

다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형 개발 및 국내 지방공사의 효율성 평가*

심광식** · 김재윤***†

The Development of the DEA-AR Model using Multiple
Regression Analysis and Efficiency Evaluation of Regional
Corporation in Korea

Gwang Sic Sim** · Jae Yun Kim***

■ Abstract ■

We design a DEA-AR model using multiple regression analysis with new methods which limit weights. When there are multiple input and single output variables, our model can be used, and the weights of input variables use the regression coefficient and coefficient of determination. To verify the effectiveness of the new model, we evaluate the efficiency of the Regional Corporations in Korea. Accordance with statistical analysis, it proved that there is no difference between the efficiency value of the DEA-AR using AHP and our DEA-AR model. Our model can be applied to a lot of research by substituting DEA-AR model relying on AHP in the future.

Keyword : Data Envelopment Analysis, Assurance Region, Analytic Hierarchy Process,
Multiple Regression Analysis, Regional Corporation

논문접수일 : 2011년 07월 28일 논문게재확정일 : 2011년 11월 17일

논문수정일(1차 : 2011년 10월 13일, 2차 : 2011년 11월 16일)

* 이 논문은 2009년도 전남대학교 학술연구비 지원을 받아 연구된 결과임.

** 광주도시철도공사 차량운영처

*** 전남대학교 경영대학 경영학부

† 교신저자

1. 서 론

자료포락분석(Data Envelopment Analysis : DEA)은 의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)의 상대적 효율성을 측정할 목적으로 Charnes와 Cooper, 그리고 Rhodes에 의해 개발된 효율성 평가모형이다[15]. DEA는 평가 항목에 대한 가중치를 사전에 할당하지 않고 모형 내에서 내재적으로 결정된다[9]. 이것은 장점이 되기도 하지만 목적함수의 값을 최대화하기 위해 자신에게 불리하게 작용할 수 있는 투입 및 산출변수에 최소의 가중치를 부여하거나 가중치를 부여하지 않는 비현실적인 경우가 있다[8, 10]. 이런 극단적인 가중치의 선택은 DMU간 변별력을 떨어뜨리는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 Thompson et al.[26]은 DEA-AR(Assurance Region) 모형을 개발하였다. 이 모형은 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 이용하여 가중치를 체계적으로 제약하였다. 그러나 AHP를 이용하여 가중치를 설정하는 방법은 설문지를 작성하여 전문가에게 의뢰한 후 설문결과를 분석하여야 하는 복잡성이 있고, 장시간이 소요되며 설문 응답자의 이해관계에 따라 설문결과가 달라지는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 다중투입변수, 단일산출변수인 DEA-AR 모형에서 투입 및 산출변수 간 통계적 유의성이 존재할 경우 다중회귀분석 결과를 이용하여 AR의 범위를 설정하는 새로운 방법을 제시하고자 한다. 다중회귀분석(multiple regression analysis)은 종속변수 값의 변화에 영향을 미칠 것으로 예상되는 여러 개의 적절한 독립변수들을 선택하여 종속변수를 이들의 함수로서 설명하고자 하는 통계적 분석기법이다[1]. 본 연구에서는 다중회귀분석을 이용하여 DEA 모형에 이용되는 투입 및 산출변수의 적절성을 판단하고, 분석결과로 제시되는 회귀계수(regression coefficient) 값을 이용하여 투입변수들의 산출변수에 대한 영향력 정도에 따라 AR의 범위를 지정하고자 한다.

본 연구에서 개발한 모형의 적용성 검증을 위하여

지방공기업의 효율성을 측정 및 분석하고자 한다. 지방공기업은 1970년에 7개(상수도 6, 지하철 1)로 시작하여 2008년 12월을 기준으로 387개로 증가하는 등 지방자치가 정착되면서 자치단체는 증가하는 주민의 욕구와 수요에 대응하고 질 높은 공공서비스를 제공하고자 지방공기업을 설립·운영함으로써, 공기업 수는 지속적으로 증가하는 추세이다. 그러나 수익성의 불확실성으로 불안정한 재무구조를 갖는 부실공기업이 나타나게 되어 지방공기업을 대상으로 효율성을 비교 평가하는 것은 매우 중요한 문제이다. 또한, 공기업의 상대적 특성을 고려하지 않은 표준화 방식에 의한 평가보다 차별성 있는 평가방식이 필요하며 이를 위해 새로운 평가모형의 필요성이 인정된다.

다중회귀분석을 이용하여 DEA-AR 모형을 개발하고, 지방공기업을 대상으로 효율성을 분석하고자 하는 본 연구의 목적은 크게 두 가지이다. 첫째, DEA-AR 모형에서 합리적인 AR의 범위를 지정할 수 있는 새로운 기법을 제안함으로써 DEA 모형 분야의 이론 연구에 공헌하며 둘째, 새롭게 개발한 DEA-AR 모형의 실증적 적용성을 검증하고 효율성 평가 결과를 피평가기관에 피드백 함으로써 합리적 운영 대책을 마련하는데 도움을 주기 위한 것이다.

본 연구는 총 6장으로 구성되어 있다. 제1장은 서론으로 연구의 목적과 내용, 그리고 연구의 구성에 대해서 기술하고 제2장은 DEA-AR 모형 및 기본이론을 소개하고 선행연구를 고찰하며, 제3장은 다중회귀분석을 이용한 새로운 DEA-AR 모형에 대해 설명하고, 제4장에서는 실증검증을 위해 사용될 도시개발공사를 대상으로 투입 및 산출변수를 선정한다. 그리고 제5장에서는 효율성 분석 결과를 요약정리하고, 비모수적 방법론인 Mann-Whitney 검정을 통하여 본 연구에서 제시한 DEA-AR 모형과 기존의 DEA-AR/AHP 모형 간 평균효율성 차이를 분석한다. 마지막으로, 제6장에서는 본 연구를 통해 도출된 결론 및 연구의 한계점에 대해서 기술한다.

2. DEA-AR 모형

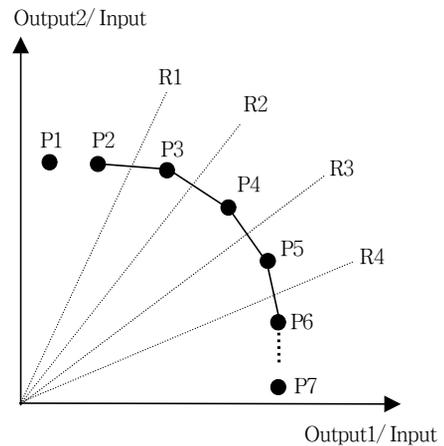
2.1 개념

DEA의 가장 큰 특징은 평가항목들의 가중치에 대한 정보가 필요하지 않다는 점이다. 그러나 때로는 이러한 점이 DEA 모형의 단점으로 작용하기도 한다. 기본모형에서 극단적인 가중치의 선택으로 인한 모형의 단점을 보완하고자 가중치의 범위에 관한 정보를 얻을 수 있는 경우 이를 반영하기 위한 수단으로 DEA-AR 모형이 제시되었다. 기본모형의 단점을 극복한 DEA-AR 모형은 일반적인 DEA 모형에 투입변수와 산출변수의 가중치가 존재해야 하는 범위에 관한 제약식을 추가해주는 모형이다[4]. 식 (1)은 DEA-AR 승수모형으로 DMU의 투입 및 산출 가중치인 v_i 와 u_r 의 범위 제약이 있다는 것이 특징이다. 식에서 OU_r 과 OL_r 은 산출변수 가중치의 상한 및 하한을, IU_i 와 IL_i 는 투입변수 가중치의 상한 및 하한을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize} && \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} && (1) \\
 & \text{Subject to} && \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
 & && \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\
 & && u_1 > 0, v_1 > 0 \\
 & && OL_r u_1 \leq u_r \leq OU_r u_1, IL_i v_1 \leq v_i \leq IU_i v_1 \\
 & && r = 2, 3, \dots, s; i = 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

[그림 1]은 DEA-AR 모형의 예를 2차원 평면상에서 도시한 것이다. 만약 투입변수는 1개이고, 산출변수는 2개 존재하며 각 DMU의 평면상 위치가 그림의 점들과 같이 주어져 있다면, 효율성 조건을 만족시키는 DMU는 P2, P3, P4, P5, P6로 표시되는 5개의 점이다. 이 경우 투입변수는 하나라고 가정하였으므로 산출변수의 가중치 OU_r 과 OL_r 만을 고려하면 된다. 산출변수 간 가중치의 범위는 중요도에 따라 원점을 통과하는 방사선(ray)으로 표시할

수 있다. 이 방사선들이 AR을 정의하게 되는데 예를 들어 AR의 범위를 R1~R4 내부에서 형성되는 지역으로 선택하면 효율적 DMU는 P3, P4, P5로 줄어들게 되고, AR의 범위를 더 좁혀 R2~R3 내부의 지역으로 선택하면 효율적인 DMU는 P4만 된다. AR의 탐색은 가장 외곽의 방사선으로부터 시작하여 방사선들의 중앙값(median)까지 좁혀질 수 있으므로 DMU들의 변별력을 높여 효율적 DMU를 새롭게 구할 수 있다는 장점이 있다[10].



[그림 1] DEA-AR 모형의 도해

일반적으로 가중치가 가질 수 있는 값의 범위는 투입변수 가중치와 산출변수 가중치 각각의 변수 간 비율에 대한 상한값과 하한값을 설정하는 것으로 설정방법으로는 전문가의 의견 반영법, 의사결정기법 활용법, 그리고 각 요소별 단위비용 사용법 등이 주로 사용되어 왔다[4]. 본 연구에서는 다중투입변수, 단일산출변수인 경우 다중회귀분석을 이용하여 회귀선을 추정한 후 독립변수의 회귀계수와 회귀결정계수를 이용하여 투입변수에 대한 가중치를 제약하는 AR 모형을 제시하고자 한다.

2.2 연구현황

CCR 모형[15]은 Farrell[18]의 효율성 개념을 확장하여 다수 투입과 다수 산출에 적용한 DEA의 기

본모형으로, 효율성 과다측정, 다수의 효율 DMU 도출 등의 변별력 문제가 존재한다[10]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가중치가 가질 수 있는 값의 범위를 제한하게 되는데 투입변수 가중치와 산출변수 가중치 각각의 요소 간 비율에 대한 상한값과 하한값을 설정한다. 본 연구는 가중치가 가질 수 있는 값의 범위를 제한하는 방법에 대해 새롭게 접근한 것으로 본 연구와 맥락을 같이하는 DEA-AR 최근 연구현황은 <표 1>과 같이 정리될 수 있다.

AR지정은 다양한 원천으로부터 구할 수 있다. 남인석 등[5], 김건위 등[3], 권철신 등[2]은 AHP를 이용하여 AR을 지정하였고, 박성민, 김현[6]은 효율성이 1인 DMU의 가중치를 사용하였고, 김재관, 김승권[4]은 요소별 단위비용을 사용하여 상한과

하한을 지정하였다. Cook and Zhu[16]는 모든 DMU에 똑같은 가중치 제약을 두지 않고, 단위 업무당 처리시간을 근거로 AR의 범위를 각각 지정하여 효율성을 평가하는 Context-Dependent AR-DEA 모형을 제시하였다. Kao and Lin[20]은 대만의 24개 대학도서관을 평가하는데 도서관장의 의견을 가중치의 형태로 직접 구하여 산출변수에 대해서만 AR을 적용하였고, Koksai and Nalcaci[21]은 전문가집단의 의견을 5점 척도의 AHP 설문지를 사용하여 쌍대비교 후 이를 가중치로 변환시켜 AR을 지정하였다. Shim[25]은 미국 95개 대학 도서관의 효율성을 평가하기 위해 소장도서 및 대학내 구성원 등의 요소별 비용에 관한 정보로부터 AR을 구성하였다. Shang and Sueyoshi[24]는 제조공정에 있어서 가장

<표 1> DEA-AR 연구현황

연구대상	저자	투입	산출	AR 범위 지정방법
정부출연 연구기관의 효율성 분석	남인석 등[5]	연구인력, 연구개발예산	SCI 논문게재수, 등록특허수, 기술료	AHP
IT 중소·벤처기업 정부자금지원정책 성과평가	박성민, 김현 [6]	금액, 기간, 건수	매출액증가율, 영업이익의 증가율	효율성 1인 DMU의 가중치를 이용
부동산 가격평가	김재관, 김승권 [4]	가격 형성 요소의 요소별 값	일반거래가격	요소별 단위비용 사용
행정조직의 상대적 효율성 평가	김건위 등[3]	예산, 인력	주민숙원사업달성비용, 복지수혜가구수, 산불예방홍보횟수, 방제면적, 지역개발사업건수, 간이급수 점검횟수	AHP
R&D 과제군의 평가선정을 위한 모형 개발	권철신 등[2]	기술가능성, 기술우월성, 투입인력, 투입비용	기술과급성, 기술축적성, 사업수익성, 사업공헌도	AHP
Analysis of major Canadian bank Efficiency	Cook and Zhu [16]	staff resources	number of deposits, withdrawals	Context-Dependent AR-DEA
Flexible manufacturing system	Liu[22]	capital and operating costs	work in process, numbers of tardy and yield	AHP
University library	Kao and Lin [20]	size index	collections, personnel, expenditures, buildings, services	전문가 의견 반영법
Academic departments of an engineering college	Koksai and Nalcaci[21]	salaries, potential, entering students	research activities and quality, other activities, graduates	AHP
Academic research library	Shim[25]	total volumes held, no. of staff, total student enrollment, etc.	no. of lending transactions, no. of circulation, etc.	요소별 비용

적합한 유연생산시스템(flexible manufacturing system)을 선택하기 위하여 AHP와 시뮬레이션 모델을 사용한 DEA-AHP 통합모형을 제시하였고 Liu[22]는 Shang and Sueyoshi[24]에서 사용한 자료를 가지고 투입 및 산출변수가 Fuzzy 자료일 경우의 DEA-AR 모형을 설계하였다.

이상에서 확인한 바와 같이 가중치 제약을 두기 위한 AR 범위지정에 있어서 여러 연구들이 시도되고 있고, AHP를 이용하여 전문가의 의견을 반영한 기법도 많이 사용되고 있다. 그러나 AHP를 이용할 경우, 설문지를 작성하여야 하고 각 요소 간 쌍대 비교를 할 경우 비율관계를 계산해야 하는 복잡한 과정이 존재한다.

3. 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형

3.1 개요

본 연구에서 개발하고자 하는 다중투입변수, 단일산출변수인 DEA-AR 모형에서 투입변수의 가중치 설정방법은 다음과 같다. 다중회귀분석에서 독립변수의 회귀계수는 다른 독립변수의 값이 고정되어 있을 때 해당 독립변수가 한 단위 증가하였을 경우 종속변수가 얼마만큼 증가하는가를 나타내는 것이다. 즉, 회귀계수는 해당 독립변수의 종속변수에 대한 영향력으로 회귀계수가 크다면 영향력이 크다고 할 수 있다. 따라서 여러 독립변수의 회귀계수들간 비율(회귀계수비율)은 독립변수간 종속변수에 대한 상대적 영향력에 대한 비율로 생각할 수 있다.

또한, 회귀결정계수(R^2)는 추정된 회귀선이 얼마나 종속변수를 설명하는가를 나타낸다. 회귀결정계수가 크다면 추정된 회귀선과 종속변수간의 변동이 작을 것이고 회귀결정계수가 작다면 변동이 클 것이다. 예를 들어, R^2 이 100%라면 독립변수들에 의해 종속변수가 100% 설명되어 변동이 없지만, R^2 이 80%라면 20%의 변동은 추정된 회귀선이 종속변수

를 설명하지 못한다는 의미이다. 따라서 R^2 이 100%보다 낮은 회귀선으로부터 도출된 회귀계수비율은 종속변수에 대한 독립변수의 정확한 가중치 비율은 아니고, 변동을 설명하지 못하는 부분인 $1 - R^2$ 만큼의 $\pm 20\%$ 오차가 있다고 생각할 수 있다. 일반화하여 생각하면 회귀선의 회귀계수비율을 A라 하고 회귀결정계수를 R^2 이라 했을 때, 회귀선이 완전하게 종속변수를 설명하기 위해서는 독립변수의 회귀계수비율이 $A \pm A(1 - R^2)$ 사이에 존재해야 한다. 본 연구에서는 이들 독립변수의 회귀계수비율을 투입변수의 가중치비율로 사용하여 AR지정을 위한 제약조건식에 사용하고자 한다.

<표 2>는 DEA 분석 대상이 되는 DMU 별 투입 및 산출변수를 나타낸 예이다. <표 2>에서 제시된 투입변수(X)와 산출변수(Y)는 각각 다중회귀분석 대상인 독립변수와 종속변수라고도 볼 수 있으므로 회귀방정식을 구할 수 있다.

<표 2> DMU 별 투입 및 산출변수

DMU	투입				산출
	X_1	X_2	...	X_m	Y
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}	y_1
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}	y_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}	y_n

독립변수와 종속변수간의 관계를 선형으로 가정하고, m 개의 투입변수 X와 산출변수 Y간 표본회귀선을 구하면 식 (2)와 같다. 여기서 X_1 의 회귀계수 $\hat{\alpha}_1$ 은 다른 독립변수 값이 고정되어 있을 때 X_1 이 한 단위 증가 또는 감소함에 따른 Y의 변화를 나타내며, X_2 의 회귀계수 $\hat{\alpha}_2$ 는 X_2 이외의 독립변수 값이 고정되어 있을 때 X_2 의 증감에 따른 Y의 변화를 의미한다. 이때, 회귀계수의 절대 값은 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 정도를, 회귀계수의 부호는 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 방향을 나타낸다. 그리고 이상의 결과로부터, 산출변수 Y에 대한 투입변수의 X의 영향력을 확인할 수 있고, 각각의 투입(독립)변

수의 영향력은 투입변수가 갖고 있는 산출변수에 대한 가중치의 범위라고 생각할 수 있다.

$$\hat{Y} = \hat{C} + \hat{\alpha}_1 X_1 + \hat{\alpha}_2 X_2 + \dots + \hat{\alpha}_m X_m, R^2 \quad (2)$$

식 (2)에서 구한 회귀방정식의 회귀계수 절대값이 산출변수에 대한 각각의 가중치 범위라고 생각하면, 투입변수 X_1, X_2 의 산출변수 Y_1 에 대한 회귀계수비율의 절대값은 $|\hat{\alpha}_1/\hat{\alpha}_2|$ 이고, 투입변수 X_1, X_3 의 산출변수 Y_1 에 대한 회귀계수비율의 절대값은 $|\hat{\alpha}_1/\hat{\alpha}_3|$ 이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 모형의 X_m (m 번째 투입변수)에 대한 X_{m-1} ($m-1$ 번째 투입변수)의 회귀계수비율을 $|\hat{\alpha}_{(m-1)}/\hat{\alpha}_m|$ 라 하면 회귀계수비율의 오차는 식 (3)과 같다.

$$\left| \frac{\hat{\alpha}_{(m-1)}}{\hat{\alpha}_m} \right| (1 - R^2) \quad (3)$$

본 논문에서는 식 (3)을 비율오차라 하고, 대문자 E 로 표현하겠다. 이렇게 표현하면 X_m (m 번째 투입변수)에 대한 X_{m-1} ($m-1$ 번째 투입변수) 가중치 비율의 범위는 회귀계수비율의 $\pm E$ 사이에 있다고 볼 수 있으므로 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\left| \frac{\hat{\alpha}_{(m-1)}}{\hat{\alpha}_m} \right| - E \leq \frac{X_{(m-1)}}{X_m} \text{ 투입변수간가중치비율} \quad (4)$$

$$\leq \left| \frac{\hat{\alpha}_{(m-1)}}{\hat{\alpha}_m} \right| + E$$

어떤 투입변수의 회귀계수가 크면 투입변수가 조금 변하더라도 산출변수에 큰 영향력을 행사하기 때문에 투입변수간 회귀계수의 비율 관계를 이용하여 AR의 범위를 지정하는 것은 의미가 있다.

3.2 새로운 DEA-AR 모형 예시

다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형의 개념을 예제로 설명하고자 한다. <표 3>은 DEA 분석 대

상이 되는 DMU별 투입 및 산출변수를 나타낸 예이다. <표 3>에 제시된 투입변수(x_1, x_2, x_3)와 산출변수(y)는 각각 다중회귀분석의 대상인 독립변수와 종속변수라고도 볼 수 있다.

독립변수와 종속변수간의 관계를 선형으로 가정하고, 3개의 투입변수 x_1, x_2, x_3 와 1개의 산출변수 y 간 표본회귀선을 구하면 식 (5)와 같다. 여기서 x_1 의 회귀계수의 절대값 124는 x_2, x_3 의 값이 고정되어 있을 때 x_1 이 한 단위 증가 또는 감소함에 따른 y 의 변화를 나타내며, 반대로 x_2 의 회귀계수 333은 x_1, x_3 가 고정되어 있을 때 x_2 의 증감에 따른 y 의 변화를 의미한다. 이때, 회귀계수의 절대값은 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 정도를, 회귀계수의 부호는 투입(독립)변수의 증감에 따른 산출(종속)변수의 변화 방향을 나타낸다.

<표 3> DEA 분석을 위한 투입 · 산출변수 예

DMU	투입변수			산출변수
	x_1	x_2	x_3	y
1	1,423	6,426	148	760,966
2	500	2,043	22	75,920
3	425	1,396	30	23,086
4	3,542	6,728	115	880,521
5	3,100	6,565	148	302,025
6	725	1,143	22	74,306
7	652	1,397	30	26,169

$$\hat{Y} = -170,307 - 124x_1 + 333x_2 - 7668x_3, R^2 = 84.5\% \quad (5)$$

x_1 에 대한 x_2 의 가중치 비율을 v_2/v_1 라 하고 x_1 에 대한 x_3 의 가중치 비율은 v_3/v_1 라 하자. 제3장 제1절에서 변수의 가중치를 본 논문에서는 다중회귀분석의 회귀계수를 이용한다고 하였다. 식 (5)에서 투입변수 x_1, x_2 의 산출변수 y 에 대한 회귀계수비율의 절대값은 2.6855(= 333/124)이고 변수 x_1, x_3 의 산출변수 y 에 대한 회귀계수비율의 절대값은 61.8387(= 7668/124)이다. 회귀선의 회귀결정계수 R^2 이 84.5%라면 식 (3)에서 설명하였듯이 15.5%(= 1-84.5%)의 비율오차 E 가 발생하게 된다. x_1 에 대한 x_2 의 회귀계수비율의 비율오차 E 는 $2.6855 \times 15.5\% = 0.4163$ 이

고 x_1 에 대한 x_3 의 회귀계수비율의 비율오차 E 는 $61.8387 \times 15.5\% = 9.5850$ 이다. 비율오차 E 가 계산되었다면 x_1, x_2 의 회귀계수비율의 범위는 식 (4)와 같은 방법으로 $2.6855 - 0.4163 \leq v_2/v_1 \leq 2.6855 + 0.4163$ 이 되며 x_1, x_3 의 회귀계수비율의 범위는 $61.8387 - 9.5850 \leq v_3/v_1 \leq 61.8387 + 9.5850$ 이다. 이렇게 구한 회귀계수비율의 범위는 투입변수들간의 가중치의 범위로 사용되며, 이 중 최대값과 최소값을 AR 범위 지정시 상한과 하한으로 사용하여 효율성 값을 구하게 된다. 회귀계수비율의 분자와 분모를 바꾸어 가중치 제약을 하더라도 DEA-AR 효율성 값은 동일하게 나온다.

4. 도시개발공사의 효율성 평가에 적용

4.1 DMU 및 투입·산출변수의 선정

본 연구에서 설계된 모형을 가지고 지방공기업 중 도시개발공사의 효율성평가에 적용하였다. 지방공기업 경영평가는 행정안전부에서 실시하고 있지만 계획부터 결과물이 도출될 때까지 9개월의 장기간이 소요되어 상당히 많은 행정력이 투입되는 실정이다. 그리고 각기 다른 특성을 갖는 공기업 내에서 기관의 환경적 특성을 고려하지 않는 표준화 방식에 의한 등급부여는 기관의 동기를 약화시키고 모든 피평가기관의 의견을 고려한 지표를 개발하는 것도 유용하지는 않다. 그래서 차별성 있는 지표와 등급 부여 방법에 대해 고민할 필요성이 인정된다 [12]. 따라서 평가대상 기관의 경영성과 또는 효율성을 공정하게 평가하기 위해서는 표준화 방식에

의한 각 기관별 절대적 비교가 아닌 상대적인 효율성을 평가할 필요가 있기에 지방공기업을 대상으로 실증연구를 수행하였다.

지방공기업이란 지방자치단체가 경영하는 사업 중 지방공기업법의 적용을 받는 사업을 하는 기업으로, 지방자치단체가 직접 기업을 설치·운영하거나 법인을 설립하여 경영하는 기업을 대상으로 기업운영에 필요한 사항을 정하여 지방자치발전 및 주민복지증진에 기여함을 목적으로 하는 기업을 말한다. <표 4>에서 지방공기업은 2009년 7월 1일을 기준으로 369개에 달하며 상하수도 및 공영개발을 목적으로 하는 지방직영기업 238개와 지방공사 및 공단 131개로 이루어져 있다.

<표 4> 지방공기업 현황

구분	세부사업별	기업수	
지방공기업	지방직영기업	상수도	112
		하수도	75
		공영개발	35
		지역개발기금	16
	지방공사	지하철	7
		도시개발	16
		기타공사	28
지방공단	시설·환경·경륜공단	80	

<표 5>에서 지방공기업 중 지방 직영기업은 2008년 12월 31일 기준으로 2,142억 원 흑자이고 지방공사공단은 3,926억 원 적자로 지방공사공단의 적자폭이 크다는 것을 알 수 있다. 지방공사공단 중 지하철, 기타공사 및 시설환경공단 등은 적자인데 비해 도시개발공사는 지방공사공단중 경영성과가 흑자이므로 도시개발공사를 대상으로 DEA 분석을 하여

<표 5> 2008년 지방공사 공단 경영실적

구분	총수익	총비용	당기순이익	총수지비율	단체수(개)		
					계	흑자	적자
지하철	22,122	29,529	△7,407	74.9	7	0	7
도시개발	52,746	49,025	3,721	107.6	16	14	2
기타공사	4,934	4,993	△59	98.8	26	12	14
시설·환경·경륜공단	11,620	11,801	△181	98.5	76	69	7

각 지자체 운영기관에 효과적인 경영정보를 제공하고자 한다.

효율성 측정에 참여하게 되는 도시개발공사는 DEA 모형에서의 DMU가 된다. DMU를 선정할 때에는 DMU간 동질성(homogeneity)이 요구되며, 적절한 자유도 확보를 위하여 DMU 개수를 결정하는 것에 신중해야 한다[9]. 이와 관련하여, Banker et al.[14]는 DMU 수는 최소한의 투입변수와 산출변수의 수를 합한 것보다 3배 이상 되어야 한다고 하였으며, Fitzsimmons and Fitzsimmons[19]는 DMU 수가 투입 및 산출변수 수의 합의 2배 보다 커야 변별력이 있다고 하였다. 그리고 Cooper, Seiford and Tone [17]은 적절한 자유도의 확보를 위한 DMU의 수(n), 투입변수의 수(m), 산출변수의 수(s)의 관계는 $n \geq \max[m \times s, 3(m + s)]$ 의 식을 따르도록 제안하였다.

본 연구에서는 지방도시개발공사 16곳 중 경상이익이 적자인 충남, 충북, 울산도시공사의 효율성은 평가의 의미가 미약하기 때문에 이를 제외한 그 외 13개의 공사를 DMU로 선정하였다. DMU가 13개 일 경우 Cooper et al.[17]의 관계식에 따르면 변수의 개수는 4개가 적절하고 Fitzsimmons and Fitzsimmons [19]의 연구에 의하면 투입 및 산출변수의 합은 6개 까지 가능하게 된다.

일반적으로 투입변수는 조직의 비용(cost)을 의미하며, 산출변수는 조직의 편익(benefit)을 의미한다고 볼 수 있다. DEA 모형은 총괄투입에 대한 총괄산출의 비율을 극대화하는 측면에서 평가 대상기관의 효율성을 평가하므로, 투입변수와 산출변수는 직·간접적으로 인과관계를 가지고 있어야 한다. 또한 투입 및 산출변수들은 DMU의 기능과도 밀접한 관련성을 지녀야 한다. 위에서 언급한 Cooper et al.[17]의 관계식은 투입변수와 산출변수의 수가 증가할수록 효율성 값이 커지는 단점을 없애기 위한 것이기도 하다. 공기업을 대상으로 하는 DEA 연구에서 투입 및 산출변수를 살펴보면 박추환, 한진미 [7]는 DEA를 이용한 광역시도별 산업생산의 상대적 효율성을 측정하는 연구에서 투입변수로 종사자수와 유형자산 연말잔액을 사용하였으며 산출변수는 출하액으로 하였다. 그리고 남인석 등[5]은 정부출연 연구기관의 DEA 분석에서 투입변수로 인력과 예산을 사용하였다.

본 실증연구에서는 DEA 분석에서 투입변수로 자주 사용되던 인력과 예산을 후보로 선정하고 도시개발공사의 사업은 대부분 장기간 투자를 요하는 사업으로 자산규모가 사업예산만큼 산출변수에 영향을 줄 것으로 판단되어 투입변수에 자산과 자본

〈표 6〉 투입변수 후보군

구 분		투입변수 후보군 A			투입변수 후보군 B		
		직원 (명)	자산 (십억 원)	사업예산 (십억 원)	직원 1인당 평균임금(천원)	자본금 (백만 원)	사업예산 (십억 원)
DMU 1	SH공사	990	13,736,231	2,325,081	49,772	2,927,236	2,325,081
DMU 2	부산도시공사	193	2,481,298	85,764	45,791	694,377	85,764
DMU 3	대구도시공사	141	1,037,879	29,072	47,319	386,009	29,072
DMU 4	인천광역시도시개발공사	409	4,184,811	1,178,567	43,466	1,259,152	1,178,567
DMU 5	광주광역시도시공사	243	646,612	58,941	39,217	180,692	58,941
DMU 6	대전도시공사	819	584,795	187,882	41,294	189,426	187,882
DMU 7	경기도시공사	421	6,419,474	3,779,606	41,381	1,155,488	3,779,606
DMU 8	강원도개발공사	158	1,098,931	20,336	40,088	324,319	20,336
DMU 9	전북개발공사	45	390,291	5,988	41,383	94,723	5,988
DMU 10	전남개발공사	82	780,718	49,785	38,230	494,241	49,785
DMU 11	경상북도개발공사	65	194,295	27,319	44,697	105,209	27,319
DMU 12	경상남도개발공사	161	686,560	27,530	43,146	159,844	27,530
DMU 13	제주특별자치도개발공사	328	116,981	78,698	31,514	68,862	78,698

금도 후보로 선정하였다. 투입변수로 고려된 직원 수, 직원 1인당 평균임금, 자산, 자본금, 사업예산을 모두 투입변수로 설정할 경우 적절한 자유도를 확보하기 어렵기 때문에 의미가 비슷한 직원수와 직원평균임금을 서로 분류하고 자산과 자본금을 분류하여 투입변수를 <표 6>과 같이 두 분류로 나누었다. 그리고 투입변수 후보군 A, B에 대해 <표 7>의 산출변수 후보군과의 다중회귀분석을 시도하여 회귀결정계수가 의미 있게 나온 후보군을 변수로 선정하고 회귀결정계수가 낮아 인과관계가 약한 경우의 변수는 제외하여 자유도를 확보하였다.

직원수에 대한 변수는 정원을 기준으로 하였는데 공기업의 경우 일반 기업과 달리 직원수는 한정된 정원 내에서 노동력이 투입되므로 연간 평균 직원

수를 구하는 번거로움 없이 투입변수를 공사 직원 정원으로 하였고 비슷한 의미의 직원 1인당 평균임금도 후보군에 포함시켰다. 산출변수로는 기업의 경영성과를 나타내는 경상이익과 각 조직원 개개인이 얼마만큼의 역량을 발휘하였는지를 나타내는 직원 1인당 당기순이익을 후보로 하고 행정자치부에서 지방공기업에 대상으로 실시한 고객만족도 평가점수와 자기자본이익률도 산출변수 후보로 선정하였다.

선정된 산출변수 후보 4개와 투입변수 후보군 A, B에 대해 각각 다중회귀분석을 실시하여 회귀결정계수를 <표 8>에 나타내었다. 각각의 회귀분석 중 경상이익과 직원수, 자산, 사업예산을 대상으로 한 다중회귀분석의 회귀결정계수가 93.9%로 통계적으로 가장 유의한 결과를 나타내었다. 그래서 산출변수는 경상이익을 선정하였고 독립변수는 직원수, 자산, 사업예산으로 선정하였다.

최종 선정된 투입 및 산출변수는 <표 9>와 같다. 직원수는 임직원등 공사 정원을 사용하고 사업예산은 영업비용과 영업외 비용 등 예산을 나타낸다. 산출변수에 쓰인 경상이익은 영업이익과 영업외수익에서 영업외 비용을 차감한 금액이다.

<표 7> 산출변수 후보군

구 분	고객 만족도 (점수)	경상이익 (백만 원)	자기자본 이익률(%)	직원 1인당 당기순이익 (천원)
DMU 1	76.65	356,919	10.11	414,987
DMU 2	77.12	17,356	2.27	80,208
DMU 3	77.35	33,405	6.99	190,340
DMU 4	79.39	19,391	0.37	16,401
DMU 5	86.90	2,681	1.01	8,095
DMU 6	78.83	11,293	4.94	42,934
DMU 7	81.79	35,444	1.32	35,286
DMU 8	77.81	3,979	0.91	27,054
DMU 9	79.52	690	0.73	16,400
DMU 10	81.73	474	0.10	6,371
DMU 11	75.29	5,150	3.64	66,019
DMU 12	75.46	13,696	5.07	125,353
DMU 13	83.96	19,381	22.71	78,497

<표 9> 선정된 투입 및 산출 변수(1)

구 분	투입변수			산출변수 경상이익 (백만 원)
	직원 (명)	사업예산 (십억 원)	자산 (십억 원)	
DMU 1	990	2,325	13,736	356,919
DMU 2	193	86	2,481	17,356
DMU 3	141	29	1,038	33,405
DMU 4	409	1,179	4,185	19,391
DMU 5	243	59	647	2,681
DMU 6	819	188	585	11,293
DMU 7	421	3,780	6,419	35,444
DMU 8	158	20	1,099	3,979
DMU 9	45	6	390	690
DMU 10	82	50	781	474
DMU 11	65	27	194	5,150
DMU 12	161	28	687	13,696
DMU 13	328	79	117	19,381

<표 8> 산출변수와 투입변수 후보군간 회귀결정계수

투입변수 후보 \ 산출변수 후보	회귀결정계수(%)	
	투입변수 후보군 A(직원수, 자산, 사업예산)	투입변수 후보군 B(직원 평균임금, 자본금, 사업예산)
경상이익	93.9	84.0
직원 1인당 당기순이익	72.8	64.7
고객만족도	15.8	56.6
자기자본이익률	14.2	24.6

1) 지방공기업경영정보시스템과 행정안전부 회계공기업과의 “2008년도 지방공기업 경영평가결과 종합보고서”에서 자료를 선정함.

4.2 변수간 다중공선성

다중회귀분석에서는 다중공선성(Multi-collinearity)의 문제가 있다. 즉, 독립변수들이 완벽한 상호 독립이라면 각 독립변수의 종속변수에 대한 순수한 영향력 또는 기여도를 구분할 수 있지만, 독립변수들간 상관관계가 존재하여 상호 독립이 아닌 경우를 다중공선성이라고 하고, 이렇게 변수간 종속성이 있는 경우 독립변수의 종속변수에 대한 영향력을 구분하는 것은 불가능하다[1]. 한편, DEA 모형을 이용하여 DMU의 효율성을 평가할 때에도 투입변수들간의 독립성을 확인하는 것은 매우 중요하다. 이를 위한 하나의 방법으로 분산팽창계수인 VIF(Variance Inflation Factor)를 이용하여 다중공선성을 확인해 보았다. <표 10>에서 분산팽창계수는 모두 4미만으로 변수인 직원, 사업예산, 자산을 사용해도 독립변수간 다중공선성은 없는 것으로 확인되었다.

<표 10> 다중공선성 확인

구 분	경상이익을 종속변수로			
	회귀계수	T	P	VIF
직원	37.69	0.97	0.358	2.1
사업예산	-42.06	-3.88	0.004	2.6
자산	30.61	7.64	0.000	3.8
$R^2 = 93.9\%, R^2(a) = 91.8\%$				

5. DEA 분석결과

5.1 기본모형 분석

CCR-I 모형을 이용하여 분석한 결과 각 DMU의 효율성은 <표 11>과 같이 측정되었다. CCR 모형은 CRS(Constant Returns to Scale)를 가정하고 있으므로 기술적 효율성과 규모의 효율을 구분하지 않는 반면에, BCC 모형은 VRS(Variable Returns to Scale) 가정 하에 특정 규모 수준에서의 순수한 기술적 효율성을 추정하고 있으므로 CCR 효율성을

BCC 효율성으로 나누어 규모의 효율성을 구할 수 있다. 그리고 BCC 효율성과 규모효율성의 크기를 비교하여 비효율의 원인이 규모에 의한 영향도 있다는 것을 판단할 수 있다.

<표 11> 기본모형 분석결과

DMU	CCR	BCC	$\sum \lambda_j$	규모수익
DMU 1	1.000	1.000	1.000	CRS
DMU 2	0.359	0.481	0.444	IRS
DMU 3	1.000	1.000	1.000	CRS
DMU 4	0.163	0.235	0.294	IRS
DMU 5	0.094	0.372	0.100	IRS
DMU 6	0.208	0.271	0.536	IRS
DMU 7	0.234	0.326	0.099	IRS
DMU 8	0.173	0.416	0.119	IRS
DMU 9	0.100	1.000	0.021	IRS
DMU 10	0.022	0.549	0.011	IRS
DMU 11	0.630	1.000	0.187	IRS
DMU 12	0.572	0.785	0.438	IRS
DMU 13	1.000	1.000	1.000	CRS

<표 11>에서 DMU9는 BCC 효율성에 비해 CCR 효율성이 상당히 낮아 규모의 효율성이 낮게 나왔다. 이는 투입변수의 기술적 결합에 비효율성의 원인이 있는 것이 아니라 현재의 조업규모가 최적이지 아니기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 규모수익은 준거 집단과 함께 제시된 람다값의 총합으로 추정할 수 있다. 총합이 1이면 불변규모수익(constant returns to scale : CRS), 1보다 작으면 체증규모수익(increasing returns to scale : IRS), 1보다 크면 체감규모수익(decreasing returns to scale : DRS)인 것으로 해석한다.

효율성이 1인 DMU를 제외한 대부분의 DMU는 체증규모수익인 것으로 나타났다. 즉, 투입변수 사용량의 1단위 증가가 산출량을 1단위 또는 그 이상으로 증가시킬 것이므로 해당 DMU는 적절한 수준의 투입증가를 통해 성과를 개선할 수 있을 것이다. DMU 12 등 효율성이 0.5 이상인 5개 DMU의 직원 평균근속년수는 11년 정도이고, DMU 9 등 효율성

이 0.5 이하로 하위권으로 분류되는 8개 DMU의 평균근속년수는 7년 정도로 약 4년의 차이가 있었다. 이는 이직 등으로 인한 직원들의 낮은 평균근속년수가 회사의 경영성과에 부정적인 영향을 끼친다고 설명할 수 있다. 설립년도는 DMU4는 2003년, DMU 10은 2004년에 설립되었고 나머지 공사는 모두 1990년도에 설립되었다.

5.2 AHP를 이용한 DEA-AR 모형 분석

다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형의 효율성과 비교하기 위하여 AHP를 이용한 DEA-AR의 효율성을 구하였다. AHP를 이용한 DEA-AR 모형은 투입 및 산출변수의 우선순위에 대한 주관적인 평가자들의 의견을 DEA 모형에 반영시킬 수 있다.

이를 위하여, 본 연구에서는 DEA 또는 AHP의 학계 전문가 및 지방공기업 운영기관 관계자 20명을 대상으로 설문조사를 실시하여 <표 12>의 가중치를 얻었으며 AR의 입력자료로 사용하기 위해 <표 13>에서 투입 및 산출변수들간 비율관계를 나타내었다. AHP 설문문의 내용은 직원수, 사업예산, 자산의 가중치를 계산하기 위하여 각 투입변수를 쌍대비교하는 질문이 포함되어 있다. 쌍대비교는 Saaty [23]의 9점 척도를 이용하였고, 각 응답자의 가중치 평균값은 기하평균을 사용하였다. 대답에 일관성이 없다고 판단되는 설문지를 제외한 나머지 AHP 설문결과와 CI는 0부터 0.068사이 존재하고 CR은 0.1보다 낮아 응답에 일관성이 있었다. <표 14>는 모형을 적용한 결과 효율성 값이다. DMU1의 경우 가중치 제약을 둘 경우 효율성이 기본모형 분석결과보다 더 낮게 나왔다. 이는 기본모형 분석시 극단적인 가중치를 선택하였다는 것을 의미한다.

<표 12> 가중치 평균

구 분	가중치 평균
직원수	0.182
사업예산	0.493
자산	0.325

<표 13> AHP에 의한 투입 및 산출변수간 비율 관계

구 분	사업예산/직원	자산/사업예산	자산/직원
응답자 1	2.245	0.452	1.015
응답자 2	2.767	0.228	0.631
응답자 3	1.947	0.665	1.295
응답자 4	10.564	0.625	6.600
응답자 5	3.494	0.703	2.456
응답자 6	5.667	0.411	2.328
응답자 7	10.012	0.314	3.139
응답자 8	0.181	4.848	0.879
응답자 9	0.328	0.435	0.143
응답자 10	1.097	3.173	3.480
응답자 11	4.616	0.529	2.442
응답자 12	1.866	0.459	0.856
응답자 13	1.870	1.539	2.877
응답자 14	4.321	0.582	2.516
응답자 15	9.159	0.624	5.714
최소값(AR 하한)	0.181	0.143	0.228
최대값(AR 상한)	10.564	6.600	4.848

<표 14> AHP를 이용한 DEA-AR 모형의 효율성

구 분	AHP 이용-AR	
	효율성	참조값
DMU 1	0.901	대구 10.685
DMU 2	0.257	대구 0.520
DMU 3	1.000	대구 1.000
DMU 4	0.142	대구 0.572 제주 0.014
DMU 5	0.094	대구 0.053 제주 0.047
DMU 6	0.207	대구 0.063 제주 0.474
DMU 7	0.164	대구 1.002 제주 0.101
DMU 8	0.118	대구 0.119
DMU 9	0.061	대구 0.021
DMU 10	0.020	대구 0.014
DMU 11	0.622	대구 0.107 제주 0.081
DMU 12	0.562	대구 0.363 경북 0.081
DMU 13	1.000	제주 1.000

5.3 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형 분석

다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형에서 다중 투입변수, 단일산출변수인 경우 독립변수들의 AR의 범위는 각각의 회귀계수비율을 기준으로 $\pm E$ 사이에 있다고 추정하며 이 중 큰 값을 상한 값으로 작

〈표 15〉 회귀계수를 이용한 및 투입변수간 비율 관계

구 분	사업예산/직원	자산/사업예산	자산/직원
경상이익을 종속변수로	1.1167 = 42.1/37.7	0.7268 = 30.6/42.1	0.8116 = 30.6/37.7
최소값(AR 하한)	1.1167 - 0.0681 = 1.0486	0.7268 - 0.0443 = 0.6824	0.8116 - 0.0495 = 0.7621
최대값(AR 상한)	1.1167 + 0.0681 = 1.1848	0.7268 + 0.0443 = 0.7711	0.8116 + 0.0495 = 0.8611

은 값을 하한 값으로 사용하여 AR 지정을 위한 제약조건식에 사용하게 된다.

경상이익을 종속변수로 하고 직원, 사업예산, 자산을 독립변수로 한 회귀방정식은 식 (6)과 같으며 제3장에서 설명한 방법으로 계산한 투입변수간 AR 범위는 <표 15>와 같다.

$$\begin{aligned} \text{경상이익} = & -22550 + 37.7 \times \text{직원} - 42.1 \\ & \times \text{사업예산} + 30.6 \times \text{자산}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$R^2 = 93.9\%$$

〈표 16〉 회귀계수를 이용한 DEA-AR 모형의 효율성

구 분	회귀계수이용-AR	
	효율성	참조값
DMU 1	0.663	제주 18.416
DMU 2	0.208	제주 0.896
DMU 3	0.903	제주 1.724
DMU 4	0.103	제주 1.001
DMU 5	0.087	제주 0.138
DMU 6	0.200	제주 0.583
DMU 7	0.099	제주 1.829
DMU 8	0.102	제주 0.205
DMU 9	0.052	제주 0.036
DMU 10	0.017	제주 0.024
DMU 11	0.553	제주 0.266
DMU 12	0.499	제주 0.707
DMU 13	1.000	제주 1.000

<표 16>의 효율성에서 DMU1의 경우 CCR 효율성이 1이었지만 회귀계수를 이용한 AR 모형에서는 효율성이 상대적으로 낮게 나왔다. 기본모형 분석 시 직원의 가중치가 사업예산의 가중치보다 극단적으로 높게 선택된 결과이며 AR 모형의 경우에

는 설득력 있는 가중치를 갖게 되어 실제적인 효율성 결과 값을 얻었다고 할 수 있다.

〈표 17〉 회귀결정계수 변동에 따른 단계별 가중치 제약

DMU	CCR	회귀계수비율의 ±E 값을 AR 상하한으로 사용			
		±E ₂₀	±E ₄₀	±E ₆₀	±E ₈₀
DMU 1	1.000	0.903	0.809	0.775	0.729
DMU 2	0.359	0.267	0.246	0.237	0.232
DMU 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
DMU 4	0.163	0.138	0.129	0.122	0.114
DMU 5	0.094	0.094	0.094	0.093	0.093
DMU 6	0.208	0.204	0.204	0.204	0.204
DMU 7	0.234	0.152	0.135	0.122	0.109
DMU 8	0.173	0.115	0.114	0.113	0.113
DMU 9	0.100	0.061	0.059	0.058	0.057
DMU 10	0.022	0.020	0.019	0.019	0.019
DMU 11	0.630	0.612	0.610	0.604	0.591
DMU 12	0.572	0.548	0.547	0.546	0.544
DMU 13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

회귀결정계수 변동에 따른 효율성 값의 변동을 확인하기 위하여 <표 17>과 같은 실험을 하였다. <표 17>은 식 (6)의 다중회귀분석으로 얻어진 회귀방정식에서 R²이 80%, 60%, 40%, 20%라고 가정 한 후에 단계별 가중치 제약을 한 효율성 값이다. ±E₈₀은 회귀계수비율의 범위가 회귀계수비율의 ±E₈₀ 사이에 있다고 추정하여 DEA-AR 효율성 값을 구함을 뜻하며, 아래첨자 80은 R²이 80%이었을 경우를 말한다. <표 17>에서 알 수 있듯이 R²이 적어 종속변수가 독립변수를 잘 설명해 주지 못하는 경우는 AR 가중치 범위가 점점 커지게 되어 가중치 제약을 하지 않는 CCR 모형의 효율성 값에 점점 수렴하

고 있음을 알 수 있다. R^2 이 큰 경우에는 가중치 제약이 보다 정확하여 상대적 효율성 값이 더 유의미하고 R^2 이 너무 작은 경우는 CCR 효율성 값과 비슷해지기 때문에 가중치 제약을 한 효과는 적어진다. 그래서 본 논문에서 제시한 방법은 투입과 산출변수 간 관계가 통계적으로 유의미 할 때 사용할수록 보다 더 정확한 DEA-AR 모형의 효율성 값을 구할 수 있다.

5.4 AR 모형 간 비교검정

데이터의 정규분포를 가정하는 일반적인 통계적 가설을 다룬 연구에서는 그룹 간의 평균의 차이를 주로 T-test 또는 ANOVA를 활용하고 있다. 그러나 DEA 모형의 효율성 값의 분포를 정확히 알 수 없는 상황에서 이들 방법론만을 가지고 그룹간의 평균 차이를 정확하게 파악하기는 어렵기 때문에 정규분포를 가정한 모수적 통계분석보다는 비모수적 방법론을 사용하여 보완하는 것이 바람직하다 [11, 13]. 대표적인 비모수적 방법론으로는 Mann-Whitney 순위 합 검정이 사용되며, 두 그룹의 데이터가 동일한 모집단에서 추출된 것이라는 귀무가설을 검정하게 된다. DEA를 사용하여 효율성을 구한 후 서로 다른 두 집단 간 차이를 비교하기 위해 Mann-Whitney 검정을 사용한 연구는 엄준용[8], 정경호 [11], 최정열[13] 등이 있다. Mann-Whitney 순위합 검정을 활용하여, AR 지정에 대한 두 모형간의 평균효율성 차이를 확인하였다. p 값이 0.6078로 $\alpha = 0.05$ 보다 크므로 귀무가설(두 집단의 분포는 동일하다)을 기각할 수 없다. 즉, 회귀계수를 이용한 AR 모형과 AHP를 이용한 AR 모형간 평균효율성은 유의한 차이가 없는 것으로 판명되었다.

또한, 두 모형의 효율성 값에 대해 상관관계를 분석한 결과 피어슨 상관관계수는 0.988이고 검정통계량 확률 값 P는 0.000으로 0.05보다 작아 귀무가설(회귀계수를 이용한 AR 모형의 효율성과 AHP를 이용한 AR 모형의 효율성은 독립이다)을 기각하여 유의수준 95%에서 두 모형의 효율성은 상관관계가

높은 것으로 나타났다. 이는 다중회귀분석을 이용한 AR 지정방법이 AHP에 의한 가중치 제약 분석 방법과 비슷한 결과를 보이므로 본 연구에서 새롭게 시도한 AR 지정방법도 DEA-AR 모형의 가중치 제약을 하는 한 방법으로서 설득력 있는 결과를 도출한다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구의 목적은 다중투입변수, 단일산출변수 DEA-AR 모형에서 투입변수의 가중치를 결정하는 새로운 방법을 제안하는 것이다. 새로운 방법으로 투입변수와 산출변수를 이용한 다중회귀분석에서 도출된 회귀결정계수 및 회귀계수를 이용하여 가중치 제약을 할 수 있는 방법을 제시하였다. 그리고 새로운 모델의 적용성을 검증하고자 지방공기업 중 도시개발공사를 대상으로 기본모형 분석 및 AHP를 이용한 DEA-AR 분석과 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 분석을 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지방개발공사의 기본모형 분석 시 효율성이 0.5 이상인 경상남도개발공사 등 5개 공사의 직원 평균근속년수는 11년 정도이고, 효율성이 0.5 이하로 하위권으로 분류되는 전북개발공사 등 8개 공사의 평균근속년수는 7년으로 효율성의 차이에 따라 공사 직원들의 근속년수에 차이가 있었다. 이는 직원들의 이직 등 낮은 평균근속년수는 장기간 사업 추진을 요하는 개발공사의 효율성에 부정적인 영향을 끼친다고 설명할 수 있다. 둘째, 지방개발공사 중 SH 공사는 기본모형 분석시 효율성이 1로 높게 나왔지만 가중치 제약을 할 경우에는 효율성이 0.901과 0.663으로 낮게 나타났다. 가중치 제약을 하지 않는 기본모형 분석은 DMU의 효율성을 상승시켜 DMU간 변별력을 낮게 하는 것을 확인 할 수 있었다. 셋째, 지방개발공사 대부분의 DMU는 체증규모수익인 것으로 나타나 투입변수 사용량의 1단위 증가가 산출량을 1단위 또는 그 이상으로 증가시킬 것이므로 적절한 수준의 투입증가를 통해 성과를 개

선할 수 있을 것으로 기대된다. 넷째, 가중치 제약을 위해 기존에 사용하던 AHP 방법과 본 연구에서 제시한 회귀분석개념을 이용한 효율성 평가 결과는 통계적으로 상관계수가 0.988 이상이고 Mann-Whitney 검정결과 평균효율성에도 차이가 없는 것으로 나타나 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형도 의미가 있는 것으로 나타났다.

그러나 다중회귀분석을 이용한 DEA-AR 모형에서 다중투입변수, 단일산출변수일 경우만 가정한 것과, 독립변수의 회귀계수를 DEA 모형에 적용 시 부호는 고려하지 않고 회귀계수의 절대 값만을 이용하여 가중치 제약을 한 점은 향후 연구될 요소 중 하나이다.

참 고 문 헌

- [1] 강성룡, 손기형, 『경영통계』, 무역경영사, 1996.
- [2] 권철신, 박준호, 홍석기, “상호영향형 R&D과 제군의 평가선정을 위한 CIDEAR 모형의 개발”, 『한국경영과학회지』, 제29권, 제3호(2004), pp.41-61.
- [3] 김건위, 이혜영, 박해육, “DEA/AHP 모형을 통한 행정조직의 상대적 효율성 평가”, 『지방정부연구』, 제8권, 제4호(2004), pp.299-316.
- [4] 김재관, 김승권, “DEA-AR 기반의 부동산 가격 평가모형”, 『주택연구』, 제15권, 제1호(2007), pp.29-61.
- [5] 남인석, 송윤영, 정병호, “DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석”, 『한국산업경영시스템학회지』, 제31권, 제1호(2008), pp.1-10.
- [6] 박성민, 김 현, “DEA/AR-I을 활용한 IT 중소기업 정부자금지원정책 성과평가”, 『한국통신학회논문지』, 제21권, 제12호(2007), pp.815-825.
- [7] 박추환, 한진미, “16개 광역시도별 총 산업생산의 상대적 효율성 및 성장구조 분석 : DEA와 포지셔닝 분석을 중심으로”, 『국제지역연구』, 제12권, 제1호(2008), pp.117-142.
- [8] 엄준용, 『DEA를 활용한 대학원의 효율성 분석』, 박사학위논문, 고려대학교 대학원, 2010.
- [9] 이경재, 『DEA 모형을 활용한 인터넷 기업의 효율성 평가에 관한 연구』, 박사학위논문, 전남대학교 대학원, 2006.
- [10] 임호순, 유석천, 김연성, “연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제24권, 제4호(1999), pp.1-12.
- [11] 정경호, 『DEA 모형을 활용한 지역전략산업의 효율성분석, 광주지역 광산업을 중심으로』, 박사학위논문, 전남대학교 대학원, 2010.
- [12] 정재진, “기관특성과 환경적 특성이 지방공기업 경영평가 결과에 미치는 영향”, 『지방행정연구』, 제24권, 제2호(2010), pp.33-61.
- [13] 최정열, “운영방식에 따른 공공도서관의 효율성 비교 분석 : 서울시 및 6대 광역시를 중심으로”, 『한국자치행정학보』, 제24권, 제2호(2010), pp.269-293.
- [14] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol.30(1984), pp.1078-1092.
- [15] Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol.2(1978), pp.429-444.
- [16] Cook, W.D. and J. Zhu, “CAR-DEA : Context-Dependent Assurance Regions in DEA,” *Operations Research*, Vol.56, No.1(2008), pp.69-78.
- [17] Cooper, W., L.M. Seiford, and K. Tone, *Data envelopment analysis : a comprehensive text with models, applications, reference and DEA-Solver software*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [18] Farrell, M.J., “The Measurement of Productive

- Efficiency,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, Vol.120, No.3(1957), pp.253-281.
- [19] Fitzsimmons, J.A. and M.J. Fitzsimmons, *Service Management for Competitive Advantage*, McGraw-Hill Inc., 1994.
- [20] Kao, C. and Y.C. Lin, “Evaluation of The University Libraries in Taiwan : Total Measure Versus Ratio Measure,” *Journal of the Operational Research Society*, Vol.55, No.12(2004), pp.1256-1265.
- [21] Koksal, G. and B. Nalcaci, “The Relative Efficiency of Departments at a Turkish Engineering College : A Data Envelopment Analysis,” *Higher Education*, Vol.51, No.2(2006), pp.173-189.
- [22] Liu, S.T., “A fuzzy DEA/AR approach to the selection of flexible manufacturing systems,” *Computers and Industrial Engineering*, Vol.54 (2008), pp.66-76.
- [23] Saaty, T.L., *Decision Making for Leader : The AHP for Decision in a Complex World*, CA : Wadsworth, 1982.
- [24] Shang, J. and T. Sueyoshi, “A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system,” *European Journal of Operational Research*, Vol.85(1995), pp.297-315.
- [25] Shim, W., “Applying DEA Technique to Library Evaluation in Academic Research Libraries,” *Library Trends*, Vol.51, No.3(2003), pp. 312-332.
- [26] Thompson, R.G., L.N. Langemeier, C.T. Lee, E. Lee, and R.M. Thrall, “The Role of Multiplier Bounds in Efficiency Analysis with Application to Kansas Farming,” *Journal of Econometrics*, Vol.46(1990), pp.93-108.