

[연구논문]

서울시 쓰레기수거서비스의 효율성 평가

Measuring the Efficiency of Refuse Collection Service in Seoul

이 찬 우 * . 이 은 국 **

목 차

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| I. 서론 | 효율성 측정: CCR모형 |
| II. 도시공공서비스와 쓰레기수거서비스 | IV. 자료포락분석에 의한 효율성 평가 |
| III. 자료포락분석에 의한 도시공공서비스의 | V. 결론 |

ABSTRACT

Chan Woo Lee · Eun Kook Lee

Local governments usually adopt one of the three typical strategies-revenue increase, privatization, and efficiency improvement-to manage fiscal strains. This study focuses on the latter type: the efficiency improvement. In this respect, the main purpose of the study is to measure the efficiency of urban public service such as refuse collection. Since correct efficiency measurement is a prerequisite to efficiency improvement, the study employs Data Envelopment Analysis(DEA) especially CCR(CRS) model as a method to measure relative efficiency of refuse collection service as one of urban public services. One of the major strengths of DEA is that it can consider multi-dimensional inputs and outputs simultaneously without any preliminary weights. The study measures the efficiency of urban public service in 25 autonomous districts of Seoul in 1999.

As a result of CCR analysis, P-gu and R-gu are proven to be more efficient than all other districts in human resource management, financial management and equipment management. The Data Envelopment Analysis results such as amount of inefficiency, reference groups and so on provide useful policy guidelines in managing refuse service for 25 autonomous districts in Seoul.

키워드(Key Words): 자료포락분석(DEA), 도시공공서비스(urban public service), 쓰레기수거서비스(refuse collection service), 상대적 효율성(relative efficiency), 기술적 효율성(technical efficiency), 배분적 효율성(allocative efficiency), CCR모형(CCR model), 의사결정단위(DMU)

* 피츠버그행정대학원 박사과정

** 연세대학교 행정학과 교수

I. 서론

1. 연구의 목적

도시정부는 시민을 위하여 과연 어떠한 기능을 수행하며, 시민에게 어떠한 편익을 제공하는가에 그 존재의의가 있다. 따라서 도시정부는 시민들의 복지 및 삶의 질 향상, 지역경제활성화를 도모하기 위하여 도시기반시설을 비롯한 각종 생활서비스, 상·하수도 등의 공공사업, 교육·문화·소방·치안 등 다양한 도시공공서비스를 시민들에게 제공한다. 그런데 도시공공서비스를 전달하는 과정에서 중요한 것은 얼마나 능률적으로 생산하며, 얼마나 시민들에게 효과적으로 제공되는가 하는 것이다.

이러한 맥락에서 공공서비스의 공급뿐만 아니라 정부의 역할에 관해 정부와 시장 중 어느 것에 의존할 것인가를 선택하는 것은 대단히 복잡하고도 어려운 일임에 틀림없다(Wolf 1989). 하지만 1980년대 이후 불어온 민영화의 열풍은 세계 각국을 풍미해온 정책유행(policy boom)이 된 것이 사실이다. 그 이유는 민영화가 도시정부의 어려움을 완화시켜주고 나아가 공공서비스 생산의 효율성도 제고시켜 주는 효과가 있다고 판단했기 때문이다.

그러나 보다 본질적인 문제는 그 공급의 주체가 누구냐가 아니라 어떻게 하면 공공서비스 공급에 있어서 효율성 및 생산성을 증대할 수 있는가 하는 것이다. 이는 전세계적으로 1980년대와 1990년대에 공공부문 운용의 비효율성에 대한 비판이 거세게 일어남에 따라 종래의 전통적인 행정학 패러다임에서 경쟁적 패러다임으로의 전환

과정에서 공공부문의 효율적 관리를 위해 사부문의 관리기법들을 이용하려는 노력의 일환으로 등장한 공공관리(public management)를 통해서도 엿볼 수 있다. 즉 세계 각국이 공공서비스의 민영화, 독립기관화(agency), 계층제적 관료제형태에 대한 개혁 등을 단행하는 행정개혁의 과정에서 공공관리는 전통적인 행정을 비판하고, 기업가적 정부를 토대로 집행보다는 전략적 관리, 성과와 책임 및 경쟁 등을 강조하고 있다(Hughes 1994).

도시공공서비스의 효율성 문제도 바로 이러한 맥락에서 중요시된다. 즉 도시정부는 스스로의 재정자립 노력과 가지고 있는 자원의 보다 효율적으로 사용하기 위한 방안으로서 감축관리(downsizing), 대안적 세원개발, 대안적 서비스전달, 공공서비스의 민영화, 생산성향상, 공생산(coproduction) 등의 다양한 수단을 모색하고 있다.

따라서 도시정부는 효율성 내지 성과, 생산성에 대한 측정을 필요로 하게 되었으며, 또한 이러한 측정의 결과는 어떠한 측정방법을 채택하느냐에 따라 달라질 수 있기 때문에 효율성 측정의 방법에 대한 논의도 중요성을 가지게 되었다.

결국 어떻게 효율성을 측정하고 향상시킬 수 있는가 하는 물음에 대해서 본 연구에서는 이상적인 기준을 설정하여 효율성을 측정하는 것보다는 유사 대상조직간의 상대적 효율성(relative efficiency)을 측정하는 것에 초점을 두었다. 따라서 본 연구에서는 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 비영리부문의 상대적 효율성을 측정하기 위해 고안된 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: 이하 DEA)을 이용하였다. DEA는 효율성을 측정하기 위한 적절한

방법으로서 그 유용성을 인정받았고, 그 활용이 다양한 분야에서 점차 확산되어 오는 실정이어서 효율성 측정의 한계를 극복하고 있는 것으로 평가된다.

따라서 이러한 상황들을 감안하여 본 연구에서는 DEA의 유용성을 도시정부가 제공하는 공공서비스의 하나인 쓰레기수거서비스에 적용하여 도시공공서비스의 효율성을 측정해 보고, 이를 통해 비효율성이 발생하는 원인을 검토하여 도시공공서비스를 효율화할 수 있는 방안을 모색하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 쓰레기수거서비스를 대상으로 도시공공서비스의 효율성을 측정한다. 쓰레기수거서비스를 선정한 이유는 환경적 측면에서 볼 때 쓰레기문제는 그 하나만의 문제가 아니라 복합적인 환경문제를 초래한다는 점에서 도시공공서비스와 관련된 여러 정책분야에 대한 함의가 큰 것으로 간주되기 때문이다. 또한 경제적 측면에서 볼 때 쓰레기의 수거, 운반, 처리는 상당한 비용이 소요된다는 점과 정치·사회적 측면에서 쓰레기 관리행정은 지역이기주의(NIMBY)로 인해 어려움을 겪는 등 그 중요성이 인정되기 때문이다. 또한 쓰레기수거서비스의 경우는 현재 민간대행률이 상당히 높은 실정이어서 민영화의 성과측정도 병행할 수 있는 장점이 있다. 그리고 본 연구가 쓰레기수거서비스를 대상으로 하고 있지만, 그 결과는 다른 유형의 도시공공서비스에 관해서도 상당한 시사점을 제공해 줄 수 있을 것이다.

본 연구에서는 DEA의 CCR모형을 이용하여

서울시의 25개 자치구를 대상으로 1999년의 횡단면 자료에 대해 효율성 측정을 한다. 또한 이를 통해 상대적 효율성 점수의 수준이 각 자치구별로 어떤 분포를 보이는지를 살펴본 후, 준거집단에 대한 분석과 자치구별 비효율성의 크기에 대한 분석을 수행한다.

II. 도시공공서비스와 쓰레기수거서비스

일반적으로 도시공공서비스(urban public service)라는 개념은 공공서비스(public service)라는 개념에 도시라는 공간적·지역적 의미를 포함시킨 것으로 간주된다. 따라서 공공서비스에 대한 개념설명이 먼저 전제되어야 도시공공서비스를 이해할 수 있다. 그런데 흔히 공공서비스를 공공재의 범주안에 포함시켜 파악하는 입장(Savas 1983; Ostrom & Ostrom 1977)에서는 공공서비스가 공공재 이론에서처럼 두 가지의 기본적인 특성을 지니고 있는 것으로 파악한다. 즉 소비에 있어서의 비경합성(nonrival consumption)과 비배제성(nonexclusion)을 지니고 있는 것이 공공서비스라는 것이다.

이처럼 공공서비스는 소비에 있어서의 비경합성과 비배제성을 특징으로 하지만, 사실상 정부, 특히 도시정부가 시민에게 공급하는 서비스 가운데는 이러한 두 가지 성격을 완전히 갖춘 것은 드물며, 대부분의 서비스가 이 두 가지의 성격을 정도를 달리하여 갖고 있다(박경원 1992, 340). 따라서 공공서비스란 비경합성과 비배제성의 원리가 엄격히 적용되는 순수 공공재라기보다는 후술하는 바와 같이 순수 공공재와 요금재, 공유재의 요소를 두루 포함하는 비사적재(non-private

goods) 혹은 준공공재(quasi-public goods)라고 할 수 있다(손희준 1991, 11; 이효 1994, 10).¹⁾

도시공공서비스의 개념은 기본적으로 이러한 공공서비스의 성격에 ‘도시’라는 공간적·지역적 의미를 포함시킨 것이다. 따라서 도시공공서비스는 도시라는 공간적 차원에서 생산·제공되며 소비되어지는 공공서비스라고 정의할 수 있다. 즉 도시공공서비스란 도시를 물적 단위로 하여 공공이 이용할 수 있도록 제공되는 재화나 용역의 총체를 지칭한다. 또한 성격상 사회일반공중의 일상생활에 필수불가결한 서비스이긴 하지만, 반드시 정부나 공공기관에 의해 제공되는 서비스를 말하는 것은 아니고(이성복 2000, 373-374), 민간부문에서 제공되더라도 비경합적 소비와 비배제성의 두 가지 특징을 지니고 있으면 도시공공서비스가 된다(박수영 1993, 239).²⁾ 한편 이러한 도시공공서비스를 광의의 개념으로는 도시정부가 직접 제공하는 행정서비스를 포함하여 해당 지역사회에서 공공재적 성격을 갖고 지역주민에 의해 사용되는 기반서비스로 이해할 수 있다(이종수 1995, 94).

사람이 활동하는 곳에는 항상 쓰레기가 생기기 마련이다. 일상생활은 물론이고 생산과정에서도 쓰레기는 끊임없이 발생하기 때문이다. 과거에는 쓰레기 문제가 큰 관심을 끄는 사안이 아니었지만, 오늘날의 상황은 다르다. 통계에 의하면 서울 시민들이 버리는 생활쓰레기가 매일 10,972톤에

이르는데, 이는 2.5톤 수거차량으로 4,388.8대분에 해당한다. 그러나 이러한 상황에서도 쓰레기관리에 대한 시민들의 인식은 매우 열악한 실정이다.

쓰레기의 발생으로 인한 문제는 크게 환경적 측면, 경제적 측면, 정치·사회적 측면으로 나누어 생각할 수 있다(김인환, 이덕길 1998, 315).

첫째, 환경적 측면에서 볼 때 쓰레기문제는 복합적인 환경문제를 초래한다. 쓰레기를 수거, 운반할 때와 매립, 소각할 때 나오는 먼지, 악취와 유해가스는 대기오염을 유발할 뿐만 아니라, 쓰레기를 처리할 때 배출되는 침출수로 인해 수질오염과 토양오염 등의 복합적인 문제를 야기하기 때문이다.

둘째, 경제적 측면에서 볼 때 쓰레기의 수거, 운반, 처리는 상당한 비용이 소요되므로 이를 위한 서비스가 새로운 산업으로 등장하고 있는 실정이다. 국민경제적으로 볼 때 쓰레기를 단순히 매립하는 것은 토지소요 및 자원의 낭비를 초래하기 때문이다.

셋째, 정치·사회적 측면에서 볼 때 쓰레기관리 행정은 지역이기주의 또는 NIMBY 현상 등 여러 가지 어려움을 겪게 된다.

따라서 쓰레기를 수거하고 처리하는 일련의 과정은 공공부문이 담당해야 할 매우 중요한 과제 중의 하나라고 할 수 있으며, 특히 도시지역에서 도시공공서비스로서 쓰레기의 관리가 갖는 위치

1) 도시공공서비스는 순수공공재적 성격을 가졌다고보다는 서비스소비자가 증가함에 따라 혼잡에 의해 서비스의 양과 질이 감소되는 부분감소성(partial subtractibility)의 성격을 지니고 있어(박수영 1993, 241), 어느 정도 선택적 소비와 배제가 가능한 준공공재적 성격을 지닌다.

2) Savas는 공공서비스란 반드시 정부에 의해 공급되는 서비스만을 의미하는 것은 아니라고 보고 있다(Savas 1987, 4). 또한 Roth는 공공서비스를 공급주체가 공공이나 민간이나에 관계없이 공중이 이용 가능한 서비스로서, 일반적으로 공급의 책임이 정부에 주어지는 서비스로 정의를 내리고 있다(박경원 1992, 342). 따라서 민영화된 도시공공서비스에 대한 효율성 평가는 민간부문이 수행해야 된다는 주장은 비논리적이며, 이는 당연히 공공부문이 수행해야 할 과제 중의 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서도 도시공공서비스를 도시정부뿐만 아니라 민간부문에서도 생산·공급하는 것으로 보기로 한다.

는 더욱 중요해 지고 있다. 도시화가 고도로 진행되고 생활방식이 변모되면서 쓰레기의 배출량이 증가하고 가정에서의 쓰레기 처리능력이 사라져 공공서비스의 일종으로 계획적 처리가 불가피하게 된 것이다.

이러한 점에서 쓰레기의 수거는 공공서비스의 성격을 몇 가지 점에서 공유하게 된다. 쓰레기수거서비스는 주민들이 쓰레기를 제때 버릴 수 없거나, 사용을 배제하면 무임승차로 인한 환경오염의 문제가 발생하기 때문에 비경합성과 비배제성의 특성을 갖게 된다. 또한 쓰레기수거서비스는 다양한 도시공공서비스 가운데서도 주민의 생활과 환경에 가장 밀접하게 관련되어 있는 일상적 서비스(routine service)이다. 그리고 지방자치시대에는 무엇보다도 주민의 수요에 탄력적으로 대응하는 행정이 요구될 뿐만 아니라 주민복지의 사회적 최저수준(social minimum)을 유지하는 행정이 요구된다. 이러한 관점에서 볼 때 쓰레기수거서비스는 주민의 선호와 반응이 가장 민감하게 반영되는 공공서비스라고 할 수 있다.

이렇듯 쓰레기수거서비스는 일상적, 기초적인 도시정부의 공공서비스로 파악되기 때문에 다른 공공서비스와는 달리 무엇보다도 효율적인 공급이 요구된다. 즉 주민 부담을 가급적 최소화하면서도 편리하고 적시성(timeliness) 있게 쓰레기를 수거·처리해야만 하는 것이다. 더욱이 쓰레기수거서비스는 주민 모두와 관련된 동질적인 서비스이기 때문에 주민의 의사를 정책에 반영하는 대응성도 요청된다.

결국 쓰레기수거서비스에 있어서는 궁극적으로 시민들의 편익을 위한 공중위생이라는 목적을 달성하기 위해 도시정부가 주민이 만족하는 수준의

서비스를 어떠한 방법과 비용으로 공급해야 할 것인가 하는 효율성(능률성) 및 주민의 선호와 반응을 고려한 효과성, 형평성, 대응성 등의 가치가 중요시되며, 이러한 점을 고려할 때 본 연구에서 도시 쓰레기수거서비스를 대상으로 효율성을 측정하는 것은 중요한 의미가 있다고 본다.

III. 자료포락분석에 의한 도시공공서비스의

효율성 측정: CCR모형

1. 효율성 측정방법

도시공공서비스의 효율성 측정방법들은 프론티어 접근과 비프론티어 접근으로 나눌 수 있다.

1) 비프론티어 접근법

일반적으로 효율성을 측정하는 방법 가운데 비프론티어 접근법에는 비용-편익분석(cost-benefit analysis: 이하 CBA), 비율분석(ratio analysis), 회귀분석(regression analysis) 등이 있다.

먼저 CBA는 각 대안에 대해 투입되는 비용과 이로 인한 편익을 종합·검토함으로써 최적의 대안을 결정하게 되며, 이는 어떤 주어진 목표를 달성함에 있어서 사회의 희소한 자원을 가장 효율적으로 사용할 수 있는 대안, 즉 사회적 순편익(net social benefits)을 극대화할 수 있는 대안을 선정하는 데 그 목적이 있다(하연섭 1997, 180). 그리고 CBA에서는 최적의 대안을 선택하기 위한 의사결정의 기준으로서 순현재가치(net present value: NPV), 내부수익률(internal rate of return: IRR) 및 편익-비용비율(benefit-cost ratio: BCR)이라는 세 가지 방

법을 사용하고 있다.³⁾

둘째, 비율분석은 산출을 금액으로 환산하지 않고 측정된 단위 그대로 활용할 수 있을 뿐 아니라, 효율성 측정을 위한 별도의 자료수집이나 조작화 없이 연말이나 회기말까지 집계된 산출량을 그대로 사용할 수 있다. 또한 수학적으로도 간단하고 이해하기 쉽기 때문에 그 사용이 용이하다는 장점이 있어서 가장 단순하고 일반적으로 사용되는 방법이다(윤경준 1995, 53; 박용치 1998, 249-254).

셋째, 효율성을 측정하는 한 방법으로 회귀분석을 이용하는 방법은 평균적 효율성을 추정하고 이러한 평균적 효율성과의 관련 속에서 각 조직이나 서비스의 효율성을 측정하는 것을 말한다.⁴⁾ 회귀분석은 한 변수의 변이를 다른 변수의 변이를 통해 설명하는 방법으로 주로 예측을 목적으로 활용된다.

2) 프론티어 접근법

프론티어를 측정하는 방식⁵⁾은 두 개의 주요한 방법으로 대별될 수 있다. 즉 계량경제적(econometric)인 접근으로 프론티어를 추정하여 절대적인 효율성(absolute efficiency)을 측정하는 확률적·모수적(stochastic·parametric) 방법이 확률전선모형(stochastic frontier model: SFA or SFP)이고, 이에 반해 수리계획적(mathematical programming) 접근으로 프론티어를 추정하여 상대적 효율성(relative efficiency)을 측정하는 결정적·비모수적(deterministic·non-parametric) 방법은 자료포락분석(DEA)이다(Washington & Dollery 2000, 471; Bryce et al. 2000, 512-514; Coelli 1996, 4; 박용치 1998, 243; 윤경준 1998, 260).⁶⁾

먼저 확률전선모형의 생산함수인 확률전선생산함수는 현재의 기술수준하에서 일정한 양의

3) 순현재가치(NPV)란 연도별 순편익의 흐름을 할인하여 현재의 화폐가치로 나타낸 것으로, 이는 비용과 편익의 발생시기가 다를 경우 단순비교만으로 우열을 판단하기 어렵기 때문에 사용한다. 그리고 내부수익률(IRR)이란 순현재가치가 0이 되게 하는 할인율을 의미한다. NPV는 다음과 같이 계산된다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (r: \text{할인율})$$

4) 많은 논자들이 회귀분석기법을 이용하여 효율성을 측정하려 했는데, 그 최초의 시도는 Feldstein이다. 이는 생산함수를 이용하여 기술적 효율성과 배분적 효율성을 측정하는 것으로 기본적인 논지는 다음과 같다(박용치 1998, 254-256).

① 기술적 효율성은 Cobb-Douglas 생산함수를 변형하여 다음의 식을 만들 수 있다.

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum \beta_j \ln X_{ij} + u_i \quad (Y_i: \text{산출}, \beta: \text{산출탄력성}, X_i: \text{투입}, u_i: \text{오차항})$$

여기에 OLS를 적용하면 β_j 의 추정치를 얻을 수 있으며 오차항 u_i 도 계산되는데, 오차항 $u_i = 0$ 인 조직(즉, 회귀선 위에 있는 조직)은 평균적인 기술적 효율성이 있는 조직이고, (+)의 잔여를 갖는 조직은 평균이상율, (-)의 잔여를 갖는 조직은 평균이하의 기술적 효율성을 갖는 조직이다.

② 배분적 효율성도 Cobb-Douglas 생산함수 2가지를 가정하여 다음의 식이 성립된다.

$$\beta_k / \beta_j = P_k X_k / P_j X_j$$

여기서 배분적 효율성은 투입 k와 j의 각 쌍에 대해 두 가지 투입에 대한 지출의 비는 그것들의 산출탄력성의 비와 같아야 하며, 각 쌍의 투입에 대하여 위 식의 양쪽편의 차이를 계산함으로써 배분적 효율성을 계산한다.

5) 프론티어를 이용해 효율성을 측정을 시도한 연구는 Farrell(1957)의 연구가 효시인데, Farrell은 Debreu(1951)와 Koopmans(1951)의 연구에 근거하여 다수의 투입요소를 사용하는 기업의 프론티어효율성 측정방법을 제시하였으며, 이후 40여년 동안 다양한 경험적 효율성 프론티어의 측정방법들이 고안되었다(Coelli 1996).

6) 여기서 모수적 방법이라 함은 특수한 함수형태를 가정하는 것이고 비모수적 방법은 그렇지 않은 것이다. 또한 확률적이라 함은 오차항의 존재를 인정하는 것이고, 이에 반대되는 것이 결정적이라는 것이다. 그런데 이론적으로 가장 바람직한 프론티어 접근법은 함수형태(functional form)와 오차형태(error form)에 대해 유연성(flexibility)을 제공해 주는 것이라고 할 수 있다. 따라서 비모수적이면서 확률적인 모형에 대한 시도가 있었으나 이는 계산상으로 어렵고 많은 연구자들에게 접근이 용이치 않기 때문에(Bryce 외 2000) 연구목적과 각 유형의 유용성에 따라 서로 다른 유형을 선정해야 할 것이다.

생산요소(input)를 투입했을 때, 생산가능한 최대의 생산량을 나타내 주는 함수식이다.⁷⁾ 즉 생산함수에서 최대생산량을 전선(frontier) 또는 변경(boundary)으로 정의하여, 이러한 전선으로부터 실제의 관찰치와의 차이를 기술적 비효율성(technical inefficiency)으로 간주한다. 그리고 확률전선모형에서는 오차항을 확률오차(vi)와 비효율로 인한 오차(ui)로 구분하기 때문에, 여기서의 전선은 확률오차(random error)를 포함하게 되어 확률전선(stochastic frontier)이라고 불리우며, 비효율로 인한 오차에 의해서 개별 단위들의 기술적 비효율성을 추정할 수 있다.

둘째, 프론티어 접근법으로서 DEA는 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978, 429-444) 등이 Farrell의 효율성 개념을 도입하여 주로 비영리조직과 같은 개별 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU)⁸⁾의 상대적 효율성 정도를 측정하기 위해 개발하고 명명한 수리적 계획법(mathematical programming)으로, 병원, 공공기관, 정부투자기관 등의 효율성 측정을 위해 많이 사용되어 왔다.⁹⁾

특히 DEA는 다투입·다산출관계에 대한 특수한 함수형태와 선형적인 가중치를 필요로 하지 않는다는 점에서 적용범위가 다른 효율성 측정방법에 비해 훨씬 넓고 유연성을 지니고 있다. 따라서 투입요소나 산출물의 가격에 대한 정보가 부족한 조직들의 효율성을 측정하는 것을 용이하게 해주고(이상섭, 김규덕 1998, 170-171), 물리적인 단위로도 효율성을 측정할 수 있어서 다차원적인 구조를 잘 반영할 수 있다. 이러한 특성¹⁰⁾은 비영리단체와 같은 DMU들의 효율성을 분석할 경우에 유용하게 사용되고 있다(박창제 1997, 11).

3) 측정방법의 선택

이상에서처럼 효율성 측정에 사용되는 여러 방법들을 간략히 살펴보았다. 각 기법들은 나름대로 유용성을 지니고 있으며, 공통되는 문제점도 지니고 있다. 즉 효율성을 측정하는 여러 대안적 방법들도 기본적으로 계량화가 가능한 부분에 한해서 분석이 이루어지고, 서비스의 질이라는 측면에서는 모두 한계를 지니고 있다. 따라서 연구의 목적

7) 이는 다음과 같이 표현된다.

$$y_i = f(x_i; \beta) + v_i + u_i \quad (y_i: \text{기업의 생산량}, x_i: \text{생산요소벡터}, \\ v_i \sim N(0, \sigma_v^2) \text{인 확률오차}, u_i(\leq 0): \text{비효율 오차})$$

- 8) DMU는 투입요소를 결합하여 산출물들을 만들어내는 과정에서 독자적 의사결정능력을 갖는 식별 가능한 조직의 단위를 의미하며, DEA분석에서 효율성평가의 기본단위를 지칭한다. DMU는 어떤 한 조직의 한 부서가 될 수도 있고, 조직전체가 될 수도 있으며, 지방자치단체를 대표하는 지방정부, 사회복지관련기능, 지역개발관련기능, 소방기능, 치안기능 등 무엇이든 가능하다(김성중 2000, 51).
- 9) 비영리기관이 이윤을 추구하지는 않지만 자원의 효율적인 사용에 관심을 지니고 있다는 점에서 DEA는 유용한 방법이다. 실제로 초기의 연구의 대부분에서 DMU는 병원, 학교, 법원, 경찰 등의 비영리기관이었다(박창제 1997, 12). 하지만 효율성 측정은 본질적으로 이윤을 추구하는 영리기관에 이루어지는 것이 보통이며, 최근 들어 국내 연구는 공공부문의 효율성 측정을 위한 DEA사용이 점점 늘고 있는 추세이다.
- 10) DEA의 유용성을 확률전선모형과 비교하면 다음과 같다(윤경준 1998, 260-261; 윤경준 1995, 65-67). 우선 DEA는 프론티어 추정을 위해 사용되는 투입요소와 산출요소간의 관계에 대해 명확한 함수형태를 부여하지 않는 비모수적 방법인데 반해, 확률전선모형은 생산기술 및 잔차에 대해 어떤 식으로든지 함수형태를 가정하기 때문에 사실과 다른 함수형태를 가정할 경우 심각한 설정오류에 빠질 수 있다. 또한, DEA는 선형계획(Linear Programming: LP) 형태로 구성됨으로써 복수의 투입요소들과 산출요소들을 사전에 특정한 방식으로 결합하지 않고서도 모형에 포함시킬 수 있는데 반해, 확률전선모형은 회귀모형이기 때문에 투입(비용함수의 경우)이나 산출(생산함수의 경우) 중 어느 한 쪽은 하나의 변수로 통합되어야 하는 문제(aggregation problem)를 가지고 있다.

과 상황에 따라 효율성 측정방법을 선택해야 할 것이다. 하지만 다수의 투입과 다수의 산출이라는 상황에서 도시 쓰레기수거서비스의 효율성을 측정하고자 하는 본 연구에서는 선형적인 가중치를 필요로 하지 않으며, 물리적인 단위로도 효율성을 측정할 수 있는 DEA의 유용성 및 특성을 효율성 측정에 이용하고자 한다.

2. 자료포락분석: CCR모형

Charnes, Cooper, and Rhodes가 개발한 DEA의 기본모형인 CCR모형은 복수의 투입과 산출요소들을 일정한 가중치에 의해 합산함으로써 단일 투입과 단일산출 상황으로 만든다. 여기서 DEA는 가중된 투입에 대한 가중된 산출의 비율을 극대화하는 일련의 가중치들을 도출해 낸다. 이러한 CCR모형은 최초에는 분수계획의 형태(Fractional DEA)로 출발하여 전형적인 선형계획(Linear DEA)의 형태로 변환시키는 과정을 통해 이해할 수 있는데, 최초의 분수계획에서 최적 가중치를 구하기 위한 수리적 계획문제는 다음처럼 수식화된다.

$$\text{MAX} \frac{\sum_{i=1}^n U_i Y_{ij}}{\sum_{k=1}^m V_k X_{kj}} \quad \text{subject to} \quad \frac{\sum_{i=1}^n U_i Y_{ic}}{\sum_{k=1}^m V_k X_{kc}} \leq 1$$

<식 3-1>

(모든 i 와 k 에 대해서 투입가중치 V_k , 산출가중치 $U_i > 0$, 그리고 $c = 1, \dots, j, \dots, n$)

<식 3-1>의 분수계획은 n 개의 최적 가중치집합을 산출해내며, 평가대상이 되는 DMU j 는 위

식의 수리계획문제의 해(solution)로 V_k, U_i 값이 결정되고, 이 값에 대한 각각의 투입요소와 산출요소의 값을 곱하여 DMU j 의 상대적 효율성을 계산한다. 여기서 제약조건에 나타나 있듯이 각 투입산출요소에 가중치 벡터 V_k, U_i 를 곱한 비율은 '1'보다 작거나 같아야 하기 때문에 목적함수 값은 '0'과 '1' 사이의 값을 취한다.

그러나 이러한 분수계획은 비선형성과 비볼록성(non-convex)을 가지고 있기 때문에 실제 계산을 위해서는 사용되지 않고, 이를 일반적인 선형계획으로 변형하게 된다. 따라서 <식 3-2>에서처럼 두 개의 제약조건과 두 개의 비음수조건(non-negativity)을 가진 목적함수 z 로 변형하고, 이를 쌍대로 전환하면 <식 3-3>과 같은 선형계획법 문제로 표현할 수 있다.

$$\text{max } z = \mu' y_j \quad \text{<식 3-2>}$$

$$\text{s.t. } \nu' x_j = 1, \mu' y_i - \nu' x_i \leq 0, \mu' \geq 0, \nu' \geq 0$$

(y_i : i 번째 DMU의 산출벡터, x_i : i 번째 DMU의 투입벡터, $i = 1, 2, 3, \dots, N$,

μ' : 산출요소에 대한 가중치의 벡터, ν' : 투입요소에 대한 가중치의 벡터)

$$\text{min } \theta \quad \text{<식 3-3>}$$

$$\text{s.t. } Y\lambda \geq y_j, \theta x_j - X\lambda \geq 0, \theta \text{ free}, \lambda \geq 0$$

<식 3-3>은 'Data Envelopment Analysis'에서 'Envelopment'라는 말의 유래를 설명할 수 있는데, 즉 최적해가 DMU의 투입요소를 아래로부터 감싸고($\theta x_j \geq X\lambda$), DMU의 산출물을 위에서부터 감싼다($Y\lambda \geq y_j$)는 의미이다. 그리고 θ 는 각 DMU에 대한 효율성 점수이고, θ 값이 '1'이면 기

슬ack으로 효율적인 DMU를 의미한다.

그런데 이러한 비모수적 프론티어의 분절적 선형형태는 모수적 함수형태에서는 발생하지 않는 슬랙(slack)이 발생한다.¹¹⁾

따라서 이러한 점을 감안하여 Ali & Seiford (1993)은 이단계 선형계획 해법을 제시하여 다음과 같은 <식 3-4>를 제시한다(Coelli 1996, 13).

$$\begin{aligned} \min \theta &= \theta - (M1'OS + K1'IS) &<\text{식 3-4}> \\ \text{s.t. } y_i + Y\lambda - OS &\geq 0, \quad \theta x_j - X\lambda - IS \geq 0, \quad \lambda \geq 0, \\ OS &\geq 0, \quad IS \geq 0 \\ (OS: \text{output slack의 } M \times 1 \text{ 벡터, } IS: \text{input slack의 } K & \\ \times 1 \text{ 벡터, } M1, K1: M \times 1 \text{ 벡터, } K \times 1 \text{ 벡터}) \end{aligned}$$

결국 DMUj가 효율적이기 위한 조건은 효율성 점수가 '1'이 되고, 투입과 산출의 모든 슬랙들이 '0'이 되는 경우이며, 투입 측면에서의 슬랙들이 모두 '0'이 된다는 것은 효율적 DMUj가 다른 DMU에 비해 투입의 낭비가 없었다는 것을 의미하게 된다.

IV. 자료포락분석에 의한 효율성 평가

1. 측정변수의 선정

위에서 설명한 효율성 측정의 차원과 모형을 이용하여 쓰레기수거서비스에 대한 효율성을 측정하기 위해서는 투입요소와 산출요소를 먼저 선정해야 한다. 그런데 DEA모형을 적용할 경우에 요소선정에는 특별히 유의해야 할 점이 있다. 즉

쓰레기수거활동과 관련된 모든 투입과 산출을 모형에 포함하는 것이 바람직하지만, DMU가 투입 요소에 대해 상당한 재량이 있는 요소를 사용하여한다는 문제, 투입요소가 산출물의 생산에 직접적인 관련이 있어야 한다는 문제, 투입과 산출의 기술적 관계가 분명해야 한다는 문제(손승태 1995, 34-35; 김성종 2000, 56), 투입·산출자료의 관찰값은 '0'이 아니어야 한다는 문제(윤경준 1995, 80; 김성종 2000, 56), 그리고 요소가 너무 많을 경우 DEA의 유용성이 떨어진다는 문제(곽영진 1993, 39) 등을 고려해야 하는 것이다.

따라서 이러한 유의점을 감안하여 요소를 선정해야 하는데, 본 연구에서는 투입변수로 일반적으로 많이 이용되는 인력, 예산, 장비를 사용하며, 산출변수로 쓰레기 총수거량과 재활용품 수거량을 이용한다.

먼저 투입변수인 예산, 인력, 장비의 경우 측정지표는 다음과 같다. 첫째, 예산의 경우 쓰레기수거와 관련된 예산을 사용하기 위해 시설설치비와 수집·운반 등 처리비로 구성된 각 자치구의 당해연도 예산집행내역에서 수집·운반 등 처리비를 사용한다. 그리고 수집·운반 등 처리비 중에서도 다른 투입요소인 인력과 관련된 인건비와 장비와 관련된 장비구입비를 제외한 수거비용으로 한정하였다. 이는 투입변수로 쓰이는 인력과 장비에의 이중 투입을 막고자 하기 위함이다. 둘째, 인력의 경우는 청소관련 공무원수와 환경미화원수의 합으로 투입변수를 구성한다. 셋째, 장비의 경우는 청소차량, 손수레, 중장비가 있는데, 이

11) 이러한 슬랙은 투입뿐만 아니라 산출측면에서도 발생할 수 있으며, 이로 인해 Farrell의 기술적 효율성은 반드시 슬랙이 제시되어야 한다. 그러나 슬랙은 DEA의 프론티어 구성에 유한한 표본크기(sample size)로 인해 자연스레 생기는 부산물이기 때문에 표본크기를 늘릴수록 치유될 수 있다.

중 중장비의 경우는 자치구별로 그 수가 적거나 없는 경우가 많기 때문에 장비변수에서 제외하기로 하며, 청소차량과 손수레는 산출량 수준에 차이가 있다고 보아 별도로 구분하기로 한다.¹²⁾ 그런데 청소차량은 각 톤수(2.5톤, 2.5-5톤, 5-10톤, 10톤 이상)별로 구분된 압축 및 압착기, 암물, 덤프차량 등을 합산해 사용하는데, 이러한 구분은 차량과 손수레의 가격산정의 어려움을 야기시켜 본 연구에서는 비용효율성과 배분효율성을 구하지는 않는다.

<표 1> 쓰레기수거서비스의 투입·산출요소

투입요소		산출요소	
변수	측정지표	변수	측정지표
예산(X1, 천원)	수집·운반 등 처리비 (인건비, 장비구입비 제외)	쓰레기 총수거량 (Y1, 톤/일)	가연성·불연성 쓰레기발생량
인력(X2, 명)	쓰레기관리인원수	재활용품 수거량 (Y2, 톤/일)	재활용품 발생량
장비(X3, 대)	차량의 수		
(X4, 대)	손수레 수		

자료: 환경부, 전국폐기물 발생 및 처리현황(1997-2000)

그리고 산출변수의 선정은 일반적으로 도시정부의 서비스가 추상적이고 다양하기 때문에 투입에 비해 그 어려움이 큰 것으로 인식되고 있지만,¹³⁾ 쓰레기수거서비스의 경우는 투입요소와의 기술적인 관련성으로 볼 때 쓰레기의 총수거량과

재활용품 수거량을 산출변수로 이용한다. 여기서 총수거량은 생활폐기물 발생량 가운데 가연성과 불연성 폐기물의 합으로 이루어지며, 생활폐기물 발생량에서 이들을 제외하면 재활용품 수거량을 구할 수 있다.¹⁴⁾

2. CCR모형에 의한 분석결과

1) 효율성 점수분석

우선 CCR모형에 의한 기술적 효율성을 분석한 결과는 <표 2>와 같으며, 총 25개의 자치구 중 P구, R구, W구, X구의 4개 자치구만이 효율적으로 평가된 것은 상대적으로 작은 비율의 DMU가 효율적으로 나타났다고 볼 수 있다. 이는 각 자치구의 측정된 변수중 극단치(outlier)의 존재가능성이 적고, 자치구간의 동질성(homogeneity)이 강하여 상대적 비교가 용이하고, 따라서 효율적인 자치구의 수가 상대적으로 작았다는 것을 의미한다.¹⁵⁾

그리고 25개 자치구의 효율성이 대체로 76.7% 정도에 머무르고 있으며, 60% 이하의 자치구도 5개(C구, H구, G구, L구, N구)나 있다는 것은 평가대상 자치구들의 효율이 상대적으로 낮다는 것

12) 청소차량과 손수레를 구분하는 이유는 자치구별로 도로여건이나 지리적 요인에 의해 보유하고 있는 수가 차이가 있기 때문이며, 만약 양자를 합산할 경우는 차량의 쓰레기수거실적과 손수레의 쓰레기수거실적을 동일시하는 문제가 제기될 수 있다. 이를 위해 1999년을 기준으로 한 서울시 25개 자치구의 차량(car)과 손수레(handcart)간 상관계수를 살펴보았더니 계수값은 -0.212로 나타났지만, 유의수준 0.05수준에서 유의하지 않은 결과를 나타냈다. 따라서 차량과 손수레를 구분하여 사용하는 것은 큰 문제가 없을 것이다. 하지만 장비의 노후나 기계적 마모로 인한 감가상각은 고려치 않기로 한다.

13) 따라서 효율성 측정을 위한 산출요소의 선정에 있어서는 그 요소가 조직의 관점에서 최종산출물일 것, 수량화할 수 있을 것, 시간에 따라 큰 변동이 없을 것, 질적 변화에 따라 부응할 것, 그리고 조직의 활동 중 중요한 부분을 형성할 것 등을 고려해야 한다(Hatry & Fisk 1992, 142).

14) 여기서 가연성 폐기물은 음식물채소류, 종이류, 나무류, 고무폐혁류, 플라스틱류 등을, 불연성 폐기물은 연탄재, 금속초자류, 토사류 등을, 그리고 재활용품은 종이류, 병류, 고철류, 캔류, 플라스틱 등을 포함한다.

15) DEA 개념에 의하면 투입요소와 산출물 중 어느 한 변수만 다른 자치구에 비해 효율적이라면 효율적인 평가를 받을 수 있기 때문에, 자치구간 이질성(heterogeneity)이 강하여 특정 자치구가 다른 자치구와 다른 투입·산출요소를 지니고 있으면 효율적으로 평가를 받을 확률이 커질 수 있는 것이다.

<표 2> CCR모형의 측정결과

DMU	효율성	준거집단	가중치(준거집단과 같은 순서)	참조횟수
1.종로구	0.735	24	0.543	0
2.중 구	0.951	18 23 16 24	0.461 0.207 0.361 0.155	0
3.용산구	0.577	23 24 18	0.109 0.311 0.066	0
4.성동구	0.543	24 16	0.424 0.068	0
5.광진구	0.698	23 16 24	0.078 0.265 0.207	0
6.동대문구	0.712	24 16	0.534 0.041	0
7.중랑구	0.508	23 16 24	0.186 0.113 0.170	0
8.성북구	0.992	24 16	0.570 0.148	0
9.강북구	0.678	23 24 18	0.086 0.198 0.372	0
10.도봉구	0.847	24 18	0.342 0.280	0
11.노원구	0.771	24	0.535	0
12.은평구	0.539	23 16 24	0.085 0.296 0.142	0
13.서대문구	0.638	24	0.46	0
14.마포구	0.591	24 16	0.347 0.193	0
15.양천구	0.868	23 24 18	0.142 0.299 0.148	0
16.강서구	1	16	1	11
17.구로구	0.606	24	0.41	0
18.금천구	1	18	1	7
19.영등포구	0.892	23 18 16	0.310 0.108 0.717	0
20.동작구	0.614	23 16 24	0.090 0.329 0.156	0
21.관악구	0.8	18 16 23	0.994 0.337 0.098	0
22.서초구	0.947	23 24	0.367 0.264	0
23.강남구	1	23	1	11
24.송파구	1	24	1	19
25.강동구	0.674	24	0.492	0
평균	0.767			

을 시사해 주고 있다. 특히 DEA 효율성점수가 가장 낮은 자치구인 G구의 경우는 DEA가 제공하는 해당자치구의 구체적인 결과보고서를 이용하여 비효율의 원인과 정도에 대한 구체적인 경영감사(management audit)를 행할 필요가 있다.

2) 준거집단에 대한 분석

DEA 평가방법의 중요한 특징 중 하나는 해당 DMU의 효율성을 평가할 때, 해당 DMU와 투입·산출요소가 유사하면서 프론티어상에 위치하는 다른 효율적인 DMU와 비교하여 평가한다는

것이다. 따라서 효율적인 DMU라 함은 절대적인 관점에서 100% 효율적으로 운영된다는 것을 의미하는 것은 아니며, 마찬가지로 비효율적인 DMU라 함은 효율성 프론티어 안쪽에 놓이게 되어 효율성 프론티어상에 위치하는 효율적인 DMU에 비해 비효율적인 것을 의미하는 것이다. 즉, 서로 다른 준거집단을 갖고 있는 DMU들을 같은 척도로 비교할 수 없다는 뜻이다.

이러한 준거집단은 두 가지 측면에서 분석될 수 있다(윤경준 1995, 102). 하나는 각각의 비효율적인 DMU에 대해 준거집단이 되는 DMU들에

관련된 것이며, 다른 하나는 효율적 DMU가 준거 집단으로 출현한 횟수와 관련된 것이다.

먼저 전자의 경우, <표 2>에서 보는 것처럼 A구는 유사한 투입구조를 가지면서 비교의 대상이 되는 효율적인 준거집단인 X구와 비교할 때 비효율적이며, 이 효율의 정도가 준거집단에 비해 73.5%밖에 이르지 못하고 있다. 또한 효율성점수가 가장 낮은 G구의 경우는 준거집단이 W구, P구, X구로 나타났으며, 여기서 특히 W구의 가중치(λ)값이 0.186으로서 가장 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 따라서 G구의 경우는 W구, P구, X구의 관리행태를 참조하여 효율성향상에 도움을 받을 수 있다.

준거집단을 분석하는 두 번째 측면은 각각의 비효율적인 DMU의 평가에 사용된 효율적인 DMU들의 참조횟수를 이용하는 것인데, 참조횟수가 많을수록 다른 DMU의 평가에 사용된 빈도수가 많음을 나타낸다. 이에 반해 효율적인 DMU 중에서도 다른 DMU의 평가에 거의 사용되지 않는 DMU가 있을 수 있다. 따라서 효율성 점수분석을 통해 효율적 DMU로 분류되었던 P구, R구, W구, X구의 참조횟수를 살펴보면 R구는 7회이고, 나머지는 10회 이상을 기록하고 있어 비교적 모두 효율적인 DMU로 판단할 수 있다. 하지만 만약 효율성 점수는 '1'로서 효율적인 DMU로 평가되었지만 참조횟수가 2회 이하(16)인 DMU가 있다면 이는 신중하게 결론을 내려야 할 것이다.

3) 비효율성 정도와 정책적 함의

상대적 효율성 점수와 준거집단을 알고 있을지라도 구체적으로 어느 부문이 얼마나 비효율적인지를 알지 못하면 정작 효율성 향상을 이루기는 어려울 것이다. 즉 비효율적인 DMU가 효율적이 되기 위해서는 효율적인 프론티어(효율선)상에 위치하는 준거집단의 효율성 정도를 구체적으로 알아야 할 것이다. 따라서 비효율적 DMU의 비효율성의 정도는 다음의 <식 4-1>과 같이 구할 수 있으며, 여기서 효율선상의 값(target)은 준거집단에 해당되는 DMU들의 투입·산출변수들과 가중치를 곱한 후 이를 모두 더해서 구하게 된다.¹⁷⁾

[각 투입·산출의 효율선상의 값 - 비효율적인 DMU의 관찰치] <식 4-1>

그리고 이러한 효율선상의 값들에서 비효율적인 DMU의 관찰치를 뺀 비효율성의 정도를 투입·산출변수에 따라 각 자치구별로 계산한 것이 <표 3>이며, 이러한 비효율성의 정도를 통해 각 DMU는 투입·산출요소의 최적규모를 결정할 수 있게 된다.

예컨대 G구의 경우 G구가 효율적으로 되기 위해서는 아래의 <표 3>에 나와 있듯이 투입·산출요소의 실제값과 효율선상의 값을 비교해서 예산을 2,207,574천원, 인력을 195명, 차량을 50대, 손수레를 42대 가량 감축해야 한다. 이렇듯 DEA는 생산구조가 유사한 측정대상 가운데 효율적인

16) 참조횟수가 얼마나 되어야 효율적인 DMU로 평가받을 수 있는지에 대한 정확한 답은 없으나, 보통 2회 이하를 주로 그 기준으로 사용한다(안태식 1991, 윤경준 1995, 김성중 2000).

17) 구체적으로 효율성점수가 가장 낮았던 G구의 경우, 산출변수인 쓰레기 총수거량의 효율선상의 값을 구한다고 하면, G구의 준거집단인 W구, P구, X구의 실제 관찰치와 가중치를 곱해서 다음과 같이 계산된다.
산출Y1(쓰레기 총수거량) = $(543 \times 0.186) + (329.8 \times 0.113) + (552.7 \times 0.170) = 232.5$

<표 3> 비효율성 정도의 분석결과 (G구의 경우)

변수	관찰치	비효율성 정도	슬랙	효율선상의 값
output(Y1)	232.500	0.000	0.000	232.500
output(Y2)	97.800	0.000	5.476	103.276
input(X1)	4482770.000	-2207573.896	0.000	2275196.104
input(X2)	396.000	-195.013	0.000	200.987
input(X3)	101.000	-49.738	-1.674	49.587
input(X4)	85.000	-41.859	0.000	43.141
효율성 점수 = 0.508		준거 집단	DMU23 ($\lambda=0.186$) DMU16 ($\lambda=0.113$) DMU24 ($\lambda=0.170$)	

DMU와 비교하여 구체적으로 어느 정도 보완할 필요가 있는지의 정책적 시사점을 제시해 주는 장점이 있다.

V. 결론

쓰레기수거서비스는 지역주민에 대한 일상적이고 기초적인 공공서비스로서 주민의 선호와 반응이 가장 민감하게 반영되는 공공서비스이다. 따라서 도시공공서비스로서의 특징을 그대로 담고 있으며, 서비스 공급에 있어서의 효율성, 효과성, 형평성, 대응성 등 여러 가치들이 요구되는 서비스 중 하나이다. 본 연구에서는 이러한 여러 가치 중에서 효율성에 초점을 두고, 서울특별시 자치구의 쓰레기수거서비스를 대상으로 하는 효율성 측정과 그 개선방안을 모색하기 위해 DEA모형을 이용하여 분석하였다.

쓰레기수거서비스의 효율성 측정을 위해 1999년도의 횡단면 자료를 이용하여 분석한 결과, CCR-TE가 효율적인 자치구는 P구, R구, W구, X구의 4개 자치구로 나타났다. 그리고 쓰레기수거서비스의 관리향상을 위한 목표를 설정할 수

있도록 비효율적인 자치구들의 비효율성 정도를 분석하였고, 이를 통해 구체적으로 각 자치구마다 어떠한 자원배분이 이루어져야 하는가를 제시하였다. 특히 G구의 경우는 서비스공급의 비효율성이 상당한 것으로 나타나 준거집단으로 판명된 다른 자치구들의 관리행태를 참조하여 서비스공급의 효율성 향상을 위한 관리에 역점을 두어야 할 것이다.

본 연구에서 쓰레기수거서비스의 효율성을 DEA로 분석한 결과는 서울시 각 자치구별로 쓰레기수거서비스에 관한 인력의 재배치와 예산절감, 그리고 장비와 시설의 현대화 등을 효율적으로 운영하기 위한 지침을 마련해 줄 수 있다. 구체적으로는 DEA분석 결과를 통해 각 자치구별로 인력의 수는 어떠해야 하는지, 예산은 얼마나 절감할 수 있는지 등의 정책적 함의를 얻을 수 있다.

참고문헌

김규덕, 1999, 지방정부 공공서비스의 성과평가에 관한 연구: 쓰레기수거서비스를 중심으로, 박사학

- 위논문, 영남대학교 대학원
- 김대원, 1999, “통합시의 생산성 증대효과 분석: 공공 산출물의 측정모형의 적용을 중심으로”, 한국행정학보, 33(3): 327-344
- 김지옥, 1997, 재활용품 수거체계 개선방안 연구, 서울: 시정개발연구원
- 남기범, 1995, 지방정부의 생산성 측정체계에 관한 연구: 서울특별시 구청 시민국을 중심으로, 박사학위논문, 연세대학교 대학원
- 문춘걸, 1998, 자료포락분석법 및 그 변형기법을 통한 공공부문의 생산성 측정: 한국 중소도시의 생산성 분석, 서울: 한국조세연구원
- 박언서, 1999, 공공서비스민간위탁의 효과와 영향요인: 쓰레기수거서비스를 중심으로, 박사학위논문, 부산대학교 대학원
- 서울특별시, 2000, 서울통계연보, 서울특별시
- 서울특별시 환경관리실, 2000a, 서울의 폐기물관리, 서울: 서울특별시 환경관리실
- 서울특별시 환경관리실, 2000b, 서울의 환경: 환경백서, 서울: 서울특별시 환경관리실
- 손승태, 1993, 국내은행의 경영효율성 비교분석, 서울: 한국개발연구원
- 손희준, 1992, “도시쓰레기수거서비스의 공급유형에 따른 능률성분석: 민영화 방안을 중심으로”, 한국행정학보, 26(1): 149-164
- 오승은, 2000, 지방자치단체 기업적 활동의 효율성 분석: 지방공영개발사업을 중심으로, 박사학위논문, 연세대학교 대학원
- 원구환, 1998, “확률변경생산함수를 이용한 공익사업의 비용효율성 측정: 지방상수도사업의 패널자료(panel data)를 중심으로”, 한국정책학회보, 7(3): 287-306
- 윤경준, 1998, “공공부문 성과측정을 위한 DEA와 확률전선모형의 비교분석: 일선경찰서의 기술 효율성 측정을 중심으로”, 한국행정학보, 32(4): 257-273
- 이상섭, 김규덕, 1998, “자료포락분석(DEA)에 의한 지방정부 공공서비스의 상대적 효율성 측정: 쓰레기수거서비스를 중심으로”, 한국지방자치학회보, 10(2): 169-187
- 이정임, 이원영, 2000, 생활쓰레기의 효율적인 관리방안: 수거체계를 중심으로, 경기도: 경기개발연구원
- 이혁주, 박희봉, 1996, “도시행정서비스의 생산특성과 비효율분석”, 한국행정학보, 30(4): 121-137
- 한국정책학회 편, 1996, 환경·자원정책론, 서울: 박영사
- 한국환경정책·평가연구원, 1997, 폐기물 관리정책의 평가와 개선방안 연구, 서울: 한국환경정책·평가연구원
- 한국환경정책·평가연구원, 1997, 폐기물 관리체계의 경제성·환경성 평가 및 개선방안, 서울: 한국환경정책·평가연구원
- 환경부, 1997, 1998, 1999, 전국폐기물 발생 및 처리현황, 서울: 환경부
- 환경부, 2000a, 환경백서, 서울: 환경부
- 환경부, 2000b, 전국폐기물 발생 및 처리현황, 서울: 환경부
- 환경부, 2000c, 환경통계연감, 서울: 환경부
- Banker, R. D, 1984, “Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis”, *European Journal of Operational Research*, 17: 43-44
- _____, A. Charnes, and W. Cooper, 1984, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, Vol. 30: 1078-1092
- _____, 1989, “Econometric Estimation and Data Envelopment Analysis”, Mimeo, Carnegie Mellon University
- Charnes, A., W. Cooper and E. Rhodes, 1978, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6: 429-444
- _____, 1981, “Evaluation Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through”, *Management Science*, Vol. 27, No. 6: 668-607
- Charnes, A., W. Cooper, A. Lewin, and L. Seiford, 1994, *Data Envelopment Analysis: theory, methodology, and application*, Boston: Kluwer Academic Publishers
- Coelli, T. J, 1996, “A Guide to Frontier Version 4.1:

- A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation”, CEPA working paper
- _____, 1996, “A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis(Computer) Program”, CEPA working paper
- Farrell, M. J, 1957, “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A(General), Vol. 120, Part III: 253-281
- Ganley, J. A., and J. S. Cubbin, 1992, *Public Sector Efficiency Measurement: Applications of Data Envelopment Analysis*, Amsterdam: North-Holland