

전력 생산 에너지 비중 구조에 따른 주요 국가별 효율성 비교¹

박 응 석² · 김 대 철³

논문초록

본 연구에서는 OECD 국가와 비 OECD 국가의 전력 생산 효율성을 살펴보았다. 전력 생산 효율성을 분석하기 위해 연구방법으로는 DEA와 Post-DEA를 활용하였다. 이러한 연구방법을 토대로 각 국가의 전력생산 효율성과 단계적 벤치마킹 대상을 파악하고, 각 국가의 전력 생산을 위한 개별 에너지원의 비중이 효율성과 연관성 있는 패턴을 보이는지 살펴보았다. 이러한 결과를 바탕으로 본 논문은 효율성 관점에서의 전력 생산 에너지원의 비중에 대해서 정책적인 제언을 하였다.

DEA 분석 중 CCR 모델에서 가장 효율성이 높은 국가는 전체 19개 국가 중 5개 국가였으며 전체 평균 효율성은 0.883이었다. 한편, BCC 모델에서 가장 효율성이 높은 국가는 12개 국가였으며 전체 평균 효율성은 0.951이었다.

Post-DEA인 Tier 분석을 실시하여 단계적 벤치마킹의 대상을 파악하였다. 전체 3그룹 중 Tier 1에는 한국을 포함한 5개 국가가 선정되었으며 Tier 2에는 7개 국가, Tier 3에는 4개 국가가 선정되었다. 이러한 결과로 상대적으로 더 높은 국가별 전력 효율성을 벤치마킹하는 경로 정보를 얻을 수 있었다.

또한, 효율적인 국가들의 에너지 비중을 파악하였다. 전력 효율성은 각 국가가 보유하고 있는 부존자원의 유무에 따라 차이가 생긴다는 특징을 발견할 수 있었다. 대부분의 효율적인 국가는 충분한 부존자원인 화석에너지를 사용하고 있었다. 충분한 부존자원이 없는 국가들은 전력 효율성 차원에서 원자력에너지를 사용하였다. 한국은 부존자원이 없지만 가장 효율적으로 전력을 생산하는 국가이기 때문에 한국은 원자력에너지를 사용하는 정책을 유지하는 것이 효과적일 수 있다.

주제어 : OECD 에너지 효율성, 전력 효율성, DEA(Data Envelopment Analysis), Tier 분석, 원자력에너지, 신재생에너지

1 이 논문은 한양대학교 교내연구지원사업으로 연구되었음(HY-2015년도)

2 한양대학교 경영학과 박사과정. 04763 서울특별시 성동구 왕십리로 222 tel: 02-2220-1043, e-mail: spy0070@hanyang.ac.kr (주저자)

3 한양대학교 경영대학 경영학부 교수. 04763 서울특별시 성동구 왕십리로 222 tel: 02-2220-1043, e-mail: dckim@hanyang.ac.kr (교신저자)

I. 서론

가정용, 산업용 전력 사용량을 합친 우리나라의 전체 전력 사용량은 2015년 현재 1인당 약 9,628 KWh로 OECD 평균 7,407 KWh를 크게 웃돌고 있다.(에너지경제연구원, 2015) 우리나라에서 생산되는 전력의 에너지원은 대부분 수입에 의존하고 있으며 이에 따라 발전 비용도 수입원국의 가격 정책에 따라 종속될 수밖에 없다. 이러한 구조 하에서 가능한 한 효율적으로 전력을 생산하는 것이 전력 생산 정책을 입안하는 실무자에게는 큰 이슈 중의 하나가 되고 있다.

또한, 점차 전 세계적으로 화석에너지원은 고갈되고 있기 때문에 향후 화석에너지원을 이용한 전력 생산 비용은 지속적인 증가가 예상되므로 적은 연료량 투입으로 많은 에너지를 생산하는 합리적인 전력 생산은 우리나라가 직면한 과제 뿐 아니라 전 세계적으로 공통적으로 갖고 있는 숙제이다. 이에 따라 에너지 자원을 보유한 국가들은 저마다 공동 협의체를 구성하여 가격이나 공급에 대해 과점, 또는 독점적인 위치를 고수하려 노력하고 있다. 이러한 움직임에 대해 우리나라를 비롯한 세계 주요 국가들은 기존 화석 연료로 전력을 생산하던 정책에서 친환경적인 신재생에너지를 개발하여 전력을 생산하는데 많은 R&D 및 설비투자로 점차 화석에너지를 배제한 새로운 에너지원 개발을 추진하고 있다.

이와 같은 이유로 최근까지 원자력에너지는 전력 생산 문제를 타결할 수 있는 대안으로 받아들여졌다. 그러나 원자력에너지의 안전성 및 사후관리문제로 인해 그것의 실효성에 대한 검토가 최근 활발히 일어나고 있다. 2011년 동일본대지진으로 인한 후쿠시마 원전 사고 이후 각 국가에서는 전력 생산에 필요한 전체 전력 에너지 대비 원자력에너지에 대한 비중을 줄이는 것을 검토하고 있으며 대체에너지로서 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 과연 이러한 움직임이 에너지원 구성비율과 전력 생산의 효율적인 면에서 시사하는 바가 무엇인지 파악할 필요가 있다. 즉, 각 국가별 전력 생산 에너지원의 비중에 따른 전력 생산 효율성을 살펴보고 효율적으로 전력을 생산하는 국가들의 에너지 구성의 특징을 파악하여 원자력에너지 위주인 우리나라의 에너지별 비중에 관한 정책 수립 방안에 대한 제시가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; DEA)을 활용

하여 각 국가에서 추진하고 있는 전력 생산에 대한 효율성 및 각 국가별 계층화 분석으로 단계적 벤치마킹 수준을 측정하고자 한다. 또한, DEA 분석을 통해 도출된 효율성 측정치와 화석에너지 및 원자력에너지, 신재생에너지 등 전력 생산에 투입되는 에너지 비중과의 상호 연관성 등을 살펴보고자 한다. 즉, 전력 생산에 있어서의 효율성이 높은 국가들의 전력 생산 에너지원의 비중을 분석하여, 이들이 가진 특징을 파악함으로써 화석에너지 및 원자력에너지 비중이 높은 우리나라의 향후 에너지 정책, 특히 원자력에너지 및 신재생에너지 비중에 대한 방향성을 제시하고자 한다.

II. 기존 연구

에너지 관련 효율성을 측정한 대부분의 기존 논문들은 DEA나 SFA(Stochastic Frontier Analysis) 분석을 활용하여 에너지 자원의 투입에 따른 효율성을 추정하거나, 현재 추진하고 있는 에너지 정책 검증 및 제언 등 다양한 방면으로 연구되어지고 있다.

Chien and Hu(2007)은 OECD 국가와 non-OECD 국가로 이루어진 45개국을 대상으로 신재생에너지의 기술적 효율성을 DEA를 통해 분석하였다. 분석을 위한 투입요소로는 노동인구, 자본, 에너지소비량을 선정하였으며, 산출요소로는 GDP를 이용하여 연구하였다. 각각의 투입요소는 산출요소인 GDP와 높은 상관관계를 이루고 있으며 GDP가 높은 국가는 신재생에너지의 R&D 투자비가 절대적 수치로 더 높기 때문에 신재생에너지의 기술적 효율성도 영향을 받는 것으로 판단하였다. 연구 결과, 신재생에너지의 비중이 높아질수록 그에 따른 기술적 효율성도 증가하는 것으로 나타난 반면, 화석에너지의 비중이 높아지면 신재생에너지에 대한 기술적 효율성은 감소하는 것으로 측정하였다. 또한, OECD 국가가 non-OECD 국가보다 기술적 효율성은 높지만 non-OECD 국가의 신재생에너지 사용 비중이 더 높은 것으로 파악되었다.

Mukherjee(2008)는 1998년부터 2004년까지 설문조사로 축적된 자료를 바탕으로 DEA분석을 통해 인도의 제조업 부문에 대한 지역별 에너지 효율성을 비교하였다. 투입요소로는 노동인구, 자본, 연료소모량, 원자재 비용, 산출변수로는 생산 제품의 총 가격으로 선정하였다. 연구 결과, 제조업 부문에 대해 인도 정부가 부과하고 있는 지역별 전력 가격 차등 정책은 에너지 효율성을 높이는데 큰 영향력이 없는 것으로 분석하였

다. 또한, 에너지 집약적 산업을 이루고 있는 지역 대부분은 낮은 에너지 효율성을 보였으며 높은 기술 수준의 노동력을 통해 높은 에너지 효율성을 가져올 수 있지만 인도 정부에서 추진하고 있는 전력 분야의 개혁은 아직 에너지 효율성을 증가시키는데 영향력이 없다고 기술하였다.

Filippini and Hunt(2009)는 29개 국가를 대상으로 1978년부터 2006년까지 패널 조사한 결과를 토대로 SFA분석을 실시하여 에너지 효율성을 도출하고 각 국가의 에너지 집약도를 비교하여 에너지 집약도 분석이 과연 적절한 효율성 분석 방법인지 알아보았다. 연구 결과, 에너지 효율성을 측정하는 방법으로서 널리 사용되는 에너지 집약도 분석은 SFA분석을 통해 도출된 에너지 효율성과 맞지 않아 정책 결정에 대해 잠재적 오해를 불러일으킬 수 있다는 결론을 내렸다. 많은 국가들이 에너지 집약도를 분석하여 에너지 효율성 증가를 위한 참고 지표로서 활용하고 있지만 이와 같은 분석이 항상 일치하는 것이 아니기 때문에 정책결정자들은 이러한 점을 감안하여 정책 결정을 수행해야 한다고 분석했다.

국내 에너지 효율성에 대한 논문은 OECD 국가별 연구개발 및 교통수단의 에너지 효율성, 전력산업의 생산성 변화 등 에너지 관련 이슈의 다양한 분야에 대한 연구가 시도되고 있다.

고민수와 이덕주(2001)는 OECD 26개국의 계량적 자료를 이용하여 DEA를 통해 국가별 규모의 차이에 따라 각국의 연구개발 효율성이 차이가 있는지 분석하였다. 분석 결과, 국가별 규모의 차이를 고려하지 않은 자료로 분석하는 경우와 규모의 차이를 고려한 자료를 사용해서 분석하는 경우의 결과가 매우 상이하게 도출된다고 추정하였다. 일반적으로 과학기술의 수준이나 경제 수준이 높은 국가로 인식되는 국가들을 대상으로 연구했을 때, 국가별 규모의 차이를 고려하지 않으면 연구개발 효율성이 매우 낮은 것으로 산출되는데 반해 규모의 차이를 고려하게 되면 높은 수준의 연구개발 효율성을 보이는 것으로 나타났다.

한상용과 서영욱(2010)은 투입요소와 산출요소로서 각각 교통수단별 에너지 소비량 및 수송실적 자료를 바탕으로 DEA분석 방법 중 하나인 맘퀴스트 분석법(Malmquist Approach)을 사용하여 OECD 국가의 교통부문 간 에너지 효율성을 평가하였다. 연구 결과, OECD 국가 내 우리나라의 교통부문 효율성에 대한 순위를 도출하였으며 OECD 국가의 평균 에너지 효율성을 달성하기 위해 교통수단별 에너지 소비량을 절감해야 하는 것으로 분석했다.

이유수와 박창수(2007)는 OECD 10개국의 전력회사 자료를 바탕으로 DEA 분석 방법을 통해 우리나라 전력산업의 생산성 변화를 추정하였다. 연구 결과, 1995년 이후 지속적으로 효율성이 개선되어 2000년부터는 분석 대상 국가들에 비해 상대적으로 효율적인 수준에 도달하였다고 추정하였다. 우리나라의 전력산업에 대한 생산성 성과는 주로 기술진보의 개선보다는 효율성 개선에 의해서 이루어지고 있다고 분석했다. 이러한 생산성 수준이 개선되어 경영이나 운영 면에서 효율적으로 이루어지고 있지만 정책적인 의사결정의 변경, 전력시장 구조의 변화형태 등에 따라 비효율성이 발생할 수 있는 여지가 있기에 우리나라는 지속적인 생산성 개선에 대한 노력을 해야 한다고 기술하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 DEA분석을 활용한 에너지 효율성에 대한 다양한 연구가 수행되고 있지만 에너지원에 따른 전력 생산 효율성에 대한 국가 간의 비교 특성을 연구한 자료는 거의 찾아볼 수 없다. 본 연구에서는 세계 주요 국가들의 전력 생산 효율성을 서로 비교하고 우리나라의 현재 전력 생산 효율성의 정도와 앞으로의 정책 방향에 대해 중요한 정보를 제공할 것으로 생각한다.

Ⅲ. 연구 방법론

민윤지(2015)에 따르면 에너지 효율성을 측정하는 방법에는 크게 단위 부가가치 생산에 필요한 에너지 투입량을 측정하여 에너지의 효율성을 측정하는 에너지 집약도(Energy Intensity), 모수적·확률적 다변량 분석방법인 확률변경분석(Stochastic Frontier Analysis; SFA), 비모수적 다변량 분석방법인 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; DEA)이 있다. 각 연구 방법은 각각 결과 도출 방식에 차이점이 있다. 에너지 집약도는 산출물에 대한 에너지 사용량을 측정하는 방식으로 하나의 변수만을 고려하여 비교적 간단한 방법으로 효율성을 측정할 수 있는 모형이지만, 다양한 투입변수를 고려했을 때 변수들 간 동일한 단위를 적용하기 어렵다. 또한, SFA는 특정 생산함수형태를 가정하여 효율성을 추정하는 방법이지만 모수적 통계 방법으로 효율성을 측정하기 위해 사전에 함수형태로 모수를 추정하여 분석해야 하는 전제조건이 선행되어야 한다. 이에 반해 DEA는 생산 활동을 하는 경제주체가 가진 효율성 중에서 최고치와 비교하여 상대적인 효율성을 수치로 표현하여 상대적인 경쟁력을 가늠

해볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 상대효율성의 개념을 활용한 비모수적인 분석방법인 DEA를 기반으로 에너지 효율성을 측정하고 Post-DEA로 각 국가별 장/단기 전력 생산 계획 수립을 위한 각 국가 별 벤치마킹 대상을 파악하기 위한 Tier 분석을 실시하였다. 또한, DEA 분석을 통해 도출된 효율성 측정치와 화석에너지 및 원자력에너지, 신재생에너지 등 전력 생산에 투입되는 에너지 비중과의 상호 연관성 등을 살펴보았다.

3.1 자료포락분석 (DEA)

Farrell(1957)은 비모수적 효율성 측정개념을 도입하여 효율성의 정의를 투입 요소 대비 산출 요소의 비율로 정의하고 효율성은 생산조직이 효율적인 집합에서 떨어져 있는 거리로 측정할 수 있다고 설명하였다. 이후 Farrell의 연구 방법을 발전시킨 사람은 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)이다. 이들의 이름 첫 글자로 명명한 CCR 모델은 DEA의 근간이 되었으며 이들의 모형은 규모의 수익불변(Constant return to Scale; CRS)환경에서 적용하기 때문에 CRS 모형이라고 한다. <식1>은 m개의 투입변수, s개의 산출변수, n개의 DMU가 주어져 있을 때 DMU o에 대한 투입기준 CCR 모형을 나타낸다.

<식 1> 투입기준 CCR 모형

$$\min \theta_o - \epsilon \left\{ \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right\}$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_o x_{io}, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s$$

$$s_i^-, s_r^+, \lambda_j \geq 0 \quad \forall i, r, j$$

x_{ij} : DMUj에 대한 투입요소 i 의 양

y_{rj} : DMUj에 대한 산출요소 r 의 양

θ : 상대적 효율성의 정도

s : slack 또는 surplus

$\theta_o^* = 1, s_i^- = 0, s_r^+ = 0$: DMUo 가 상대적으로 효율적인 상태에 있음을 나타냄

CCR모형은 규모의 수익이 최적의 상태라는 불변규모수익을 가정하여 투입요소의 증가에 따라 산출요소의 비례적 증가를 가져오는 모형이다. 아래 <식2>에서 나타내고 있는 BCC모형(Banker, Charnes & Cooper, 1984)은 규모가 최적으로 주어지지 않은 상황에서 규모의 비효율성을 측정할 수 있는 가변규모수익 모형이다.

<식 2> 투입기준 BCC 모형

$$\begin{aligned} \min \theta_o - \epsilon & \left\{ \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right\} \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta_o x_{io}, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ s_i^-, s_r^+, \lambda_j &\geq 0 \quad \forall i, r, j \end{aligned}$$

- x_{ij} : DMU_j에 대한 투입요소 i 의 양
- y_{rj} : DMU_j에 대한 산출요소 r 의 양
- θ : 상대적 효율성의 정도
- s : slack 또는 surplus

BCC 모형은 규모의 가변성(Variable return to Scale)으로 각 DMU의 순수 기술효율성을 측정할 수 있다. 즉, CCR모형이 규모면에서 최적인 상태에서 기술적 효율성을 나타내는 것이라면 BCC모형은 규모면에서 최적의 상태가 아니라도 기술적 효율성을 나타내는 것으로 각 DMU의 순수 기술적 효율성을 측정할 수 있다. 이로 인해 CCR 모형과 BCC 모형의 차이에서 규모에 따른 비효율성을 도출해낼 수 있다. 또한, BCC 모형의 특성상, 투입이 늘어날수록 CCR 모형의 환경보다 더 수익이 증가한다면 규모의 수익이 증가하는 ‘규모의 경제’상태인지, 아니면 반대의 경우인 규모의 수익이 감소하는 ‘규모의 비경제’상태인지 확인할 수 있다.

3.2 Post-DEA 분석 방법

DEA는 대표적 분석 방법인 CCR 모형과 BCC 모형으로 추정할 수 있는 규모의 효율성 및 비효율성 측정 외에 다른 목적을 지닌 다양한 응용문제에 적용할 수 있도록 DEA 모형의 확장에 대한 제시가 요구되어 왔다. 따라서 DEA 분석 방법 외에 추가로 모형을 변형시키거나 제약을 해제시키는 방법 등을 통해 다양한 분석 방법들이 제시되었는데 Tier 분석이 그 한 예이다.

Tier 분석은 여러 단계에 걸쳐 DMU들의 효율성을 크기별로 계층화하여 효율성이 낮은 집단이 벤치마킹 대상으로 삼을 수 있는 현실적인 집단을 규명하는 방법이다.(류영아, 2006)(주형준, 김대철, 2014) Tier분석은 첫 번째 단계에서 효율성이 1인 DMU들을 제외하고 나머지 비효율적인 DMU들의 효율성을 다시 도출한다. 두 번째 단계에서 효율성이 1인 DMU들을 다시 제외하고 나머지 비효율적인 DMU들의 효율성을 다시 도출하는 반복적인 작업을 실시한다. 이와 같은 작업을 통해 DMU의 단기, 중기, 장기적인 벤치마킹 대상을 파악하고 그에 따라 행동사항을 결정할 수 있다.

IV. 분석 방법

4.1 자료 구축 방법

본 연구는 OECD 국가 및 주요 non-OECD 국가와 우리나라의 전력 생산에 대한 효율성을 비교 분석하는 것이다. 이를 위해 OECD와 IEA(국제에너지기구), EIA(미국 에너지 정보청) 등에서 발간한 전력 관련 데이터를 참조하였으며<표1 참조> 이 중 조사에 필요한 데이터를 추출할 수 있었던 주요 OECD 국가 16개국 및 non-OECD 국가 3개국인 중국, 러시아, 브라질을 선정하였다. 데이터는 2010년 기준으로 설정하였는데 이는 제공된 가장 최신의 자료이기 때문이다.

<표 1> 2010년 주요 OECD 국가 및 non-OECD 국가의 전력 생산 자료 현황

DMU (2010)	발전설비용량 (GW)	에너지 총 공급량 (Mtoe)	발전비용 (USD/MWh)	전력생산량 (GWh)	비고
미국	1,039.06	2,215.50	592.66	4,378,422	
중국	987.94	2,516.70	394.83	4,208,023	non-OECD
일본	284.89	499.10	395.81	1,117,123	
독일	153.25	329.80	777.34	632,983	
러시아	228.12	702.30	272.93	1,038,030	non-OECD
브라질	113.60	265.90	315.73	515,745	non-OECD
프랑스	124.39	261.20	544.92	569,166	
이탈리아	106.19	170.20	307.94	302,604	
멕시코	62.23	178.90	158.65	271,050	
한국	85.64	250.00	188.44	499,508	
캐나다	136.89	251.00	584.34	602,824	
스웨덴	36.84	51.30	242.84	148,563	
네덜란드	26.58	83.40	1,095.26	118,140	
오스트리아	22.34	34.20	97.24	71,128	
스위스	19.93	26.20	602.22	67,815	
벨기에	18.32	60.90	520.67	95,120	
체코	18.08	44.00	1,274.76	85,910	
헝가리	8.88	25.70	163.30	37,371	
슬로바키아	7.85	17.80	247.66	27,858	

4.2 투입 및 산출요소 선정

본 연구에서는 가장 일반적으로 최종 전력 생산에 영향을 미치는 요소로 인식되고 있는 국가별 전력 설비량, 에너지 투입량, 발전 비용을 투입변수로 선정하였으며 그에 따른 산출변수는 총 전력 생산량으로 결정하였다. <표 2 참조>

<표 2> 투입 및 산출변수

구분	변수명	변수설명
투입변수	발전 총 설비량 -Total electricity capacity	각 발전 방식별 전력을 최대한으로 생산할 수 있는 양
	에너지 총 공급량 -Total primary energy supply	전력 생산을 위한 사용되는 투입 에너지원의 양
	에너지 총 발전 비용 -Total Levelized Cost of Energy	전력 생산에 들어가는 총 비용
산출변수	최종 전력 생산량 -Total electricity generation	투입변수를 통한 총 발전량

발전 총 설비량은 발전을 하는데 있어서 최대 발전할 수 있는 전력 용량을 의미한다. 기존 연구에서 발전설비용량은 최종 전력 생산량에 영향을 주는 변수로 인지되어 왔다(고승철, 2007). 설비용량은 전력 생산능력 확대를 위해 필수적으로 전제되어야 하는 조건이며, 설비용량이 충분하면 전력 생산량을 조절에 있어 효율적인 활용이 가능하다. 반대로 설비용량이 충분하지 않으면 전력을 생산하는데 충분치 않은 설비용량으로 인해 효율적인 전력 생산에 대한 제약조건이 될 수 있다.

다음은 1차 에너지 투입량을 의미하는 에너지 총 공급량이다. 1차 에너지는 석탄, 석유, 천연가스, 원자력, 수력, 조력, 풍력, 지열 등 임의로 가공하지 않은 천연자원인 상태에서 가공 또는 전형하여 다른 에너지의 생성을 위해 소비될 수 있는 가장 기본적인 에너지를 의미한다(한국에너지공단, 2015). 국제에너지기구에서 발간한 보고서(2014)에 따르면 에너지 효율 향상은 에너지 안보, 경제성장 및 환경보전 등을 위해 반드시 필요한 조건이라고 언급하고 있다. 따라서 국가별로 많은 에너지를 투입하는데 상대적으로 전력 발생량이 적다면 이는 비효율적인 면이 크기 때문에 투입변수로 선정하였다.

한편, 세 번째 변수는 에너지 총 발전 비용이다. 에너지 총 발전 비용은 국제에너지기구(IEA)에서 에너지원별 발전 비용을 산정할 때 통용되고 있는 전력균등화비용(LCOE; Levelized Cost of Energy)을 의미한다. 전력균등화비용은 각 에너지당 당 소모되는 총 비용을 생산되는 에너지 양으로 나눈 값이다. 소요되는 총 비용은 발전소 건설부터 전력을 생산하는데 필요한 에너지원의 투입 비용, 발전소 유지, 폐기물 처리,

발전소가 수명을 다하여 폐쇄하는 비용까지 포함한 모든 비용을 뜻한다. 전력균등화비용은 전력을 생산하는데 소요되는 에너지 비용으로서 투입 비용의 양에 따라 전력 생산 효율성에 영향을 줄 수 있는 요소이기 때문에 투입변수로 설정하였다. (김영경, 2012)

산출변수로는 최종 전력 생산량으로 선정하였다. 최종 전력 생산량은 앞에서 언급한 3가지 투입변수로 인해 생산에 직접적인 영향을 받는 변수이다. 따라서, 그 투입변수들을 통해 생산한 결과물로 산출변수의 의미가 있으며, 이를 통해 전체 효율성을 도출해 낼 수 있는 기준이 된다.

이러한 투입변수와 산출변수를 이용하여 DEA는 대상과 목적에 따라 투입모형과 산출모형으로 연구를 달리할 수 있다. 투입모형은 현재 산출 수준이 변하지 않는다고 가정한 후, 현재의 투입 수준을 비례적으로 감소시켜 효율의 정도를 높이는 방법이다. 반면, 산출모형은 현재 투입의 수준이 변하지 않는다고 가정한 후, 현재의 산출 수준을 비례적으로 증가시켜 효율의 정도를 높이는 방법이다.(이정동, 오동현, 2012) 전력 생산의 효율성에 대한 본 연구는 일정한 투입요소 하에서 각 국가별 전력 생산의 효율성을 측정하는 것이 목표이기 때문에 산출모형을 선택하였다.

V. 분석 결과

5.1 국가별 상대적 효율성

본 연구에서는 전 세계 주요 OECD 국가 및 non-OECD 등 총 19개 국가를 대상으로 전력 생산 효율성 분석을 위해 DEA 분석 방법을 사용하여 상대적 효율성을 측정하였다.

아래 결과<표 3>는 산출 기준의 CCR 모형과 BCC 모형을 활용하여 각 국가별 전력 생산 효율성을 도출한 결과이다. 세 번째 열의 값은 규모의 수익이 불변인 상태에서 측정하는 CCR 모형에 의한 결과 값이며 전체 기술효율성(Technical Efficiency; TE)을 의미한다. CCR 모형에서 효율적인 국가들로는 미국, 중국, 일본, 한국, 스웨덴 등 5개국으로 나타났다. 전체 효율성의 평균은 0.883으로 11.7% 가량 비효율이 존재하고 있다고 판단할 수 있다.

<표 3> 각 국가별 전력 생산 효율성 분석 결과

DMU	국가	TE (CRS)	PTE (VRS)	SE (TE/PTE)	비효율의 원인		규모의 수익	
					PTE	SE	$\sum_{i=1}^n \lambda_i$	RTS
1	미국	1.000	1.000	1.000			1.000	Constant
2	중국	1.000	1.000	1.000			1.000	Constant
3	일본	1.000	1.000	1.000			1.000	Constant
4	독일	0.838	0.886	0.946	•		2.980	Decreasing
5	러시아	0.918	0.957	0.959	•		1.307	Decreasing
6	브라질	0.906	0.907	0.999	•		1.401	Decreasing
7	프랑스	0.945	0.968	0.976	•		2.380	Decreasing
8	이탈리아	0.738	0.742	0.995	•		1.109	Decreasing
9	멕시코	0.754	0.789	0.956	•		0.754	Increasing
10	한국	1.000	1.000	1.000			1.000	Constant
11	캐나다	0.997	1.000	0.997		•	2.412	Decreasing
12	스웨덴	1.000	1.000	1.000			1.000	Constant
13	네덜란드	0.762	0.817	0.933	•		0.310	Increasing
14	오스트리아	0.806	1.000	0.806		•	0.380	Increasing
15	스위스	0.894	1.000	0.894		•	0.511	Increasing
16	벨기에	0.890	1.000	0.890		•	0.214	Increasing
17	체코	0.903	1.000	0.903		•	0.300	Increasing
18	헝가리	0.725	1.000	0.725		•	0.106	Increasing
19	슬로바키아	0.701	1.000	0.701		•	0.144	Increasing
	평균	0.883	0.951	0.930				
	표준편차	0.107	0.083	0.093	PTE 수 : 7		CRS 수 : 5	
	최대값	1.000	1.000	1.000	SE 수 : 7		DRS 수 : 6	
	최소값	0.701	0.742	0.701			IRS 수 : 8	

<표 3>의 네 번째 열은 BCC 모형의 결과 값을 나타내고 있으며, 순수 기술 효율성 (Pure Technical Efficiency; PTE)을 의미한다. BCC 모형에서는 CCR 모형에서 효율성을 나타낸 5개 국가 이외에도 캐나다, 오스트리아, 스위스, 벨기에, 체코, 헝가리, 슬로바키아 등 7개국이 추가되어 총 12개 국가가 효율적이라는 결과가 나왔다.

한편, 다섯 번째 열에는 규모의 효율성을 나타내는 SE값이 제시되어 있으며, PTE와

SE를 비교하게 되면 비효율의 원인을 도출할 수 있다. 즉, 그 원인이 기술적인 측면에서 오는 것인지, 규모의 비효율성에서 원인이 발생하는지 판단할 수 있는 근거가 된다. 가령 DMU4인 독일의 경우, 순수 기술 효율성인 PTE가 0.886인 반면 규모의 효율성인 SE는 0.946으로 PTE보다 큰 값이 도출되었다. 이는 비효율의 원인이 순수 기술 효율성에 있다는 의미로서 독일은 R&D를 통해 기술력의 증가를 위해 노력해야 한다는 의미이다. 반대로 DMU11인 캐나다는 PTE가 1인 반면 SE는 0.956으로 순수 기술 효율성보다 규모의 효율성이 더 작은 값으로 도출되었다. 이는 규모의 비효율로 인해 투입 변수인 설비량, 에너지 투입량, 또는 발전 비용 등의 규모를 적정 수준에 이르게 해야 한다는 의미이다.

또한, λ 값의 합계에 따라 불변규모수익 (CRS), 규모수익체증(IRS), 규모수익체감(DRS)을 파악할 수 있다. 불변규모수익(CRS)은 규모의 효율성이 최적인 상태를 의미하는 것으로 미국, 중국, 일본, 한국, 스웨덴 등 총 5개 국가가 해당한다. 이들 국가는 규모의 효율성이 최적이기 때문에 규모를 확대하거나 축소할 필요가 없다. 그러나, 규모가 증가할수록 수익이 줄어드는 상태를 의미하는 규모수익체감(DRS)은 독일, 러시아, 브라질 등 6개 국가이다. 이들 국가는 규모가 너무 크기 때문에 투입요소를 일정한 비율만큼 증가시킨다 하더라도 산출요소인 전력 생산량이 그 비율만큼 늘어나지 않는다. 따라서, 전체적인 전력 생산량을 효율성이 1이 될 때까지 줄여 수익이 효율적으로 증대되는 방향으로 전환해야 한다. 반대로, 규모수익체증(IRS)은 규모를 늘려야만 수익이 늘어나는 상태를 의미하기 때문에 멕시코, 네덜란드, 오스트리아 등 8개 국가는 전체적인 전력 생산량을 효율성이 1이 될 때까지 늘려야 한다.

5.2 비효율적 국가의 잠재적 개선 가능치

비효율적 생산 국가는 효율적인 전력 생산국을 벤치마킹 대상으로 삼아 투입량 또는 산출량을 조절함으로써 효율적인 전력 생산국이 될 수 있다. 이를 위해서는 어느 국가를 어느 정도 벤치마킹해야하는 선택의 문제가 있는데 이에 대해서는 λ 값을 참조해야 한다.<표 4 참조> λ 값은 효율적인 국가가 비효율적인 국가에 영향을 미치는 정도를 의미한다. 즉, λ 값이 높은 국가일수록 비교를 하고자 하는 국가와 가장 비슷한 국가라 판단할 수 있다.

<표 4> 각 DMU의 참조 집단

DMU	효율성	참고DMU(λ 값)	참조횟수
1 미국	1.000		2
2 중국	1.000		1
3 일본	1.000		2
4 독일	0.886	D1(0.040), D10(0.390), D11(0.569)	
5 러시아	0.957	D2(0.158), D10(0.842)	
6 브라질	0.907	D3(0.069), D10(0.638), D11(0.284), D12(0.008)	
7 프랑스	0.968	D1(0.005), D10(0.338), D11(0.656)	
8 이탈리아	0.742	D3(0.226), D11(0.090), D12(0.685)	
9 멕시코	0.789	D10(0.640), D14(0.314), D18(0.046)	
10 한국	1.000		6
11 캐나다	1.000		4
12 스웨덴	1.000		2
13 네덜란드	0.817	D10(0.134), D16(0.785), D18(0.081)	
14 오스트리아	1.000		1
15 스위스	1.000		
16 벨기에	1.000		1
17 체코	1.000		
18 헝가리	1.000		2
19 슬로바키아	1.000		

위의 λ 값을 통해 비효율적 국가가 효율적 국가로 되기 위한 투입 및 산출에 대한 실제 값과 목표치를 구할 수 있다. 가령 독일의 경우 미국, 한국, 캐나다가 참조집단이며 각각의 가중치는 λ 값인 0.040, 0.390, 0.569이다. 독일이 효율적인 전력 생산국이 되기 위해서는 투입 및 산출에 대해 목표치를 설정해야 한다. 목표치는 참조집단의 투입 및 산출 값에 가중치를 곱하여 합한 값이다. 이렇게 나온 값을 투영하여 잠재적 개선 가능치를 짐작할 수 있다. <표 5 참조>

<표 5> 비효율적 DMU의 투입 및 산출 요소의 잠재적 개선치

DMU	국가	효율성	투입 요소			산출 요소
			발전 총 설비량	에너지 총 공급량	에너지 총 발전비용	최종 전력 생산량
1	미국	1.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	중국	1.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	일본	1.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	독일	0.838	0.00%	0.00%	-13.13%	19.31%
5	러시아	0.918	0.00%	-11.91%	0.00%	8.90%
6	브라질	0.906	0.00%	0.00%	0.00%	10.38%
7	프랑스	0.945	0.00%	0.00%	0.00%	5.86%
8	이탈리아	0.738	-2.42%	0.00%	0.00%	35.43%
9	멕시코	0.754	0.00%	0.00%	-8.74%	32.70%
10	한국	1.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
11	캐나다	0.997	0.00%	0.00%	0.00%	0.31%
12	스웨덴	1.000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	네덜란드	0.762	0.00%	-6.96%	-94.66%	31.24%
14	오스트리아	0.806	-0.90%	0.00%	0.00%	24.07%
15	스위스	0.894	-5.57%	0.00%	-79.41%	11.88%
16	벨기에	0.890	0.00%	-12.18%	-92.26%	12.34%
17	체코	0.903	0.00%	0.00%	-94.90%	10.70%
18	헝가리	0.725	0.00%	0.00%	-87.63%	37.90%
19	슬로바키아	0.701	0.00%	0.00%	-87.08%	42.71%

위 <표 5> 결과 값에서 독일은 설비량과 에너지 공급량에 대해서 줄일 필요는 없지만, 전력 생산 비용을 현재 비용 대비 약 13.13% 줄여야 하며, 생산량을 현재 생산량 대비 19.31%로 증가시켜야 전력 생산에 있어 효율적인 국가가 될 수 있을 것이다.

5.3 Tier 분석에 따른 DMU의 효율성 계층화

Tier 분석은 각 국가들의 단계별 벤치마킹 프로세스를 파악할 수 있는 분석 방법이다. 즉, 전체 국가들을 대상으로 효율적인 국가와 비효율적인 국가를 구분하여 다시 비

효율적인 국가를 대상으로 구분하는 작업을 반복하는 것이다. Tier 분석은 이러한 작업을 통해 그들이 단계별로 어떠한 국가를 모방하여 전력 생산 정책을 펴 나가야할지에 대한 방향을 제시하는 방법이다.<표 6 참조>

<표 6> Tier 분석 결과

Tier 1	국가명	eff		Tier 2	국가명	eff
1	미국	1.000				
2	중국	1.000				
3	일본	1.000				
4	독일	0.838		4	독일	0.899
5	러시아	0.918		5	러시아	1.000
6	브라질	0.906		6	브라질	1.000
7	프랑스	0.944		7	프랑스	1.000
8	이탈리아	0.739		8	이탈리아	0.811
9	멕시코	0.754	→	9	멕시코	0.953
10	한국	1.000				
11	캐나다	0.997		11	캐나다	1.000
12	스웨덴	1.000				
13	네덜란드	0.762		13	네덜란드	0.871
14	오스트리아	0.806		14	오스트리아	0.864
15	스위스	0.894		15	스위스	1.000
16	벨기에	0.890		16	벨기에	1.000
17	체코	0.903		17	체코	1.000
18	헝가리	0.725		18	헝가리	0.852
19	슬로바키아	0.701		19	슬로바키아	0.761

※ 참조횟수
 · 중국(1회)
 · 일본(5회)
 · 한국(11회)
 · 스웨덴(11회)

※ 참조횟수
 · 러시아(3회)
 · 브라질(1회)
 · 프랑스(4회)
 · 캐나다(2회)
 · 스위스(1회)
 · 벨기에(5회)
 · 체코(2회)

Tier 1에서 미국, 중국, 일본, 한국, 스웨덴 등 5개국이 효율성이 가장 높은 국가로 나타났으며 Tier 2에서는 러시아, 브라질, 프랑스, 캐나다, 스위스, 벨기에, 체코 등 7개국의 효율성이 높게 나왔다. 반면, 독일, 이탈리아, 멕시코, 네덜란드, 오스트리아, 헝가리, 슬로바키아를 비롯한 7개국은 비효율적인 국가인 것으로 드러났다.

Tier분석은 동일한 절차가 남아있는 의사결정단위의 수가 투입요소와 산출요소 수의 합(1+3=4)의 3배(4x3=12)미만일 때까지 반복하기 때문에 본 연구에서는 Tier 2까지 분석하였다. (홍한국, 2000)

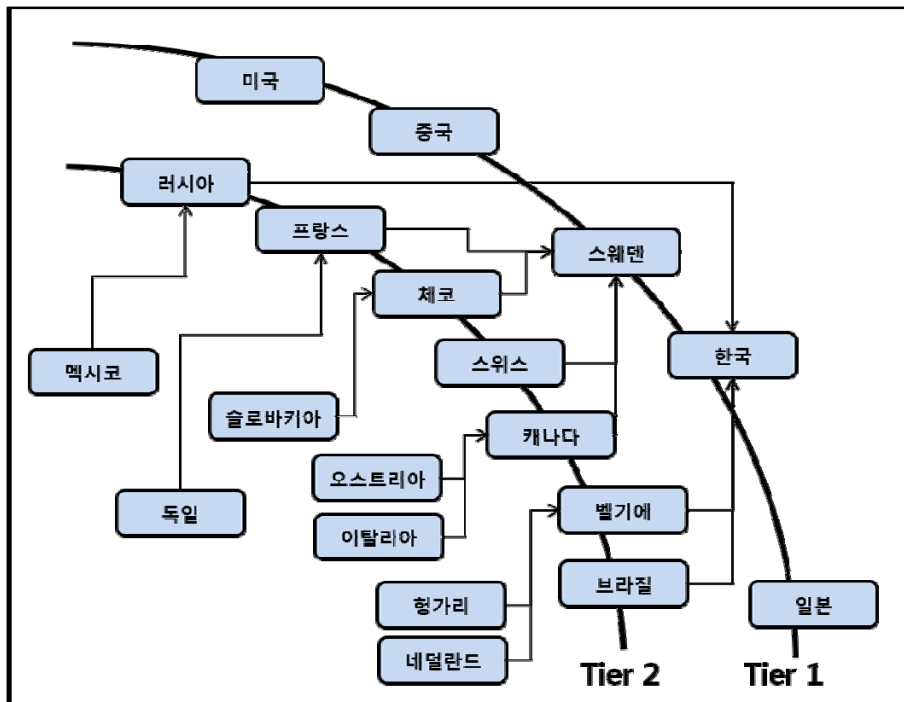
<표 7>에서는 효율성 차이가 큰 DMU와의 비교보다는 단계적으로 벤치마킹할 수 있는 참조집단을 제시하고 있다.

<표 7> 각 DMU별 참조집단

Tier	DMU	참고DMU(λ 값)	참조횟수	
2	4	독일	러시아(0.009), 프랑스(1.057), 벨기에(0.231)	
	5	러시아	3	
	6	브라질	1	
	7	프랑스	4	
	8	이탈리아	브라질(0.236), 캐나다(0.300),	
	9	멕시코	러시아(0.198), 프랑스(0.102)	
	11	캐나다	2	
	13	네덜란드	벨기에(0.999), 체코(0.269)	
	14	오스트리아	캐나다(0.115), 스위스(0.028),	
	15	스위스	1	
	16	벨기에	4	
	17	체코	2	
	18	헝가리	러시아(0.002), 프랑스(0.021), 벨기에(0.244)	
	19	슬로바키아	프랑스(0.027), 오스트리아(0.009), 체코(0.132)	
	1	1	미국	
		2	중국	1
		3	일본	4
		4	독일	한국(0.890), 스웨덴(2.090),
		5	러시아	중국(0.129), 한국(1.179),
6		브라질	일본(0.104), 한국(0.743), 스웨덴(0.555),	
7		프랑스	일본(0.018), 한국(0.659), 스웨덴(1.703),	
8		이탈리아	일본(0.253), 스웨덴(0.856),	
9		멕시코	한국(0.706), 스웨덴(0.049),	

10	한국		11
11	캐나다	일본(0.121), 한국(0.367), 스웨덴(1.924),	
12	스웨덴		11
13	네덜란드	한국(0.310),	
14	오스트리아	일본(0.033), 스웨덴(0.347),	
15	스위스	스웨덴(0.511)	
16	벨기에	한국(0.214),	
17	체코	한국(0.144), 스웨덴(0.156),	
18	헝가리	한국(0.102), 스웨덴(0.004)	
19	슬로바키아	한국(0.053), 스웨덴(0.091)	

예를 들어, 가장 효율성이 낮은 슬로바키아(0.701)는 단기적으로는 준거집단 중 가장 효율성이 높은 체코(0.132)를 벤치마킹하고 중·장기적인 관점에서는 스웨덴(0.156)을 차례로 벤치마킹해야 할 대상으로 삼을 수 있다. 이러한 비효율적 DMU의 단계적 벤치마킹의 대상에 대한 구조도는 아래의 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 비효율적 DMU의 단계적 벤치마킹 대상에 대한 구조도

5.4 성과 분석

DEA 분석을 통해 도출된 효율성 측정치와 화석에너지 및 원자력에너지 등 전력 생산 에너지와의 관계, 전력 생산을 위한 전체 신재생에너지 내 개별 에너지원의 비중 등 각 항목별 평균값을 기준으로 두 그룹(H, L)으로 분류한 결과가 <표 8>에 나타나 있다.

<표 8> 전력 생산 효율성 및 에너지 자원별 비중

DMU	국가	효 율 성	에너지원별 비중				신재생에너지 내 개별 에너지원별 비중						
			화 석 연 료	원 자 력	신 재 생	바 이 오	폐 기 물	수 력	지 열	태 양 전 지	태 양 열	풍 력	조 력
1	미국	H	H	L	L	L	L	L	H	L	H	H	L
2	중국	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
3	일본	H	H	H	L	L	L	L	L	H	L	L	L
4	독일	L	H	L	H	H	H	L	L	H	L	H	L
5	러시아	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
6	브라질	H	L	L	H	H	L	H	L	L	L	L	L
7	프랑스	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	H	H
8	이탈리아	L	H	L	H	L	H	L	H	H	L	H	L
9	멕시코	L	H	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L
10	한국	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L
11	캐나다	H	L	L	H	L	L	H	L	L	L	L	H
12	스웨덴	H	L	H	H	H	H	H	L	L	L	H	L
13	네덜란드	L	H	L	L	H	H	L	L	L	L	H	L
14	오스트리아	L	L	L	H	H	H	H	L	L	L	H	L
15	스위스	H	L	H	H	L	H	H	L	L	L	L	L
16	벨기에	H	L	H	L	H	H	L	L	H	L	L	L
17	체코	H	H	H	L	L	L	L	L	H	L	L	L
18	헝가리	L	L	H	L	H	L	L	L	L	L	H	L
19	슬로바키아	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L

<표 8>을 살펴보면, 효율성이 높은 국가 중 미국, 중국, 러시아 등 3개국은 전력 생

산에 있어 화석에너지에 대한 비중이 상대적으로 높았다. 이들 국가는 비교적 많은 부존자원을 보유한 국가로서 공급하기 수월한 자원을 바탕으로 전력을 효율적으로 생산하고 있다. 이와는 달리, 전력 생산 효율성이 높은 국가이면서 신재생에너지, 특히 수력에너지 비중이 높은 국가는 브라질, 캐나다, 스웨덴, 스위스 등 4개국이었다. 이들 국가들은 자신들이 보유한 풍부한 수량을 바탕으로 효율적인 전력 생산을 하였다. 효율성이 높은 나머지 국가들인 한국, 일본, 프랑스, 벨기에, 체코 등 5개국은 원자력의 비중이 높은 것으로 나타났으며, 이들 국가들의 부존자원은 풍부하지 않은 것이 특징이다. 독일, 이탈리아 등 전력 생산 효율성이 낮은 국가는 신재생에너지에 대한 의존도가 상대적으로 높았으며 원자력 비중이 낮았다. 또한, 이들 대부분은 부존자원이 빈곤한 국가들이다.

이상의 결과에서 효율성이 높은 국가들의 특징은 부존자원의 크기에 따라 크게 두 가지 그룹으로 구분된다. 화석에너지 및 수력에너지의 부존자원이 풍부한 국가들이 한 그룹이며 자신들의 자원을 충분히 활용하여 높은 효율을 나타내고 있다. 화석에너지 및 수력 등의 부존자원이 빈곤하면서 높은 효율성을 나타내는 다른 한 그룹은 대부분 신재생에너지보다는 원자력에너지의 비중이 높았다.

효율성이 낮은 국가들의 특징을 보면 화석에너지 및 수력에너지 등의 부존자원이 빈곤한 국가들이며 화석에너지의 비중이 낮고 원자력에너지보다는 신재생에너지에 대한 비중이 높게 나타났음을 알 수 있다. 화석에너지 및 수력에너지 등의 부존자원이 부족한 경우 원자력에너지의 비중이 높은 국가들이 신재생에너지의 비중이 높은 경우보다 전력 생산 효율성이 더 높음을 알 수 있다. 이와는 달리 화석 및 수력 등의 부존자원이 풍부한 국가들은 신재생에너지 및 원자력에너지보다 그들의 부존자원을 충실히 활용하여 높은 전력 생산 효율을 나타내고 있는 것으로 보인다.

VI. 연구 결론

본 연구는 DEA를 이용하여 각 국가별 전력 생산에 대해 상대적 효율성을 비교, 분석하였으며 Post-DEA를 이용하여 전력 생산에 있어서 비효율적인 국가들의 단계별 벤치마킹 대상을 제시하였다. 또한, DEA 분석을 통해 도출된 효율성 측정치와 전력 생산을 위한 화석에너지, 원자력에너지 및 신재생에너지 등 전력 생산 에너지와의 상

호 연관성에서 우리나라의 효율적인 전력 생산 면에서의 에너지 자원 비중에 관한 방향성을 살펴보았다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 산출 기준 CCR 모형과 BCC 모형을 이용하여 19개 국가의 전력 생산 효율성을 조사한 결과, 규모의 수익이 불변인 상태에서 측정하는 모형인 CCR 모형에서는 효율성이 1로 가장 효율적인 국가는 총 5개 국가(미국, 중국, 일본, 한국, 스웨덴)이며 나머지 14개 국가는 비효율적으로 나타났다. 비효율의 원인으로는 독일을 비롯한 7개 국가가 순수 기술 효율성에서 비효율의 원인이 도출되었으며 캐나다를 비롯한 7개 국가에서 규모의 비효율성이 도출되었다. 또한, 규모의 효율성이 최적인 상태인 규모수익불변(CRS)인 국가는 5개, 규모가 클수록 효율성이 적어지기 때문에 규모를 줄여야 하는 규모수익체감(DRS)인 국가는 6개, 반대로 규모가 작기 때문에 효율성을 높여야 하는 규모수익체증(IRS)인 국가는 8개 국가였다. 분석한 국가들의 평균 효율성은 0.883으로 비교적 높은 수준의 효율성을 보이고 있음을 알 수 있다.

둘째, 효율성이 상대적으로 낮은 국가들의 잠재적 개선 가능치를 BCC 모형을 도출하였다. 이 분석 결과에서 스위스를 비롯한 3개 국가는 전력 설비량을, 벨기에를 비롯한 3개 국가는 에너지 투입량을, 네덜란드를 비롯한 8개 국가는 발전 비용을 줄여야 하며 슬로바키아를 비롯한 14개 국가는 전력량을 늘려야 한다는 개선 가능치를 낼 수 있었다.

셋째, 각 국가별 벤치마킹의 계층화 작업을 위해 Tier 분석을 실시하였다. 그 결과, Tier 1에서는 미국, 중국, 일본, 한국, 스웨덴 등 5개국에 가장 효율적인 국가로 나타났으며, Tier 2에서는 러시아, 프랑스 등 7개국이 효율적인 국가로 나타났다. 이들 국가는 Tier의 단계에 따라 하위 Tier에 있는 국가들의 벤치마킹 대상이 되며 하위 Tier에 있는 국가들은 상위 Tier의 효율성 값에 따라 장/단기적 벤치마킹이 대상을 선정한다.

넷째, DEA 분석을 통해 도출된 효율성 측정치와 화석에너지 및 원자력에너지 등 전력 생산 에너지와의 관계, 전력 생산을 위한 전체 신재생에너지 내 개별 에너지원의 비중 등 효율성과 이러한 성과들 간에 연관성 있는 패턴을 보이는지 살펴보았다. 효율성이 높은 국가의 특징은 부존자원의 크기에 따라 자신의 자원을 충분히 활용하여 높은 효율성을 나타내었고, 부존자원이 빈곤한 국가들은 원자력에너지의 비중이 높았다. 효율성이 낮은 국가들의 특징은 대부분 부존자원이 빈곤한 국가들이었으며 원자력에너지

지보다는 신재생에너지에 대한 비중이 높게 나타났다.

조금 더 자세하게 살펴보면, 각 국가별 전력 생산은 부존자원에 따라 전력 생산 에너지원이 다양해짐을 알 수 있었다. 우리나라는 부존자원이 부족한 국가이면서도 화석 에너지와 원자력에너지의 전력 생산 에너지 비중이 다른 국가들보다 높은 편이다. 우리나라의 전력 생산 효율성은 세계 주요 국가와 비교했을 때 무척 효율적인 생산 형태를 보여주고 있다. 또한, 우리나라처럼 부존자원이 풍부하지 않으면서 효율성을 나타내는 국가들도 대부분은 원자력에너지의 비중이 높았다. 그러나 부존자원이 부족하면서 원자력에너지보다는 신재생에너지의 비중이 높은 국가들은 대부분 효율적인 면에서 낮은 수준을 나타내고 있다. 따라서 향후 신재생에너지에 대한 R&D 투자를 통한 효율적인 전력 생산으로의 보완이 되지 않는다면 우리나라의 에너지 비중은 효율적인 측면에서는 현재의 정책을 유지하는 것이 좋을 것으로 보인다.

본 연구의 결과에 대한 의의는 다음과 같다.

지금까지 전력의 효율성에 대한 전국 단위의 연구는 다양하게 진행되었지만, 정작 전 세계의 주요 국가를 대상으로 우리나라의 전력 생산 효율성이 어떤 위치인지 주요한 연구 자료는 거의 찾기 힘들었다. 본 연구 결과를 통해 우리나라의 전력 생산 효율성이 어느 정도 위치인지 파악을 할 수 있었으며 효율적인 전력 생산을 위한 에너지 사용에 있어 에너지원 비중에 대한 정책 제시를 했다는 것에 본 연구의 의미가 있다고 할 수 있을 것이다.

본 연구는 투입되는 에너지 가격의 가장 최신 자료인 2010년 통계치를 기준으로 하였다. 따라서 2011년 동일본대지진 이후 전 세계적으로 원자력에너지의 사용에 대해 많은 변경이 있었지만 그 추이를 제대로 반영할 수 없었다. 향후, 효율적인 관점뿐만 아니라 신재생에너지 및 원자력에너지의 환경적 개선 문제 등 기존 화석 에너지에서 신재생에너지로 나아가는 최근 경향을 활용한 분석이 이루어진다면 보다 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

고민수, 이덕주(2001), “DEA를 이용한 OECD국가별 연구개발 효율성 비교 분석,” 대한산업공학회 추계학술대회, pp. 703-706.

- 고승철(2007), “DEA 모형을 활용한 국내 발전회사의 운영 효율성 평가,” 전남대학교 대학원 석사 학위.
- 김영경, 장병만(2012), “한국 태양광발전사업의 에너지균등화비용(LCOE) 추정: 재무적투자자 참여사업을 대상으로,” 한국신재생에너지학회, 제8권, 제3호, 통권31호, pp. 23-29.
- 류영아(2006), “지방행정의 효율성 평가에 관한 연구: DEA 기법에 의한 기초자치단체 복지서비스 분석,” 성균관대학교 대학원 박사학위.
- 민윤지(2015), “한국과 OECD 국가의 에너지효율 정책효과 분석,” 동국대학교 대학원 박사학위.
- 주형준, 김대철(2014), “SW수행기관의 효율성 분석,” 한국생산관리학회지, 제25권, 제4호, pp. 443-463.
- 이광민, 홍재범(2012), “DEA를 활용한 광역시도별수협 상호금융 영업점의 효율성 분석,” 산업혁신연구, 제28권, 제2호, pp. 35-57.
- 이정동, 오동현(2012), “효율성 분석이론,” 초판, 서울, (주)지필미디어.
- 이유수, 박창수(2007), “전력산업의 생산성 국제비교: 기업 자료를 중심으로,” 에너지경제연구, 제6권, 제1호, pp. 1-26.
- 임병학, 김대환, 홍한국(2011), “부산항만의 효율성 개선을 위한 과학적인 방안수립절차에 관한 연구,” 산업혁신연구, 제27권, 제4호, pp. 87-111.
- 한상용, 서영욱(2010), “OECD 국가의 교통부문별 에너지 효율성 비교 분석,” 교통연구, 제17권, 제4호, pp. 3-12.
- 홍진원, 박승욱, 배상근(2011), “DEA결과와 과제관리자 평가의 비교에 근거한 국가 R&D 프로젝트의 효율성 평가의 문제점 및 방안 탐색,” 산업혁신연구, 제27권, 제4호, pp. 33-52.
- 홍한국, 하성호, 박삼찬(2000), “SI 프로젝트의 효율성 평가를 위해 자료포괄분석과 기계학습을 결합한 하이브리드 분석,” 경영정보학연구, 제10권, 제1호, pp. 19-35.
- 에너지경제연구원(2015), “집에서 전기 많이 쓴다고?... 한국 OECD 하위권,” 연합뉴스, 2015년 2월 24일, <http://www.keei.re.kr/main.nsf/index.html>
- 한국에너지공단(2015), 에너지 단어사전,
http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/info/dictionary/word.asp?sch_key=%E3%85%87
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W(1984), “Some Models for Estimating Technical

산업혁신연구 (제32권 1호), 2016. 3. pp. 243~269.

and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.

Charnes, A., Cooper, W. and Hodes, E.(1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.

Chien, T. and Hu, J. L.(2007), “Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies,” *Energy policy*, Vol. 35, No. 7, pp. 3606-3615.

Farrell, M.(1957), “The Measurement of Productivity Efficiency,” *Journal of the Royal Statistical Society. Series A(General)*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-290.

Filippini, M. and Hunt, L.(2009), “Energy demand and energy efficiency in the OECD countries: a stochastic demand frontier approach,” *CEPE Working Paper*, No. 68.

Mukherjee, K.(2007), “Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector: An interstate analysis,” *Energy Policy*, Vol. 36, No. 2, pp. 662-672.

IEA(2014), “Energy Efficiency: a key tool for boosting economic and social development,”

<http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/september/energy-efficiency-a-key-tool-for-boosting-economic-and-social-development.html>

OECD(2010), 발전설비용량, EIA(<http://www.eia.doe.gov>) (검색일: 2015.05.12)

OECD(2010), 전력 에너지 공급량, OECD Factbook

OECD(2010), 전력생산가격, “Projected Costs of Generating Electricity 2010”

OECD(2010), 전력생산량, IEA(<http://www.iea.org>) (검색일 : 2015.05.12.)

12월/23일/2015 접수, 03월/22일/2016 수정, 03월/25일/2016 게재확정

A Comparative Analysis of the Efficiency of Generating Electricity for Major Countries

Eung-suk, Park⁴ · Dae-cheol, Kim⁵

Abstract

In this research, the efficiency of generating electricity for major OECD countries and non-OECD countries was studied. DEA and Post-DEA methods were used to analyze efficiency of generating electricity. Under these research methods, it figured out electric efficiency of each of countries and phased benchmarking objects as well as the distinctive feature of efficient countries by electricity production sources' composition. With these results, this paper suggested a policy about the composition of electricity production sources in terms of efficiency.

The overall average efficiency was 0.883 and 5 countries of all 19 countries were the most efficient counties in CCR model. On the other hand, there were 12 countries which were the most efficient countries in BCC model with the overall average efficiency 0.951.

In tier analysis, it divided each of countries into 3 groups. They are 5 countries in Tier 1 groups including of Korea, 7 countries in Tier 2 groups. and rest of countries that did not be included in these Tier groups. This result could give information about the way of benchmarking to make better electricity efficient countries.

Also, an energy composition of the efficient countries was found. There is distinctive feature that electricity efficiency was depended on how much the endowed resources were held. Most of the efficient countries using fossil

4 School of Business, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04763
e-mail: spy0070@hanyang.ac.kr (First Author)

5 School of Business, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04763
e-mail: dckim@hanyang.ac.kr (Corresponding Author)

산업혁신연구 (제32권 1호), 2016. 3. pp. 243~269.

energy sources had sufficient endowed resources. Otherwise, using nuclear energy was recommended in terms of electric energy efficiency. Because Korea is one of the most efficient country even though does not have sufficient endowed resources, Korea should keep their generating policy using nuclear energy to generate electricity efficiently.

Keyword : OECD energy efficiency, Electricity efficiency, DEA (Data Envelopment Analysis), Tier analysis, nuclear energy, renewable energy

저자소개



박웅석

현재 한양대학교대학원 경영학과 박사과정 재학중
최종학력: 한양대학교 경영대학 경영학과 박사수료
관심분야: 효율성, 전력 생산, 에너지, 교통, 환경, 물류



김대철

현재 한양대학교 경영대학 경영학부 교수로 재직중
최종학력: 펜실바니아 주립대 공학박사
관심분야: 공급사슬관리, 프로젝트경영, 의료경영,
서비스운영관리, 수익관리, 효율성

