

공공부문 효율성 측정 방법의 이해 -자료포락분석(DEA)-

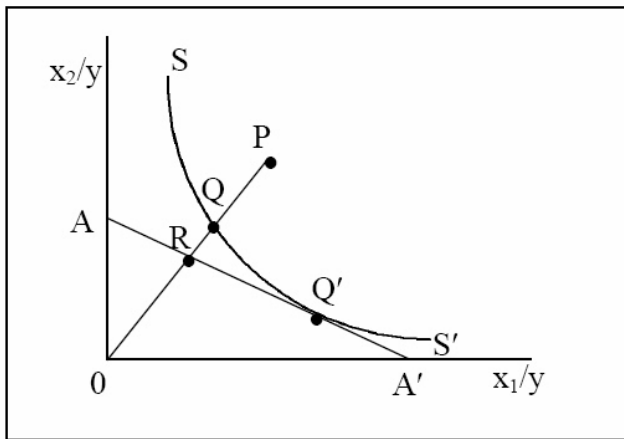
강기춘(감사원 평가연구원 사회·행정평가연구팀장)

I. 효율성 개념 및 측정 방법

효율성(efficiency)은 생산조직이 사용한 투입량에 대한 산출량의 비율로 정의되는데 Farrell(1957)은 생산조직의 효율성을 그 생산조직이 효율적 집합에서 떨어져 있는 거리로 측정이 가능하다는 거리 개념의 효율성 측정 방법을 제시하였다.¹ 기업 또는 공공서비스 공급자가 주어진 투입량에서 최대의 산출량을 생산하는 능력을 기술효율성(technical efficiency)이라 하고, 생산요소 가격의 관점에서 최적 투입결합을 결정하는 능력을 배분효율성(allocative efficiency)이라고 한다.

아래의 <그림 1>과 같이 산출물 y 를 1단위 생산하기 위해 투입되는 두 생산요소 x_1, x_2 의 양을 나타내는 투입공간에서의 효율성 개념은 다음과 같다. 곡선 SS'의 우상향 부분은 산출 수준이 1단위로 고정된 생산가능집합(production possibility set)이며, 곡선 SS'은 생산가능집합의 효율적인 부분집합으로서 생산가능집합의 경계를 형성하기 때문에 생산프런티어(production frontier)라고 하며, 직선 AA'은 생산요소의 가격이 반영된 등비용선이다.

생산조직 Q는 x_1, x_2 등 두 생산요소를 생산조직 P가 사용하는 양의 OQ/OP 수준만을 사용하면서 P와 같은 양의 산출물 y 를 생산하고 있으므로 이 비율을 P의 기술효율성으로 정의하며 그 값은 0과 1 사이가 된다. 또한 Q'은 Q와 동일한 양을 생산하므로 동일한 기술효율성을 가지고 있으며, 동시에 Q'은 Q보다 낮은 OR/OQ 의 비용으로² 동일한 양을 생산할 수 있으므로 이 비율을 배분효율성이라고 한다.



<그림 1> Farrell의 효율성

¹) Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productivity Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120(3).

²) Q'의 등비용선 AA'이 Q의 등비용선보다 아래에 위치하기 때문이다.

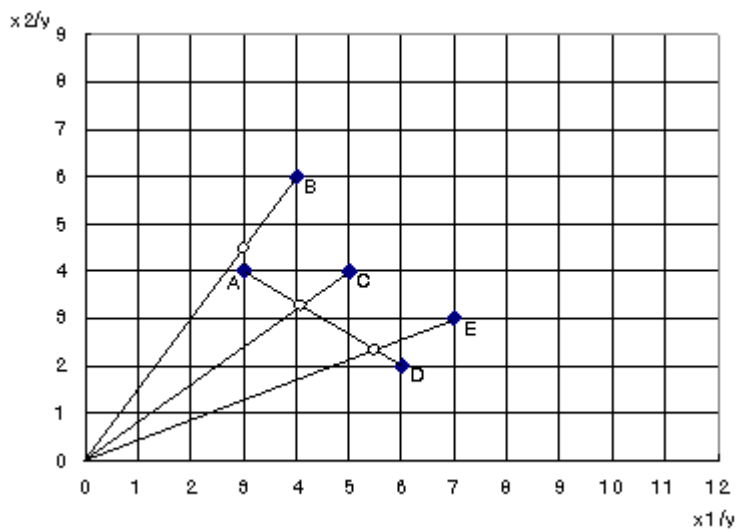
II. 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA)

1. 개요

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 명명되어진 DEA는 Farrell이 제시한 다양한 효율성 개념을 구체적으로 측정하기 위해 개발되었다.³ DEA는 기능적으로 유사한 활동을 하는 조직(DEA에서는 이를 의사결정단위(Decision Making Units: DMU)라고 함)이 사용하는 다수의 투입물에 대한 다수의 산출물의 비율 즉, 효율성을 측정하는 수학적 프로그래밍 기법으로 특히, 비영리조직 및 공공부문의 성과측정에 많이 활용된다. DEA는 DMU들 중에서 효율성이 가장 높은 최상실행단위(the best practice unit)를 지정하고 이들과 비교하여 다른 DMU들의 상대적 효율성을 측정한다. DEA에서 가장 많이 사용되는 기본 모형은 Charnes, Cooper and Rhodes의 첫 글자를 딴 CCR모형이며, CCR모형도 여러 종류가 있지만 널리 활용되는 모형은 <그림 1>에서 살펴본 Farrell 효율성을 표본자료로부터 계산하기 위한 선형계획법 모형인 CCR포락(包絡)모형이다.

Farrell 효율성은 생산프런티어가 알려져 있다고 전제하는데 실제로는 그렇지 못하므로 표본자료를 이용하여 프런티어를 추정해야 한다. A, B, C, D, E 등 5개의 DMU가 x_1, x_2 등 두 생산요소를 사용하여 y 의 산출물을 생산한다고 가정하자. 5개 표본자료는 <그림 2>에서 ◆로 표시되어 있는데, CCR포락 모형은 표본자료를 왼쪽에서 오른쪽으로 그리고 아래쪽에서 위쪽 방향으로 감싸는(포락하는) 부분선형 프런티어(piecewise linear frontier)를 이용하여 실제적인 최상실행단위(A 및 D)와 가상의 최상실행단위(O)를 찾은 후 Farrell의 효율성 측정 방법으로 비효율적인 DMU의 상대적 효율성을 계산한다.

한편, 각 DMU의 상대적 효율성 측정 결과 비효율적인 DMU(B, C, E)로 판명된 경우 DEA는 효율성 증대를 위해 벤치마킹해야 할 대상을 효율적인 DMU들 중에서 결정해 주고 또한 벤치마킹 대상 DMU들의 가중치를 계산해 준다.⁴ 또한 비효율적인 특정 DMU에 대한 준거집합이 식별되면 이를 이용하여 비효율적인 DMU들이 효율성을 달성하기 위하여 조정해야 할 투입물의 값을 계산할 수 있다.



<그림 2> 부분선형프런티어

³) Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 1.

2. 계산 실례

CCR포락모형을 이용한 분석을 구체적으로 살펴보기 위해서 <그림 2>에 나타난 5개 DMU의 표본 자료를 이용하여 효율성 및 목표치 등을 계산해 보고 해석해 보자. 예를 들어 DMU를 지방상수도사업이라고 가정하면 A 상수도사업은 30명의 인력(x_1)과 40억 원의 자본비용(x_2)으로 주민 1만 명에게 급수(y)를 하고 있으며 나머지 상수도사업도 동일하게 해석할 수 있다.<표 1> 참조)

먼저 CCR포락모형의 분석 결과 A 및 D 상수도사업은 효율성이 1로써 효율적인 것으로 나타난 반면에 C, E, B 상수도사업의 효율성은 각각 0.82, 0.78, 0.75로써 A와 D에 비해 비효율적인 것으로 나타났다.

다음으로 준거집합 및 가중치를 살펴보면 B 상수도사업은 A만 벤치마킹하면 되고, C 상수도사업은 A 및 D를 벤치마킹하되 그 가중치는 각각 0.636 및 0.364이며, E 상수도사업은 A 및 D를 벤치마킹하되 그 가중치는 각각 0.174 및 0.826인 것으로 나타났다.

한편, 준거집합과 가중치를 이용하면 비효율적인 상수도사업이 준거집합의 상수도사업과 동일한 효율성을 달성하는데 필요한 투입물의 양(이를 목표치라고 함)을 계산할 수 있는데 E 상수도사업의 투입물 목표치는 다음과 같이 계산된다.

$$E \text{ 상수도사업의 투입물 목표치} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = (0.174) \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} + (0.826) \begin{pmatrix} 6 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.47 \\ 2.34 \end{pmatrix}$$

즉, E 상수도사업은 54.7명의 인력과 23억 4천만 원의 자본비용만 투입해도 효율성을 달성할 수 있음에도 불구하고 실제로는 70명의 인력과 30억 원의 자본비용을 투입함으로써 15.3명의 인력과 6.6억 원의 자본비용을 과다하게 투입하고 있다.

<표 1> DEA모형의 분석 결과

DMU	기초자료			효율성	준거집합 (가중치)	투입물 목표치		과다투입량	
	투입물		산출물			x_1	x_2	x_1	x_2
	x_1 (십 명)	x_2 (십억 원)	y (만 명)						
A	3	4	1	1.0	-	3	4	0	0
B	4	6	1	0.75	A(1.0)	3	4	1	2
C	5	4	1	0.82	A(0.636),	4.09	3.27	0.91	0.73
D	6	2	1	1.0	-	6	2	0	0

3. 분석도구 및 장단점

DEA를 이용하면 효율성과 관련한 다양한 분석이 가능하다. 먼저 CCR포락모형을 이용하여 기술효율성을 측정하고, BCC포락모형을⁵⁾ 이용하여 순기술효율성을 측정하는 등 각 DMU의 상대적 효율성을 측정한다. 그리고 기술효율성을 순기술효율성으로 나누어 규모효율성을 구한 후 순기술효율성과 규모효율성의 크기를 비교하여 비효율의 원인이 기술적 요인인지 아니면 규모적 요인인지를 판단한다. 또

⁴⁾ 비효율적인 특정 DMU가 벤치마킹해야 할 DMU의 집단을 준거집합(reference set)이라고 한다.

⁵⁾ Banker, R. D., A. Charnes W. W. Cooper (1984). Models for Estimating Technical and Scale Efficiencies, *Management Science*, 30에서 제시된 모형으로 저자들 이름의 첫 글자를 따서 BCC모형이라고 부르는데 CCR모형이 규모가 변하여도 효율이 변하지 않는 불변규모수익(Constant Returns to Scale: CRS)을 가정하고 있는 반면에 BCC모형은 변동규모수익(Variable Returns to Scale: VRS)를 가정한다.

한 투입요소의 실제치와 목표치를 비교하여 비효율의 정도를 계산하고 투입요소의 변화에 따른 효율성 변화를 계산해 봄으로써 효율성 개선방안 도출하고, 시계열자료 및 패널자료를 이용한 동태분석을 통하여 효율성의 변화를 측정할 수 있다.⁶⁾

DEA는 여러 가지 강점을 가지고 있지만 동시에 한계점도 있다. 장점은 복수의 투입물과 복수의 산출물을 다룰 수 있으며, 생산함수의 형태에 대한 가정이 불필요한 비모수적 방법이며, DMU 간에 직접 비교가 가능하며, 투입물과 산출물의 측정단위가 상이해도 된다는 것이다. 한편, DEA는 절대적 효율성이 아닌 상대적 효율성 측정하고 있으며, 비모수적 방법이므로 통계적 검정이 어려우며, DMU가 늘어날수록 계산이 복잡해지고, 변수선택에 민감한 결과를 보일 수 있다는 것이 한계점으로 지적되고 있다.

4. 활용 분야 및 software

DEA는 공공부문의 효율성 측정을 위해 개발되었지만 최근 여러 분야에서 DEA의 활용이 급속도로 증가하고 있는데 그 분야 및 연구사례를 분류해 보면 공공서비스 분야(산림구역, 공공도서관, 경찰서비스, 교도소, 법원, 상수도, 지방정부), 재무·금융 분야(은행, 신용조합, 상호기금), 의료·보건 분야(병원, 요양소, 1차 진료기관, 약국, 의사), 교육·학교 분야(대학교, 대학학과, 대학도서관, 학교도서관, 초등학교, 학군, 교육프로그램), 에너지 분야(발전소, 전기 공급, 석유회사, 광산), 교통 분야(항공사, 공항, 항공정비기술, 철도) 등이다.

DEA의 실증분석에는 여러 가지 도구 또는 software들이 이용된다. 먼저 엑셀(Excel)의 도구-해찾기(Excel Solver)를 이용하는 방법이 있는데 Joe Zhu(2003)와 Cooper, Seiford and Tone(2000) 등에서 유용한 Excel Solver를 각각 제공해 주고 있다.⁷⁾ 또한 DEA 전용 software들이 있는데 대표적인 것으로는 EMS(Efficiency Measurement System), DEAP, Frontier Analyst, Warwick Windows DEA 등이 있으며, 그 외에 Gauss나 SAS 등을 이용하여 직접 programming할 수도 있다.

III. 시사점

DEA는 기술적으로나 실제적으로 한계점을 가지고 있으므로 공공서비스 공급자의 효율성을 측정하여 비교하는데 있어 만병통치약은 아니다. 그러나 매우 유용한 분석 방법인 것은 분명하며, 특히 정책결정자나 평가자들을 위한 의사결정수단으로서 매우 유용하다.

먼저, 평가에서 성과지표의 가중치 부여는 항상 논란을 발생시키는 문제인데 전통적인 성과 측정 방법은 정책결정자나 평가자의 선형적 가중치에 근거를 하고 있으나 DEA는 투입 및 산출의 객관적인 자료에 기초하여 기중치를 부여함으로써 논란의 소지를 대폭 줄여주고 있다. 또한 공공부문의 효율성을 제고하기 위해서는 비효율적인 조직은 벤치마킹할 대상을 잘 선정해야 하고 구체적으로 무엇을 어떻게 해야 할 지를 결정해야 하는데 DEA는 이에 대한 유용한 정보를 제공해주고 있다. 한편, 성과감사를 통해 정책 개선책을 제시해 주어야 할 경우 DEA를 통해 발견된 특징적인 사실들(stylized facts)은 정책 대안의 객관적인 근거로 사용될 수 있을 것이다.

⁶⁾ 이러한 동태분석 방법에는 DEA 원도우분석(Window Analysis) 및 Malmquist 생산성지수 분석 등이 있다.

⁷⁾ Zhu, J. (2003). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA Excel Solver*, Kluwer Academic Publishers. Cooper, W. W., L. M. Seiford and K. Tone (2000). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers.