

부분 효율성 정보를 이용한 DEA 모형의 투입·산출 요소 선정에 관한 연구

민재형* · 김진한**

A Selection Process of Input and Output Factors Using Partial Efficiency in DEA

Jae H. Min* · Jin H. Kim**

Abstract

The improper use of input and output factors in DEA has a critical and negative impact on the efficiency measurement and the discernment of decision making units(DMUs): hence the proper selection process of the factors should precede the actual applications of DEA. In this paper, we propose a new approach to selecting proper factors based on 'Tofallis' partial efficiency evaluation method(1996). With the approach, the factors are clustered by measuring their respective partial efficiencies and analyzing the rank correlations of them. The method and procedure we propose in this paper are then applied to measure the efficiencies of the public libraries in Seoul District area, and the results show that the proposed approach can provide meaningful information to improve discernment of the DMUs while using less number of input factors (and less information). The proposed method can be effectively used in the situation where the number of the DMUs to be considered is relatively small compared to the number of available input and output factors, which usually lessens the power to identify the inefficient units in DEA.

* 서강대학교 경영대학

** 서강대학교 대학원 박사과정

1. 서론

다수의 투입물을 변환시켜 다수의 산출물을 제공하는 조직들의 상대적 효율성을 측정하는 문제는 조직의 현상을 측정하여 경쟁력 제고를 위한 방안을 마련한다는 차원에서 매우 중요한 사안이다. 조직의 상대적 효율성을 측정하는 방법으로서의 자료포괄분석(DEA: data envelopment analysis)은 Charnes, Cooper & Rhodes의 연구[8]에서 최초로 제시되어 최근 다양한 분야에 활발히 적용되고 있다. DEA는 의사결정단위(DMU: decision making unit)라고 불리어지는 조직의 효율성을 유사한 투입·산출 과정을 갖는 다른 조직과 비교하여 상대적인 기술적 효율성 지수로서 평가하는데, 투입·산출 요소에 대한 가격 정보가 필요치 않고, 사후적이며 경험적인 자료를 이용할 수 있으며, 모수 추정에 필요한 가정이 필요하지 않는 등 여러 가지 장점을 갖고 있다. 이러한 DEA 방법은 주로 다수의 투입 요소와 산출 요소가 존재하며 요소들의 가격 정보가 알려지지 않았거나 불완전한 조직, 예를 들어, 병원, 학교, 군대, 공원 등의 공공 분야와 은행, 패스트 푸드점 등의 서비스 분야, 그리고 여러 프로 스포츠팀의 평가에 적용되어 왔다[9,15].

DEA 방법론의 이론적 발전은 이러한 다양한 분야의 문제에 대한 현실적 적용을 보다 정확하게 하고자 하는 필요성에 따라 이루어졌다. 그 예로서, 의사결정단위의 규모의 효과를 고려한 Banker, Charnes & Cooper의 연구[4], 투입·산출 요소에 정성적인 요소가 포함된 문제를 고

려한 Banker & Morey의 연구[5], 주관적 판단 하에 가중치의 자율성을 통제하는 Roll & Golany의 연구[14] 등을 들 수 있다. 그러나 DEA를 적용할 때 가장 중요한 선행 과정으로서 고려하여야 하는 투입·산출 요소의 선정 문제는 그 중요성에도 불구하고 아직 적절한 방법이 제시되지 않고 있다.

의사결정단위의 효율성을 평가하기 위해서 투입·산출 요소를 적절히 측정하고 선정하는 것은 DEA 결과의 정확성을 결정하는 중요한 문제이다[10]. 이 중 투입·산출 요소의 측정 문제는 자료의 부정확성을 고려하여 퍼지집합 이론을 이용한 Sengupta의 연구[16], 목표계획법을 이용한 Retzlaff-Roberts & Morey의 연구[13], 기회계약법을 이용한 Olesen & Petersen의 연구[12] 등에서 다루어지고 있다. 그러나 이들 연구에서도 투입·산출 요소의 선정이 의사결정단위의 효율성 측정에 미치는 영향을 명확히 검증하지 않은 상태에서 투입·산출 요소의 선정이 이루어지고 있으며, 일반적으로 기존의 문헌 연구, 분석자의 주관적 평가, 요소관련 자료들에 대한 통계분석을 이용하여 모형의 요소들을 선정하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 적절한 투입·산출 요소의 선정 문제에 초점을 맞추어 이를 위한 대안적 방법론을 제시하고자 한다. 이 방법은 Tofallis[19]가 제시한 profiling 방법을 이용하여 각 투입 요소 또는 각 산출 요소의 효율성(부분 효율성)을 평가한 후, 효율성의 서열측면에서 차이가 존재하지 않는 투입 요소와 산출 요소들을 제거하여 보다 적은 요소들로 의사결정단위들의 효율성을 측정하는 방법이다.¹⁾ 즉, 본 연

1) 본 연구는 효율적 단위들의 우선순위 선정을 목적으로 한 Tofallis의 연구와는 근본적인 차이가 있으며, 다만 요소별 부분 효율성을 측정하기 위한 도구로서 profiling 방법을 이용한다.

구에서 제시하는 방법은 profiling 방법에 의해 요소별 부분 효율성을 측정함으로써 각 투입·산출 요소들과 효율성과의 관계에 대한 정보를 도출하고 이를 요소 선정에 적용하는 새로운 방법으로, 기존의 연구에서 이용된 주관적, 경험적 요소 선정 방법들보다 우월한 방법으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 요소선정 방법의 유용성을 검증하기 위하여 2절에서는 DEA의 기본 개념과 함께 투입·산출 요소와 관련된 기존의 연구들을 정리하고, 3절에서는 본 연구에서 제시하는 요소의 선정 방법과 절차를 설명한다. 그리고 4절에서는 제시된 방법론을 공공 도서관의 효율성 평가문제에 적용시켜 그 유용성을 평가하고, 5절에서는 결론을 맺는다.

2. DEA의 투입 요소와 산출 요소

DEA는 다수의 투입 요소와 다수의 산출 요소를 갖는 의사결정단위의 효율성을 투입 요소들의 가중합과 산출 요소들의 가중합의 비율로 측정한 후, 이를 유사한 활동을 수행하는 다른 의사결정단위들의 효율성과 비교하여 상대적인 효율성을 결정하는 방법이다. 이를 위해 모든 비교 대상 의사결정단위들의 효율성은 1보다 작거나 같다는 제약조건하에서 평가하고자 하는 의사결정단위의 효율성을 극대화하는 모형이 Charnes, Cooper & Rhodes[8]에 의해 <식 1>과 같이 제시되었으며, 이 모형을 CCR 모형이라고 한다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; \quad j=1, \dots, n, \\ & u_r, v_i \geq 0; \quad r=1, \dots, s; \quad i=1, \dots, m. \end{aligned} \tag{식 1}$$

여기서, x_{ij} 와 y_{rj} 는 의사결정단위 $j(j=1, \dots, k, \dots, n)$ 의 투입 요소 $i(i=1, \dots, m)$ 와 산출 요소 $r(r=1, \dots, s)$ 의 실제 관측치이고, v_i 와 u_r 은 투입 요소 i 와 산출 요소 r 에 부여되는 가중치를 의미한다. 그리고 $j=k$ 는 평가받는 의사결정단위를 나타낸다. 따라서 고려하는 모든 의사결정단위의 효율성을 평가하기 위해서는 위 모형을 의사결정단위의 수만큼 (n 번) 분석하여야 한다. <식 1>은 선형분수 계획모형(linear fractional programming)의 형태를 취하고 있는데, 이 모형은 Charnes & Cooper[7]의 방법에 의해 <식 2>와 같은 일반적인 선형계획모형으로 전환될 수 있다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0; \quad j=1, \dots, n, \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon > 0; \\ & r=1, \dots, s; \quad i=1, \dots, m. \end{aligned} \tag{식 2}$$

여기서, 가중치 v_r 와 u_r 은 분석을 위해 비아르키메디안 상수인 ϵ (DEA에서는 보통 ϵ 을 10^{-6} 으로 설정)보다 큰 양수로 정의한다[2]. 결론적으로, <식 2>의 DEA 모형은 평가받는 의사결정단위에 가장 우호적인 자율적 가중치를 부여하게 하여 의사결정단위의 효율성을 상대적으로 평가한다.²⁾

이러한 DEA 모형에서 요소에 대한 가중치는 모형에 의해 임의적으로 결정되므로 의사결정단위의 상대적 효율성을 결정하는 요소는 오직 모형에 포함된 투입 요소와 산출 요소의 실제 측정치이다. 따라서 DEA 모형에서 의사결정단위의 정확한 효율성 평가를 위해서는 투입 요소와 산출 요소의 명확한 정의와 선정이 필요하다.

DEA에서 고려하는 투입·산출 요소들은 의사결정단위에 의해 통제 가능한 요소, 통제 불가능한 요소, 그리고 환경적인 요소로 구분할 수 있으며, 요소의 형태에 따라서도 정량적인 요소와 정성적인 요소로 분류할 수 있다. 또한 조직의 효율성에 영향을 미치는 이러한 요소들은 DEA 분석을 위해서 투입 요소와 산출 요소로 구분할 필요가 있다. 일반적으로 투입 요소는 조직의 비용(costs)을 의미하며, 산출 요소는 조직의 편익(benefits)을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 요소의 크기가 보다 낮은 수준일수록 의사결정단위의 효율성을 위해 바람직한 요소를 투입 요소로, 그리고 요소의 크기가 보다 높은 수준일수록 의사결정단위의 효율성을 위해 바람직한 요소를 산출 요소로 정의하여 고려하는 요소들을 투입 요소와 산출 요소로 구분할 수 있다[2]. 그러나 투입·산출 요소의 구분은

측정하고자 하는 효율성이 무엇이냐에 따라 불명확해지는 경우도 발생하기 때문에 평가하고자 하는 효율성이 조직의 어떠한 효율성인지를 사전에 명확히 설정하여야 요소들의 구분이 보다 쉽게 이루어질 수 있을 것이다.

분석에 고려되는 요소들을 투입과 산출 요소로 구분하는 것보다 상대적으로 더 어려운 단계는 어떠한 자료를 DEA 모형에 포함시켜야 하는지를 결정하는 일이다. DEA 모형이 투입물에 대한 산출물의 비율을 극대화하는 측면에서 효율성을 평가하므로 투입 요소와 산출 요소는 우선 직·간접적인 인과관계를 갖고 있어야 하며, 의사결정단위의 활동과 관련된 요소들을 모두 포함하여야 한다.

그러나 DEA에서는 분석 대상이 되는 의사결정단위들의 수에 따라 요소의 수를 제한시켜야 하는 특징으로 인해 모형에 모든 요소들을 다 포함시킬 수는 없다. DEA에서는 의사결정단위의 수가 증가할수록 효율적 단위들로 구성된 효율적 경계에 의해서 지배되어지는 의사결정단위들이 증가하는 특성을 갖고 있으며, 이는 의사결정단위의 효율성 순위를 보다 차별화시켜주는 역할을 하게 된다. 반면, 투입·산출 요소의 수가 증가하게 되면 효율적으로 평가되는 의사결정단위의 수가 증가함으로 인해 비효율적인 의사결정단위들의 판별이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 비효율적인 의사결정단위를 판별하기 위한 투입·산출 요소의 적정 수에 대하여 Banker, Charnes & Cooper[4]는 의사결정단위의 수는 최소한 투입과 산출 요소의 수를 합한 것보다 3배 이상이어야 한다는 연구결과를 제시하였으

2) <식 2>의 쌍대(dual) 모형을 이용하면 효율적 단위들로 구성된 효율적 경계(efficient frontier) 내부에 존재하는 의사결정단위의 비효율성을 측정할 수 있는데, 이는 동일한 산출수준을 유지한채 감소시킬 수 있는 투입물의 크기로 측정된다. 이에 대한 구체적인 논의는 Charnes, Cooper, Lewin & Seiford[9]를 참조하기 바람.

며, Boussofiane, Dyson & Thanassoulis[6]는 최소한 투입 요소와 산출 요소 수의 곱보다는 커야 한다는 경험적인 규칙(rule of thumb)을 제안한 바 있다.

의사결정단위의 증가에 따른 요소 수의 제한은 DEA에서 요소 선정문제를 필수적인 선행과정으로 인식하도록 만든다. 그러나 대부분의 DEA 관련 연구에서는 분석자에 의해 중요하다고 판단되는 요소 또는 기존의 관련문헌에서 추출한 요소를 이용하는 방법을 취하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 어떠한 투입·산출 요소가 모형에 포함되느냐에 따라 달라지는 효율성의 차이를 고려하지 못한다는 중요한 문제점을 내포하고 있다. 그 결과, 요소의 부적절한 선정으로 인해 비현실적인 효율성 평가가 이루어질 수 있고, 결과적으로 DEA 방법의 유용성이 과소평가될 수 있는 문제가 있다.

이러한 요소의 선정과 관련된 문제점을 보완하기 위해서 Sinuany-Stern, Mehrez & Barboy [18]는 대학 학과의 효율성 평가를 위해 민감도 분석 차원에서 투입 요소와 산출 요소의 여러 조합을 이용하여 효율성을 산출한 후 할당된 가중치가 작은 요소를 제외시키는 방법을 이용하였다. 그러나 이 방법은 요소를 제외시키는 가중치의 기준을 분석자의 주관적 판단을 이용하여 설정함으로써 어떠한 요소를 포함하여야 하는지를 결정하기 위한 객관적 기준을 제시해주고 있지 못하며, 불필요하게 많은 민감도 분석을 수행하여야 하는 단점을 갖고 있다. 그러나 그들의 연구에서 설명된 요소의 삭제나 합병이 DEA의 결과를 민감하게 변화시킬 수 있다는 결론은 투입·산출 요소의 선정이 매우 중요하다는 점을 시사한다.

또한 투입·산출 요소의 선정을 위해서 상관

관계분석, 회귀분석, 주성분분석, 요인분석 등 통계적 방법을 사용할 수도 있는데, 이와 관련한 대표적 연구로는 투입 요소와 산출 요소의 상호결합과 부분적, 전체적 상관관계를 측정하기 위해 정준상관분석을 이용한 Sengupta의 연구[17]를 들 수 있다. 그러나 이러한 방법은 요소들간의 상관관계를 설명할 뿐이지 요소들과 의사결정단위의 효율성과의 관련성을 설명하지 못한 분석으로서 신뢰할만한 지침이라기 보다는 요소들에 대한 명확한 이해를 할 수 있는 정보로서 받아들여져야 할 것이다[11].

3. 투입·산출 요소 선정 모형

Tofallis의 profiling 방법[19]의 목적은 투입·산출 요소의 수에 비해 상대적으로 적은 수의 의사결정단위가 존재하는 상황에서 효율적 의사결정단위들의 우선순위를 변별력 있게 평가하기 위함이다. 이 연구에서 제시하는 방법의 특징은 개별 투입 요소에 대해서 관련된 산출 요소들의 비율을 DEA 모형의 목적함수로 사용하는 것이다. 예를 들어, CCR 모형에서 의사결정단위 k 에 의해서 활용된 투입 요소 m_1 이 두 산출 요소 s_1 과 s_2 에 영향을 미친다면 투입 요소 m_1 의 효율성은 의사결정단위 k 에 대하여 <식 3>과 같은 선형계획모형의 형태로 표현된다.

$$\max E_{km_1} = \frac{(w_{ks_1} z_{ks_1} + w_{ks_2} z_{ks_2})}{w_{km_1} z_{km_1}}$$

$$\text{s.t. } E_{jm_1} \leq 1, \forall j$$

$$w_{ji} \geq 0, \forall i \tag{식 3}$$

여기서, w 는 투입·산출 요소의 가중치, z 는 요소의 크기, E 는 관련된 투입·산출 요소의 비율, j 는 의사결정단위 ($j=1, \dots, k, \dots, n$), m 은 투입 요소, S 는 산출 요소를 의미한다.

〈식 3〉을 이용하면 각 의사결정단위에 대한 개별 투입 요소의 효율성(이를 투입에 대한 부분 효율성이라고 하며, 산출에 대한 부분 효율성도 동일한 논리에 의해서 유도된다)이 결정되며, 이러한 부분 효율성은 다음과 같은 정보를 의사결정자에게 제공해 줄 수 있다. 첫째, Tofallis (1996)가 주장한 바와 같이 효율적인 의사결정 단위들의 우선순위 설정을 용이하게 해 줄 수 있다. 그 이유는 각 자원에 대한 효율성 순위를 우선 평가함으로써 효율적인 단위들의 우선순위와 이러한 효율적 단위들에 있어 어떠한 자원이 효과적으로 활용되었는지에 대한 정보가 제공될 수 있기 때문이다. 둘째, 본 연구에서 새로이 주장하는 것으로서 요소별 부분 효율성의 측정은 각 요소가 의사결정단위의 효율성에 미치는 영향을 판단할 수 있게 해준다. 이 결과는 투입·산출 요소를 선정하기 위한 중요한 지침으로서의 역할을 할 수 있으며, 각 요소들이 의사결정단위의 효율성과 어떠한 관계를 갖는지를 평가할 수 있게 하여 준다.

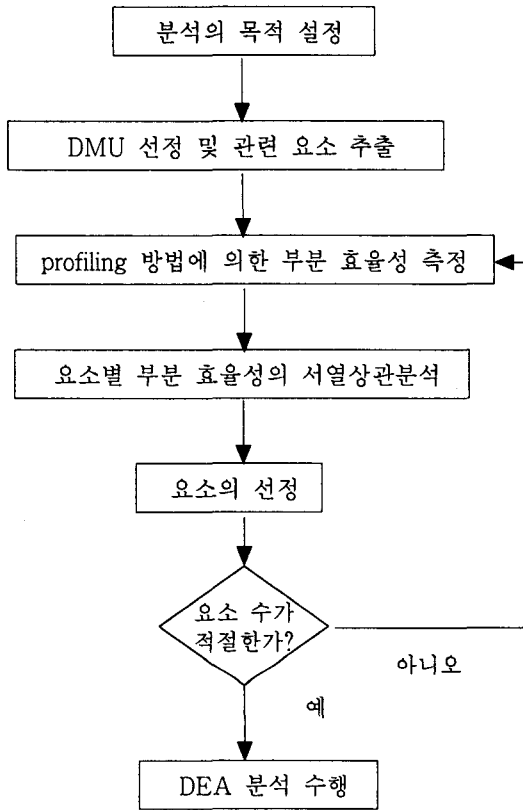
본 연구에서는 이러한 profiling 방법에 기초하여 투입과 산출 요소 각각에 대한 효율성을 평가한 후, 효율성의 순위를 차별화시키지 못하는 투입·산출 요소를 선별하여 이들을 통제하는 방법을 적용한다. 따라서 본 연구는 효율적 단위들의 우선순위 설정을 목적으로 한 Tofallis의 연구와는 근본적인 차이가 있으며, 다만 요소별 부분 효율성을 측정하기 위한 도구로서 profiling 방법을 이용한다.

본 연구의 요소선정 방법은 통계적 분석을 이용한 투입·산출 요소 선정방법에서 고려하지 못한 요소와 효율성과의 관계를 평가하면서 요소를 선정하는 민감도 분석의 형태를 띄고 있으며, 많은 요소들 중에서 효율성에 결정적 영향을 미치지 못하는 요소들을 고려의 대상에서 제거하는 순차적 방법이라고 할 수 있다. 이 방법은 효율성을 차별화시키지 못하는 투입·산출 요소들을 제거함으로써 축소된 투입·산출 요소를 이용하여 보다 정확히 의사결정단위의 효율성 평가와 우선순위 설정을 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서 제시하는 투입·산출 요소의 선정 절차를 도시하면 [그림 1]과 같다.

[그림 1]에서 요소선정 절차의 첫번째 단계는 우선 분석하고자 하는 바를 명확히 설정하는 것이다. 즉, 이 단계에서는 조직의 어떠한 효율성을 측정할 지를 결정함으로써 분석에 필요한 자료들을 수집하는 중요한 시발점이 된다. 분석의 목적을 설정한 후에는 두번째 단계에서 평가 대상 의사결정단위들을 선정하고 중요하다고 판단되는 모든 요소들을 일차적으로 판별한다. 이 단계에서는 관련 전문가의 주관적 판단을 상당히 필요로 한다.

세번째 단계는 profiling 방법에 의하여 투입·산출 요소의 효율성을 측정하는 단계이다. 즉, profiling 방법을 이용하여 개별 투입 요소와 개별 산출 요소 각각에 대해서 부분 효율성을 측정한다. 이 단계에서 중요한 것은 profiling 모형에 포함되는 투입·산출 요소들은 서로 관련성이 있는 요소들로 구성되어야 보다 의미있는 효율성 정보를 제공할 수 있다는 것이다.



[그림 1] 본 연구의 요소 선정 절차

네번째 단계에서는 투입·산출 요소별 부분 효율성의 서열상관을 분석한다. 즉, 투입 요소와 산출 요소별 부분 효율성을 이용하여 요소별 서열상관을 분석한다. 여기서 서열상관분석을 이용하는 이유는 몇 개의 요소들이 의사결정단위의 효율성에 미치는 영향이 동일한 서열로 나타날 경우 이 요소들이 전체적 효율성의 순위에 미치는 영향은 적을 것이며, 따라서 이러한 요소들은 축소될 수 있을 것으로 판단되기 때문이다. 이에 대해서는 4절의 “모형의 적용”에서 검증하도록 한다. 또한 서열상관은 의사결정단위의 수와는 상관없이 분석이 가능한 방법으로 의

사결정단위의 수가 적을 경우에도 적용이 가능하다는 장점을 갖고 있다.

다섯번째 단계는 투입·산출 요소를 통제하는 단계이다. 서열상관분석 결과, 서열에 있어서 음의 상관관계가 존재하는 요소들은 효율성에서 서로 다른 영향을 미치므로 모형에 포함시켜야 할 것이다. 그러나 양의 상관관계가 큰 요소들은 하나 혹은 소수의 요소로 통제할 수 있다. 양의 상관관계가 존재하는 여러 요소들을 몇 개의 요소로 축소할 것인가 하는 문제는 의사결정단위의 수와 경험적 판단에 의해서 해결되어질 수 있으며, 이러한 요소들 중에서 가장 높은 양의 상관관계를 갖는 요소들부터 순차적으로 통제하는 방법을 취할 수 있다.

위의 절차를 원하는 수의 요소들이 선정될 때까지 반복적으로 수행한다. 그리고 원하는 수의 요소들이 선정되었으면 이 요소들을 이용하여 의사결정단위들의 효율성을 적절히 측정할 수 있게 된다.

4. 모형의 적용

본 연구에서 제시한 방법의 유용성을 검증하고 적용 과정을 구체적으로 예시하기 위해서 우리나라 공공 도서관의 효율성 평가를 수행한다. 이 적용 연구의 목적은 다음과 같은 두 가지 가설을 검증하는데 있다.

〈가설 1〉 profiling 방법에 의한 투입·산출 요소별 부분 효율성간의 상관관계는 요소들간의 상관관계와는 다르게 나타날 수 있다.

이 가설은 기존의 통계적 방법에 의한 요소 선정 방법과 본 연구에서 제시하는 방법과의 차

이를 검증하기 위해 설정하였다.

〈가설 2〉 본 연구에서 제시한 방법에 의해 선정된 요소(축소된 요소)를 이용할 경우 도출되는 의사결정단위들의 효율성 우선순위는 모든 요소를 고려한 효율성 우선순위와는 차이가 없을 것이다.

이 가설은 제시한 방법의 유용성을 검증하기

위한 것으로서 모든 요소를 고려한 효율성 결과와 제시한 방법의 효율성 결과를 비교하여 축소된 요소로써 의사결정단위들의 효율성을 변별력 있게 측정할 수 있다는 유용성을 검증한다.

본 연구에서 위의 두 가설을 검증하기 위해 공공 도서관을 선택한 이유는 공공 도서관이 지역주민들을 대상으로 여러 형태의 서비스를 제

〈표 1〉 공공 도서관 현황 자료

DMU	투입 요소					산출 요소		
	건물 (m^2)	직원 (명)	인건비 (천원)	자료구입비 (천원)	기타운영비 (천원)	열람석 (좌석)	도서자료 (권)	이용자수 (명)
강남	1,558	32	465,725	89,540	115,296	536	100,688	204,007
강동	2,584	37	588,011	91,500	232,374	828	101,217	333,907
강서	4,014	42	747,599	74,000	135,208	1,286	133,501	412,685
개포	2,377	37	636,328	71,814	277,158	1,176	101,094	167,419
고덕	2,952	38	679,634	88,929	252,193	1,228	99,084	454,299
고척	2,309	43	663,054	84,000	198,837	1,160	76,704	362,307
구로	2,121	33	527,914	72,096	142,704	840	82,381	439,495
남산	9,442	79	1,323,884	104,000	399,241	2,043	363,773	384,034
도봉	2,760	43	716,635	92,254	222,861	965	116,025	553,275
동대문	4,505	50	806,958	84,226	261,581	1,166	171,591	493,210
동작	1,974	32	461,641	75,580	172,335	484	56,446	354,676
마포(분관)	11,540	70	854,146	270,500	1,022,710	2,774	123,585	590,196
목동	6,863	53	821,858	107,000	244,580	2,009	104,201	475,650
서대문	3,909	47	721,719	75,200	195,873	988	102,044	366,859
송파	8,472	41	577,324	139,430	340,026	1,700	47,020	818,310
어린이	2,454	39	673,360	77,260	163,182	770	113,869	168,858
영등포	4,422	50	801,540	78,000	178,876	864	185,014	532,335
용산	6,945	58	954,794	81,000	277,543	1,754	167,574	372,385
정독	13,052	98	1,599,036	87,674	811,548	2,850	329,035	729,003
종로	3,553	48	799,980	63,619	286,975	1,006	148,263	438,865
중계	3,383	39	596,012	63,084	247,258	1,049	85,663	626,958

주) 1. 이 자료는 1995년 12월 31일 현재 문화체육부에서 간행한 전국 공공 도서관 현황자료[1]중에서 서울특별시 및 서울특별시 공립도서관에 해당되는 자료를 발췌한 것이다.

2. 마포도서관의 마포분관자료는 본관도서관에 포함시켜 하나의 도서관으로서 평가하였다.

공하는 의사결정단위이지만 지금까지 기존의 문헌에서 DEA 모형을 이용하여 도서관의 효율성을 평가한 연구는 수행되지 않았기 때문이다. 따라서 공공 도서관의 효율성 분석을 위해 적절한 투입 요소와 산출 요소를 선정하는 문제는 주로 주관적인 판단이나 기존의 관련 연구에 의존할 수밖에 없는 특징을 갖고 있다. 즉, 공공 도서관의 효율성을 적절히 평가하기 위해서는 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 우선 적절한 투입 요소와 산출 요소를 선정하는 단계가 수행될 필요가 있다.

분석에 이용한 자료는 <표 1>과 같다. <표 1>은 문화체육부가 발표한 1995년 12월 31일 현재의 공립도서관 통계자료이며, 서울특별시의 21개 도서관을 분석대상에 포함하였다.

4.1 투입·산출자료

본 연구에서는 투입과 산출 자료를 <표 1>과 같이 구분하였다. 이 자료는 공표된 자료를 바탕으로 연구자가 일차적으로 중요하다고 판단한 투입·산출 요소들에 대한 자료이다. 이러한 투입 요소와 산출 요소의 구분은 도서관이 도서관 이용 고객에게 바람직한 서비스를 제공할 조건을 구비하였는지를 측정하고자 하는 관점에서 이루어졌다. 따라서 산출 요소로서는 구분이 명백한 이용자수뿐만 아니라 열람석과 도서자료의 수도 산출 요소에 포함시켰다. 그리고 투입 요소로는 건물, 직원, 인건비, 자료구입비, 기타운

영비를 포함시켰는데, 대부분의 투입 요소가 그 구분이 명백하게 이루어졌다고 볼 수 있으나, 자료구입비는 경우에 따라서는 산출 요소로도 볼 수 있는 성격이 있다. 그러나 본 연구에서는 자료구입비를 비용의 개념으로 파악하여 투입 요소로 구분하였다.

이러한 요소 구분 하에 도서관들을 효율적 단위와 비효율적 단위로 구분하기 위해서 필요한 적정 투입·산출 요소의 수는 7개(Banker, Charnes & Cooper[4] 참조)에서 22개(Boussofiane, Dyson & Thanassoulis[6] 참조)까지 가능하다고 할 수 있다. 그러나 이러한 지침은 다분히 경험적인 것으로 이러한 갯수의 요소를 고려하더라도 비효율적 단위들을 적절히 판별하지 못할 가능성은 존재한다.

<표 1>의 투입 요소 5개와 산출 요소 3개를 모두 고려하여 <식 2>의 CCR 모형을 적용한 의사결정단위들의 효율성 측정결과는 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 볼 수 있듯이 투입·산출 요소의 수에 비해서 의사결정단위의 수가 상대적으로 적을 경우에는 효율적인 단위(효율성 지수가 1인 단위)로 평가되는 의사결정단위들이 많아지게 된다. 이 경우에는 효율적 경계를 구성하고 있는 단위들의 수가 많아서 이 효율적 경계에 지배되는 비효율적 단위들이 감소하게 되며, 따라서 상대적으로 비효율적인 단위를 판별하는 기능이 약해진다. 따라서 평가대상 의사결정단위들의 수가 요소의 수에 비해 상대적으로 적을

<표 2> 8개의 투입·산출 요소를 이용한 효율성 측정 결과

DMU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
효율성 지수	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.99	1	1	1	0.79	1	1	1	1	1	1	1

경우에는 요소의 수를 축소시켜 비효율적인 단위들을 판별하는 능력을 강화시킬 필요가 있다.

4.2 profiling 방법의 적용

요소의 수를 축소하는 과정을 설명하기 위해 공공 도서관의 예에서는 산출 요소의 수는 적절한 것으로 가정하고 투입 요소의 수를 축소해 보기로 한다. 이를 위해 우선 profiling 방법을 투입 요소 각각에 대해서 적용하여 각 의사결정단위에 대한 부분 효율성을 측정하였으며, 그 결과는 <표 3>과 같다. <표 3>의 결과는 각 투입 요소와 모든 산출 요소가 서로 관련성이 있

다는 가정하에 각 투입 요소와 모든 산출 요소를 DEA 모형에 포함시켜 측정된 의사결정단위들의 효율성 지수이다.

<표 3>의 분석결과는 각 투입 요소와 의사결정단위의 효율성과의 관계에 대한 구체적인 정보를 제공한다. 예를 들어, <표 3>의 하단에 표시된 투입 요소별 의사결정단위들의 효율성 지수의 산술평균을 보면 가장 낮은 수준에서 사용된 자원은 자료구입비임을 알 수 있다. 또한 각 의사결정단위의 효율성을 비교하기 위해 <표 3>의 맨 우측 열에 표시된 투입 요소들의 효율성 평균을 참조해 보면, 의사결정단위 14의 경우 전체 투입·산출 요소를 포함시켜 효율성을

<표 3> profiling 방법에 의한 분석결과

투입 요소 DMU	투입 요소					평균
	건물	직원	인건비	자료 구입비	기타 운영비	
1	1	0.77	0.86	0.29	0.84	0.75
2	0.80	0.81	0.81	0.40	0.47	0.66
3	0.72	0.96	0.84	0.63	1	0.83
4	1	1	0.76	0.50	0.44	0.74
5	0.90	0.94	0.80	0.56	0.58	0.76
6	1	0.74	0.68	0.49	0.61	0.70
7	1	0.93	0.88	0.63	1	0.89
8	0.61	1	1	0.93	0.88	0.88
9	1	0.94	0.86	0.63	0.80	0.85
10	0.69	0.96	0.94	0.66	0.64	0.78
11	0.86	0.72	0.75	0.47	0.66	0.69
12	0.47	1	1	0.31	0.28	0.61
13	0.58	0.98	0.81	0.57	0.86	0.76
14	0.58	0.68	0.69	0.53	0.61	0.62
15	0.48	1	1	0.61	0.78	0.77
16	0.80	0.70	0.66	0.39	0.68	0.65
17	0.75	1	1	0.77	1	0.90
18	0.53	0.91	0.80	0.66	0.66	0.71
19	0.50	0.94	0.89	1	0.40	0.75
20	0.77	0.87	0.83	0.78	0.50	0.75
21	0.89	0.99	0.97	1	0.82	0.93
평균	0.76	0.90	0.86	0.61	0.70	0.77
(범위)	(0.52)	(0.31)	(0.34)	(0.70)	(0.71)	(0.32)

측정한 <표 2>의 결과에서와 같이 profiling 방법에 의해 측정된 평균 효율성도 매우 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 반면에 <표 3>에서 가장 낮은 평균 효율성을 보인 의사결정단위 12는 직원과 인건비 측면의 효율성이 나머지 요소들의 높은 비효율성을 상쇄하여 <표 2>에서는 높은 효율성을 보이고 있다. 또한 <표 3>에서 평균 효율성이 가장 높게 나타난 의사결정단위 21은 자료구입비만 효율적으로 활용하는 것으로 나타났으며, 이보다 낮은 평균 효율성을 보이고 있는 의사결정단위 17은 직원, 인건비, 기타운영비의 세 가지 요소에서 효율성을 보이고 있는 것으로 판명되어 조심스런 해석을 요구한다.

여기서 중요한 문제는 profiling 방법에 의해 측정된 효율성 지수의 특성을 어떻게 평가할 것인가 하는 것이다. 요소별 가중치에 자율성을 부여하는 DEA의 특성으로 인해서 <표 3>에 나타난 부분 효율성들의 산출평균은 의사결정단위들의 효율성 순위 선정에 특별한 의미를 제공한다고 볼 수는 없다. 따라서 Tofallis[19]가 제시한 바와 같이 이러한 투입 요소별 효율성을 평균과 같은 하나의 척도로 환산하는 것보다는 각 투입 요소의 효율성을 주관적인 판단에 의거하여 평가한 후, 효율적 단위들을 구분할 필요가 있다. 즉, 각 요소별 효율성이 최소한 0.5이상인 단위를 효율적인 단위로 판별하는 것을 예로 들 수 있다. 이 방법을 이용하게 되면 각 의사결정단위의 효율성에 영향을 미치는 구성 요인들을 세분화하여 주관적 판단을 통해 효율성의 우선 순위를 평가할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, 의사결정단위 1의 경우 비록 전체적으로는 효율적인 단위로 판단되었지만(<표 2> 참조), 자료구입비 측면에서는 상당한 비효율성이 존재한다(<표 3> 참조). 그러므로 자료구입비의 효

율성 판단기준을 주관적 기준에 의해서 0.5이상으로 평가한다면 의사결정단위 1은 비효율적 단위로 재조정할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 판단은 자의적인 것으로서, 판단기준을 객관적으로 설정할 수 있는 유용한 도구의 개발 문제는 계속 논의될 필요가 있다.

4.3 서열상관을 이용한 요소의 선정

본 연구에서는 투입 요소의 적절한 선정을 위해 각 투입 요소별 부분 효율성의 서열상관을 분석한다. 의사결정단위의 효율성 순위에 동일한 영향을 미치는 투입 요소들은 전반적 효율성의 순위에 상응하는 영향을 미치는 것으로서 서열상관이 높은 요소들은 군집화하고 서로 반대 영향을 미치는 투입 요소들은 분리하여 평가하고자 한다.

<표 4> 투입 요소의 부분 효율성에 대한 서열상관분석

서열상관	건물	직원	인건비	자료구입비	기타운영비
건물	1.000	-.2922 (.099)	-.3727 (.048)	-.2425 (.145)	.1565 (.249)
직원	-.2922 (.099)	1.000	.7431* (.000)	.4369* (.024)	.1793 (.218)
인건비	-.3727 (.048)	.7431 (.000)	1.0000	.5047* (.010)	.3040 (.090)
자료구입비	-.2425 (.145)	.4369 (.024)	.5047 (.010)	1.0000	.2627 (.125)
기타운영비	.1565 (.249)	.1793 (.218)	.3040 (.090)	.2627 (.125)	1.0000

주) 1. ()안의 숫자는 p-value.

2. *은 유의수준 5%로 통계적으로 유의함을 나타냄.

<표 4>는 투입 요소에 대한 부분 효율성의 서열상관을 분석한 결과이다. 이 결과를 보면

직원과 인건비, 직원과 자료구입비, 인건비와 자료구입비가 유의수준 0.05하에서 통계적으로 의미있는 양의 서열상관관계를 보이고 있다. 따라서 직원, 인건비, 자료구입비의 세 투입 요소는 의사결정단위의 효율성에 동일한 영향을 미친다고 볼 수 있으며, 의사결정단위의 효율성을 판별하는 능력에는 작은 영향을 미친다고 볼 수 있다.

요소들이 효율성에 미치는 영향을 분석한 후에는 투입 요소를 몇 개로 줄일 것인가 하는 문제를 해결하여야 한다. 이 문제는 경험적 판단이 작용하는 문제인데 본 연구에서는 분석대상인 의사결정단위의 수를 고려하여 통계적으로 의미있는 양의 서열상관관계를 보인 직원, 인건비, 자료구입비 등 3개의 투입 요소를 하나의 투입 요소로 축소시키고자 한다. 본 연구에서는 축소의 대상이 되는 세 투입 요소 중에서 상대적으로 인건비가 다른 두 투입 요소와 가장 높은 서열상관관계를 보이므로 직원과 자료구입비를 제외한 인건비를 대표적인 투입 요소로 선정하였다.

이러한 투입 요소 축소 결과는 중요한 시사점을 제공한다. 본 연구에서는 원래 투입 요소로서 직원과 인건비를 분리하여 고려하였는데, 분석결과에 의하면 두 요소는 효율성의 서열에 동일한 방향의 영향을 미친다. 따라서 투입 요소에서 직원이라는 요소를 삭제하더라도 의사결정단위의 효율성은 큰 영향을 받지 않을 것이라는 점이다. 또한 원래 투입 요소로 고려한 자료구입비 요소도 투입 요소에서 삭제함으로써 자료구입비의 성격상 이를 투입 요소로 분류할 것인지 산출 요소로 분류할 것인지 하는 불명확한 구분 문제도 완화시킬 수 있음을 보여준다.

본 연구에서 제시한 부분 효율성의 서열상관

분석과 통계적 상관관계분석과의 차이점을 비교하기 위해서 <표 1>의 공공 도서관 현황 자료를 이용하여 직원, 인건비, 자료구입비간의 상관관계를 구한 결과는 <표 5>와 같다. <표 5>를 보면 세 요소들이 통계적으로 유의미한 상관관계를 보이지 않고 있다. 따라서 앞에서 설정한 <가설 1>이 검증되었다. <가설 1>의 검증 결과는 본 연구에서 제시한 방법을 이용하게 되면 자료들의 통계적 상관관계분석에 의해 설명되지 못하는 유용한 정보가 제공될 수 있으며, 이를 바탕으로 투입 요소들을 적절히 선정할 수 있음을 보여준다.

<표 5> 직원, 인건비, 자료구입비간의 상관관계

서열상관	직원	인건비	자료구입비
직원	1.000	.0884 (.352)	-.2699 (.118)
인건비	.0884 (.352)	1.0000	.2055 (.186)
자료구입비	-.2699 (.118)	.2055 (.186)	1.0000

주) ()안의 숫자는 p -value.

다음으로 지금까지의 요소 선정결과에 따라 건물, 인건비, 기타운영비 등 3개로 축소된 투입 요소와 열람석, 도서수, 이용자수 등 3개의 산출 요소를 이용하여 새로운 DEA 모형을 구축하고, 각 의사결정단위의 효율성 지수를 도출한 결과는 <표 6>에 나타나 있다.

<표 6>에서 두 개의 투입 요소를 제외하여 총 6개의 투입·산출 요소를 고려한 경우와 총 8개의 투입·산출 요소를 모두 고려한 기존의 결과를 비교해 보면, 의사결정단위 10과 14는 여전히 비효율적인 단위로 판명되었고, 효율성

〈표 6〉 효율성 지수의 비교

DMU	새로운 효율성 ¹⁾	기존의 효율성 ²⁾	참조집합 ³⁾
1	1	1	
2	0.92	1	
3	1	1	
4	1	1	
5	1	1	
6	1	1	
7	1	1	
8	1	1	
9	1	1	
10	0.99	0.99	7,8,17,20,21
11	1	1	
12	1	1	
13	1	1	
14	0.79	0.80	3,4,5,7,8,21
15	1	1	
16	1	1	
17	1	1	
18	1	1	
19	0.92	1	
20	0.91	1	
21	1	1	

- 1) 직원과 자료구입비를 제외한 6개의 투입·산출 요소를 이용하였을 경우의 효율성 지수
- 2) 모든 투입·산출 요소 8개를 고려하였을 경우의 효율성 지수
- 3) 8개의 투입·산출 요소를 고려하였을 경우, 비효율적인 단위가 효율적인 단위로 되기 위해 벤치마킹해야 하는 효율적 단위들(efficient or best practice units)의 집합

지수도 매우 유사하게 나타났다. 또한 의사결정 단위 2, 19, 20은 투입 요소를 축소했을 경우 효율적인 단위에서 비효율적인 단위로 새로이 판명되었음을 알 수 있다. 이 단위들은 8개의 요소를 사용하였을 때 많은 요소의 수로 인하여 의사결정단위들의 지배관계가 부정확하게 나타났지만, 요소의 수를 적절히 통제함으로써 비효율성이 판명된 결과이다. 실제로 〈표 3〉에서 의사결정단위 2는 자료구입비와 기타운영비 측면

에서, 의사결정단위 19는 건물과 기타운영비 측면에서, 그리고 의사결정단위 20은 기타운영비 측면에서 0.5이하의 매우 낮은 부분 효율성을 보이고 있으며, 요소별 부분 효율성 지수도 1로 판명되는 경우가 거의 존재하지 않는 비효율적 의사결정단위들이다. 또한 〈표 6〉의 참조집합을 보면 8개의 투입·산출 요소를 모두 고려했을 경우 비효율적인 단위가 벤치마킹해야 할 대상에 의사결정단위 20을 제외하고는 의사결정단위 2와 19는 포함되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법이 보다 적은 수의 요소로써 의사결정단위들의 효율성에 대한 변별력을 높여 주는 타당한 방법이라고 평가할 수 있다.

4.4 효율성 우선순위의 비교

투입 요소를 3개로 축소한 후의 효율성 우선 순위와 5개의 투입 요소를 모두 사용했을 경우의 효율성의 우선순위 결과를 비교하여 의사결정단위에 대한 효율성 평가가 어느 정도 일치하는지를 파악하기 위해 Andersen & Petersen [3]이 제시한 효율성 우선순위 평가 방법을 이용하였다. 이 방법의 특징은 효율성 평가의 대상이 되는 의사결정단위를 제약조건에서 제외하여 서열을 평가하는 것인데, 이렇게 함으로써 효율적으로 판명된 의사결정단위 자신은 다른 의사결정단위들의 선형결합에 의해서 지배받지 않으면서 투입 요소의 최대 증가분에 따라 효율적 단위들의 서열이 결정되도록 하는 것이다. 결과적으로, 이 방법을 이용하면 효율성 지수는 0에서 1까지로 한정되지 않고 0에서 1이상의 값을 갖는다.

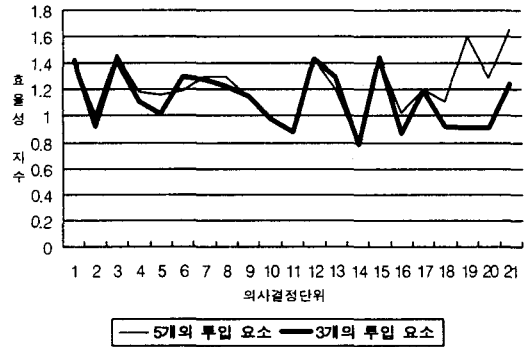
이 방법을 이용하여 5개의 투입 요소를 모두 모형에 포함시켰을 경우와 축소된 3개의 투입

요소를 모형에 포함시켰을 경우 각각에 대해 효율적인 단위들의 효율성 지수를 도출하여 비교한 결과는 <표 7>과 같다. <표 7>에서 볼 수 있듯이 두 경우 모두에 있어서 각 의사결정단위의 효율성은 매우 유사함을 알 수 있다. 특히, 의사결정단위 1, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17은 두 경우 모두에 있어 동일한 효율성 지수를 나타내고 있다.

<표 7> 효율성 지수의 비교

DMU	기존의 효율성 지수	요소축소후의 효율성 지수
1	1.42	1.42
2	1.01	0.92
3	1.46	1.42
4	1.18	1.11
5	1.16	1.02
6	1.19	1.30
7	1.30	1.28
8	1.30	1.22
9	1.14	1.15
10	0.99	0.98
11	0.88	0.88
12	1.43	1.43
13	1.20	1.30
14	0.79	0.79
15	1.44	1.44
16	1.03	0.87
17	1.20	1.19
18	1.11	0.92
19	1.60	0.91
20	1.29	0.91
21	1.65	1.25

또한 의사결정단위들의 효율성 우선순위가 두 경우에 있어 통계적으로 의미있는 차이를 보이지 않을 것이다라는 <가설 2>를 검증하기 위해 <표 7>의 효율성 순위평가 지수를 이용하여



두 경우의 서열상관을 분석하였다. 분석결과는 <표 8>과 같다.

<표 8> 서열상관분석

서열상관	5개의 투입 요소	3개의 투입 요소
5개의 투입 요소	1.0000	.6646 (.001)
3개의 투입 요소	.6646 (.001)	1.0000

주) ()안의 숫자는 p-value.

<표 8>의 결과를 보면, 유의수준 0.01하에서 두 경우의 효율성 우선순위 상관계수가 0.66으로 통계적으로 의미있는 결과를 제시하고 있다. 즉, 투입 요소 5개 모두를 고려한 경우와 투입 요소를 3개로 축소한 경우의 효율성 우선순위가 통계적으로 의미있는 양의 관계로 평가되었으므로 <가설 2>가 검증되었다.

결론적으로, 모형의 적용을 통하여 투입 요소를 3개로 축소한 경우가 5개의 투입 요소 모두를 이용한 경우보다 적은 정보를 사용하지만, 의사결정단위들의 효율성 우선순위에 있어서는 통계적으로 의미있는 차이가 없으며, 의사결정

단위들의 효율성을 변별하는 능력에 있어서도 향상된 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

DEA 모형에서 투입·산출 요소의 선정 문제는 의사결정단위의 효율성 측정에 결정적 영향을 미친다. 따라서 정확한 효율성 측정을 위해서는 투입·산출 요소의 선정을 위한 적절한 방법론이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 요소 선정을 위한 새로운 방법론을 제시하였는데, 제시된 방법은 profiling 방법에 기초하여 요소별 부분 효율성 정보를 도출한 후, 이 정보에 근거하여 요소의 수를 축소하는 방법이다. 제시된 방법의 유용성은 실제 자료를 이용하여 검증하였다.

본 연구에서 제시한 투입·산출 요소의 선정 방법은 다음과 같은 세 가지의 장점을 제공한다. 첫째, 개별 투입·산출 요소가 의사결정단위의 효율성에 미치는 영향을 파악함으로써 각 투입·산출자료의 통계적 분석에 의한 요소 선정 방법보다 유용한 정보를 제공할 수 있다. 둘째, 제시된 방법을 이용하면 요소 선정과 관련된 분석 시간을 줄일 수 있다. 개별 요소들을 하나씩 투입·삭제하여 의사결정단위들의 효율성을 평가하고 그 결과를 해석한다는 것은 매우 지루하고 단순 반복적인 작업이 될 수 있으며, 설정 요소들의 여러 조합을 이용하여 분석할지라도 그 민감도 분석 결과가 모든 경우를 다 반영할 수 있는 정보라고는 보기 어렵다. 본 연구에서 제시한 요소별 부분 효율성을 이용한 요소 선정 방법은 이러한 기존 방법의 단점을 극복할 수

있다. 셋째, 투입 요소와 산출 요소의 판별력을 높여줄 수 있다는 점이다. 상황에 따라 투입 요소와 산출 요소를 명확히 구분하는 일은 매우 어려운 문제일 수 있다. 그러나 본 연구에서 제시한 것처럼 각 요소들이 의사결정단위의 효율성에 미치는 영향을 분석한 후 이를 근거로 요소를 선정하면 본 연구의 적용 사례에서처럼 이러한 구분 문제는 쉽게 해결될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서 제시한 요소 선정 방법은 민감도 분석의 형태를 띄고 있지만 사후적 분석이라기 보다는 사전적 분석의 형태를 취한다. 따라서 의사결정단위의 효율성에 영향을 미치는 요소들에 대한 기존의 연구가 존재하지 않고 그 구분이 명확하지 않은 경우에는 본 연구에서 제시한 요소 선정 방법이 보다 유용한 도구가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 문화체육부, 「'96년도 전국 공공 도서관 현황」, 행정간행물, 1996.
- [2] Ali, A. I. and L. M. Seiford, Fried, H. O., C. A. Knox Lovell and S. S. Schmidt(ed.), Oxford University Press, "The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis," in *The Measurement of Productive Efficiency*, (1993), pp.120-159
- [3] Andersen, P. and N. C. Petersen, "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis," *Management*

- Science*, 39(1993), pp.1261-1264.
- [4] Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, 30(1984), pp.1078-1092.
- [5] Banker, R. D. and Morey, R. C., "The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, 32(1986), pp.1613-1627.
- [6] Boussofiane, A., R. G. Dyson and E. Thanassoulis, "Applied Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, 32(1991), pp.1-15.
- [7] Charnes, A. and W. W. Cooper, "Programming with Linear Fractionals," *Naval Research Logistics Quarterly*, 9(1962), pp.181-186.
- [8] Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2(1978), pp. 429-444.
- [9] Charnes, A., W. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford(eds.), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [10] Epstein, M. K. and J. C. Henderson, "Data Envelopment Analysis for Managerial Control and Diagnosis," *Decision Sciences*, 20(1989), pp.90-119.
- [11] Golany, B. and Y. Roll, "An Application Procedure for DEA," *OMEGA International Journal of Management Science*, 17(1989), pp.237-250.
- [12] Olesen, O. B. and N. C. Petersen, "Chance Constrained Efficiency Evaluation," *Management Science*, 41(1995), pp.442-457.
- [13] Retzlaff-Roberts, D. L. and R. C. Morey, "A Goal-Programming Method of Stochastic Allocative Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, 71(1993), pp.379-397.
- [14] Roll, Y. and B. Golany, "Alternate Methods of Treating Factor Weights in DEA," *OMEGA International Journal of Management Science*, 21(1989), pp.99-109.
- [15] Seiford, L. M., *A Bibliography of Data Envelopment Analysis(1978-1996)* (<http://www-vms.ecs.umass.edu/~sqpl/deabib.html>).
- [16] Sengupta, J. K., "Measuring Efficiency by a Fuzzy Statistical Approach," *Fuzzy Sets and Systems*, 46(1992), pp.73-80.
- [17] Sengupta, J. K., *Dynamics of Data Envelopment Analysis: Theory of Systems Efficiency*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [18] Sinuany-Stern, Z., A. Mehrez and A. Barboy, "Academic Departments Efficiency via DEA," *Computers and Operations Research*, 21(1994), pp.543-556.
- [19] Tofallis, C., "Improving Discernment in DEA Using Profiling," *OMEGA International Journal of Management Science*, 24(1996), pp.361-364.