

DEA 모형을 이용한 발전회사 환경효율성에 대한 연구

한정희*

전남대학교 경영전문대학원 MOT-MBA 과정 전담교수

A Study on Eco-efficiency in power plants using DEA Analysis

Jung-Hee Han*

Graduate School of business administration MOT-MBA program in Chonnam National University

요약 본 연구의 목적은 독점적 지위로 운영되는 발전회사의 환경효율성 분석을 통하여 미래의 녹색경영, 지속경영에 대한 기관 효율성 향상에 기여하고자 하는 것이다. DEA 분석이 가진 내재적인 부족함을 보완하기 위해 C 발전회사 산하 6개의 기관을 직접 방문하여 담당 전문가로부터 DMU의 환경효율성을 위한 인터뷰 자료도 활용하였다. 투입요소로는 경영효율성에서는 비용과 종업원 수를 환경효율성으로는, CO₂, NO_x, 용수 사용량이 사용되었다. 산출요소로는 연간 총발전량, 판매수익이 사용되었다. 분석에는 규모수익불변(CRS, Constant Return to scale)투입지향의 DEA모형과 VRS(Various Return to Scale)모형을 이용하였다. CRS 분석에 의하면 0.923, BCC 분석으로는 0.969로 나타났다. 7개의 DMU가 효율적인 것으로 나타났다. 산출요소별 비효율적인 투입요소에서는 NO_x가 CO₂ 보다 낮았다. 이는 전력발전에 있어 NO_x는 물론 CO₂에 관한 효율성이 개선되어야 한다는 것을 보여주고 있다. 환경비효율성을 줄이기 위해서는 결국 신재생에너지와 연료 전지 등 대체에너지원이 지속적으로 개발되어야 한다.

주제어 : DEA분석, CCR모형, VRS 모형, 전력산업, 환경효율성

Abstract This study aims to provide power generating plants with eco-efficiency information. To implement the purposes, of study, both DEA(Data, Envelopment Analysis) model and interview were incorporated in terms of methodologies. To analyze the managerial efficiency, total labor cost and number of employees were considered as input factors. CO₂, NO_x, and water also were considered as input factors to analyze eco-efficiency. Both annual total power product and annual total revenue were used as output factors. CRS(Constant Return to Scale) and VRS(Variable Return to) model were facilitated in this analysis. According to the findings, most of the power plants were evaluated as "Efficient" taking into consideration of average value, both 0.928 from CCR model and 0.969 from VRS model. 7 DMUs including DMU3 and DMU12 are efficient out of 35 DMUs relatively, other DMUs are inefficient. For results of inefficient output factors distribution, it was found that inefficiency for NO_x was marked relatively higher than CO₂. In order to improve the eco-efficiency in the power plants in the long term, the target amount of Co₂ as well as NO_x reduction needs to be properly proposed in consideration of particularity of power plants. In the long run, renewable energy, alternative fuels should be adapted to reduce the eco-inefficient.

Key Words : DEA Analysis, CCR model, VRS model, Power plant industry, Environment efficiency

Received 1 May 2013, Revised 20 May 2013

Accepted 20 May 2013

Corresponding Author: Junghee Han (He has been working at MBA-MOT program as an Professor. The interested research area is innovation policy, technology commercialization, and start-ups. Email: hjh0037@chonnam.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

국내 전력산업이 2001년 독립적인 전력시장을 경쟁체제로 전환하여 효율성을 제고하고 있다. 최근 전력을 만드는 발전회사에 대한 경영효율성은 물론, 환경효율성 향상도 크게 대두되고 있다. 발전회사의 운영이 효율적이나 그렇지 않으나 하는 것은 개별회사 차원의 생산성에는 중요하다. 세계기후협약에 따른 제약으로 환경효율성도 경영효율성 못지않게 중요하다. 얼마나 환경오염물질을 제한 할 수 있는가 하는 제약의 효율성화가 더욱 중요할 수 있다. 본 연구에서는 오염물질을 얼마나 효율적으로 관리하는 가를 다루고자 한다.

국내 전력산업은 국내 CO₂ 배출량의 4분이 1을 차지할 만큼 지구온난화의 핵심 오염원이다(한국전력통계, 2008). 전력생산을 위해 배출되는 NO_x, CO₂ 등은 환경규제의 대표적인 대상물질이다. 다른 선진국에서도 마찬가지지만, 우리나라도 전력산업은 국가의 전략적인 산업으로 독점적 지위를 가지고 있다.

이에 따라 우리나라의 발전시스템은 1개의 송·배전회사와 6개의 발전회사 그리고 전력시장의 운영기관인 전력거래소로 구성되어 있다. 본 연구에서는 2001년 전력산업구조개편에 의해 설립된 한국전력공사의 6개 발전자회사를 대상으로 하여 운영의 효율성을 평가하고 그 결과를 통해 기존발전회사의 경우 경영효율화를 추구할 필요성에 대해 분석하고자 한다.

발전회사의 경영효율화가 가지는 큰 의미는 조직을 축소하고 인원을 감원하는 것 등이나 이는 매우 소극적인 방법이다. 발전회사의 환경효율성이 효율적이나 그렇지 않으나 하는 것은 세계 기후협약 등에 의해 관심의 대상이 되었다. 얼마나 환경오염물질 배출을 제한할 수 있는가하는 제약의 효율화가 중요하게 된 것이다. 본 연구에서 2002년부터 2008년까지의 오염물질 배출과 전력생산량의 발전사 별 자료를 이용하여 환경효율성을 측정하여 향후의 발전방향을 제시하고자 하는 취지로 연구를 착수했다. 기존 발전사의 효율성 분석의 대부분의 연구는 기존 발전설비, 에너지(석탄, 석유, LNG, 원자력), 노동력 등을 투입요소로 하고, 발전량 및 매출액 등을 산출물로 설정하여 발전회사의 생산성을 분석하였는데, 이는 발전 기업이 직접적으로 비용을 지불하지 않는 환경적 요인들(온실가스, 폐기물 등)을 고려하지 못한 측면이 크다. 본 연구가 갖는 차별성은 환경적 요인들이 가지는 가

치를 고려하여 온실가스 원인물질인 CO₂, NO_x 등을 투입요소로 추가하여 기존 경영효율성에 환경효율성을 함께 살펴 본 것이라 하겠다. 분석방식으로는 널리 사용되는 DEA(Data Envelopment Analysis)를 적용하였고 국내 발전회사들의 7년간(2002~2008)의 자료를 가지고 6개 발전회사를 대상으로 환경 및 경영효율성을 분석하였다.

DEA 분석에서 사용된 투입물로는 인건비, 종업원수, CO₂, NO_x, 용수량 등이 사용되었고 산출물로는 총발전량, 판매수익이 사용되었다. 분석에는 규모수익 불변인 CRS(Constant Return to Scale) 투입지향의 DEA모형과 규모수익 가변인 BCC(Variable Return to Scale) 모형을 이용하였다. 실증결과에 따르면 CCR 분석에 의하면 0.923, BCC 분석으로는 0.969로 나타났으며 7개의 DMU가 효율적인 것으로 나타났다. DMU별 비효율적인 투입요소의 평균이 NO_x가 가장 낮았다.

본 논문의 구성으로는 서론에 이어, II장에서는 환경효율성과 전력산업이 가진 특성에 관한 선행연구를 살펴보고, III장에서는 DEA(Data Envelopment Analysis)에 대한 연구방법론과 실증분석에 활용된 데이터를 소개하고 IV장에서는 분석 결과를 통하여 연구의 결과 및 시사점을 제시하였다.

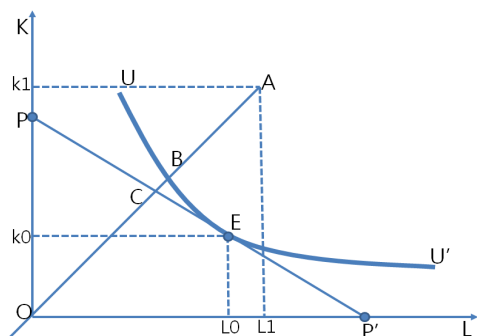
2. 이론적 배경 및 선행연구 검토

2.1 효율성개념과 환경효율성

환경효율성(Eco-efficiency)이란 용어는 1992년 지구정상회의에서 공식적으로 처음 등장하였다. 세계지속가능발전기업협의회(WBSCSD: World business council for sustainable development, 1992)는 환경자원 효율성을 지구 정화능력 범위에서 생태계에 대한 영향과 자원사용을 줄이면서 삶의 질을 향상시키고자 하는 인류의 욕구를 충족시키기 위해 제품과 서비스를 경쟁가격을 통해 제공하는 것으로 정의한다. 환경효율성이란 환경자원을 인간의 욕구를 만족시키기 위해 얼마나 효율적으로 사용하는가를 의미한다(OECD, 1998).

효율성이란 개념은 다의적인 뜻을 내포하고 있다. 일반적으로 기업 활동에서의 효율성은 노동, 자본 등 투입요소의 생산성 수준으로 알려져 있다. 생산성은 단위 투입요소 당 생산량을 의미하는 것이다. Farrell(1957)이 생산비용 극소화조건으로부터 효율성의 개념 및 측정방

법을 소개한 이후 효율성에 관한 연구가 상당한 발전을 이루어 왔다. Farrell(1975)에 따르면, 두 기업 A, B가 두 가지 생산요소 즉, 자본과 노동을 투입하여 동일한 재화를 생산하고 있다고 할 때 만약 기업 A가 기업 B에 비해 동일한 노동과 자본을 투입하면서도 상대적으로 적은 재화를 생산하거나, 재화 1단위를 생산하는데 기업 A가 기업 B 보다 많은 노동과 자본을 사용하고 있다면 기업 A는 B 보다 효율성이 낮다고 지적한다.



[Fig. 1] concept of efficiency

[Figure 1]에서 보면 PP'는 자본과 노동의 상대가격을 나타내는 등비용선이며, UU'는 기업의 단위 등량곡선(Unit isoquant curve)이다. 만약 어떤 기업이 등비용선과 단위 등량곡선의 접점인 E에서 생산을 하고 있다면 최적생산이 이루어지고 있기 때문에 비효율이 나타나지 않는다. 그런데 기업이 실제 생산은 요소투입의 각종 결정(decisions)의 실패 등으로 점 E가 아닌 A에서 이루어질 수도 있으며 이 경우에는 재화 1단위를 생산하는데 최적 생산점에서 노동 및 자본의 투입량보다 각각 $L_1 - L_0$ 및 $K_1 - K_0$ 만큼 더 많은 노동과 자본을 사용하게 된다. 이처럼 추가적으로 투입되는 생산요소가 바로 해당기업의 비효율의 크기다. 한편 기업의 비효율성은 두 가지로 구분될 수 있다. 첫째, 주어진 생산요소 배합비율에 기인되며 생산요소를 과다투입 함으로써 최대 생산을 달성하지 못하는 비효율이다. 이를 기술적 비효율로 정의한다. 둘째, 생산요소 가격이 주어져 있는 상황에서 투입물의 배합비율을 잘못 결정함으로써 생산요소의 한계 생산수입이 한계비용과 일치하지 않게 되는데 기인하는 비효율이다.

비모수적(Non-parametric) 접근방법에 의한 생산의 기술효율 측정은 Farrell(1957)이 최초로 제시한 이래

Shephard(1970), Afriat(1972), Caves et al.(1982)등에 의하여 발전하였다. Shephard(1970)의 생산가능곡선을 이용한 효율성 측정방법을 기초로 하여 Fare et al(1994)은 이전 연구보다 개선된 효율성 및 생산성 측정방법을 제시한다. 이러한 비 모수적인 접근법에 의한 생산의 기술 효율측정방법은 환경요소를 고려한 생산의 기술효율과 생산물의 기회비용 측정으로 발전되었다. 선행연구들의 주된 흐름은 효율을 측정하는 방법에 따라서 방사선 척도(Radial Efficiency measure)와 쌍곡선 척도로 구별될 수 있다.

전통적으로 사용해진 통계적 추론방법은 표본이 추출된 모집단의 확률분포가 어떤 형태, 즉 정규분포나 이항분포라고 알고 있는 경우에 이들 분포를 구체적으로 결정짓는 모수(Parameter)에 관한 추정이나 검정이라고 할 수 있는데, 이렇게 분포의 형태에 관한 지식은 있으나 구체적인 모수를 모를 때 행하는 추론방법을 모수적 방법(Parametric method)이라고 한다. 반면 모집단의 분포가 특정분포를 따른다고 보기 어려울 때, 모수에 의해 추론이 가능하지 않으면 모수적 방법으로는 추론이 가능하지 못할 것이다. 이와 같이 모수를 매개로 하지 않는 방법을 비모수적 방법이라고 한다. 비모수적 추정방법은 모수적 방법에 비해 여러 장점을 가지고 있다. 첫째, 일반적으로 최소한의 가정 하에서 개발된 통계적 방법이므로 가정이 만족되지 않음으로서 생기는 오류의 가정이 적다. 둘째, 데이터가 구간척도나 비율척도 등으로 주어지지 않고 순위 척도로 주어져서 상대적인 크기로 데이터가 주어질 경우에는 순위에 기초한 비모수적 방법이 보다 유용할 수 있다. 셋째, 통계적 의미를 직관적으로 이해하기 쉬운 경우가 많다. 따라서 대부분의 비모수적 방법들은 수리통계의 도움 없이도 쉽게 접근할 수 있다.

2.2 환경효율성측정의 선행연구

Fare et al(1986)은 전력시설의 상대적 효율에 관한 환경규제의 영향을 평가하는 것이었다. 특히 오염방지비용을 결정하는데 전통적으로 이용되는 오염감소를 위한 직접지출보다 환경규제의 간접비용에 초점을 두고 있다.

즉 규제된 기술과 규제되지 않은 생산기술을 설명하고 있다. Gallop and Robert(1983)는 전력산업의 트랜스로그(Trans-log) 비용함수를 사용하여 1973년부터 1979년 까지 이산화황 배출규제가 평균생산성의 성장을 0.59% 감소시킨다고 주장하고 있다.

〈Table 1〉 Previous Research regarding Eco-efficiency

| Previous research | Findings |
|-----------------------------|---|
| Fare et al(1986) | 15 power plants out of 100 power plants showed decrease of power generation due to restriction of facilitates under rule of eco-environment in America. |
| Korhomen and Lubtick (2004) | Through the analysis of eco-efficiency among 24 thermoelectric power plants in Europe, the word 'Eco-efficiency' was first defined as the level of efficiency. this study showed that between technological efficiency and ecological efficiency are corelation using DEA. This study also fined NOx and SO2 should be decreased for increase of eco-efficiency |
| Tyteca (1997) | As methodological study for eco-efficiency, this study showed that eco-efficiency model which use pollutant only as input factors is lowest. From the findings, the selection of Input and output factor is critical for measure of eco-efficiency. |
| 강상목, 김은순 (2002) | This study showed that restriction of product technologies affect the total product through manufacturing incorporate in 1991 - 1999 Korea. Restriction of product which comes from not using pollutant cause the 1922, 345 won loss . Increase of Eco-efficiency mean the product loss due to increase of product cost. |
| Lanksink &Silva (2002) | This findings show that CO2 is relatively inefficient for power generatong 1991 Netherlands |
| James (1994) | This findings show Index regarding Eco-efficiency consist natural ecologically, stakeholders, consumer, and general people |
| Noci (1997) | Ecological performance of enterprise have to do with provider's environmental effort using DEA In England. |

Calloway and Navalimic (1977)은 전력량의 선형계획 모델을 설정하고 규모의 수확불변(Constant Returns to Scale)을 가정하고 전력생산비용에 관하여 환경규제의 영향을 추정하였으며, 연료, 수질, 자본의 세 가지 투입물과 산출물을 사용하였다.

상이한 배출기준 효과로서 생산비용이 최대 2.00/kWh까지 증가하는 것으로 추정하였다 Fare et al(1986)에 사용된 통계자료는 1975년에 미국에서 임의로 선정된 100개의 전력시설에 대한 자료로서, 산출량 변수는 생산전력량, 자본투입량 변수는 발생용량, 평균고용자수, 석탄, 석유, 가스 등의 자료이다. 오염량은 SOx 배출량을 사용하였다. 실증결과 강처분 하에서 20% 시설이 비효율을 보였지만, 약처분 하에서는 단지 3개 시설만이 비효율을 보였다. 환경규제로 인한 생산물 상실을 측정한 결과 100개 시설 중 1개 시설이 상실을 보였고 상실을 수준은 10% 부터 48%까지 걸쳐 있는 것으로 나타났다.

Tyteca(1996)의 연구는 DEA를 이용하여 미국 화력발전시설의 기술효율을 측정하였다. 이 연구에서는 환경성과를 측정할 수 있는 지표로 활동분석모델에 기초한 기술효율 수준을 제시하고 있으며, 총 요소생산성을 오명지수와 투입-산출 효율지수로 분해한 환경성과지표를 소개하고 있다. 환경성과지표는 공공의사결정자에게 유용한 정보를 제공하고 어떤 기업이 선도 기업인지 후발 기업인지를 제시하며 이를 개선하기 위한 조치를 취하도록 도움을 줄 수 있다. 즉 산업에 오염방지를 위한 잠재

력을 보여주는 데 기여한다. 또한 특정물질의 방지목표를 달성하는데 개선정도를 측정한다. Tytech(1996)의 환경성과지표에 대한 연구는 많은 유용함을 준다. 연구에 의하면 환경의 생명주기와 환경계정체제도 환경 성과지표 개발에 중요한 잠재력을 가지고 있으나 표준화의 문제점을 지고 있다. 뿐만 아니라 많은 양의 정보를 요구한다는 한계로 수많은 생산단위를 비교한다는 관점에서 이들을 이용하는 데에는 한계가 있다. 환경성과지표는 전체산업분야를 비교하기 위해 제시되어왔다. 그러나 대부분의 경우 기술혁신에 기초한 잠재적인 향상에 관하여 실질적인 관측과 적절한 권고안을 제시하기 위하여 유사하거나 동일한 산출물을 생산하는 비슷하거나 유사한 단위를 비교하는데 활동됨을 제시한다. Fare et al(1994)은 스웨덴 제약산업을 대상으로 사용한 거리함수가 분리될 수 있다고 가정할 때, 전체 생산성 혹은 생산성 변화를 질적 변화와 효율지수, 기술지수로 각각 나누었다.

이 연구에서는 총 생산성을 환경지수와 생산효율지수로 분해함으로써 환경성과 지수를 도출하였고 미국 화력발전회사의 1987년과 1991년의 2년간 자료를 사용하였다. 투입물로는 먼저 자본변수로 설치된 발전용량, 평균 고용지수, 석탄, 석유, 가스등의 연료가 포함되었고, 산출 변수로는 발전전력량, 오염변수로는 SOx, NOx, CO2 배출량을 사용하였다. Tyteca(1997)는 미국 화력발전시설의 환경성과를 생산의 기술효율을 기초로 측정해 보았다. 최대효율을 보인 관측치는 최대 환경적 행위를 보인 기

업과 일치했다. 강상목(2002)의 연구에서는 한국의 지역 제조업에 있어서 환경규제가 초래하는 생산기술계약으로 인한 상대적 생산효율과 오염처리의 기회비용을 측정하였다. 특히, 규제에 인해서 생산 공정상 발생가능성이 있는 기술적 제약으로 인한 생산효율의 변화를 측정하고, 이를 기초로 오염처리로 인한 기회비용이 상실된 생산물을 측정하였다. 따라서 본 연구에서는 오염방지비용으로 측정 값 자체가 생산에 미치는 영향에 관한 것이 아니라, 생산공정의 기술조건 변화나 생산 공정자체의 변화 등과 같은 환경규제로 인한 생산내부의 간접비용의 계측에 있다. 이러한 간접비용은 환경규제가 생산과정에 제약을 가할 때 일어날 수 있고 규제받지 않을 때의 생산가능성에 비해 규제 받을 때의 생산효율이나 생산의 손실이 초래됨을 보여주고 있다.

James(1994)는 환경성과지표에 관하여는 단순지표, 정규화 된지표, 통합지표의 세 가지로 나누어 제시하고 있다. 환경성과의 측정에 대한 방법론으로 BSC(Balanced Scorecard)를 제시한다. Russo and Foute(1997)는 기업의 환경성과와 기업의 재무적 수익성과의 관계를 실증적으로 분석하였다. Lansink and silva(2002)는 1991-1995년간 네덜란드 온실산업의 이산화탄소와 에너지 기술효율을 측정하였다. 연구결과에 따르면 기업들은 에너지를 매우 효율적으로 사용하는 반면 이산화탄소는 상대적으로 덜 효율적으로 사용함을 보여준다. 또한 에너지와 이산화 탄소배출의 관점에서 전체 기술효율과 하위기술 효율의 척도를 제공하는 것으로 이산화탄소 배출이 자유처분이 되지 못하는 오염투입물로 모델화되었다. CO2의 발생량 및 변화요인을 분석하여 산업별 환경효율성에 대한 연구로는 최한주(2006)의 연구가 있다. 이 연구에서는 산업연관표 모형을 이용하여 우리나라의 1990년과 2000년 산업별 CO2 발생량 및 변화요인을 분석하였다.

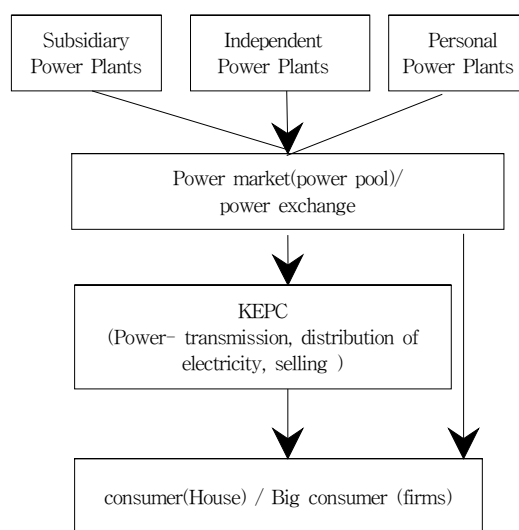
2.3 전력산업의 특징

전력산업은 불완전한 경쟁시장으로 규정되어왔다. 전기는 물리적인 송전시설을 통하여 공급되는 것이 특징이다. 일반상품의 재화가 자유롭게 이동할 수 있는 것과는 완전히 다르다. 그 성질상 저장이 원칙적으로 불가능하며 수요량 이상의 공급은 전력의 낭비를 유발한다. 또한 수요량 이하의 공급은 정전과 같은 사회적 파장이 큰 비용을 발생하게 한다. 그래서 전력산업은 항상 수요량을 정확하게 충족시키는 공급량을 확보해야 하는 것이다.

또한 전력산업은 네트워크의 설치 등 물리적인 제약이나 환경적 요소에 따라 송전 자체가 제약되기도 하고 국지적인 정전 등이 발생할 수도 있다. 전력은 단기 수요탄력성은 매우 낮고 공급역시 전체 발전용량을 거의 모두 가동해야 하는 피크 수요시에는 매우 비탄력적이다. 그러므로 전력의 가격은 매우 변화가 심하며, 피크 수요시 발전업자들이 시장지배력을 행사하기 쉽게 되어있다.

또한 장기적으로 새로운 발전회사를 건설하는 투자기간이 길고 비용이 막대하게 투입된다. 또한 수요의 변화에 따라 공급의 변화가 매우 어려운 것이 전력산업의 주요한 특징이다. 전력시장은 크게 발전부분, 배전부분의 경쟁으로 나누어 볼 수 있고, 이를 도·소매시장으로 크게 확장해 볼 수 있다. 하지만 이런 부분도 발전회사들이 진정한 의미에서 서로 경쟁하고 전력의 생산원가감소, 효율성증대, 환경개선 등에 전력생산에 최적화를 통하여 이윤추구를 위한 시장점유율의 확대를 추진하려는 노력이 있어야 가능하다. 현재 6개의 발전부분 회사들은 외형상은 경쟁체계를 구축하고 있다.

2001년 전력거래소가 설립되어 현재까지 전력시장의 운영주체로 작동하는 회사이다. 현행 전력시장 구조를 보면 한국전력과 별도의 전력구입계획을 체결한 발전회사업자를 제외하고 일정용량 이상의 발전기에 의해 발전된 모든 전력은 전력거래소를 통해 거래되어야 한다는 측면에서 강제·의무(Mandatory&compulsory Pool) 제도라 볼 수 있다.



[Fig. 2] Selling structure of Electricity

거래되는 전력단가는 비용반영시장(CBP, Cost-Based Pool)으로 결정된다. 다시 말해 전략 한 단위당 기본적으로 발전에 소요된 비용에 의하여 산정된다는 것이다. 그렇다면 각 발전회사에서의 전력을 생산할 때의 비용을 줄이는 것은 비용효율성 측면에서 매우 중요하다. 물론 본 연구에서 다루려는 환경효율성역시 세계적인 환경규제에 대한 대응으로 그 중요성은 더욱 증대되고 있다.

2.4 국내발전회사의 환경효율성

한국전력은 환경경영 중장기 목표를 가지고 2004년부터 본격적으로 실시하였다. 또한 2006년 3월에는 환경업무를 보다 통합적, 체계적으로 수행하기 위해 부사장 직속에 에너지환경정책팀으로 개편 확대 운영하고 있다. 전국 각 지역의 사업소는 본사의 환경방침과 환경정책을 토대로 사업소별 특성에 맞는 환경업무를 수행한다. 현재 추진하고 있는 환경경영을 크게 5가지로 나뉘 볼 수 있는데, 첫째는 통합 환경경영체제 강화구축이다. 이는 환경경영시스템을 구축하고 ISO 4001의 인증으로 발전회사별 환경구축에 평가 및 표준화의 영역을 갖추었고, 환경에 대한 투자 등 회계를 발표하며 환경을 표지하는 등 환경정보를 공개하는 것이다. 이는 환경적인 경영체제를 강화하여 향후 환경에 관한 각종 규제 등 효율성을 갖추기 위한 것이다. 둘째, 전력부분으로는 전력공급사슬의 친환경화의 구축이다. 전력을 생산함으로 발생하는 오염물질 배출의 최소화과 새롭게 건설되는 발전설비에 대한 친환경적인 건설운영을 갖추고 이에 에너지 이용 효율을 향상시키는 것이다. 더불어, 송·배전 등의 손실률을 저감하고 입지선정의 투명성을 향상시킨다. 셋째로, 기후변화협약 대응부분이다. 이는 온실가스배출을 최소화하기 위한 노력으로 요약할 수 있다. 이를 위하여 신재생에너지 보급 확대와 오염물질 배출권 거래사업을 실시하고, 기후변화에 대응하는 고급 전문가 인력양성을 실시한다. 넷째, 환경 파트너쉽 강화이다. 이는 지금까지의 환경가치를 극대화하기 위한 종합적인 계획이다. 생태계보전 활동을 강화하고, 발전회사가 위치한 지역사회의 환경관련 단체와의 협력을 확대·강화하며 환경단체와의 유대를 지속적으로 확대한다. 아래 6개 발전회사들은 전력을 생산하는 과정에서 대기 중으로 배출되는 황산화물, 질소산화물, 먼지 등을 저감시키기 위하여 청정에너지원 사용 확대와 탈황설비, 탈질설비, 집진설비 등을 설치운영하고 있다. 또한 모든 폐수를 한곳에 모아 물리적 화학적

처리를 하는 종합폐수처리설비를 운영하고 발생폐수를 완벽하게 처리하여 재사용하거나 방류하고 있으며, 특히 석탄 화력발전회사에서 발생하는 탈황석고는 시멘트의 원료 등으로 전량 재활용 한다.

3. 연구방법론과 분석틀

3.1 DEA 개념 및 특성

효율성측정에 사용되는 DEA(Data Envelopment Analysis)는 다수의 투입물과 다수의 산출물을 이용하여 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit)의 효율성을 선형계획법을 이용하여 측정비교하는 것이다. 투입요소와 산출요소의 가중된 크기를 이용하여 한 조직의 효율성을 다른 조직들과 비교하여 상대적으로 결정하며, 이러한 DEA의 효율성 측정결과는 경제학적 의미로 생산적 효율성, 그리고 기술적 효율성으로 나타낸다. DEA는 Farrell(1957)의 비모수적 효율성 측정개념과 Shephard(1970)의 거리함수 개념을 활용하여 동일한 생산을 생산하는 기업들의 효율성을 일련의 선형계획 프로그램을 이용하는 것이다. 즉, 효율성 분석은 평가대상이 되는 모든 의사결정단위들이 효율적 운영이 되도록 한다는 전제하에 의사결정단위(DMU)들을 효율적 단위와 비효율적 단위로 구별해 준다. 또한 비효율적 단위들이 효율적인 단위가 되기 위하여 모범으로 삼아야 할 참조대상을 제시하고 비효율적 단위들이 효율적 단위가 되기 위해서 감소시켜야 하는 산출요소의 양에 대한 정보를 제공해 준다.

생산성과 효율성은 생산의 능력이나 성과를 나타내는 같은 개념으로 혼용되어 사용되는 경우가 많다. 그러나 이론적 관점에서 생산성이 두 생산기술의 격차에 초점을 두고 있는 반면 효율성은 한 생산기술을 활용하는데 있어서 효과성의 차이에 초점을 두고 있다. DEA는 선형계획법에 근거한 효율성 측정방법으로 사전적으로 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하지 않고, 생산 가능집합(Production Possibility set)에 적용되는 몇 가지 기준으로 평가대상의 효율성을 상대적으로 측정하는 비모수적 접근법이다. DEA의 특성은 비모수, 비통계적 기법이라는 것으로 요약할 수 있다. DEA의 경제학적 연원은 기술적 효율성의 개념을 제시한 Koopman(1951)과 효율성 개념과 유사한 자원활용계수에서 찾을 수 있다. Shephard (1970, 1974)은 생산이론의 관점에서 효율성을

다루기 위한 많은 기초적 연구들을 실시하였으며, 특히 거리함수 개념을 도입하여 효율성 연구뿐 아니라 생산성 연구에서 많이 활용되는 지수들의 이론적 토대를 구축하는데 기여하였다.

DEA는 다음과 같은 기본 특성을 가지고 있다. DEA는 물리적 투입 및 산출에 대한 기술효율성을 측정하고, 실제 경험적 DMU 들의 결과가 변형을 형성한다. 변형은 최우수 운영(Best Practice) DMU로 구성되며, 형성된 변형을 이용하여 상대적 효율성을 측정한다. 상대적 효율성은 비교 대상이 되는 최우수 DMU로 부터의 상대적 비율로 나타내며, 비효율성의 정도는 개선되어야 할 투입 및 산출의 정도를 측정할 수 있게 한다.

3.2 DEA의 모형

위에서 상술한 바와 같이 DEA는 다양한 투입물과 산출물을 갖는 다수의 대안들의 상대적인 효율성을 평가하는 방법이다. 이러한 효율성 측정방법은 투입물과 산출물들에 대한 공통의 가중치를 가정한다. 하지만 각각의 생산단위, 혹은 경영단위가 되는 DMU들이 모두 만족하는 가중치를 찾기란 매우 어려운 것이 사실이다. DEA의 기본 모형인 CCR, BCC 모형의 원문제(Primal)와 쌍대문제(Dual) 소개로부터 출발한다. CCR 모형은 기본모형으로 투입 및 산출물의 가중합의 비율로 표현되며 이는 모형 (1)과 같이 계산 가능한 일반 선형계획모형을 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\
 & \text{s.t.} \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n, \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1, \\
 & u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s, \\
 & v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m,
 \end{aligned}$$

〈모형 1〉

으로 전환되어 진다. 여기서 x_{ij} 와 y_{rj} 는 각각 j 번째 DMU의 i 번째 투입요소 양과 r 번째 산출물의 양을 나타낸다. n, s, m 은 각각 DMU, 산출물, 투입요소의

양을 나타낸다. u_r, v_r 는 결정변수로써 산출물과 투입 요소의 가중치를 나타낸다. 모형 (1)은 쌍대이론(duality theorem)에 의하여, 다음과 같은 포락모형(Envelopment form) 아래 와 같이 될 수 있다. 이는 투입기준 포락모형이며, θ_k 가 DMU_k 의 효율성 점수가 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \theta_k \\
 & \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta_k x_{ij} \quad i = 1, \dots, m, \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \quad r = 1, \dots, s, \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n.
 \end{aligned}$$

〈모형 2〉

생산집합이 볼록성을 만족하면서도 가변규모의 경제성(VRS; Variable return to scale)을 만족하는 BCC 모형 (3)은 모형 1에 볼록성 제약(convexity constraint) $\sum_{j=1}^n \lambda = 1$ 이 추가된 것이다. 이 제약식이 추가되어 얻게 되는 효율성 값은 순수 기술성 값을 나타낸다. 모형 (3)의 포락모형은 쌍대이론에 의해 모형 (4)로 전환되고, c_k 변수는 해당 생산 경제가 어떤 규모경제의 특성을 가지는지 식별할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - c_k \\
 & \text{s.t.} \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - c_k \leq 0 \quad j = 1, \dots, n, \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1, \\
 & u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, s, \\
 & v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m,
 \end{aligned}$$

〈모형 3〉

예를 들어 5개의 DMU들 중 DMU_c 의 효율성 평가를 위한 CCR 모형을 단일 투입 단일 산출의 경우와 2 요소 투입 단일 산출의 경우를 생산가능영역에 그림으로 표현할 수 있다.

Min θ_k

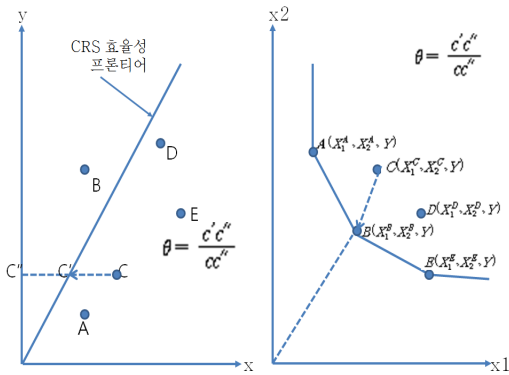
$$s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta_k x_{ik} \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \quad r = 1, \dots, s,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n.$$

<모형 4수식>



[Fig. 3] CRS model of DEA

앞의 모형의 제약식을 선형화하면 선형계획법(linear programming) 모형이 되는데 본 연구에서는 이러한 모형을 처음 제시한 연구자의 이름을 따라 CCR모형이라고 하였다. 다시 설명하면, 투입물 = $\sum_j \lambda_j x_{ij}$, 산출물 = $\sum_j \lambda_j y_{rj}$, 상대적인 효율성이 1이다. 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 된다. 물론 이 경우에는 j_0 수준의 효율성을 능가하는 복합단위는 존재하지 않는다. λ 값은 j_0 의 목표수준을 제공할 수 있는 복합단위의 구축에 사용되며 Z_0 는 복합단위 입장에서 최소한 j_0 의 산출물 수준을 생산하는데 복합단위가 필요로 하는 투입물 수준을 j_0 되게 하는 투입물 수준에 대한 비율로 나타낸다. 이는 앞에서 설명한 DEA 모형은 규모에 대한 투자 효율성이 일정하다는 조건 CRS(Constant return to

Scale)를 가정한다. 더불어, 규모에 대한 효율성이 변하는 경우 (Variable return to scale)도 감안 할 수 있다.

3.3 분석을 위한 모형 및 분석틀

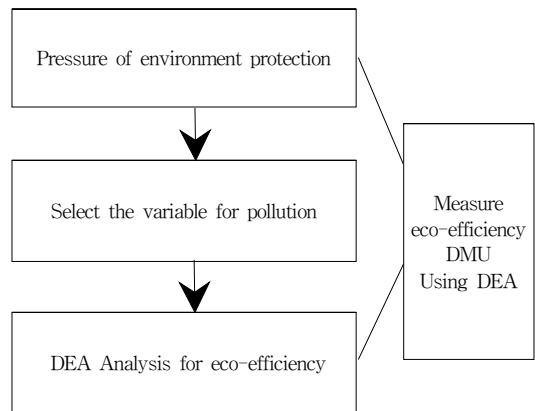
본 연구에서는 6개 발전회사의 환경효율성을 측정한다. 자료는 최근 7년간의 자료의 자료를 활용한다. 오염물질에 대한 자료는 질소산화물 (NOx) 배출량과 이산화탄소(CO2) 배출량을 사용하였다. 화력발전회사는 화학 에너지를 열에너지로 이를 기계에너지 그리고 전기에너지의 전환을 통하여 전기를 생산한다. 이와 같은 일련의 공정과정 속에 이산화탄소는 부정적인 결과로서 나타난다.

즉, 환경효율성을 전력생산량의 총량, 이를 위해 투입되는 각종 투입요소와의 함수로 정의된다고 볼 수 있다. 이와 같은 환경효율성에 대한 정의는 Luptacik(2004)에서 정의한 것을 바탕으로 하여 설정하였다.

환경효율적인 효율성 분석과 마찬가지로 투입요소 (Input)와 산출요소 (output)에 대한 비율로 나타내는 효율성의 기본개념에 따랐다.

환경효율성을 위한 발전회사에 가해지는 환경압력으로 환경효율성을 측정한다. 환경압력의 총합을 의미하는 Input과 전력산업에서 특히 많이 발생하는 오염물질 중 대표적인 환경오염을 촉발하는 물질을 선택하여 변수로 설정하여 투입요인으로 하였고, 산출요인은 발전량으로 하였다. 이런 방법은 OECD가 제시하는 개념에 따른 것이다. 대기오염에 대한 환경효율성은 CO2, NOx를 투입 변수로 사용한다.

본 연구의 분석틀은 [Figure 4]와 같다.



[Fig. 4] Research Process of eco-efficiency

본 연구에서는 2002년부터 2008년까지의 각 발전회사별 환경적 압력을 받고 있는 오염물질을 투입변수로 설정하였다. 대기 오염물질인 NOx, CO2, 용수활용 배출량을 환경압력 투입 변수로 설정하였다. 이는 DEA 분석에서 투입변수는 조절 가능한 변수이어야만 하기 때문에 기업의 환경에 대한 노력과 투자로 인해 오염물질의 배출량을 조절할 수 있기 때문이다.

4. 실증분석 및 결과

4.1 투입 및 산출요소

연구에서는 환경효율성 분석을 위하여 2002년부터 2008년 사이의 투입요소를 사용 하였다.

연도별 실적을 각각 독립된 DMU로 처리하여 DMU 수로 하였다. 이렇게 DMU 수를 늘린 이유는 투입요소 즉 투입변수에 대해 3배 이상의 DMU 수가 있어야 한다는 것이 일반적이기 때문이다 (박만희, 2008). 이와 같이 35개의 DMU 수로 하여 분석을 실시하였다. 투입자료는 자료의 가용성과 환경부문을 고려하여 영업비용(억원) 인건비(억원), 판매비 (억원)에 더해 Nox(톤), Co2(톤), 용수사용(천톤)등을 사용하고, 산출 자료는 연별 전력량(GWh)과 전력거래 매출액(억원)을 사용하였다.

〈Table 2〉 variable explanation

| Variable | explanation | |
|----------|----------------------------|---|
| Input | CO2 (Ton) | CO2 gas caused the earth warming |
| | NOx (Ton) | NOx gas which was made by internal combustion engine cause the smog in the air. |
| | Water (ton) | Water which is used to make power generating. |
| | Cost (billion won) | Total cost contains labor, marketing, ordinary cost per product 1KW |
| Output | Total Power Product / year | Total Power production per year each power plants (DMU) |
| | Total sales/year | the Volume of total sale of electricity per year. |

4.2 실증분석결과

위에서 상술한 바와 같이, 6개의 DMU 기관의 최근 7년간의 자료를 활용하여 환경효율성을 분석하였다. 이들 기관의 매년 자료를 각각의 DMU로 설정 35개로 확장하여 분석의 타당성을 향상하였다. 다음 표는 각각 DMU들의 투입요소와 산출요소를 나타내고 있다.

본 연구에서 사용된 투입변수는 WBCSD에서 제시한 7가지 기준 중 환경효율성 평가를 위해, CO2와 NOx를 사용하였다.

환경효율성 분석결과에 의하면 CCR 모형에서 0.923, BCC 모형에서 0.968 로 나타났다. CCR 모형에서 19개, BCC 모형에서 26개의 DMU가 효율성 1로 나타나 전체 35개 DMU의 74%를 차지하고 있다. 효율성 1인 DMU가 전체 평가대상 DMU의 25%를 초과할 경우 본 분석력의 판별력은 떨어진다는 주장도 있다(김태일, 2000). 효율성이 높아 타 DMU의 참조가 되는 DMU는 모두 13개로 나타났다. 이중 DMU02와 DMU15가 각각 4번의 참조횟수를 기록하여 최고 수치를 보여주고 있다. DMU별 비효율적인 투입요소의 평균을 살펴보면, 전체적으로 NOx(0.01)의 비효율성이 가장 높았으며, CO2(0.08), 용수사용(0.08)의 순으로 나타났다. 투입비용 보다는 자원의 사용에 더욱 높은 비효율성이 확인되었다.

본 분석에 나타난 결과를 볼 때, 대부분의 발전회사에서 환경효율성의 개선을 위한 노력은 지속적으로 이루어지고 있고 실제 상당부분 개선되고 있다고 판단된다. 하지만 NOx 등이 비효율이 가장 높은 것은 아직까지 대부분 CO2 배출에 대한 효율성에 비해 관심 낮은 것으로 해석할 수 있다.

DEA 모형의 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 주는데 있다. CCR모형에서 DMU의 평균 효율성은 77.9%이다.

현재 발전회사에서 사용되고 있는 화석연료에 의한 이산화탄소 배출이 지구온난화의 주요인으로 밝혀졌으나, 현실적으로 이를 완전히 제거하기는 기술적으로 어려움이 크다. 국가로서는 전력산업이 가지는 특수성을 고려할 때 CO2를 저감하기 위한 방안이 필요하다.

〈Table 3〉 Summary of Input and output

| DMU No. | Input | | | | | | Output | |
|---------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|---------------------|-------------------|
| | Cost | | | NOx | CO2 | Water | Total Product /year | Total sales /year |
| | Marketing | labour | general expense | | | | Gwh | lhundred Million |
| | lhundred Million | lhundred Million | lhundred Million | 10 Thousand ton | 10 Thousand ton | 1ton | | |
| DMU1 | 4329 | 212 | 295 | 20761 | 5327 | 3097 | 17490 | 7043 |
| DMU2 | 4935 | 284 | 375 | 22461 | 6779 | 3363 | 24012 | 9771 |
| DMU3 | 4928 | 316 | 405 | 22898 | 6712 | 3010 | 23287 | 9463 |
| DMU4 | 6747 | 346 | 446 | 27024 | 24633 | 2561 | 24657 | 10032 |
| DMU5 | 6845 | 351 | 489 | 24850 | 23897 | 2133 | 23282 | 9662 |
| DMU6 | 6239 | 369 | 531 | 19568 | 21910 | 3595 | 24504 | 8623 |
| DMU7 | 7017 | 374 | 561 | 19417 | 22854 | 3982 | 24504 | 9520 |
| DMU8 | 778 | 64 | 85 | 714 | 208 | 110 | 642 | 628 |
| DMU9 | 787 | 86 | 119 | 312 | 164 | 93 | 886 | 809 |
| DMU10 | 718 | 95 | 123 | 248 | 132 | 79 | 667 | 733 |
| DMU11 | 748 | 106 | 141 | 124 | 428 | 125 | 600 | 683 |
| DMU12 | 853 | 114 | 153 | 106 | 482 | 75 | 685 | 860 |
| DMU13 | 1443 | 121 | 163 | 139 | 610 | 107 | 1038 | 1332 |
| DMU14 | 1903 | 126 | 173 | 165 | 774 | 101 | 1390 | 1765 |
| DMU15 | 464 | 86 | 120 | 640 | 85 | 169 | 247 | 693 |
| DMU16 | 999 | 116 | 157 | 999 | 149 | 201 | 885 | 1192 |
| DMU17 | 1162 | 126 | 168 | 695 | 174 | 172 | 1008 | 1509 |
| DMU18 | 492 | 134 | 178 | 57 | 81 | 121 | 133 | 790 |
| DMU19 | 2086 | 171 | 235 | 643 | 924 | 837 | 2196 | 2199 |
| DMU20 | 4131 | 210 | 301 | 1064 | 1441 | 721 | 3935 | 4300 |
| DMU21 | 4651 | 218 | 314 | 1139 | 1691 | 741 | 4418 | 5007 |
| DMU22 | 1116 | 79 | 106 | 5505 | 601 | 644 | 1737 | 855 |
| DMU23 | 943 | 109 | 147 | 5385 | 646 | 910 | 2296 | 998 |
| DMU24 | 917 | 125 | 163 | 5186 | 639 | 707 | 2250 | 1088 |
| DMU25 | 937 | 146 | 192 | 4279 | 1918 | 837 | 1958 | 927 |
| DMU26 | 1123 | 159 | 210 | 3074 | 1985 | 320 | 2041 | 965 |
| DMU27 | 997 | 158 | 208 | 2665 | 1797 | 183 | 1872 | 1020 |
| DMU28 | 1357 | 164 | 222 | 2647 | 1911 | 279 | 1984 | 1240 |
| DMU29 | 803 | 69 | 88 | 1161 | 209 | 122 | 745 | 549 |
| DMU30 | 1055 | 96 | 123 | 1146 | 211 | 76 | 1050 | 757 |
| DMU31 | 1072 | 101 | 127 | 1072 | 211 | 72 | 1150 | 1107 |
| DMU32 | 1138 | 111 | 142 | 746 | 834 | 80 | 1110 | 1128 |
| DMU33 | 1555 | 126 | 164 | 1185 | 959 | 164 | 1305 | 1462 |
| DMU34 | 1852 | 149 | 188 | 1078 | 900 | 184 | 1020 | 1779 |
| DMU35 | 1555 | 149 | 196 | 1195 | 662 | 181 | 980 | 1419 |

〈Table 4〉 Results of DEA analysis

| DMU | CRS | VRS | RTS | Criteria of DMU | No of refer |
|----------------|---------------|--------------|-----|-----------------|-------------|
| DMU1 | 0.9758 | 1 | IRS | 1 | 1 |
| DMU2 | 1 | 1 | CRS | 2 | 4 |
| DMU3 | 1 | 1 | CRS | 3 | 2 |
| DMU4 | 1 | 1 | CRS | 4 | 0 |
| DMU5 | 1 | 1 | CRS | 5 | 3 |
| DMU6 | 1 | 1 | CRS | 6 | 0 |
| DMU7 | 1 | 1 | CRS | 7 | 0 |
| DMU8 | 0.7365 | 1 | IRS | 8 | 1 |
| DMU9 | 1 | 1 | CRS | 9 | 3 |
| DMU10 | 1 | 1 | CRS | 10 | 2 |
| DMU11 | 0.9334 | 1 | IRS | 11 | 0 |
| DMU12 | 1 | 1 | CRS | 12 | 0 |
| DMU13 | 0.9715 | 1 | IRS | 13 | 0 |
| DMU14 | 1 | 1 | CRS | 14 | 2 |
| DMU15 | 1 | 1 | CRS | 15 | 4 |
| DMU16 | 1 | 1 | CRS | 16 | 0 |
| DMU17 | 1 | 1 | CRS | 17 | 3 |
| DMU18 | 1 | 1 | CRS | 18 | 0 |
| DMU19 | 1 | 1 | CRS | 19 | 0 |
| DMU20 | 0.9998 | 1 | DRS | 20 | 0 |
| DMU21 | 1 | 1 | CRS | 21 | 3 |
| DMU22 | 0.7454 | 0.9319 | IRS | 1, 8 | 0 |
| DMU23 | 0.9164 | 0.971 | IRS | 2,9,15 | 0 |
| DMU24 | 0.9118 | 0.9745 | IRS | 2,9,15 | 0 |
| DMU25 | 0.4997 | 0.8387 | IRS | 2,15 | 0 |
| DMU26 | 0.6619 | 0.8476 | IRS | 3,10,15,27 | 2 |
| DMU27 | 0.8883 | 1 | IRS | 27 | 2 |
| DMU28 | 0.7229 | 0.7657 | IRS | 3,5,10,27 | 0 |
| DMU29 | 0.7839 | 1 | IRS | 29 | 0 |
| DMU30 | 1 | 1 | CRS | 30 | 0 |
| DMU31 | 1 | 1 | CRS | 31 | 3 |
| DMU32 | 1 | 1 | CRS | 32 | 0 |
| DMU33 | 0.8678 | 0.8863 | IRS | 2,9,17,21,31 | 0 |
| DMU34 | 0.9079 | 0.9102 | IRS | 5,14,17,21,31 | 0 |
| DMU35 | 0.7794 | 0.7855 | IRS | 5,14,17,21,31 | 0 |
| Average | 0.9229 | 0.968 | | | |

〈Table 5〉 Distribution of in-efficiency regarding output factors

| DMU | Cost | | | NOx | CO2 | water |
|----------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| | Marketing | labour | general expense | | | |
| DMU1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU9 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU22 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.63 | 0.10 | 0.53 |
| DMU23 | 0.03 | 0.07 | 0.05 | 0.59 | 0.03 | 0.57 |
| DMU24 | 0.03 | 0.19 | 0.14 | 0.57 | 0.03 | 0.44 |
| DMU25 | 0.16 | 0.31 | 0.28 | 0.48 | 0.70 | 0.52 |
| DMU26 | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 0.19 | 0.37 | 0.15 |
| DMU27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU28 | 0.23 | 0.32 | 0.34 | 0.36 | 0.35 | 0.23 |
| DMU29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DMU33 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.64 | 0.11 |
| DMU34 | 0.09 | 0.15 | 0.09 | 0.19 | 0.09 | 0.09 |
| DMU35 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.52 | 0.21A |
| AVERAGE | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.10 | 0.08 | 0.08 |

5. 결론 및 연구의 한계

5.1 결과 및 시사점

본 연구는 독점적 지위로 운영되는 발전회사의 환경 효율성을 DEA분석을 통하여 분석하여 미래의 녹색경영, 지속경영에 대한 기관 효율성향상에 기여하고자 하는 목적을 가지고 진행되었다. 본 연구를 위해, 기관을 직접 방문하여 담당 전문가로부터 DMU의 환경 및 경영효율성을 위한 인터뷰 자료도 사용되었다. 특히 계량분석인 DEA분석에, 투입요소로는 경영효율성에서는 비용과 중업원수를 환경효율성에는 CO₂, NO_x, 용수량 등이 사용되었다.

산출요소로는 연간 총발전량, 판매수익이 사용되었다. 분석에는 규모수익불변 투입지향의 DEA모형과 규모수직 가변모형을 이용하였다. 실증결과에 따르면 환경효율성 분석결과에 의하면 CCR 모형에서 0.923, BCC 모형에서 0.968로 나타났다. CCR 모형에서 19개, BCC 모형에서 26개의 DMU가 효율성 1로 나타나 전체 35개 DMU의 74%를 차지하고 있다. 효율성 1인 DMU가 전체 평가대상 DMU의 25%를 초과할 경우 본 분석력의 판별력은 떨어진다는 주장도 있다(김태일, 2000). 효율성이 높아 타 DMU의 참조가 되는 DMU는 모두 13개로 나타났다. 이 중 DMU02와 DMU 15가 각각 4번의 참조횟수를 기록하여 최고 수치를 보여주고 있다. DMU별 비효율적인 투입요소의 평균을 살펴보면, 전체적으로 NO_x(0.01)의 비효율성이 가장 높았으며, CO₂(0.08), 용수사용(0.08)의 순으로 나타났다. 투입비용 보다는 자원의 사용에 더욱 높은 비효율성이 확인되었다.

전력산업은 다른 부분의 산업과는 매우 다른 특성을 가지고 있다. 상술한바와 같이 전력생산과 판매를 위하여 발전설비, 송전망과 배전설립 등 설비투자가 많고, 자연독점이 형성되어 독점적 지위로 인해서 경쟁사업 이라기보다는 규제산업이라 볼 수 있다. 또한 송전망과 배전망의 전력 계통을 이용하여 소비자인 전력의 수용가에 전력을 공급한다. 이는 고정비용이 많이 소요되는 사업이다. 또한 전력산업은 발전과 동시에 소비를 하여야 하는 전력의 비 저장성 특성 때문에 전력을 수용가가 원할 때 제공하기 위해서는 설비를 미리 준비해야 하는 장기적인 설비투자의 중요성이 요구되고 있다. 이러한 전력은 공공재라는 인식 때문에 많은 나라에서 공기업의 형태로 운영되어 왔다. 우리나라의 역시 예외는 아니어서

효율화를 위한 고민을 진행 중이다. 이런 시점에 전력생산에 따른 대기, 환경에 관한 영향력 분석은 매우 중요한 의의를 가진다.

인터뷰와 방문결과 면담결과, 효율성을 보이고 있는 연구 대상 발전회사는 축적된 경험을 여타 사업자에 전파해 5개 화력발전회사 중 최초로 모든 사업소에 환경경영체제 구축을 완료했다. 한편 에너지 절감이나 오염물질 배출을 최소화하기 위한 활동 등에 대해 환경목표를 설정해 환경관리책임자의 지도하에 환경경영활동을 실천하고 있다.

아울러 국제환경표준규격에 적합한 시스템을 구축하고, 환경영향평가를 주기적으로 시행, 환경오염 사전예방에 최선을 다하고 있으며, 환경오염을 최소화 하도록 법규 규제치 준수는 물론 지역실정에 맞는 발전회사별 자체 관리기준을 설정, 운영하고 있다. 또한 환경설비의 효율적 운영과 에너지 절감을 위해 지속적인 성능개선과 신기술을 적용해 국내환경기술개발에 앞장서고 있으며, 폐기물 발생을 최소화하고, 자원의 효율적 이용을 위해 감량화, 재이용, 재활용을 적극 추진하고 있다. 대상 발전회사는 화력발전회사에서 배출되는 대기오염 물질로는 황산화물, 질소산화물, 먼지 등에 대해 법적 규제치보다 엄격한 자체기준을 설정하고 이를 관리하기 위해 탈황·탈질·집진설비 등 최첨단 대기오염 방지시설을 설치운영하고 있다.

5.2 연구의 한계와 향후 방향

우선 DEA가 가진 방법론적 한계이다. 평가 대상간의 상대적 효율성 평가방법이어서 절대적 효율성 수준을 나타내지 못한다는 것이다. 환경과 경영효율성평가를 동시에 평가한다는 투입요소의 선정은 효율성 측정의 내재적 특성상 투입요소와 산출요소의 선택에 의해 그 결과가 다를 수 있다는 점이다. 이 때문에 연구결과를 일반화하여 상대적으로 평가결과를 단정적으로 제시하기에는 무리가 있다는 점이다. 또한 비효율성의 발생 원인의 직접 규명이 역시 수월하지 못하다는 연구방법론의 한계를 지적하고 싶다. 이를 위해 기관을 직접 방문한 결과를 보완하였지만, 기관별 차이점이라 보기에는 다소 어려움이 있다.

또한 본 연구에서 사용한 투입요소는 각 기관에서 매우 중요하게 여기고 있는 것이라 분석결과만 활용하는 제안이 있었다. 본 연구와 관련한 향후 연구방향을 제시

하면 투입요소와 산출요소를 다양하게 확장하여 자료의 공개를 통하여 분석의 효율성을 추구해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] S. C. Ko., and J. Y. Kim, An Operating Efficiency Evaluation Regarding the Use of DEA in Korea's Electric Power Generation Industry, Journal of the military operations research society of korea, Vol. 15, No. 2, pp. 127-147, 2000.
- [2] M. H. Kwon., and C. W. Baek, Ideal and realism of R&D policy : The comparison study of R&D efficiency factor among countries, The korean Association for Policy, conference, pp. 359-390, 2008.
- [3] B. H. Lee and H. H. Ahn, Electricity industry restructuring Revisited: the Case of Korea, Enrgry Policy, vol. 34, No. 3, pp. 1115-1126, 2006.
- [4] H. S. Kim, A study on measuring eco-efficiency in the electric power industry : with a case of KEPCO, MA, KAIST, 1999.
- [5] Y. J. Kim, The opening of 21c Electrical industry, Korea power exchange. 2002.
- [6] S. H. Kim., D. S. Choi., and D. W. Lee, Efficiency Analysis, Seoul economy and management Research, pp. 44-52, 2007.
- [7] T. W. Kim., and S. H. Choi, The study of analysis of power plants using DEA, Environmental and resource economics review, Vol. 8, No. 2, pp. 349-371, 2000.
- [8] Y. K. Kim, CO2 emission structure analysis with environmental input-output Table2000, Environmental and resource economics review, Vol. 15, No. 3, pp. 400-420, 2006.
- [9] M. H. Park, The analysis of efficiency and productivity. Korea Academy Information, pp. 52-65, 2008.
- [10] Y. S. Jun, The welfare loss in Korea Electric industrial before and after industrial restructuring, Regulation studies, Vol. 14, No. 2, pp. 67-102, 2005.
- [11] H. S. Shim., and S. Y. Ano, Analysis of Operational Efficiency and Environmental Efficiency in Korean Fossil Fueled Power plant Using DEA , The Korea society for engery engineering conference, 2009.
- [12] S. B. Choi., and I. K. choi, The role of power market for the reform of Korean electricity industry. The regulation studies, Vol. 11, No. 2, pp. 11-92, 2002.
- [13] H. J. Lee, Non-parametric data envelopment analysis of efficiency and productivity : an application to electric industry, MA, Seoul National University, 1998.
- [14] Y. S. Lee, The Study on change of structure and efficiency influenced by environment change of electricity, Paper. korea energy economics Institute, 2006.
- [15] The statistics of electric power, KECO, 2008.
- [16] Al Adler, N., AL. Friedman, and Z. Sinuany-Stern, Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. European Journal of Operational Research, Vol. 140, No. 2, pp. 249 -265, 2002.
- [17] Byoung-hoon Lee and Hyeon-Hyo Ahn, " Electricity industry restructuring revisited: the case of kore Energy policy, Vol. 34, No. 2, pp. 1115 -1126, 2006.
- [18] Charnes, A., W. Cooper and E.L. Rhodes, Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444, 1978.
- [19] Charnes, A., W. Cooper and E.L. Rhodes, Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through, Management Science, Vol. 27, No. 6, pp. 668-697, 1981.
- [20] Charnes A, Cooper, and Rhodes. Measuring the efficiency of decision Making units, European Journal of Operational Research, Vol. 2, pp. 429-444, 1978.
- [21] Cooper, willian W., H. Deng, Zhimin Huang, and Susan X. Li " Chance Constrained Programming Approaches to Technical efficiencies and inefficiencies in Stochastic Data Envelopment Analysis, Journal of the Operatinal Reseach Society, Vol. 53, No. 2, pp. 1347-1356, 2002.
- [22] Farrel, M.J., The Measurement of Productive

- Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, 1994.
- [23] Kankana., and Mukherjee, Energy use efficiency in U.S manufacturing : A nonparametric analysis, Energy Economics, Vol. 30, No. 1, pp. 76-96, 2008.
- [24] Knittel, R. christopher, "Alternative regulatory Methjods and firms efficiency: Stochastic Frontier Evidence from the U.S Electricity Industry, Review of Economics and statistics, Vol. 84, No. 3, pp. 530-540, 2002.
- [25] P. Zhou, B.W. Ang, K.L Poh, A survey of data Envelopment analysis in energy and environmental studies, European Journal of Operational Research, Vol. 189, No. 1, pp. 1-18, 2008.
- [26] Wang, E. & W. Huang, *Relative Efficiency of R&D Activities: A Cross-country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach*, Reserch Policy, 2007.
- [27] Yi -Ming wei, Hua Liao. Ying Fan, An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector, Energy, Vol. 32, No. 12, pp. 2262-2270, 2007.

한 정 희(Han Jung Hee)



- 1986년 2월 : 충남대학교 (학사)
- 2002년 2월 : 연세대학교 (석사)
- 2008년 2월 : 서울대학교 (박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 기술경영(MOT) 과정 전담교수로 활동 중.
- 관심분야 : 기술사업화, 기술창업, 기술정책

· E-Mail : hjh0037@chonnam.ac.kr