 결과 시내버스업체의 최소효율규모는 8,642 천버스-km로 추정되었다. <그림 3>에서 볼 수 있는 것처럼 이 값보다 적은 총운행거리를 생산하는 업체들은 대부분 약한 규모의 경제 또는 규모수익불변 상태에 있는 반면, 이 값보다 큰 총운행거리를 생산하는 업체들은 대부분 규모수익불변이거나 대단히 약한 규모의 불경제 상태에 있는 것으로 나타났다.¹⁵⁾ 이러한 결과로

14) 어떤 업체가 가장 효율적인 업체와 같게 되기 위해 산출량을 증가시켜야 하는 정도는 $(1/E_2 - 1) * 100$ 으로 계산된다.



〈그림 3〉 시내버스업체의 규모의 경제성

부터 장기평균비용곡선¹⁶⁾의 형태를 유추해 보면 최소효율규모까지는 하강하다가 이후부터는 대단히 완만하게 상승하는 L자에 가까운 형태일 것으로 예상된다.

$$y = 0.975 + 4.528 \times 10^{-6}x - 2.088 \times 10^{-10}x^2 + 2.997 \times 10^{-15}x^3, \quad \overline{R^2} = 0.624$$

$$(0.004) \quad (1.083 \times 10^{-6}) \quad (7.673 \times 10^{-11}) \quad (1.549 \times 10^{-15}) \quad (4)$$

여기서 x 와 y 는 각각 업체의 총운행거리(천버스-km)와 규모의 경제성 값을 나타내며, () 안의 값은 표준오차이다.

다음으로 시내버스업체의 차량보유대수 기준으로 최소효율규모를 추정하기 위해 〈그림 4〉와 같이 업체별 차량보유대수를 총운행거리에 대하여 산포도를 그린 후, 여기에 회귀직선을 적합시켜 식 (5)를 구하였다.

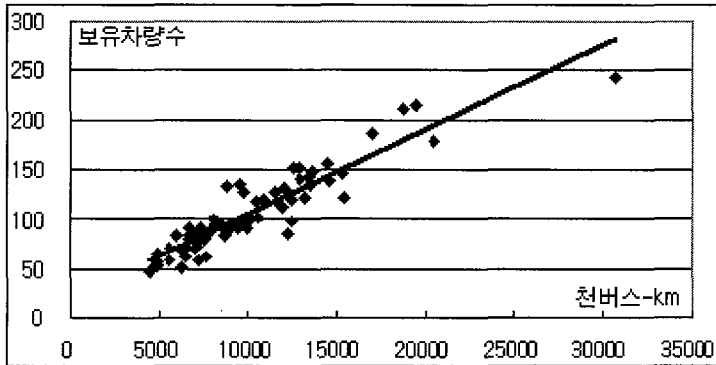
$$y = 0.008x + 20.865, \quad \overline{R^2} = 0.855$$

$$(20.010) \quad (4.491) \quad (5)$$

여기서 x 와 y 는 업체의 총운행거리(천버스-km)와 보유차량대수를 각각 나타내며, () 안의 값은 t 통계량이다.

15) 본 연구와 같이 자료포락분석기법을 이용해 버스운송업의 규모의 경제성을 분석한 Cowie와 Asenova(1999) 및 Odeck과 Alkadi(2001)에서도 이와 같은 결과가 도출되었다. 또한 비용함수 추정을 통해 버스운송업의 규모의 경제성을 분석한 김성수·김민정(2001) 및 Jorgensen et al.(1997)에서도 이와 같은 결과가 도출되었다.

16) 자료포락분석기법을 이용해 구한 결과로부터 장기평균비용곡선을 직접적으로 도출할 수는 없지만, 효율성과 평균비용은 반비례한다는 사실로부터 간접적으로 유추할 수는 있다.



〈그림 4〉 총운행거리와 보유차량대수 사이의 상관관계

식 (5)에 앞에서 도출된 8,642 천버스-km를 대입한 결과 서울 시내버스업체의 최소효율규모는 94대인 것으로 추정되었다. 이는 김성수·김민정(2001)에서 최소효율규모로 제시된 223~371대와 비교하여 작은 수치이지만, 앞에서 언급한 것처럼 본 연구의 결과로부터 유추되는 장기평균비용곡선이 94대를 변곡점으로 하는 L자 형태의 곡선이기 때문에 94대와 223~371대에서의 장기평균비용은 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 1996년의 서울의 시내버스업체별 자료를 이용하여 자료포락분석기법으로 업체별 효율성을 계산한 다음, 규모의 경제성과 최소효율규모를 도출하였다. 이 때 시내버스업체를 노동, 차량, 유류 및 정비의 네 생산요소를 투입하여 도시형버스-km와 좌석버스-km를 생산하는 기업형태로 상정하였다.

VRS와 CRS에 의한 투입 및 산출기준 자료포락분석기법을 적용한 결과 순기술적 효율성의 관점에서 서울의 시내버스업체는 평균적으로 투입물을 0.7% 정도 절감할 수 있었거나 산출물을 0.7% 정도 더 생산할 수 있었던 것으로 나타났으며, 이러한 기술적 효율성은 시내버스업체의 규모와는 큰 관련이 없는 것으로 나타났다. 또한 서울의 시내버스업체가 최적 규모를 달성할 경우에는 평균적으로 투입물을 0.9% 정도 절감할 수 있었던 것으로 나타났다. 마지막으로 서울 시내버스업체의 최소효율규모는 94대이며, 94대보다 큰 규모에서는 대단히 약한 규모의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다.

이러한 결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 서비스 공급면에서 서울의 시내버스업체는 상당히 효율적이며, 이는 민간기업의 운행과 무관하지 않기 때문에 공영제보다는 현재의 민간운영체제가 효율성 측면에서 더 나은 것으로 판단된다. 둘째, 최소효율규모인 94대

이상에서는 장기평균비용이 거의 같다고 할 수 있기 때문에 서울 시내버스업체의 대형화 정책은 최소한 생산비용 측면에서 타당하지 않다고 할 수는 없는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김성수·김민정(2001), “서울 시내버스운송업의 규모 및 범위의 경제성 분석”, 대한교통학회지, 제19권, pp. 89-102.
2. 박순달(1999), “선형계획법”, 민영사.
3. 산동회계법인(1997), “’96 서울 시내버스요금 운송원가 검증 및 경영분석 (I)·(II)”.
4. 손의영·이우승(2000), 시내버스 산업정책과 구조조정 방향 연구, 서울시정개발연구원.
5. 서울특별시(2002), 새서울 시정백서 2001.
6. 안건회계법인(1998), “서울특별시 시내버스업체 경영진단 보고서”.
7. 오미영·김성수·김민정(2002), “자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석”, 대한교통학회지, 제20권, pp. 59-68.
8. 이준구(1995), “미시경제학”, 제2판, 법문사.
9. 한국산업관계연구원(1997), “’96 서울 시내버스요금 운송원가 검증 및 경영분석 (I)·(II)”.
10. Banker, R. D. et al.(1984) “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in DEA”, Management Science, Vol. 30, pp. 1078-1092.
11. Brooke, A. et al.(1988), “GAMS: A User’s Guide”, The Scientific Press.
12. Charnes, A. W. et al.(1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, European Journal of Operational Research, Vol. 2, pp. 429-444.
13. Cowie, J. and D. Asenova(1999), “Organisation Form, Scale Effects and Efficiency in the British Bus Industry”, Transportation, Vol. 26, pp. 231-248.
14. Dervaux, B. et al.(1998), “Radial and Nonradial Static Efficiency Decompositions: A Focus on Congestion Measurement”, Transportation Research B, Vol. 32, pp. 299-312.
15. Jorgensen, F. (1997), “Estimating the Inefficiency in the Norwegian Bus Industry from Stochastic Cost Frontier Models”, Transportation, Vol. 24, pp. 421-433.
16. Kerstens, K.(1996), “Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies”, Transportation Research A, Vol. 30, pp. 431-452.
17. Nolan, J. F.(1996), “Determinants of Productive Efficiency in Urban Transit”, The Logistics and Transportation Review, Vol. 32, pp. 319-342.
18. 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.

19. Odeck, J. and A. Alkadi(2001), "Evaluating Efficiency in the Norwegian Bus Industry Using Data Envelopment Analysis", *Transportation*, Vol. 28, pp. 211-232.
20. Oum, T. H. and C. Yu(1994), "Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy", *Transportation*, Vol. 28, pp. 121-138.
21. 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.
22. 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.
23. Viton, P. A.(1997), "Technical Efficiency in Multi-mode Bus Transit: A Production Frontier Analysis", *Transportation Research B*, Vol. 31, pp. 23-39.
24. Viton, P. A.(1998), "Changes in Multi-mode Bus Transit Efficiency, 1988-1992", *Transportation*, Vol. 25, pp. 1-21.