

# DEA모형을 이용한 전력회사의 효율성 분석에 관한 연구

김태웅\* · 조성한\*\*

## 〈차 례〉

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| I. 서 론               | IV. 전력회사에의 적용결과 |
| II. DEA모형의 이론적 배경    | V. 결 론          |
| III. DEA모형의 특징과 적용사례 |                 |

## I. 서 론

한국의 전력산업은 구조개편이라는 커다란 변화를 맞이하고 있다. 지난 1999년 1월 산업자원부가 발표한 한국의 전력산업 구조개편 기본계획에 의하면 구조개편의 목적은 시장원리의 도입과 경쟁촉진을 통한 효율성 향상에 있다고 할 수 있다. 이는 한국의 전력산업은 독점체제하에서 비효율성이 존재하며 경쟁체

\* 성균관대학교 경영학부 교수.

\*\* 에너지경제연구원 전력연구단 연구위원.

제로 전환할 경우 이러한 비효율성을 시장기능에 의하여 제거할 수 있기 때문이다. 그러나 한국전력공사의 경영성과 평가는 외국 전력회사와의 단순비교에 의존하기 때문에 논란의 대상이 되고 있다.

경영에서 성과측정만큼 중요하면서도 어려운 것은 없다. “측정할 수 없는 것은 관리할 수 없다”라는 말은 이를 잘 대변해 주는 말이다. 경영에 필요한 모든 요소를 객관적으로 측정하는 것이 과연 가능할지는 의문이다. 기업조직은 오랫동안 성과측정을 자기자본수익률, 총자산수익률, 매출액 대비 영업이익률 등의 비율분석에 의존해 왔으며, 공장이나 영업조직과 같은 기업내의 한 부문은 1인당 생산성등과 같은 간단한 지표를 이용하여 평가하기도 하였다.

이러한 비율분석과 같은 기존의 평가방법들에 의한 효율성 측정은 주로 단일 투입물에 대한 산출물의 생산성으로 측정되어 왔다. 그러나 이런 지표는 투입물이나 산출물의 종류가 둘 이상인 경우 바로 적용하기가 쉽지 않으며 그 대상이 서비스 기업인 경우에는 생산성 평가 자체가 매우 어렵다. 특히 병원, 레스토랑 체인점, 은행지점 등 비슷한 유형의 투입물과 산출물로 특정지어지는 다수의 평가대상들을 평가하고자 할 때 이런 문제에 부딪친다. 예를 들어, 은행지점의 경우 투입물은 지점의 크기, 직원수, 해당지역의 경쟁은행 지점수 등을 들 수 있고 산출물로는 은행구좌수, 예금액, 대출전수 등 매우 다양하다. 레스토랑의 경우도 투입물은 직원수, 매장의 면적, 해당지역의 유동인구, 경쟁업체의 수 등을 들 수 있고, 산출물로는 매출액을 들 수 있다. 또한 전력산업의 경우에도 전력회사의 투입물은 종업원수, 발전설비 등을 들 수 있고 산출물은 전력생산량, 판매수입, 판매량 등을 들 수 있다.

이런 조직의 생산성을 상대적으로 평가하고 인센티브를 부여하기 위해서는 평가의 기초가 되는 다수의 투입물과 산출물들을 감안한 종합적인 효율성 지표의 개발이 매우 절실하다. 우체국이나 은행지점처럼 같은 기능을 하는 영업단위가 여러 곳에 산재하고 있는 경우 새로운 영업점의 개설·폐쇄, 인센티브 제도의 도입 등의 전략적 의사결정과정에서 개별 영업단위의 효율성 평가자료가 그 무엇보다 중요하기 때문이다.

기본적으로 효율성은 산출물의 가치와 그 산출물을 창출해 내기 위해 생산과정에서 소비한 투입물 가치의 비율로 나타낸다. 투입물이나 산출물의 시장가격이 존재하는 경우 이 값을 가중치로 이용하여 산출물과 투입물의 가치를 계산할 수 있다. 즉, 가치가 높은 것은 가중치가 높고 이와 반대로 가치가 낮은 것은 가중치도 낮게 설정한다. 그러나 산출물의 종류가 다양한 경우에는 투입물의 가치를 적절히 평가하기가 쉽지 않다. 여러 품목들의 생산에 공통적으로 쓰이는 고정비적인 성격을 띠는 투입물의 배분이 어렵기 때문이다.

다수의 투입물과 산출물을 보유하는 평가대상의 효율성 지표문제는 Farrell (1957)이 처음으로 제시하였다. 이 연구에서 Farrell은 상대적 효율성(relative efficiency)을 산출물의 가중합(weighted sum of outputs)을 투입물의 가중합(weighted sum of inputs)으로 정의하였다. 예를 들어  $j$ 번째 평가대상의 효율성은 다음과 같이 정의된다.

$$j\text{번째 평가대상의 효율성} = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots}$$

여기서  $u_r$ 은 산출물  $r$ 에 부과된 가중치,  $y_{rj}$ 는  $j$ 번째 평가대상에서 나온 산출물  $r$ 의 크기,  $v_i$ 는 투입물  $i$ 에 부과된 가중치, 그리고  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 평가대상의 투입물  $i$ 의 크기를 의미한다. 일반적으로 효율성은 0과 1 사이의 값을 갖도록  $y_{rj}$ 와  $x_{ij}$ 의 값을 조정하는 것이 보통이다. 이런 효율성 지표를 사용한다는 것은 곧 평가대상에 관계없이 가중치  $u_r, v_i$ 를 적용한다는 가정을 바탕으로 한다. 문제는 모든 평가대상에 공평한(fair) 가중치를 어떻게 구하느냐 하는 데에 있다. 무엇보다도  $u_r$ 과  $v_i$ 값 자체를 구하기가 어렵고 또 각 평가대상이 나름대로 유리한 가중치를 주장할 수 있기 때문이다.

Charnes, Cooper and Rhodes (1978)는 바로 이런 상대적 효율성을 결정하는데 필요한 가중치를 구하는 과정상의 어려움을 인식하고, 각 평가대상은 나름대로 각자에게 유리한 가중치를 선택할 수 있도록 해야 한다고 제안하였다. 이들

이 제안한 DEA(Data Envelopment Analysis)모형은 여러 가지 투입물의 가중평균에 대한 여러 가지 산출요소의 가중평균의 비율로 표시하며 특정 의사결정단위(예를 들어, 은행지점, 우체국 등)의 효율성 정도는 유사한 투입·산출구조를 가지는 준거집단(peer group)과 비교하여 상대적으로 측정된다.

본 연구는 바로 이런 특징을 가지는 DEA모형의 이론적 배경을 살펴보고 한국전력을 포함한 전 세계 51개의 전력회사 자료에 이 모형을 적용하여 효율성 분석을 시도하는데 그 목적이 있다.

본 연구의 구성을 살펴보면 다음과 같다. 제II장에서는 DEA모형의 수학적 구조와 효율성 분석과정의 근거를 제시하고 있으며, 제III장에서는 DEA모형을 실제 사용하고자 할 때 반드시 이해하고 있어야 할 몇 가지 특징을 소개하고 기존의 적용사례를 간략히 설명하였다. 제IV장에서는 전 세계 전력회사들의 운영상의 효율성 분석을 DEA모형을 토대로 하여 시도하였으며 마지막 제V장은 본 연구결과의 요약과 결론부분을 담고 있다.

## II . DEA모형의 이론적 배경

앞에서 간략히 언급한 DEA모형을 일반화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max \quad & h_0 = \frac{\sum_r u_r y_{rj_0}}{\sum_i v_i x_{ij_0}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1 \\ & j = 1, \dots, n \text{ (모든 평가대상 } j \text{에 대해)} \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon \end{aligned}$$

여기서  $\varepsilon$ 은 매우 작은 0보다 큰 값으로 정의한다. 그 이유는 임의로 특정

투입물이나 산출물을 평가에서 제외시키는 부작용을 막기 위해서이다. 만약,  $h_0 = 1$ 이면 평가대상은 다른 모든 평가대상과 비교할 때 상대적으로 효율적이거나,  $h_0 < 1$ 이면 다른 평가대상에 비해 효율적이지 못하다는 결론을 내릴 수 있다. 즉, 평가대상이 되는 조직이 스스로 가장 유리한 가중치를 구했음에도 불구하고 다른 평가대상이 더 효율적이라는 것이다. 물론 이런 식의 가중치 선택의 신축성에는 분석상의 장단점이 있다. 투입물이나 산출물값과는 관계없는 엉뚱한 가중치의 선택으로 평가대상의 운영상에 내재되어 있는 비효율성을 숨길 수도 있다. 그러나 장점도 있다. 각각의 평가대상이 나름대로 가장 유리한 가중치를 택했어도 효율성이 100%가 못된다면 가중치 자체의 신뢰성 문제는 완전히 해결된다. 결과적으로 DEA모형은 가중치에 대한 의견이 일치되지 않는 경우 유용하게 쓸 수 있다. 만약 평가대상이  $n$ 개라면 목적함수를 바꾸어 가면서  $n$ 개의 문제를 풀어야 한다. 이 경우 각 문제별로 가중치가 달라지며 목적함수값은 최대 100% 또는 1을 넘지 못한다.

앞의 모형의 제약식을 선형화하면 선형계획법(linear programming)모형이 되는데 본 연구에서는 이 모형을 처음 그 개념을 제시한 연구자들의 이름을 따서 CCR모형이라 부르기로 한다.

$$\begin{array}{ll}
 \max & h_0 = \sum_r u_r y_{rj_0} \\
 \text{s.t.} & \sum_i v_i x_{ij_0} = 100(\%) \quad Z_0 \\
 & \sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad \lambda_j \\
 & -v_i \leq -\varepsilon, \quad i=1, 2, \dots, m \quad s_i^+ \\
 & -u_r \leq -\varepsilon, \quad r=1, 2, \dots, t \quad s_r^-
 \end{array}$$

이제  $\sum_i v_i x_{ij_0} = 100(\%)$ 의 쌍대변수를  $Z_0$  그리고 나머지 3세트의 제약식의 쌍대변수를 각각  $\lambda_j (j=1, \dots, n)$ ,  $s_i^+ (i=1, \dots, m)$ ,  $s_r^- (r=1, \dots, t)$ 라

정의한다면 쌍대문제는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \min \quad & 100Z_0 - \varepsilon \sum_r s_r^+ - \varepsilon \sum_r s_r^- \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j \lambda_j x_{ij} = x_{i0} Z_0 - s_r^-, \quad r=1, \dots, m \\ & \sum_j \lambda_j y_{rj} = y_{r0} + s_r^+, \quad i=1, \dots, t \\ & \lambda_j, s_i^+, s_r^- \geq 0, Z_0 \text{의 값은 제한 없음} \end{aligned}$$

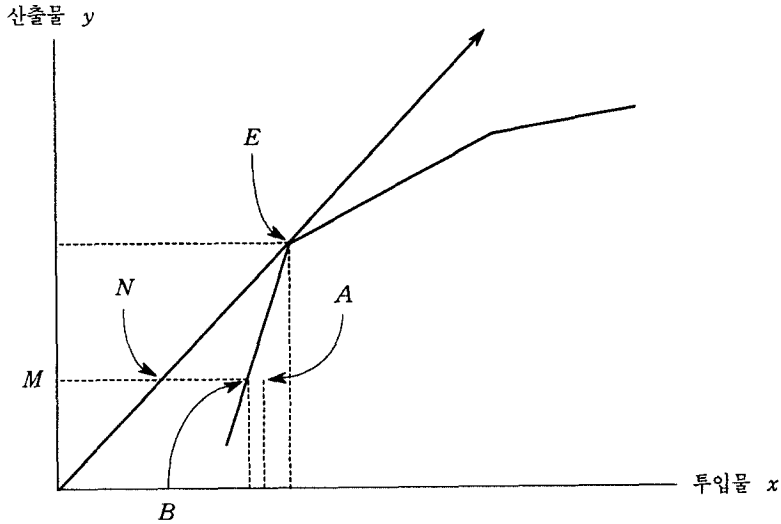
만약 최적해에서  $j$ 번째 제약식이 등식(=)으로 성립한다면  $\lambda_j$  값은 0보다 크며 이에 해당하는 평가단위  $j$ 는 효율성이 1 또는 100%가 되어 peer그룹 후보에 속한다. 그뿐만 아니라  $\lambda_j$  값은 목적함수에서 평가하고자 하는 평가단위인  $j_0$ 보다 더 효율적인 복합단위(composite unit)를 구성하는데 쓰일 수 있다. 예를 들어, 다음과 같은 투입물과 산출물로 특징지어지는 평가단위는 효율성이 1이다.

$$\begin{aligned} \text{투입물} &= \sum_j \lambda_j x_{ij}, \quad i=1, \dots, m \\ \text{산출물} &= \sum_j \lambda_j y_{rj}, \quad r=1, \dots, t \end{aligned}$$

쌍대변수는 0보다 크거나 같은 값을 지니고  $Z_0$  값도 1을 넘지 못하므로 복합단위의 투입물 수준은  $j_0$ 의 투입물 수준을 넘지 못하며 산출물 수준은 최소한  $j_0$  수준은 된다. 만약  $j_0$ 가 효율적이라면 여유변수는 모두 0이 되며  $Z_0$ 는 1의 값을 취한다. 물론 이 경우에는  $j_0$  수준의 효율성을 능가하는 복합단위는 존재하지 않는다.  $\lambda$  값은  $j_0$ 의 목표수준을 제공할 수 있는 복합단위의 구축에 사용되며,  $Z_0$ 는 복합단위입장에서 최소한  $j_0$ 의 산출물 수준을 생산하는데 복합단위가 필요로 하는 투입물 수준을  $j_0$ 의 투입물 수준에 대한 비율로 나타낸 것이다.

앞에서 설명한 DEA모형은 규모에 대한 투자효율성이 일정하다는 조건(constant return to scale)을 가정한다. 이 모형에 한 가지 제약식을 가미하면

〈그림 1〉 효율성의 정의



규모에 대한 투자효율성이 변하는 경우(variable return to scale)도 감안할 수 있다. 이 경우에는 투입물을 증가하여도 산출이 일정한 비율로 증가하지 않는 것을 의미한다. 규모가 변할 때 효율이 증가할 수도 있고 감소할 수도 있는 경우이다.

예를 들어, <그림 1>에서 A를 현재 평가중인 단위라 한다면 B는 산출물 규모는 같으면서 기술적으로 효율적인 단위를 표시하며 E는 가장 생산적인 규모로서 기술적으로나 규모로나 가장 효율적인 단위이다. B와 E는 모두 효율적이거나 규모의 효율성만을 볼 때 E가 B보다 더 효율적이라 할 수 있다. 각 평가단위의 투입물과 산출물 수준을  $(x_i, y_i)$ 로 나타낸다면 평가단위 A의 효율성은 다음 식을 이용하여 그 개념을 나타낼 수 있다.

기술적 효율성(Technical Efficiency)

$$\frac{MB}{MA} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{x_B}{x_A}$$

규모의 효율성(Scale Efficiency)

$$\frac{MN}{MB} = \frac{y_B/x_B}{y_N/x_N} = \frac{x_E}{x_B} \cdot \frac{y_B}{y_E}$$

기술 및 규모의 효율성

$$\frac{MN}{MA} = \frac{y_A/x_A}{y_N/x_N} = \frac{x_E}{x_A} \cdot \frac{y_A}{y_E}$$

Banker, Charnes and Copper (1984)는 이런 점에 착안하여 기존의 DEA모형을 확장하여 다음과 같은 규모의 효율성을 감안한 DEA모형을 개발하였다. 편의상 이 모형을 BCC모형이라 부르기로 한다.

원본문제

$$\max h_0 = \sum_r u_r y_{rj_0} - u_0$$

s.t.

$$\sum_i v_i x_{ij_0} = 1 \text{ (혹은 100\%)}$$

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq u_0, \quad j=1, \dots, n$$

$$-v_i \leq -\epsilon, \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$-u_r \leq -\epsilon, \quad r=1, 2, \dots, t$$

(쌍대변수)

$$Z_0$$

$$\lambda_j$$

$$s_i^+$$

$$s_r^-$$

쌍대문제

$$\min Z_0 - \epsilon \sum_i s_i^+ - \epsilon \sum_r s_r^-$$

s.t.

$$\sum_j \lambda_j x_{ij} = x_{ij_0} Z_0 - s_i^+, \quad i=1, \dots, m$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} = y_{rj_0} + s_r^-, \quad r=1, \dots, t$$

$$\sum_j \lambda_j = 1, \quad Z_0, \lambda_j, s_i^+, s_r^- \geq 0$$

이 모형에서  $u_r$ 은 산출물 상호간의 한계변환율(marginal rate of transfor-



mation of outputs)의 계산에 도움을 주고,  $v_i$ 는 투입물 상호간의 한계대체율 (marginal rate of substitution of inputs)의 계산에 도움을 준다. 예를 들어,  $u_3:u_1 = 2:1$ 이라면 이것은 산출물 3을 1단위 줄이면 그 대신 산출물 1을 2단위 증대시킬 수 있다는 의미이다. 또한  $u_0^*$ 값에 따라 다음과 같이 규모의 경제성 여부를 따져 볼 수 있는데,  $u_0^* = 0$ 이면 규모에 대한 수익불변,  $u_0^* < 0$ 이면 규모에 대한 수익증대,  $u_0^* > 0$ 이면 규모에 대한 수익감소의 경우 임을 의미한다. 예를 들어,  $u_0^* < 0$ 이라면 이는 규모를 더 늘림으로써 효율성을 증대할 수 있으며, 반대로  $u_0^* > 0$ 이면 산출량을 강제로 감소시켜 규모를 조정하면 이 비율 이상으로 투입량을 절감할 수 있는 경우이다.

BCC모형에서 도출된 효율성은 순수하게 기술적 효율성만을 고려한 것이다. 한편 CCR모형에서 도출된 효율성은 기술적 효율성과 규모의 효율성이 결합된 효율성이므로 순수한 규모의 효율성 값은 CCR모형에서 도출된 효율성 값을 BCC모형에서 도출된 효율성 값으로 나눈 값이다.

### III. DEA모형의 특징과 적용사례

#### 1. DEA모형의 특징

다른 여타의 모형과는 달리 DEA모형에서는 투입 및 산출 변수의 수가 많아지면 분석 결과가 나빠질 가능성이 높다. 즉, 변수의 수가 많아질수록 효율적인 단위의 갯수가 늘어난다. 경우에 따라서는 모든 평가대상의 효율성이 100%일 수도 있다. 각 평가대상이 나름대로 가장 유리한 가중치를 선택할 수 있기 때문이다. 이런 문제에 대해 실제 이 기법을 많이 적용해 본 연구자들은  $K \geq 2(N+M)$ 의 식을 제시하고 있다. 여기서  $K$ 는 평가대상의 수이고,  $N$ ,  $M$ 은 각각 투입 및 산출자료의 수이다. 그 외에도 적용시 주의할 점은 투입변

수가 다수인 경우 각 변수간에 상관관계가 매우 높거나 거의 같은 의미를 내포하는 변수들을 포함시켜서는 안 된다는 점이다. 회귀분석에서의 다중공선성 문제와 같은 맥락에서 이해할 수 있다.

그러나 DEA모형을 이용하면 매우 다양한 정보를 얻어낼 수 있다. 이제 DEA모형의 특징과 유용성을 살펴보기로 하자. 첫째, DEA기법은 다수의 투입과 산출이 존재하나 이들을 적절한 방법으로 하나의 지수로 종합화하기 힘든 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 특히 투입 및 산출 요소들의 측정단위가 각각 다른 경우 또는 화폐단위로 표시 불가능하거나 매매의 대상이 될 수 없는 자원의 경우에도 적용 가능하다. 둘째, DEA모형에서는 평가대상과 투입 및 산출 구조가 다르지만 100% 효율적인 평가대상들을 먼저 선정하고 이들을 준거집단으로 하여 상대평가를 한다. 따라서, 비효율적인 평가대상의 경우 실현 가능한 목표치의 선정이 가능해지고 비효율성의 정도와 그 원인도 구체적으로 파악할 수 있다. 다시 말해서 동질성이 높다고 판단된 준거집단과의 비교를 통해 과잉 투입된 자원은 무엇이고 얼마나 과잉 투입되었는지, 과소 산출된 재화는 무엇이고 얼마나 과소 산출되었는지를 분석하여 비효율적 조직이 효율적 조직으로 발전하기 위해 필요한 목표수치를 제시해 준다. 이 경우 목표수치는 투입물 기준이나 산출물 기준이나에 따라 달라진다. 투입물 기준은 산출물 수준을 고정시킨 상태에서 투입물을 얼마나 감소시켜야 효율성이 100%가 될 것인가를 나타내며, 산출물 기준은 투입물 수준을 고정시킨 상태에서 산출물을 얼마나 증가시켜야 효율성이 100%가 될 것인가를 보여 준다.

셋째, 투입자료를 통제 가능한 투입요소와 통제 불가능한 투입요소로 2분화하여 인구밀도, 경쟁상황 등과 같은 환경에 관련된 변수도 투입자료로 삼을 수 있다. 예를 들어, 통제 가능한 투입요소는 경영자가 그 양을 조정할 수 있는 투입요소로 임금수준, 종업원수 등이 여기에 해당되며, 통제 불가능한 투입요소는 경영자가 그 양을 조정할 수 없는 투입요소로서 지역의 면적, 인구밀도, 경쟁상대의 수 등과 같이 그 값을 변화시켜 산출량을 조정할 수 없는 요소이다. 넷째, 평가대상 대부분이 효율적인 것으로 판명될 때에는 투입물이나 산출물에 부과

되는 가중치를 어떤 방식으로든간에 제한함으로써 다소간 문제를 해결할 수 있다. 즉, 모든 투입물 요소들을 최소한  $k\%$  이상 고려하도록 제한하는 것이다. 마찬가지로 산출물 요소들의 가중치를  $k\%$  이하로 제한할 수도 있다. 참고로 여기서 투입물의 가중치를  $k\%$  이상으로 제한한다면 이것은  $v_i x_{ij} / \sum_j v_i x_{ij} \geq k\%$ 의 형태로 제한한다는 의미이다.

## 2. DEA모형을 이용한 기존연구사례

우리 나라의 경우 DEA모형을 이용한 사례연구를 살펴보면 다음과 같다. 안태식(1991)은 DEA를 이용하여 금융기관영업점의 상대적 효율성을 계산하였고, DEA 결과에서 제공하는 준거집단의 개념을 이용하여 선택된 모범영업집단이 경영자의 의견과 일치함을 보였다. 두 가지 규모변수를 이용하여 평가대상 영업점을 두 그룹으로 나누고 두 그룹의 DEA효율성 평균을 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있음을 보였다. 최태성·장익환(1992)은 여수신업무를 담당하는 서비스조직인 은행업과 투자금융업, 두 금융그룹을 대상으로 각 업종내 단위조직들의 자원사용의 효율성 정도를 상대적인 관점에서 비교·평가한 결과 두 업종 모두 자원사용의 효율성 정도로 볼 때 경영개선의 여지가 크며 특히 지방은행이나 지방소재 투자금융의 경우 지역경제 규모에 따른 지역간 격차가 있음을 확인하였다.

외국의 경우 DEA모형을 이용한 사례연구는 상당히 활발한 편이다. 예를 들어, Charnes, Cooper and Rhodes(1981)는 서로 다른 프로그램을 도입하고 있는 두 그룹에 각각 속해 있는 조직들의 상대적 효율성과 프로그램의 효과에 대한 연구를 발표하였다. Banker, Charnes and Cooper(1984)는 4개의 투입변수와 3개의 산출변수를 이용하여 114개의 병원을 대상으로 효율성을 분석한 논문을 발표하였으며, Sherman and Gold(1985)는 대도시에 소재하는 14개 금융기관 영업점을 대상으로 직원수, 임차료, 물건비를 투입요소로 설정하고 취급하는

거래형태를 자원의 사용정도에 따라 4개 그룹으로 나누고 각 그룹의 거래량을 산출변수로 사용하였다. Shang and Sueyoshi (1995)는 FMS시스템의 선정과정에 적용하였으며, Sueyoshi (1994)는 OECD에 가입한 24개국의 정보통신회사들의 효율성 평가에 관한 연구를 발표하였으며, 일본 정보통신회사인 NTT의 효율성 분석에도 DEA모형을 적용하였다(Sueyoshi (1996, 1997)). 그 외에도 DEA모형은 프로그램의 상업적 평가에도 많이 이용된다. 브리티시항공사, 시티뱅크, 피자헛 등에서는 입지선정의 보조도구로 사용되었다고 한다(Norton, 1984).

그 외 DEA모형의 이론적 확장에 대한 논문은 Banker, Charnes and Cooper (1984)가 효율성을 기술적 효율성과 규모에 대한 효율성으로 분리하여 측정하는 방안에 대해 연구하였으며, Banker (1984)는 가장 생산적인 규모에 관한 이론적 모형을 제시하였으며 Anderson and Peterson (1993)은 100% 효율적인 평가대상들의 순위를 측정하는 방안에 대해 연구하였다. Sueyoshi (1994, 1996)는 효율성의 여러 가지 개념에 대해 이론적인 제시를 하였으며 그 외 DEA모형에 대한 기본이론과 적용사례는 Seiford and Thrall (1990)에 수록되어 있다.

## IV. 전력회사에의 적용결과

### 1. 전력산업의 특성 및 환경변화

전력산업은 다른 산업과는 다른 특성을 지니고 있다. 이러한 특성을 간단히 살펴보면 발전설비, 송전망과 배전설비 등 설비투자가 많고, 자연독점이 형성되어 독점적 지위로 인한 규제산업이다. 또한 송전망과 배전망의 전력계통을 이용하여 소비자인 전력의 수용가에 전력을 공급한다. 이는 전력계통의 설비를 위한

고정비용이 많은 사업이다. 전력산업은 발전과 동시에 소비를 하여야 하는 전력의 비저장성 특성 때문에 전력을 수용가가 원할 때 제공하기 위해서는 설비를 미리 준비해야 하는 장기적인 설비투자의 중요성이 요구되고 있다. 전력산업은 주택용, 업무용, 교육용, 산업용 등 용도에 의한 분류와 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절별 분류, 그리고 심야, 주간, 저녁 시간대에 따른 분류에서 보는 바와 같이 여러 가지 재화를 공급하는 다재화 생산산업의 특성을 가지고 있다.

전력은 공공재라는 인식 때문에 많은 나라에서 공기업의 형태로 운영되어 왔으나 경영효율화에 대한 자극이 부족하여 생산성 향상의 동기 부여가 미비하다는 지적이 나오고 있으며 1980년대 이후 경제 전반에 시장경제원리의 도입으로 자유경쟁 체제로 전환되고 있다. 이러한 환경변화에 전력산업도 경쟁의 도입을 추진하고 민영화되고 있다. 최근의 기술개발로 인한 소용량 발전기의 개발등으로 민간의 전력산업 참여가 촉진되고 있으며, 1990년 영국을 필두로 세계 각국이 전력산업에 경쟁도입 및 시장개방의 구조개편을 추진하고 있다.

이러한 추진과정에서 세계 전력회사의 경영 효율성 비교를 위한 효율성 측정에 대한 문제를 고려하게 되었다. 회사의 규모가 다양한 전력회사의 효율성 비교에는 많은 어려움이 있다. 전력회사간의 종업원수와 설비용량의 차이가 크며 판매수입, 판매량과 순이익의 크기도 다양하다. 이러한 회사간 효율성의 비교와 한국전력공사(Kepco)의 효율성 분석을 위해 DEA기법을 적용하였다.

## 2. 자료와 변수의 선정

세계 51개 전력회사들의 효율성을 측정해 보기 위해 본 연구에서 사용한 자료는 투입물 변수가 종업원수, 설비용량이고 산출물 변수는 판매수입, 순이익, 판매량이다. 자료의 통계와 변수 간의 상관관계는 각각 <표 1>과 <표 2>에 정리되어 있다.<sup>1)</sup>

1) 이 자료는 Kurtz (1997)에서 발췌하였다.

〈표 1〉 자료의 설명

변 수	설비용량	종업원수	판매수입	판매량	순이익
단 위	MW	명	백만 불	TWh	백만 불
평균값	19,013	22,054	7,317	85	558
표준편차	16,788	23,273	8,572	80	458
최고값	100,900	115,956	45,389	460	2,346
최저값	1,463	1,040	907	9	0

〈표 2〉 변수간의 상관관계

변 수	설비용량	종업원수	판매수입	판매량	순이익
설비용량	1	0.74	0.83	0.98	0.19
종업원수	0.74	1	0.59	0.69	0.16
판매수입	0.83	0.59	1	0.83	0.17
판매량	0.98	0.69	0.83	1	0.13
순이익	0.19	0.16	0.17	0.13	1

### 3. DEA모형의 분석

2개의 투입물 변수와 3개의 산출물 변수를 모두 사용하여 효율성을 분석한 결과 <표 3>에서와 같이 CCR모형하에서 효율성이 100%인 기업은 Statkraft, ECNZ, Pacific Power, Power Gen, MVM, Scottish, Bayernwerk, British E, Tepco의 9개이고 가장 효율성이 낮은 기업은 29.76%의 Renel인 것으로 나타났다.<sup>2)</sup> 우리 나라의 한국전력공사(Kepco)는 77.93%, 일본의 간사이(Kansai)는 77.96%인 것으로 나타났다. 그 외 다른 전력회사들의 효율성 값은 <표 3>에 수록되어 있다.

2) 효율성이 100%인 회사들 중 Tepco와 MVM을 제외한 모든 회사는 구조개편이 이루어져 경쟁이 도입된 시장에서 운영되고 있다.

〈표 3〉 세계 전력회사의 효율성 분석

(단위 : %)

평가대상	CCR모형 하에서의 효율성	BCC모형 하에서의 효율성	규모의 효율성	평가대상	CCR모형 하에서의 효율성	BCC모형 하에서의 효율성	규모의 효율성
Tepco	100	100	100	Scottish	100	100	100
EdF	68.69	100	68.69	Egat	84.64	100	84.64
Enel	61.51	100	61.51	Eskom	60.39	81.59	74.02
Kansai	77.96	79.36	98.24	Power Gen	100	100	100
Chubu	87.35	87.71	99.59	Vattenfall	74.17	85.30	86.95
Kepco	77.93	98.78	78.89	EdP	68.05	69.13	98.44
RWE	75.51	83.68	90.24	TNB	70.37	74.07	95.00
Southern	74.04	100	74.04	British E	100	100	100
Preussen E	92.50	100	92.50	PPC	50.27	53.94	93.20
Endesa-S	60.76	87.52	69.42	Enersis	56.18	64.44	87.18
Pacific Gas	95.54	99.75	95.78	IVO	74.53	78.86	94.51
Taipower	74.80	100	74.80	Renel	29.76	30.38	97.96
Edison	76.68	80.62	95.11	CLP	57.48	59.49	96.62
Entergy	77.84	91.43	85.14	CEZ	64.48	66.94	96.33
Electrabel	86.22	91.95	93.77	NPC	58.92	64.95	90.72
Unicom	63.95	70.15	91.16	Pacific Power	100	100	100
Texas U	77.68	95.75	81.13	Verbund	63.84	70.50	90.55
Ontario	66.42	83.54	79.51	ESB	58.61	74.71	78.45
Bayernwerk	100	100	100	NOK	96.46	100	96.46
Iber	62.25	62.57	99.49	MVM	100	100	100
AEP	79.75	100	79.75	Endesa-Chile	77.15	78.89	97.79
TVA	74.49	100	74.49	Statkraft	100	100	100
Hydro-Q	74.18	98.38	79.44	Epon	62.37	79.21	78.74
Electrobras	49.62	100	49.62	ECNZ	100	100	100
National Power	99.19	100	99.19	Singapore	60.42	78.78	76.69
Dominion	82.78	83.03	99.70				

한편 BCC모형을 적용하여 분석한 효율성을 살펴보면 Kepco는 기술적 효율성은 98.78%로 대폭 개선이 되나 규모의 효율성은 78.89%밖에 안 되는 것으로 나타났다.<sup>3)</sup> BCC모형을 적용하면 효율성 값은 당연히 개선된다. DEA모형에서  $\sum \lambda_j = 1$ 의 제약식을 추가하게 되므로 효율성 평가시 상대가 되는 평가대상 갯수가 줄어들기 때문이다. 한편 투자에 대한 수익이 증감할 수 있다는 가정하에서 규모의 효율성이 100%가 못된다는 것은 현재 전체적인 운영상의 비효율성에는 규모가 적정수준이 아니어서 발생하는 부분이 있다는 의미이다.

#### 4. 한국전력공사의 효율성 분석

DEA모형의 장점 중의 하나는 비효율적으로 판정된 평가단위를 유사한 투입 및 산출 변수를 가지고도 효율적으로 평가된 준거집단과의 직접적인 비교를 통하여 과잉 투입된 자원은 무엇이고 얼마나 과잉 투입되었는지, 과소 산출된 자원은 무엇이고 얼마나 과소 산출되었는지를 분석하여 비효율적 조직이 효율적으로 발전하기 위한 실천적 방안을 제시해 준다는 데에 있다.

CCR모형하에서 Kepco의 효율성은 77.93%에 불과하였다. Kepco 입장에서 벤치마크를 삼을 수 있는 기업들을 골라내면 Bayernwerk, British E, Tepco의 3개이다.<sup>4)</sup> 이 3개 기업의 투입과 산출 변수값을 적절히 선형 결합하면 Kepco의 개선목표가 도출된다. 우선 개선목표부터 요약하면 <표 4>와 같다.

앞에서 논의한 것과 같이 개선목표는 투입물 기준이나 또는 산출물 기준이나에 따라 그 내용이 달라진다. 투입물 기준은 산출물 수준을 일단 고정시킨 상태에서 투입물을 얼마나 감소시켜야 효율성이 100%가 될 것인가를 나타내며, 산출물 기준은 투입물 수준을 고정시킨 상태에서 산출물을 얼마나 증가시켜야 효율성이 100%가 될 것인가를 보여 준다.<sup>5)</sup> Kepco의 경우 산출물 기준으로 보면

3) 규모의 효율성 값은 CCR모형에서 도출된 효율성 값을 BCC모형에서 도출된 효율성 값으로 나눈 값이다.

4) 이 회사들은 100% 기술적 효율성과 규모의 효율성을 달성하고 있다.



〈표 4〉 CCR모형하에서의 Kepco 개선목표와 준거집단

변 수	현재값	산출물 기준		투입물 기준	
		목 표	개선가능률(%)	목 표	개선가능률(%)
종업원수	38178	38178	0	29750.83	-22.07
설비용량	35715	35715	0	27831.5	-22.07
판매수입	14126	18127.31	28.33	14126	0.00
순 이 익	729	1944.26	166.7	1515.1	107.83
판 매 량	182.5	234.19	28.33	182.5	0
준거집단		Bayennwerk, British E, Tepco			

수익은 28.33% 늘리고, 순이익과 판매량은 각각 166.6%, 28.33%를 늘려야 효율성이 100%에 도달한다는 것이다. 투입물 기준으로 보면 종업원수와 설비용량을 각각 22.07% 감소시켜야 하며 동시에 순이익도 107.83% 증가시켜야 100%의 효율성에 도달할 수 있는 것으로 분석되었다.

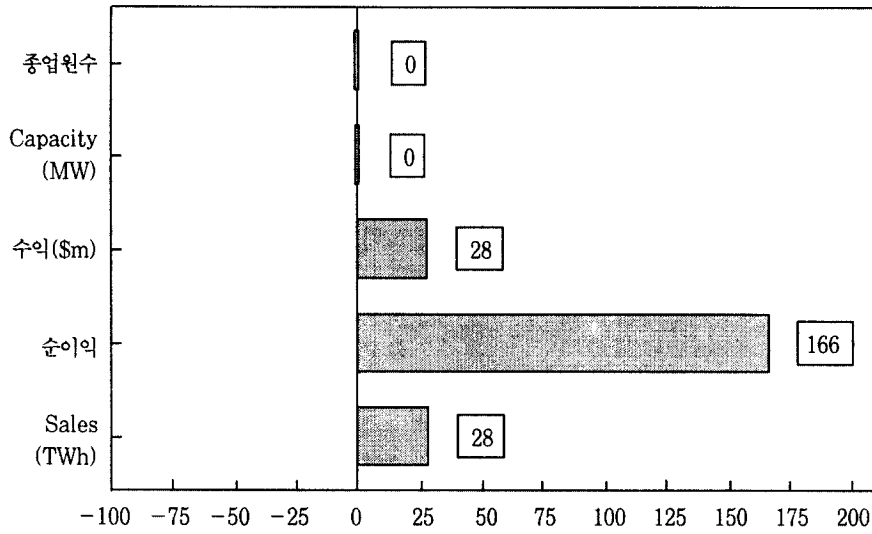
한편 규모의 경제를 감안한 BCC모형하에서는 Kepco의 효율성이 99%에 가까웠지만 여전히 개선의 폭은 크다. Kepco 입장에서 벤치마크를 삼을 수 있는 기업들을 찾아보면 Preussen E, AEP, Tepco의 3개이다.<sup>5)</sup> 이것은 <표 5>를 살펴보기로 하자. 산출물 기준으로 보면 판매수입은 93.56% 늘리고 순이익과 판매량은 각각 1.03%, 1.03%를 늘리는 한편 종업원수도 15.2% 축소시켜야 효율성이 100%에 도달한다. 투입물 기준으로 보면 종업원수와 설비용량을 각각 16.65%, 1.22%를 감소시키며 동시에 수익을 87.73% 증가시켜야 100%의 효율성에 도달할 수 있는 것으로 분석되었다.

5) 산출물 기준의 개선목표는 DEA모형의 쌍대문제에서 제약식의  $Z_0$ 를  $x_{i0}$ 에 붙이지 않고 대신  $y_{r0}$ 에 붙여서 해를 구할 때 도출된다.

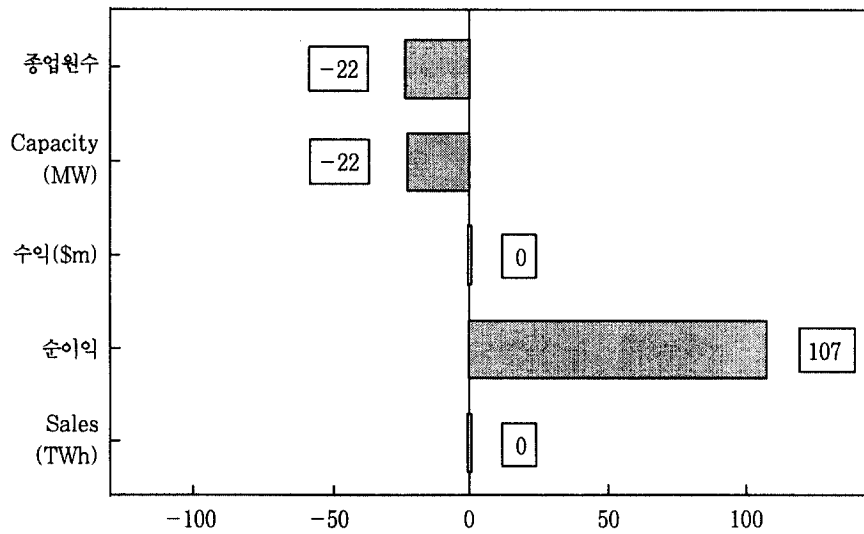
6) 이 회사들은 기술적 효율성은 100%를 달성하고 있지만 규모에 있어서는 비효율적인 것으로 나타나고 있다.

〈그림 2〉

(a) 산출물 기준(CCR모형)하에서의 개선목표

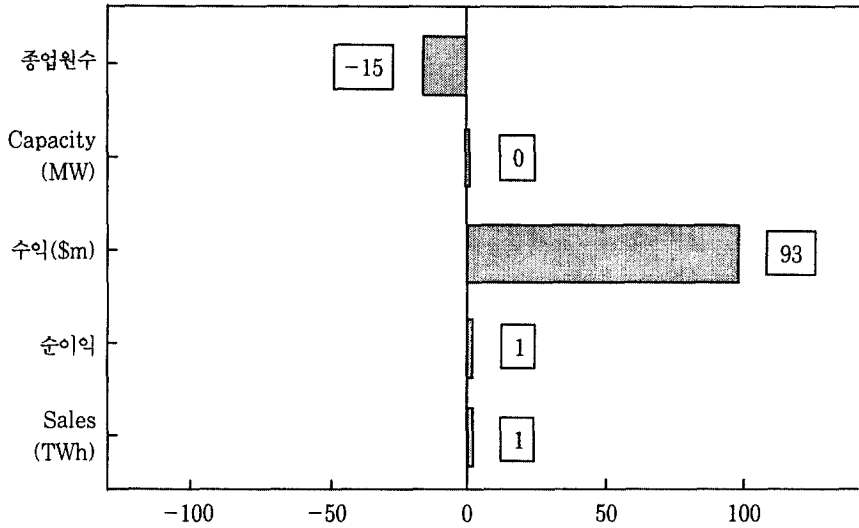


(b) 투입물 기준(CCR모형)하에서의 개선목표

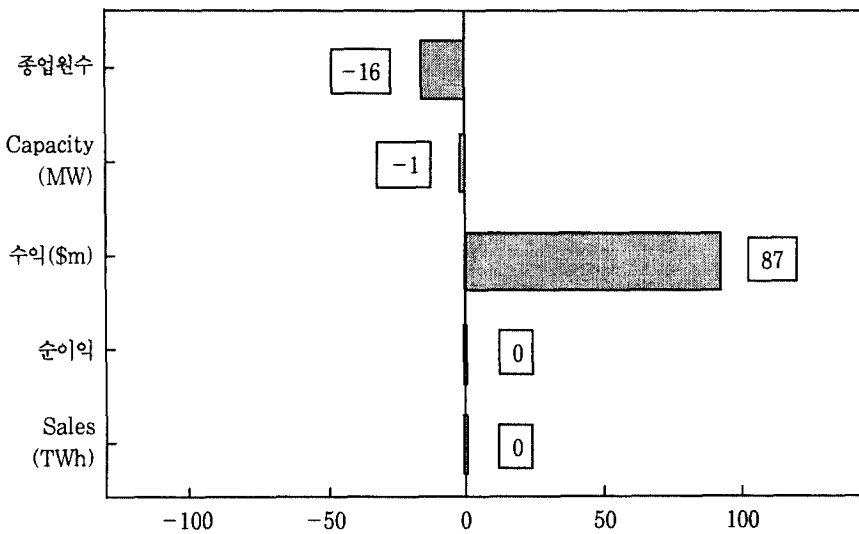


〈그림 3〉

(a) 산출물 기준(BCC모형)하에서의 개선목표



(b) 투입물 기준(BCC모형)하에서의 개선목표



〈표 5〉 BCC모형하에서의 Kepco 개선목표와 준거집단

변 수	현재값	산출물 기준		투입물 기준	
		목 표	개선가능률(%)	목 표	개선가능률(%)
종업원수	38178	32376.46	-15.2	31820.42	-16.65
설비용량	35715	35715	0	35279.46	-1.22
판매수입	14126	27342.36	93.56	26519.05	87.73
순 이 익	729	736.49	1.03	729	0
판 매 량	182.5	184.37	1.03	182.5	0
준거집단		Preussen E, AEP, Tepco			

현실적으로 발전사업에는 규모의 경제가 존재한다. 따라서, DEA분석에서도 BCC모형의 결과가 CCR모형의 결과보다는 더 큰 의미가 있다고 하겠다. 현재의 전력수요로 볼 때, 발전용량이 적절하다고 본다면 규모의 비효율성은 어쩔 수 없이 받아들여야 하는 운영의 제약조건이라 할 수 있다. 그렇다고 하더라도 <표 5>를 참고할 때 산출물 기준이든 또는 투입물 기준으로 보든 간에 종업원수는 최소한 15% 이상 줄여야 한다는 목표는 그대로 남는다. 종업원수의 감소는 운영비용을 감소시켜 순이익을 증대시키는 효과를 불러일으킨다.

## V. 결 론

본 연구는 DEA모형의 구조와 이론적 근거에 대해 간략히 알아본 뒤, 이 모형을 전 세계 전력회사에 적용한 결과를 제시하고 있다. 분석에 사용한 자료는 투입물 변수가 종업원수(명), 설비용량(MW)이고 산출물 변수는 판매수입(백만 달러), 순이익(백만 달러), 판매량(TWh)이다.

분석결과를 요약해 보면 CCR모형의 경우 효율성이 100%인 기업은 9개에 불과했으며 한국전력(Kepco)은 77.93%, 일본의 간사이(Kansai)는 77.96%인 것으로 나타났다. BCC모형을 적용하여 분석한 효율성을 살펴보면 Kepco는 기술적 효율성은 98.78%, 규모의 효율성은 78.89%인 것으로 나타났다. 즉, 비효율성의 일부는 발전수요의 한계로 인해 발생한 규모의 비효율성에 근거한다고 볼 수 있다. 그러나 개선목표를 보면 어떤 기준을 채택하더라도 중업원수는 최소한 15% 이상 줄여야 한다는 분석이 도출되어 상당한 구조조정의 필요성을 제기하고 있다.

물론 DEA모형을 이용한 평가는 비계량적인 요소도 감안하지 못했고 전력회사의 주요 투입물인 에너지 사용량등 비용에 관련된 요소나 발전환경에 관한 변수를 고려하지 못했기 때문에 결과 해석상 상당한 한계가 있을 수 있다.<sup>7)</sup> 또한 자료의 한계 때문에 분석과정에도 한계가 있을 수 있다.<sup>8)</sup> 그러나 본 연구는 다음과 같은 측면에서 나름대로의 적용가능성이 있다고 본다. 첫째, 운영의 효율성을 높일 수 있는 투입산출에 대한 가중치를 도출할 수 있으므로 지표위주의 평가방식에서 필요했던 가중치 추정의 필요성을 반감할 수 있다. 둘째, 준거 집단에 포함된 전력회사의 운영구조를 분석함으로써 개선목표를 더욱 구체화할 수 있으며 규모의 효율성 분석을 심화시켜 발전소의 적정규모도 도출할 수 있을 것이다. 앞으로 더욱 광범위한 분야에 DEA모형을 적용하여 분석 결과의 활용가능성을 타진해 볼 필요가 있다.

---

7) 효율성 분석에는 비모수적인 DEA방법과 통계적인 영향을 감안하는 frontier function estimation기법이 있다.

8) 산출물간의 상관관계가 산출물의 strong disposability 문제를 발생시킬 수도 있다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 안태식, “은행영업점의 성과측정방법으로서의 DEA : 테스트와 비교”, 「경영학연구」, 제21권 제1호, 1991, pp. 71~102.
2. 최태성 · 장익환, “DEA를 이용한 금융기관의 운영효율성 평가”, 「재무관리연구」, 제9권 제2호, 1992, pp. 77~100.
3. Anderson, P. and N. C. Peterson, “A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, 30, 1993, pp. 1261~1264.
4. Banker, R. D., “Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 17, 1984, pp. 35~44.
5. \_\_\_\_\_, Charnes, A. and W. W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Sciences*, Vol. 30. No. 9, 1984, pp. 1078~1092.
6. Charnes, A., Cooper, W. W. and E. Rhodes, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, 1978, pp. 429~444.
7. \_\_\_\_\_, “Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through,” *Management Sciences*, Vol. 27, No. 6, 1981, pp. 668~697.
8. Farrell, M. J., “The Measurement of Productive Efficiency,” *J. R. Statis. Soc. Series A* 120, 1957, pp. 253~281.
9. Kurtz, D., *Global Electricity Company Profiles*, Financial Times, London, 1997.
10. Norton, R., “Economics for Managers: Which Offices or Stores Really Perform Best?” *Fortune*, December, 31, 1984, p. 38.
11. Seiford, L. H. and R. M. Thrall, “Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis,” *Journal of Econometrics*, Vol. 46, 1990, pp. 7~38.
12. 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.
13. Sherman, H. D. and F. Gold, "Bank Branch Operating Efficiency : Evaluation with Data Envelopment Analysis," *Journal of Banking and Finance*, Vol. 9, No. 2, 1985, pp. 297~315.
  14. Sueyoshi, T., "Stochastic Frontier Production Analysis : Measuring Performance of Public Telecommunications in 24 OECD Countries," *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, 1994, pp. 466~478.
  15. \_\_\_\_\_, "Divesture of Nippon Telegraph & Telephone," *Management Sciences*, Vol. 42, 1996, pp. 1326~1351.
  16. \_\_\_\_\_, "Measuring Efficiencies and Returns to Scale of Nippon Telegraph & Telephone in Production and Cost Analysis," *Management Sciences*, Vol. 43, No. 6, 1997, pp. 779~796.

## ABSTRACT

---

### Measuring Efficiency of Global Electricity Companies Using Data Envelopment Analysis Model

---

Tae Ung Kim · Sung Han Jo

Data Envelopment Analysis model is a linear programming based technique for measuring the relative performance of organizational units where the presence of multiple inputs and outputs makes comparison difficult. A common measure for relative efficiency is weighted sum of outputs divided by weighted sum of inputs. DEA model allows each unit to adopt a set of weight that shows it in the most favorable light in comparison to the other unit.

In this paper, we present the mathematical background and characteristics of DEA model, and give a short case study where we apply the DEA model to evaluate the relative efficiencies of 51 global electricity companies. The technical efficiency and scale efficiency are also to be investigated. Generating capacity and the number of employees are used for input data, and revenue, net profit and electricity sales are used for output data. We find that the companies with 100% relative efficiency are only 9 among 51 electricity companies. And the technical and scale efficiency of KEPCO is 98.7% and 78.89%, respectively. This means that the inefficiency of KEPCO is caused by the scale inefficiency. The analysis shows that the employees should be decreased by 15% at minimum to get the 100% efficiency. The result suggests that KEPCO needs the structural reform to improve the efficiency.