**에너지경제연구** 제 14 권 제 1 호
Korean Energy Economic Review
Volume 14, Number 1, March 2015 : pp. 111~141

# 2차 에너지산업의 기술적 효율성 국제비교 및 결정요인 분석에 관한 연구

남경모* · 강승진**

**요 약**

본 논문은 16개 국가의 2차 에너지 산업을 대상으로 국가별 기술적 효율성을 국제 비교하고, 기술적 효율성에 영향을 미치는 요인에 대해 연구하였다. 기술적 효율성 추정결과, 전체 16개 국가의 기술적 효율성 평균은 1985년 0.9676에서 2005년에 0.9490이었고, 같은 기간 동안의 평균은 0.9636으로 완전효율적인 수준인 1에 근접했다. 전체 기간을 전반기(1991~1997), 후반기(1997~2005)로 기간을 나누어 분석해 보면 기술적 효율성 평균은 크게 차이가 없었으나, 증감률이 후반기에 소폭의 마이너스를 기록한 점이 특징적이었다. 16개 국가를 유럽, 아시아, 영미권으로 구분하여 분석한 결과, 유럽과 영미권은 안정적인 추세를 보였으나, 아시아 지역의 높은 기술적 효율성이 두드러졌다. 한편, 기술적 효율성 결정요인 분석을 위해 노동(학력수준), 자본(자본집약도), 기술(국가연구개발 투자)을 변수로 설정하여 분석한 결과, 저학력자 비중이 낮을수록, 자본집약도가 높을수록, 국가연구개발투자가 많을수록 기술적 효율성이 개선되었다.

주요 단어 : 2차 에너지산업, 기술적 효율성, 확률적 프론티어
경제학문헌목록 주제분류 : Q21, Q42

* 산업통상자원부 서기관(주저자 및 교신저자). denverkai2050@gmail.com
** 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원 교수(공동저자). sjkang@kpu.ac.kr

# Ⅰ. 서 론

에너지 역사의 긴 스펙트럼 하에서 보면 비교적 최근인 21세기 들어 배럴당 100달러가 넘는 고유가 상황이 점차 고착화되는 듯 보이고, 기후변화당사국총회(COP) 등 기후변화에 대한 국제적인 흐름에 기민하게 대응하는 것이 국제적으로 중요해지고 있다. 이러한 외부적인 환경 하에서 생산성과 기술적 효율성[1]을 높여 에너지 투입을 줄임과 동시에 온실가스 배출량을 줄이는 것이 에너지 산업의 중요한 의제 중 하나가 되고 있다. 특히 우리나라처럼 한 해 사용하는 에너지의 약 97%를 해외에서 수입해야 할 정도로 전형적인 에너지 해외 의존국으로서는 더욱 더 중요한 과제이다.

그럼에도 불구하고 에너지 산업의 생산성은 아직 개선의 여지가 많다. 경제학적으로 볼 때 에너지 산업은 그 자체로서 자연독점 산업으로 분류되는데 완전경쟁 시장 하에서 생산할 때 보다 시장 참여자간 경쟁이 없거나 극히 미미하여 자체적으로 비효율 요인을 항상 내재하고 있다. 예를 들어, 우리나라 전력산업은 공급 부분이 6개 발전회사로 분리되어 경쟁하고 있으나 미국 등과 같이 아직은 엄밀한 의미의 완전 경쟁체제는 아닌 것으로 평가되고 있다. 또한 가스는 지역 독점권을 인정해 주며 사업권을 보장하고 있고, 투자보수율을 규제하면서 일정한 범위 내에서 투자수익을 보장해 주고 있기 때문에 경영 효율화에 대한 동기유인이 여전히 부족하다. 그리고 전기, 도시가스, 열 등 에너지 요금은 정부에서 가격을 결정하므로 수요와 공급, 효율성 차원보다는 물가관리 차원이 우선적으로 고려되고 있다.

---

1) Farrell(1957)은 생산효율성을 처음으로 측정하면서 이를 기술적 효율성(technical efficiency)과 분배적 효율성(allocative efficiency)으로 구분하였다. 여기서 기술적 효율성은 투입물 기준으로 주어진 생산요소를 투입하여 최대한의 생산물을 만들어 내는 정도를 의미한다(김정민·전영서, 2001).

에너지 산업의 생산성 또는 기술적 효율성의 중요성이 점점 더 커지고 있는데 반해, 실제 우리나라 에너지 산업의 생산성이나 효율성의 수준이 어느 정도인지에 대한 연구는 아직까지 그다지 활발하지 않아 보인다. 따라서 본 연구에서는 국내 에너지 산업, 특히 제조업 중심의 2차 에너지 산업[2]을 중심으로 기술적 효율성을 분석하고, 유럽, 미주 등 세계 여러 나라들과 기술적 효율성의 수준을 비교한 후 어떠한 요인들에 의해 기술적 효율성이 영향을 받는지를 분석하려고 한다. 이를 통해 우리나라 에너지산업의 효율성이 어떤 위치에 있는 지를 파악하고 기술적 효율성 제고 방안을 찾아서 기업뿐만 아니라 산업, 나아가 국가 차원의 경쟁력을 높이기 위한 시사점을 탐구하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구에서는 기존 연구 문헌, 국제기구 발표자료 등을 바탕으로 효율성의 개념과 효율성을 측정·분석하기 위한 이론과 모형에 대해서 살펴보았다. 기술적 효율성 분석의 여러 모형 중에서 최근에 폭넓게 활용되고 있는 패널 자료를 활용한 확률적 프론티어 모형(SFA; Stochastic Frontier Analysis)을 채택하여 우리나라를 포함한 유럽, 미주, 아시아 등에 위치한 16개 나라를 대상으로 2차 에너지산업의 기술적 효율성을 국제 비교하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제1장은 서론으로서 연구의 배경과 목적, 연구 방법 등에 대해 기술하였다. 제2장은 선행연구 검토로서 기술적 효율성에 대해 분석한 국내외 기존 연구들을 다방면으로 검토하였다. 제3장은 본 연구에서 채택한 패널 자료를 활용하는 확률적 프론티어 생산함수 모형과 사용한 자료 등 분석방법론에 대해 서술하였다. 그리고 제4장은 2차 에너지산업의 기술적 효율성 분석과 국제비교, 그리고 2차 에너지 산업의 기술적 효율성에 영향을 주는 결정요인을 분석했다. 마지막으로 제5장은 결론으로서 분석 결과를 요약한 후 정책적 시사점, 본 연구의 한계와 향후 연구 과제를 제시하였다.

---

2) 2차 에너지산업은 제조업 중심의 에너지산업을 의미하며, 본 연구에서는 EU KLEMS 자료 중 석탄, 석유정제, 핵연료(coke, refined petroleum, and nuclear fuel) 산업과 전력, 가스, 물 공급(electricity, gas and water supply)의 합으로 재정의하였다.

# Ⅱ. 선행연구 검토

## 1. 기술적 효율성 분석에 관한 연구

Farrell(1957)이 생산 효율성을 측정하는 방법을 제안한 후로 국가, 특정 산업군, 나아가 개별기업 단위의 기술적 효율성을 분석한 연구는 그 동안 많이 진행되어 왔다. 초기에는 확정적 프론티어 모형이나 자료포락분석, 맘퀴스트 생산성지수 등 비모수적 분석모형이 많이 활용되었으나, 오차항에 대한 확률적 가정, 통계적으로 명시적인 특정 생산함수 가정, 패널자료 활용 등 통계적 분석기법들이 발전하면서 패널자료 모형까지 폭넓게 사용되고 있다(곽만순·이영훈, 2005).

패널자료 모형에 대한 방법론을 발전시킨 Schmidt and Sickles(1984), Cornwell *et al.*(1990)의 연구 이후 국내외에서 확률적 프론티어 모형을 활용한 기술적 효율성 실증 분석이 철강, 항공, 전자, 통신 등 다양한 산업과 국가에 대해 이루어져 왔다. 그리고 분석 대상의 수준도 각각 달라서 개별 기업에서부터 특정 산업, 국가 전체까지 매우 폭넓다. 한규수(1987), 박종은(2001)은 국내 쌀 생산 농가의 기술적 효율성을 분석하였고, 정선영(2011)은 금융업과 사업서비스업의 기술적 효율성을 국제 비교하였으며, 그 외에도 국내 은행(김진성, 2001), 정부투자기관(임수균, 2003), 제조기업(한광호·김상호, 1996), 병원(김재명·함유상, 2009; 이영범, 1997), 경찰서(윤경준, 1998), 하수도 사업자(유금록, 2001) 등에 대해서도 기술적 효율성을 분석한 연구가 있다. 반면 국내에서 에너지 산업의 기술적 효율성을 분석한 연구는 그다지 많지 않다. 확률적 프론티어 모형을 이용하여 전력 부문의 가격효율성을 연구한 이만기·정기호(1995)를 제외하면 대부분 맘퀴스트 생산성지수(MPI)나 자료포락분석(DEA) 등 비모수적 분석방법을 활용한 연구들(최인수 등, 2009; 이정동·오경준, 2000)이다.

## 2. 기술적 효율성 결정요인에 관한 연구

해외 연구로서 Pitt and Lee(1981)는 인도네시아 직물산업의 기술적 효율성에는 기업소유 형태, 기업 나이와 규모가 영향을 미친다는 결론을 얻었다. Kumbhakar *et al.*(1991)은 미국 낙농업에는 낙농업자들의 교육 수준과 농장 규모가 효율성에 영향을 미친다고 하였다. Huang and Liu(1994)는 대만 전자산업의 기술적 효율성을 분석한 결과, 기업 나이, 수출 비율, 연구개발 지출 모두 기술적 효율성에 긍정적인 영향을 미쳤다. Mahadevan(2000)은 싱가포르 내 제조 기업의 기술적 효율성이 높아지기 위해서는 자본집약도가 증가해야 하는데, 자본집약도가 높아질 때 노동투입과 노동의 질이 동시에 높아져야 한다는 점을 지적하였다.

국내에서는 김상호(2001)가 국내 제조업의 기술적 효율성 결정요인을 연구하면서 결정변수로 기업 규모, 외부자본 비율, 연구개발비 지출 및 수출 비율을 설정하였다. 최홍규(2003)는 국내 제조업의 패널자료를 확보하여 기술적 효율성을 분석하면서 기업 고유의 요인으로서 시장 점유율, 기업의 나이, 재벌 여부, 부채 비중, 수출비중 등을, 산업 고유의 요인으로는 산업성장률, 기업수 증가율, 자본 집약도, 산업집중도 등을, 그 외에 외부 요인으로서 외환위기와 시간 변수를 사용하였다. 박종은(2001)은 국내 농가의 효율성에 영향을 미치는 요인으로 경영주 연령, 경영주 학력, 경영 규모, 노동 투입시간 대비 농기계 투입시간의 비율, 토지용역비 대비 임차비의 비중, 총생산비 대비 위탁비의 비중, 직접 경영과 위탁 경영 여부, 지대와 지역, 시간 변수를 가정하였다. 그 외에도 기술적 효율성 결정요인을 분석한 연구는 박승록·이영훈(2009), 원구환(1998), 오승은(2000), 김진오(1991), 박헌수·지우석(2004) 등이 있다.

하나의 연구에서 기술적 효율성을 국제 비교하면서 동시에 결정요인에 대해 실증 분석한 연구도 있다. 허윤·신범철(2004), 허광숙·김정렬(2007)은 세계 철강기업들의 기술적 효율성을 국제비교하고 결정요인을 분석한 바 있다. 전영서

(2000)는 OECD 내 전기통신사업자를 대상으로, 김제철·이영수(2004)는 확률적 프론티어 모형을 활용하여 국내 항공사를 포함한 동북아 지역 7개 항공사를 대상으로 상대적 비효율성을 추정한 후, 효율성 변동 요인을 분석하였다.

### 3. 선행연구에 대한 평가

국내외를 포함하여 기술적 효율성을 분석한 연구는 그 동안 아주 다양하게 진행되어 왔다. 분석대상 측면에도 제조업, 은행업, 농업, 심지어 스포츠 산업까지 폭넓게 연구가 진행되어 왔다. 그러나 국내에서는 확률적 프론티어 모형을 적용하여 기술적 효율성의 원인을 분석한 연구는 그렇게 많지 않다(김상호, 2001). 또한 기술적 효율성을 국제간에 비교한 국내 연구도 많지는 않았다. 그리고 분석 대상 차원에서 에너지 산업을 대상으로 한 기술적 효율성 연구는 아직 그다지 활발하지 않다. 비모수적 분석방법을 사용하여 천연가스 공급회사, 도시가스회사, 전력회사 등의 기술적 효율성 또는 생산성을 추정한 연구가 일부 있을 뿐이다. 기존 연구 검토를 종합하면 첫째, 에너지 산업에 대해서는 모수적 분석 모형을 적용하여 기술적 효율성을 분석하는 연구가 추가로 필요하다. 둘째, 에너지 산업의 기술적 효율성을 국가 간에 비교하여 국내 2차 에너지산업의 현 위치를 파악하고, 나아가 향후 기술적 효율성 개선에 도움이 될 수 있는 결정 요인에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

# Ⅲ. 분석 방법론

## 1. 분석 모형

본 연구에서는 기술적 효율성 추정 및 결정요인 분석을 위해서 확률적 프론티어 모형 중에서 Greene(2005)이 제안한 고정효과 모형(fixed effect model)을 채택하였다. 기존 패널데이터를 활용한 확률적 프론티어 모형은 시간불변인 국가에 특정적인 비동질성과 시간변동성을 가진 비효율성을 분리하지 못하는 한계가 있었다. 반면 Greene(2005)의 고정효과 모형은 기술적 비효율성으로부터 비교 대상 국가 간에 관측되지 않는 비동질성(unobserved heterogeneity)을 분리해 내어 순수하게 기술적 비효율성만을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 국가 단위의 자료를 활용할 경우 국가별 특성이 상이하기 때문에 특정성을 고려하지 않는다면 이러한 추정치는 해당 국가의 생산성에 대한 정확한 정보를 제공하고 있다고 보기 어렵다. 만일 기술적 비효율성과 비동질성이 복합될 경우 기술적 비효율성을 심하게 왜곡시킬 수 있기 때문이다.

일반적으로 확률적 프론티어 모형은 아래 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_{i,t} = \alpha + \beta' f(X_{i,t}) + v_{i,t} - u_{i,t}, \quad \text{i=1, 2,…N, t=1, 2, …, T} \qquad (1)$$

$Y_{i,t}$는 t시점에 i번째 기업의 생산을 의미하며, $X_{i,t}$는 이미 알려진 생산요소 투입함수의 (1×k) 벡터, $\beta$는 추정해야 하는 알려지지 않은 계수의 (k×1)벡터이다. $v_{i,t}$는 평균이 0, 분산이 $\sigma_v^2$인 독립항등분포를 따르는 임의의 오차항이며, 기술적 비효율성항 $u_{i,t}$와는 상호 독립적이다. $\sigma^2$과 $u_{i,t}$는 음이 아닌 임의의 변수로서 독립분포를 가진다.

Greene(2005)의 고정효과 모형은 위 식 (1)에서 상수항과 기술적 비효율성 항을 합하여 아래 식(2)와 같이 표현한다.

$$Y_{i,t} = \alpha_i + \beta' f(X_{i,t}) + v_{i,t}, \quad \alpha_i = \alpha - u_i \tag{2}$$

식 (2)에서 $\alpha_i$는 기술적 비효율성인데, 관찰 대상 중 가장 기술적 효율성이 높은 집단의 효율성을 $\hat{\alpha}$라하고 이 집단과 실제 i번째 집단의 기술적 효율성의 차이를 구하면 i번째 기업의 기술적 비효율성을 구할 수 있는데, 구체적인 수치는 아래 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\hat{u_i} = \hat{\alpha} - \hat{\alpha_i}, \ \hat{\alpha} = \max(\hat{\alpha_i}) \text{ and 기술적 효율성} = \exp(-\hat{u_i}) \tag{3}$$

기술적 효율성을 추정하기 위해서는 생산함수($f$)의 형태를 가정하여야 한다. 여러 가지 알려진 형태의 생산함수가 많이 활용되나 기존 연구에서는 규모수익 불변을 가정하는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수 또는 초월대수(Translog) 생산함수 등이 가장 폭넓게 활용되고 있다. 그 중 초월대수 생산함수는 대체 탄력성에 제약을 부과하지 않으면서 규모수익(return to scale)에 따라 대체 탄력성이 유동적이어서 다른 생산함수에 비해 매우 신축적(flexible)이라는 장점이 있다(김정민·전영서, 2001; 박종은, 2001; 허윤·신범철, 2004). 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 생산함수를 초월대수 형태로 가정하였다. 식 (1)은 초월대수(translog) 생산함수의 일반적인 형태인 아래 식 (4)와 같이 표현된다(Kumbhakar and Lovell, 2003; 김정민·전영서, 2001; Corbo and Meller, 1979).

$$\ln Y_{k,t} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \ln X_{k,i,t} + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{i,j} \ln X_{k,i,t} \ln X_{k,j,t} + v_{k,t} - u_{k,t}$$

$$u_{k,t} = \delta_0 + \sum_{k=1}^{p} \delta_k z_{k,t} + \epsilon_{k,t} \tag{4}$$

식 (4)에서 아래첨자 변수로서 i는 관찰된 국가, t는 시간변수, $Y$는 산출물, $X$는 생산요소를 의미한다. 여기서 $X_{k,i}$는 k번째 국가의 i요소 투입량을, $X_{k,j}$는 k번째 국가의 j요소 투입량을 의미한다. 확률오차항인 $v$는 평균이 0이고 분산이 $\sigma_v^2$인 정규분포를 따르며, $u$는 기술적 비효율성항이며 비음의 값을 갖는다. 이 때 확률오차항 $v$와 기술적 비효율성 오차항 $u$는 서로 독립적이다.

식 (4)에서 투입 생산요소를 노동(L)과 자본(K)으로 가정할 경우 생산함수는 아래 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\ln Y_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln L_{i,t} + \alpha_2 \ln K_{i,t} + \frac{1}{2}\beta_{11}(\ln L_{i,t})^2 + \frac{1}{2}\beta_{22}(\ln K_{i,t})^2 + \beta_{12}(\ln L_{i,t})(\ln K_{i,t}) + v_{i,t} - u_{i,t} \quad (5)$$

기술적 효율성 결정요인 분석과 관련하여 초기의 연구(Pitt and Lee, 1981)는 1단계에서 노동과 자본을 투입요소로 하여 기술적 효율성을 분석하고, 2단계에서 기술적 효율성에 영향을 미칠 것으로 추정되는 변수를 사용하여 회귀분석을 실시하는 2단계 분석법을 사용하였다. 그러나 2단계 연구는 기술적 효율성이 다른 변수들과 '독립적으로 분포한다'는 가정 하에 기술적 효율성을 분석한 후, 2단계에서는 다시 기술적 효율성이 특정한 요인들에 의해 영향을 받는다고 가정하는 비일관성이 많이 지적되었다. (Wang and Schmidt, 2002; Battese and Coelli, 1995; 김상호, 2001) 결국, 2단계 추정법은 다소 극단적인 가정에 의존하여 분석하기 때문에 연구결과의 신뢰성에도 문제가 있을 수 있다는 한계가 분명하게 제기되고 있다. 본 연구에서는 기술적 비효율성을 설명하는 요인을 포함하여 생산함수와 동시에 추정하는 1단계 분석법을 적용하여 연구결과의 정치성을 추구하였다.

기술적 비효율성을 설명하는 요인은 아래 식 (6)으로 나타낼 수 있는데, 기술적 비효율성항 $u_{i,t}$는 절단된 정규분포(truncated normal)을 따르며, 그 평균인 $\mu_{i,t}$는 비효율성의 결정요인의 벡터인 $z$의 함수로 표시된다.

$$u_i \sim N^+(\mu_i, \sigma_u^2), \quad \mu_i = z_i'\psi \tag{6}$$

기술적 효율성 결정요인은 생산과정에 투입하는 생산요소 각각의 특성과 직접적으로 관련이 있다. 다시 말하면, 노동, 자본의 특성이 나라마다 달라지면 그로 인해 국가별 또는 산업별 효율성이 달라지게 된다.

먼저 노동의 경우 학력 수준을 결정요인의 하나로 설정하였다.[3] 한규수(1987), 박종은(2001), Kumbhakar *et al.*(1991)의 연구에서 공히 교육 수준이 기술적 효율성을 결정하는 데 중요한 요인이었다. 다음으로 자본의 경우 자본집약도를 결정요인으로 가정하였다. 최홍규(2003)는 기업 고유 요인 중 하나로 자본집약도가 기업의 기술적 효율성에 영향을 미친다고 하였고, Mahadevan(2000)은 싱가포르 제조기업 대상으로 분석한 결과 기술적 효율성이 높아지기 위해서는 자본집약도와 노동 투입과 노동의 질이 동시에 높아져야 한다고 지적하였다. 다음으로 기술 변수로서 국가연구개발 투자를 가정하였다. 다수의 연구에서 연구개발투자는 기술적 효율성을 개선시킨다고 밝혔다(신범철·이의영, 2010; 박창수·박광수, 2004; 김정우, 2003; Huang and Liu, 1994; Wakelin, 2001; Wang and Tsia, 2003).

3) EU KLEMS에서는 노동의 질(quality) 변화를 모형에서 고려하기 위해 교육 수준, 성별, 나이 등을 조사하였다. 그 중 교육 수준은 중학교 졸업 이하를 저학력, 고등학교 졸업을 중학력, 전문대학 졸업 이상을 고학력으로 구분하였다(한국생산성본부(2014), '2013 총요소생산성 국제비교', 서울: 한국생산성본부, p.20).

## 2. 분석 자료

본 연구는 EU KLEMS에서 매년 발표하는 노동과 자본 등의 생산요소 투입 자료를 활용하였다.[4] 연구개발 투자와 기술적 효율성간의 인과 관계를 분석하기 위한 각 국가별 R&D자료[5]는 OECD에서 발표하는 데이터를 활용하였다. 대상 국가는 우리나라를 포함하여 EU KLEMS 데이터베이스에서 확보가 가능한 16개 나라[6]이고, 대상 기간은 1985년부터 2005년이다. 대상산업은 EU KLEMS 데이터베이스에서 제공하는 72개 산업 중 석탄, 석유정제, 핵연료(coke, refined petroleum, and nuclear fuel)와 전력, 가스, 물 공급(electricity, gas and water supply) 등 두 가지 산업 데이터를 합쳐 2차 에너지 산업으로 재정의하였다. 본 연구에서 생산함수 추정에 사용하는 변수로는 부가가치(value added)를 종속변수로 하고, 독립변수로서 노동, 자본을 설정하였다. 독립변수로서 노동은 노동에 대한 보상(labor compensation)을, 자본은 총자본에 대한 보상(capital compensation)을 활용하였다. 부가가치, 노동과 자본에 대한 보상 데이터는 각각 자국의 화폐가치로 표시되어 있어 국가간 비교가 가능하도록 구매력평가지수 환율을 적용한 후 1995년을 기준년도로 하여 소비자물가지수(CPI)를 통해 실질변수로 환산하였다. 이를 통해 물가가 명목변수(nominal variables)에 미치는 영향 때문에 발생하는 바이어스(bias)를 통제하였다.

---

4) EU KLEMS 데이터베이스는 1970년부터 2011년까지 국가별 생산요소 자료가 축적되어 왔다. 그런데 1970년부터 2004년까지는 초기의 EU 내 15개 국가(2004년 5월 1일 기준으로 EU 회원국 중에서 불가리아, 루마니아를 제외)에 대해서만 자료를 조사하였다. 그러다가 1995년부터는 2004년 5월 1일 기준으로 기존 EU 회원국 이외에 새롭게 EU에 가입한 10개국에 대해서도 자료를 축적하였다. 그 결과 처음으로 EU KLEMS 데이터베이스가 공개될 당시에는 EU 25개국과 미국, 일본 등 총 27개국의 데이터가 포함되어 있었다(Timmer *et al,* 2007).

5) 연구개발 데이터는 에너지 분야에 한정된 연구개발투자를 활용해야 하지만 국제에너지기구(IEA)에서 발표하는 에너지 분야 연구개발 데이터가 불완전하여 국가 연구개발 데이터를 대신 활용하였다.

6) 16개 대상 국가는 오스트레일리아, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 한국, 네덜란드, 스페인, 스웨덴, 영국, 미국 등이다.

# Ⅳ. 분석 결과

## 1. 추정 결과

아래 <표 1>은 노동(L)과 자본(K)을 생산요소로 고려할 때 16개국 전체를 대상으로 추정한 확률적 프론티어 생산함수이다. 트랜스로그(translog) 생산함수를 가정하여 추정하였으므로 변수는 모두 자연로그를 취하였다. 확률적 프론티어 생산함수에서 노동과 자본은 모두 계수(coefficient)가 양수이며 95% 신뢰수준에서 통계적으로도 유의했다.

**〈표 1〉 확률적 프론티어 생산함수 추정치[7)]**

| | 추정 계수 (Coefficient) | 표준오차 (Std. Err.) | P-value | 95% 신뢰구간 | |
|---|---|---|---|---|---|
| ln L | 0.5443 | 0.1700 | 0.001 | 0.2110 | 0.8775 |
| ln K | 0.5690 | 0.1560 | 0.000 | 0.2631 | 0.8749 |
| ln L × ln L | 0.1040 | 0.0345 | 0.003 | 0.0364 | 0.1717 |
| ln K × ln K | 0.1036 | 0.0361 | 0.004 | 0.0329 | 0.1743 |
| ln L × ln K | -0.1960 | 0.0686 | 0.004 | -0.3303 | -0.0616 |

## 2. 기술적 효율성 국제비교

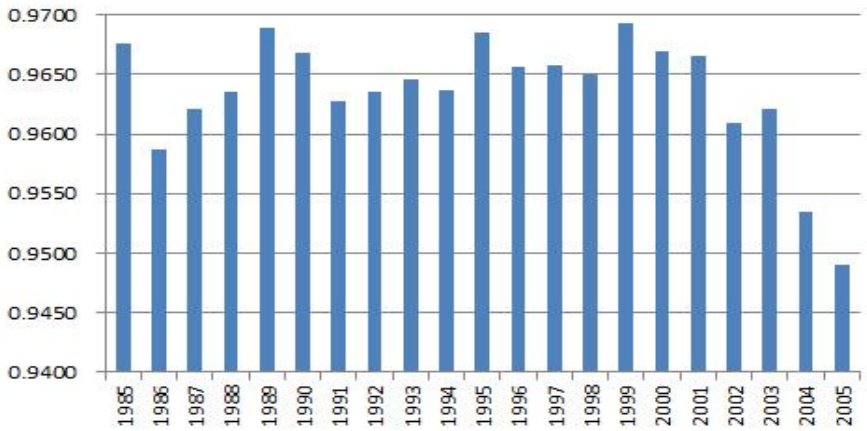
본 절에서는 2차 에너지 산업에 대해 16개 국가들의 기술적 효율성이 국가별, 기간별, 지역별로 어떻게 달라지는지를 살펴보았다. 통계분석을 위해 STATA 13.0을 사용하였다.

7) 생삼함수 추정치 중 기술적 효율성 결정요인에 대한 결과치는 논문 구성의 편의상 후술하였다.

### 1) 국가별

1985년부터 2005년까지 21년간 전체 16개 국가의 기술적 효율성[8]은 아래 [그림 1]에서 보듯이 1985년에는 0.9676에서 시작하여 2005년에는 0.9490으로 다소 하락하였다. 그러나 0~1의 범위를 고려할 때 기술적 효율성의 연도별 차이는 그다지 크지 않아 변동폭이 거의 없이 안정적이라고 해석하는 것이 타당할 것 같다.

**[그림 1] 전체 16개 국가의 기술적 효율성 변화 추이**



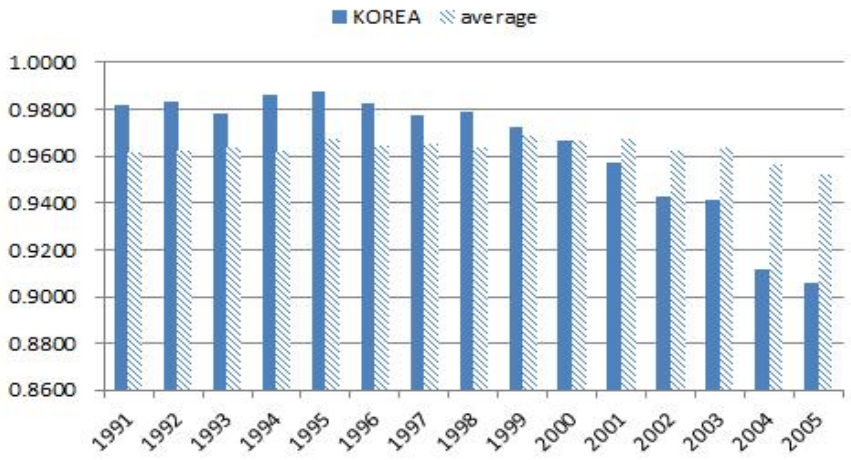

우리나라와 우리나라를 제외한 전체 15개 국가의 기술적 효율성 평균[9]을 비교해 보았다. 분석대상 기간의 첫 해인 1991년에는 우리나라의 기술적 효율성이 0.9820으로 전체 국가(0.9613)에 비해 다소 높았고 이러한 차이는 1996년까지 대체로 유지되어 왔다. 그러나 1998년 이후부터 우리나라의 기술적 효율

8) 기술적 효율성은 0과 1사이의 값을 가지는데, 프론티어 상에서 생산하는 완전 효율적인 경우 1, 완전 비효율적인 경우에는 0의 값을 보이며, 숫자 값이 높아질수록 기술적 효율성이 높아진다.

9) 16개국 평균값은 가중평균이 아니라 단순 평균을 활용하였고, 일부 국가에서 1985년에서 1990년까지 데이터 결측으로 비교가 불가능하여 1991년 이후 부터 비교하였다.

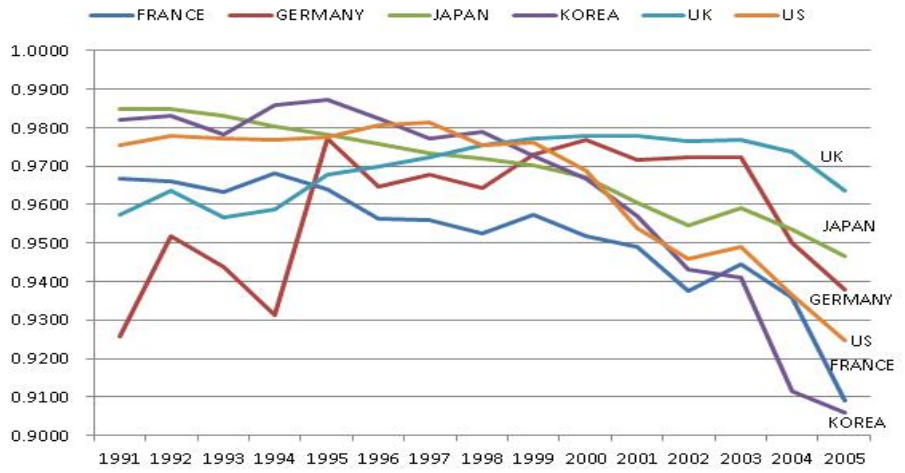
성이 점차 하락하는 추세를 보이면서 우리나라와 전체 국가 간 기술적 효율성의 차이가 점차 줄어들어 2000년 이후 부터는 오히려 양자가 역전되는 현상이 관측되었다. 이와 같은 현상에는 두 가지 원인이 영향을 미쳤을 것으로 추측해 볼 수 있다. 첫 번째는 같은 기간 동안 우리나라의 자본집약도가 비슷한 추세로 같이 하락했다는 점이다. 우리나라 자본집약도는 1998년 4.08에서, 1999년 4.19, 2000년 4.19, 2001년 3.72, 2002년 3.25, 2003년 3.44, 2004년 3.2, 2005년 2.87로 낮아져 왔다. 에너지 산업의 특성상 노동보다는 자본집약도가 높은 산업인데, 이처럼 자본집약도가 낮아졌다면 그만큼 기술적 효율성도 함께 하락할 가능성이 높다. 두 번째는 환율 효과도 영향을 미쳤을 수 있다. 1997년 IMF 금융위기 이후 환율은 그 이전에 비해 높은 수준으로 유지되었는데, 본 연구에서 국제비교를 위해 노동과 자본 투입을 달러화 가치로 환산하는 과정에서 환율이 고려면서, 환율 효과로 인해 노동과 자본 투입이 실제 투입량보다 과소평가되면서 기술적 효율성이 하락했을 수 있다.

**[그림 2] 전체 15개 국가와 한국의 기술적 효율성 비교**



미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본 등 주요 5개 나라와 한국의 기술적 효율성을 비교한 결과는 아래 [그림 3]과 같다. 전체적으로 6개 국가 모두 1991년부터 2005년까지 하락하는 추세를 보이고 있고, 특히 2003년부터는 6개 국가 모두 이전 기간에 비해 다소 기울기가 급하게 하락하는 추세를 관찰할 수 있었다. 그 이유는 국가별로 자본비율 감소, 저급 노동 증가, 연구개발투자 감소 등에 원인이 있는 것으로 보인다. 우리나라는 1991년 이후 기술적 효율성이 안정세를 보였으나, 1998년 이후 부터는 점차 하락해 오다가 2003년 0.9412에서 2004년 0.9115로 급격하게 하락하는 추세를 보였다. 이러한 추세는 정도의 차이만 있을 뿐 프랑스, 미국, 일본 등도 비슷한 경향을 보였다. 다만, 독일은 1994년에서 1995년 사이에 크게 도약한 기간을 포함해서 1991년부터 2003년까지 기술적 효율성이 오히려 상승하였고, 2003년부터는 다른 국가들과 같이 동반 하락했다. 영국은 1991년부터 완만하게 상승세를 그려왔고, 2003년 이후로도 하락폭이 다른 나라에 비해 크지 않은 점이 특징적이었다.

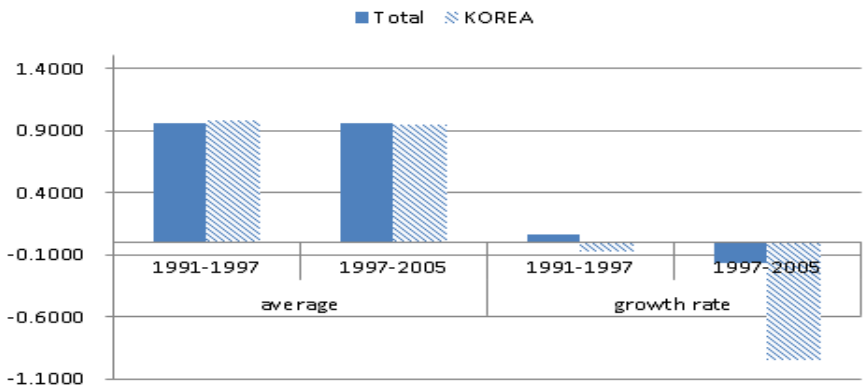
**[그림 3] 주요 6개국의 기술적 효율성 추이**



### 2) 기간별

전체 분석기간을 우리나라 IMF 금융위기가 있었던 1997년을 기준으로 1991~1997년을 전반기, 1997~2005년을 후반기로 나누어 기술적 효율성 평균과 증가율을 비교해 보았다. 아래 [그림 4]에서 보듯이 오스트레일리아를 제외한 전체 14개 국가의 전반기의 기술적 효율성 평균은 0.9644, 증가율은 0.06%였는데 반해, 후반기의 효율성은 전반기와 큰 차이 없는 0.9633이었으나, 증가율은 -0.16%로 마이너스를 기록하였다. 한편, 우리나라의 전반기 기술적 효율성 평균은 0.9824로서 전체 14개 국가의 평균보다 0.018만큼 높았으나, 후반기에는 크게 감소한 0.9505로 전체 평균보다 0.128만큼 낮아졌다. 증감률로 보더라도 한국은 전반기에도 증가율이 -0.0786으로서 마이너스를 기록하였는데, 후반기에는 증가율이 거의 1%에 가깝게 하락한 점이 특징적이었다. 후반기, 즉 1997년부터 2005년까지 우리나라의 기술적 효율성 감소율이 전체 국가의 감소율에 비해 5.7배나 높게 나타난 것은 앞서 설명한 것처럼 IMF 이후 자본집약도가 낮아진 것과 궤를 같이하고 있는 것으로 추측되며, 다른 한편으로는 환율을 매개로 노동과 자본 투입이 과소평가된 데 원인이 있어 보인다.

**[그림 4] 전체 국가와 한국의 기간별 평균과 증가율**



### 3) 지역별

본 항에서는 16개 국가를 대륙별로 구분하여 기술적 효율성을 비교해 보았다. 대륙별 구분은 정선영(2011)이 사용했던 방식을 따라 유럽(Europe) 지역, 영미(Anglo-America) 지역, 아시아(Asia) 지역 등 크게 세 그룹으로 나누었다. 구체적으로 유럽에 속하는 국가는 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 네덜란드, 스페인, 스웨덴 등 10개 국가이다. 영미권은 영국, 미국, 캐나다, 호주 등 4개 나라로 구성된다.[10] 마지막으로 아시아 지역은 일본과 한국 등 2개 국가를 포함한다. <그림 5>는 5개 지역별 기술적 효율성의 연도별 변화 추이를 보여준다.

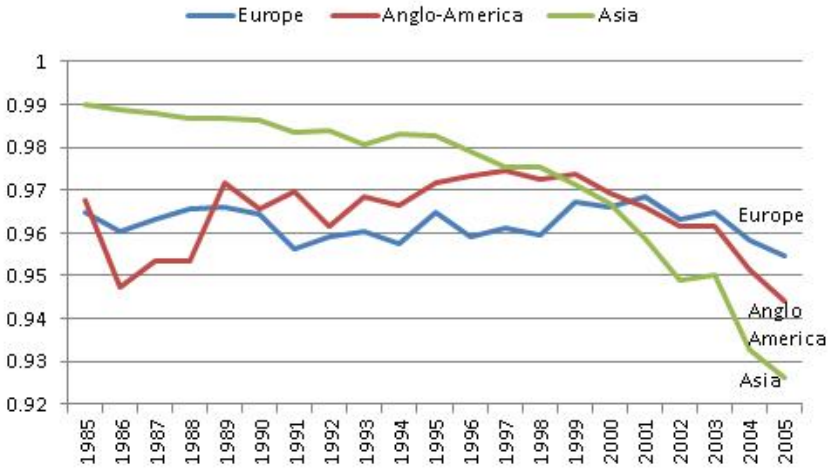
지역별로 분석해 본 결과, 유럽과 영미권은 0.96 근처에서 아래위로 변동하면서 안정적인 추세를 보였다. 영미권도 유럽과 큰 차이 없이 연도별로 등락하면서 안정세를 보이다가 1999년부터 소폭의 하락세를 기록하였다. 그러나 일본과 우리나라로 구성된 아시아는 이러한 추세와는 다른 양상을 보였는데, 1985년에는 거의 1에 가까울 정도로 높은 기술적 효율성을 보여주었으나[11], 해가 갈수록 기술적 효율성이 하락하였으며, 1995년 이후부터는 하락세가 점차 가팔라졌음에 유의할 필요가 있다. 이 기간 동안 일본은 하락세를 보이기는 했지만 가장 낮은 시점인 2005년까지도 거의 0.95 수준을 유지했으나, 우리나라의 기술적 효율성이 큰 폭으로 하락했기 때문에 이러한 경향이 반영되어 아시아 전체의 기술적 효율성이 같이 큰 폭으로 하락하는 것으로 나타났다.

---

10) 원래 영국은 지리적인 위치상 유럽으로 분류하여야 하나, 정선영(2011)의 연구에서 보여준 분류방식을 따라 영미권으로 분류하였다.

11) 1985년부터 1990년까지는 데이터 결측으로 인해 우리나라의 기술적 효율성을 분석에 포함시킬 수 없었던 관계로, 아시아의 평균은 일본의 기술적 효율성으로만 구성되었기 때문에 기술적 효율성이 높게 나타난 점을 고려하여 이해할 필요가 있다.

[그림 5] 지역별 기술적 효율성 변화 추이



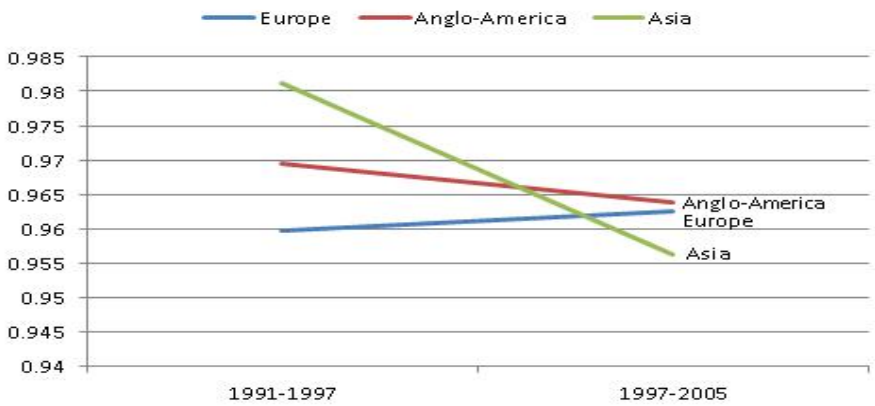

지역별로도 기간을 1997년을 기준으로 1991년부터 1997년을 전반기, 1997년부터 2005년까지를 후반기로 나누어 기술적 효율성이 어떻게 변하는지를 분석해 보았다.[12]

[그림 6]에서 보듯이, 유럽 국가의 기술적 효율성 평균은 전반기에 비해 하반기에 개선되었으나 유의미한 차이가 있다기보다는 크게 변동이 없다고 해석하는 것이 타당할 것이다. 증감율도 전반기와 후반기가 비슷하게 -0.08 수준으로 다소 둔화되는 모습을 보였다. 영미권도 전·후반기 평균은 각각 0.9694, 0.9639로 크게 차이가 없었고, 전반기에는 증가율이 유럽과 비슷한 -0.08수준이었으나, 하반기에는 증가율이 -0.3950으로 전반기에 비해 약 5배나 큰 것이 특징적이었다. 한편, 아시아 지역은 전반기의 평균이 0.9812로 다른 지역에 비해 상대적으로 높았다. 그러나 하반기에는 평균이 0.9562로 하락하면서 다른 지역보다 오히려 더 기술적 효율성이 낮게 나타났다. 증가율로 비교해 봐도 전반기에는 다른 지역이 마이너스 증가율을 기록했음에도 혼자서

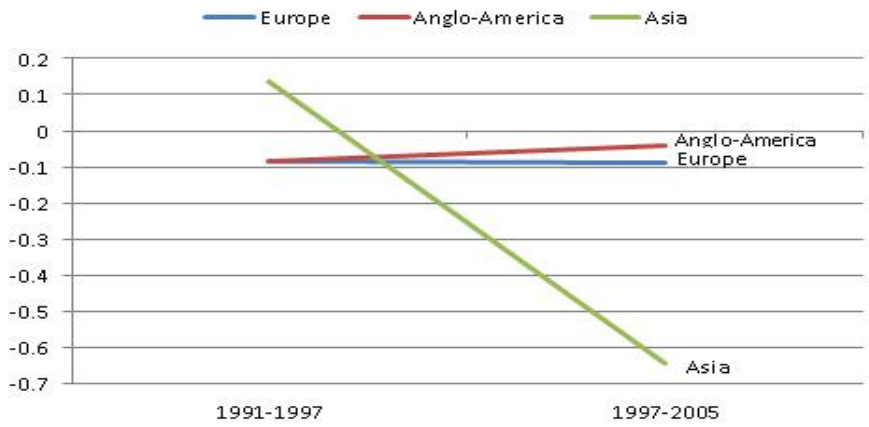
12) 우리나라의 데이터가 1991년부터 가용하기 때문에 분석의 정확도를 높이기 위해 1991년부터 2005년까지를 분석대상 기간으로 설정하였다.

0.1380%로 양의 증가율을 보였으나, 후반기에는 증가율이 -0.6411%를 기록하였다. 이는 영미권의 약 1.5배, 유럽에 비해서는 약 8배 정도 증가율의 절대치가 낮은 수준이다.

[그림 6] 지역별·기간별 기술적 효율성 평균 변화 추이




[그림 7] 지역별·기간별 기술적 효율성 증가율 변화 추이



## 3. 기술적 효율성 결정요인 실증결과 분석

본 항에서는 최우추정법(MLE)을 사용하여 기술적 비효율성 영향 모형에서 효율성 결정요인을 분석해 보았다. 추정결과는 다음 <표 2>와 같다.

**〈표 2〉 기술적 비효율성 영향 모형(efficiency effect model) 추정결과**

| | 추정계수 (Coefficient) | 표준오차 (Std. Err.) | p-value | 95% 신뢰구간 | |
|---|---|---|---|---|---|
| $\mu$ | 기술적 비효율성 오차항 평균 | | | | |
| ln R&D | -1.4430 | 0.4511 | 0.001 | -2.3270 | -0.5590 |
| Capital Intensity | -3.6951 | 1.7159 | 0.0310 | -7.0581 | -0.3320 |
| Share of Low-skilled labor | 0.1732 | 0.0469 | 0.000 | 0.0812 | 0.2652 |
| $\sigma_u$ | 0.8462 | 0.0723 | 0.000 | 0.7157 | 1.0006 |
| $\sigma_v$ | 0.0400 | 0.0035 | 0.000 | 0.0337 | 0.0473 |
| Log Likelihood | | 508.4438 | | | |
| Wald Chi_square(df=5) | | 2.08e+06 | | | |
| Prob > chi square | | 0.0000 | | | |
| $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ | | 0.7176 | | | |
| $\lambda\ (=\frac{\sigma_u}{\sigma_v})$ | | 21.155 | | | |

추정 결과 로그우도값은 508.4438이었고, 모형의 적합도 판단을 위해 Wald 카이스퀘어 검정을 실시한 결과 p-value가 0.000이었다. 이는 본 모형이 기술적 효율성에 영향을 미치는 결정요인을 분석하는데 적합한 모형이며, 그 적합도는 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하다는 점을 의미한다. 모수 $\lambda$는 잔차항을 구성하는 무작위 오차 $v$와 기술적 비효율성 $u$의 상대적 표준편차를 나타내는데 그 값이 1보다 큰지 작은지에 따라 전체 비효율성 중 통계적 오

차에 비해 기술적 비효율성 오차가 상대적으로 얼마나 큰지를 판단할 수 있는 값이다. 본 추정 결과에서 비효율성의 정도를 나타내는 $\lambda$값은 21.155로 1보다 크다. 2차 에너지 산업에서는 잔차항의 변동에 무작위 오차항 보다 기술적 비효율성이 약 21배나 더 크게 기여를 하고 있다는 점을 의미하며, p-value를 고려하면 통계적으로도 유의하다. 기술적 비효율성 오차항의 평균($\mu$)과 분산($\sigma_u$)은 결정요인에 의해 영향을 받으며 그 영향은 통계적으로 유의한 수준이다. 반면 외생적 비효율성 오차항의 분산은 결정요인에 의해 영향을 받지 않는다.

기술적 오차항의 평균에 영향을 주는 요인, 다시 말하면 기술적 효율성에 영향을 미치는 요인은 국가연구개발 투자와 저학력 노동의 투입비율, 자본집약도 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 국가연구개발 투자의 추정 계수는 -1.4430이고 p-value는 0.001이었다. p-value가 0.001은 95% 신뢰수준뿐만 아니라 99% 신뢰수준에서도 추정 계수값이 통계적으로 유의미함을 의미한다. 따라서 국가연구개발 한 단위가 자연로그를 취한 값만큼 증가하면 기술적 비효율성이 -1.4430만큼 개선된다. 에너지 산업에서는 Perelman(1995)의 연구결과, 즉 연구개발 투자가 혁신 프로세스로 이어지지 못해서 기술적 효율성이 오히려 저하된다는 사실과는 달리 국가연구개발투자는 연구개발 성과의 확산과 외부 효과 등으로 인해 기술적 효율성을 개선시키고 있음을 알 수 있다.

전체 노동자 중에서 학력수준 또한 기술적 비효율성에 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 저학력자 비율의 추정 계수는 0.1732이고 이때 p-value는 0.000이므로 95%, 99% 신뢰수준에서 모두 추정계수는 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 해석된다. 저학력자 비율이 높다는 사실은 고학력자에게 체화된 높은 생산성이 상대적으로 낮기 때문에 동일한 시간을 노동하더라도 시간당 생산성은 고학력자가 많은 나라가 더 높을 것이다. 따라서 저학력자 비율이 낮을수록, 반대로 고학력자 비율이 높을수록 공정 개선, 생산성 증가 등으로 인해 해당 산업의 기술적 효율성이 상대적으로 높아

지는 결과를 얻게 되는 것으로 추측된다.

자본집약도의 추정계수도 -3.6951이었다. 즉, 자본집약도가 높아질수록 기술적 비효율성이 줄어들고, 반대로 기술적 효율성이 개선된다. 이 추정계수의 p값도 0.0310으로서 95% 신뢰수준에서 통계적으로도 유의한 것으로 분석되었다.

# Ⅴ. 결 론

## 1. 연구의 요약

본 연구는 EU KLEMS에서 매년 발표하는 노동, 자본, 에너지, 중간재 투입, 서비스 등 생산성 관련 자료를 바탕으로 1985년부터 2005년까지 2차 에너지 산업의 기술적 효율성을 국제 비교한 후, 기술적 효율성이 어떤 요인에 의해 영향을 받는지를 분석하는 것이 목적이다. 분석 대상은 국가 단위의 2차 에너지 산업이며, 이 때 2차 에너지 산업은 EU KLEMS에서 제공하는 72개 산업 중 석탄, 석유정제, 핵연료 산업과 전기, 가스, 물 공급 산업의 합으로 재정의하였다.

기술적 효율성을 추정하기 위한 모형으로는 모수적 분석방법인 패널자료를 활용한 확률적 프론티어 생산함수 모형(stochastic frontier production model)을 이용하였다. 기술적 효율성을 추정함에 있어 투입물 기준의 비효율성에 초점을 맞추고 분석을 진행하였으며, 이때 투입물은 노동(노동에 대한 보상), 자본(자본에 대한 보상)이며, 산출물은 부가가치(value added)를 사용하였다. 이때 분석모형은 기술적 효율성과 효율성 결정요인 분석을 하나의 모형에서 추정하는 '한 단계' 모형을 사용하였다.

본 연구의 분석대상인 16개 국가 전체의 기술적 효율성의 평균은 1985년에 0.9676에서 2005년에 0.9490로 다소 낮아졌고, 대상기간 동안의 평균은 0.9636

으로 완전효율적인 수준인 1에 근접하였다. 연도별로 차이는 그다지 크지 않아 변동 폭이 거의 없이 기술적 효율성 수치는 안정적인 양상을 보여주었다. 이 결과를 우리나라와 비교해 보면, 1991년 이후부터 데이터가 가용한 우리나라는 1991년에 0.9820으로 전체 기술적 효율성 평균에 비해 0.0144만큼 높았다. 그러나 이러한 차이는 우리나라의 기술적 효율성이 1999년부터 하락하면서 줄어들었고, 2000년부터는 우리나라의 기술적 효율성이 전체 국가 평균에 비해 오히려 낮아지는 현상이 관측되었고 그 차이는 2005년까지 계속 커져왔다. 이러한 현상의 원인으로는 비슷한 기간 동안 우리나라의 자본집약도가 함께 낮아져 왔다는 데 주목할 필요가 있다. 자본집약도가 낮아지면 자본집약적인 에너지산업의 효율성이 낮아질 가능성이 높기 때문이다. 그리고 환율효과도 일부 영향을 미친 것으로 추측된다. IMF 금융위기 이후 환율 수준이 이전보다 다소 높았기 때문에 노동과 자본에 대한 보상을 달러화 가치로 환산하는 과정에서 과소평가되었을 수 있다.

일본, 미국, 프랑스, 독일, 영국 등 주요 5개국과 우리나라의 기술적 효율성을 비교한 결과, 전체적으로 6개 국가 모두 1991년부터 2005년까지 기술적 효율성이 하락하는 추세를 보이고 있고, 특히 2003년부터는 6개 국가 모두 이전 기간에 비해 다소 기울기가 급하게 하락하는 추세를 관찰할 수 있었다. 이는 국가별로 자본투자가 부진하거나, 저급 노동이 증가하는 등 요소투입 측면의 원인이 영향을 미쳤을 것으로 추측된다.

기간별로 기술적 효율성 변화를 살펴보기 위해 1991년에서 1997년, 1997년에서 2005년 등 두 기간으로 나누어 비교 분석해 보았다. 결측치로 인해 비교분석이 어려운 국가와 기간을 제외하고 분석한 결과 전체 국가의 기술적 효율성은 전·후반기에 큰 차이가 없었으나, 다만 증가율이 후반기에 마이너스로 돌아서는 특징이 있었다. 반면, 우리나라는 전반기(0.9824)에 비해 후반기(0.9505)의 기술적 효율성이 확연하게 하락하였고, 전반기에 -0.0786이던 증가율이 거의 1%에 육박하는 수준으로 하락한 점이 특기할 만 했다.

지역별로 효율성 변화를 분석하기 위해, 16개 국가를 유럽 10개국, 영미권

4개국, 아시아권 2개국으로 재분류하여 비교해 보았다. 지역별 평균은 유럽과 영미권이 안정세를 보이고 아시아가 지속적으로 하락세를 보였다. 그러나 증가율로 비교해 보면 유럽이 -0.05%, 영미권은 유럽보다는 다소 높은 -0.12%였으나, 아시아는 유럽의 약 7배 수준인 -0.33%로 높은 수치를 보였다.

다음으로 기술적 효율성 결정요인 분석을 위해서 여러 가지 변수를 설정해 보았다. 노동의 경우 학력 수준을, 자본으로는 자본집약도, 기술변수로는 국가연구개발 투자를 설정하였다. 2차 에너지 산업에서 기술적 효율성을 결정하는 변수로는 학력 수준, 자본집약도, 국가연구개발 투자가 통계적으로 유의하게 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 즉, 고학력자 비율이 높고 국가연구개발 투자가 크고, 자본집약도가 높을수록 기술적 효율성이 개선되었다.

## 2. 정책적 시사점

본 연구에서 얻은 결과 중 2차 에너지 산업의 기술적 효율성을 높이기 위한 정책과 관련이 있는 부분은 노동의 질을 대변하는 학력 수준과 국가연구개발 투자, 자본 집약도 등 세 가지 채널이다.

먼저 근로자들의 학력 수준은 궁극적으로는 인력양성 정책에 있어 정책적 함의를 준다. 전체 노동력 중에서 고학력자의 비중(share of high-skilled labor)이 높을수록, 반대로 저학력자 비율이 낮을수록 기술적 효율성이 높았다. 이는 2차 에너지 산업의 기술적 효율성을 개선하기 위해서는 보다 높은 수준의 기술과 지식이 체화된 인력을 양성하고 투입하는 데 보다 더 정책적 노력을 기울어야 한다는 의미로 해석된다. 따라서 에너지 분야에서 고급 인력을 양성하기 위한 정책에 좀 더 초점을 맞출 필요가 있다고 생각된다.

다음으로 국가연구개발 투자와 관련해서 에너지 산업의 기술적 효율성을 높이기 위해서는 국가연구개발 투자를 지속적으로 확대할 필요가 있다. 기본

적으로는 에너지 분야에 대한 연구개발 투자를 지속적으로 늘려나가야 하겠지만, 비단 에너지 분야에 한정하지 않더라도 전체적으로 연구개발 투자를 확대해 나갈 필요가 있다. 기술은 특정 분야에서 개발된다 하더라도 그 이외의 다른 분야에 적용될 수 있는 여지가 많기 때문이다. 연구개발 투자 확대는 단기적으로는 Perelman(1995)의 주장처럼 생산요소 조합 방식을 변경하거나 IT 기술의 적용과 같은 생산 요소 자체의 생산성을 높임으로써 혁신 프로세스에 긍정적으로 작용하면서 해당 기업 또는 국가의 기술적 효율성을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 장기적으로는 생산가능 경계를 확장하는 방식을 통해 효율성과 생산성을 개선시키는 효과가 있다. 따라서 Perelman(1995)의 연구결과처럼 연구개발 투자가 혁신 프로세스로 이어지지 못해서 기술적 효율성이 오히려 투자 이전보다 저하되는 경우를 방지하기 위해서는 단순히 연구개발 투자만 확대하기 보다는 연구개발 투자의 결과가 혁신 프로세스로 이어질 수 있도록 선진화된 경영기법 도입, 공정 개선 등에도 정책적인 관심을 기울일 필요가 있다.

마지막으로 지속적으로 자본을 축적하여 자본집약도를 높여갈 필요가 있다. 1998년부터 우리나라의 기술적 효율성이 다른 나라에 비해 상대적으로 큰 폭으로 낮아진 데는 IMF 금융위기 이후 우리나라의 자본 축적이 상대적으로 낮아 자본집약도가 함께 낮아진 데 원인이 있는 것으로 추측된다. 본 연구의 분석대상인 2차 에너지산업은 기본적으로 노동보다는 자본집약적인 산업으로서 자본 축적이 지속적으로 이루어지지 않으면 노동투입만으로는 생산성이나 효율성을 제고하는 데 한계가 있다는 점을 감안할 때, 2차 에너지 산업에 대해서는 지속적인 자본 축적이 중요하다는 점을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

## 3. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구의 첫 번째 한계는 개별 에너지 기업 단위까지 천착하지 못하고 국

가를 분석 단위로 하는데 머물렀다는 점이다. 국제 비교 연구에서는 분석을 위한 기초 데이터 획득의 용이성 등으로 인해 국가를 분석 단위로 하여 진행한 연구가 많다. 그럼에도 불구하고 분석 결과의 신뢰성, 학술적 기여도 등을 위해서는 최대한 분석 단위를 좁히고 구체화하는 것이 중요하다. 특히 효율성 결정요인을 찾아내는 과정에서는 분석 단위가 개별 기업이 아니라 산업이나 국가 단위로 확장될 경우에는 결정요인과 효율성 사이에 직접적인 인과관계가 약해질 수 있다. 따라서 이후의 연구에서는 에너지 산업 중에서도 석유, 전력, 가스, 석탄, 원자력, 신재생에너지, 자원개발 등으로 분석 대상을 좁히고, 분석 단위로 국가에서 개별 기업 수준으로 구체화하여 기술적 효율성과 그 결정요인들 간의 관계를 보다 정치하게 밝힐 수 있다면 연구의 신뢰도나 학술적 기여도가 더 높아질 수 있을 것이다.

두 번째 한계는 분석 대상국가가 총 16개이기는 하지만 분석 과정에서 몇 개의 국가는 데이터 결측치로 인해 연도별 기술적 효율성 수치를 얻을 수가 없어서 제외한 경우도 있었다. 그리고 지역별로 국가를 나누어 분석할 때 아시아와 같은 지역은 그 안에 포함된 국가가 한국과 일본 등 2개국 밖에 포함되지 않았다. 추후 개별 국가의 데이터가 추가로 확보되어 분석 대상 국가의 수가 늘어난다면 기술적 효율성 분석결과에 대한 신뢰도가 한층 더 높아질 수 있을 것이다.

세 번째 한계는 효율성 분석을 기술적 효율성에만 한정하여 진행한 결과, 효율성의 또 다른 한 축인 배분적 효율성(allocative efficiency)은 자연스럽게 분석대상에서 제외하였다는 점이다. Farrell이 제안했던 진정한 의미의 경제적 효율성을 측정하기 위해서는 기술적 효율성과 함께 배분적 효율성도 고려할 필요가 있다.

접수일(2014년 8월 13일), 게재확정일(2014년 9월 29일)

## ◎ 참 고 문 헌 ◎


곽만순·이영훈, 2005, “효율성 추정과 확률적 생산변경모형에 대한 문헌 연구”, 계량경제학보, 16(4), pp.107-130.

김상호(2001), “한국제조업의 기술적 비효율성과 그 결정요인: 패널자료를 사용한 확률적 변경모형의 적용”, 국제경제연구, 7(2), pp.199-220

김정민·전영서(2001), “기술적 효율성에 근거한 국가경쟁력 측정에 관한 연구”, 산업조직연구, 9(2), pp.105-126.

김재명·함유상(2009), “확률적 프런티어 접근방법에 의한 병원의 효율성 분석”, 대한경영학회지, 22(4), pp. 1,867-1,889

김제철·이영수(2004), “동북아 지역 주요 항공사들의 기술적 효율성과 경쟁력”, 산업조직연구, 12(4), pp.1-32.

김진성(2001), “비용 프런티어 함수를 이용한 은행산업 효율성의 국제비교”, 한국과학기술원석사학위논문.

김진오(1991), “프론티어(FRONTIER) 생산함수를 이용한 석탄산업의 효율성 계측에 관한 연구”, 세종대학교 대학원 박사학위논문.

박승록, 이영훈(2009), 「한국 산업별 경쟁력의 국제 비교 분석」, 서울: 한국경제연구원.

박종은(2001), “확률적 프런티어 생산함수에 의한 한국 쌀 생산의 기술적 효율성 분석”, 충북대학교 박사학위논문.

박창수·박광수(2004), “한·미·일 석유산업의 생산성 비교”, 기본연구보고서 04-03, 에너지경제연구원

박헌수·지우석(2004), “우리나라 첨단기업의 기술적 효율성 추정에 관한 연구”, 지역연구, 20(2), pp.1-20.

신범철·이의영(2010), “R&D투자와 수출의 생산효율성 제고 효과: SFA기법을 활용한 실증 분석”, 기업경영연구, 17(1), pp.1-21.

오승은(2000), “지방자치단체 기업적 활동의 효율성 분석: 지방공영개발사업을 중심으로”,

연세대학교 박사학위 논문.

유금록(2001), “지방정부의 성과평가를 위한 확률생산변경함수모형”, 전북행정학보, 15(1), pp.1-16.

원구환(1998), “확률변경생산함수를 이용한 공익사업의 비용효율성 측정: 지방 상수도 사업의 패널자료(panel data)를 중심으로”, 한국정책학회보, 7(3), pp 287-306.

윤경준(1998), “공공부문의 성과측정을 위한 DEA와 확률전선모형의 비교 분석-일선경찰서의 기술효율성 측정을 중심으로-”, 한국행정학보, 32(4), pp. 257-273.

임수균(2003), “확률전선모형(Stochastic Frontier Model)을 이용한 정부투자기관의 효율성 분석”, 연세대학교 석사학위논문.

이만기·정기호(1995), “전력부문의 가격 효율성에 관한 연구”, 경제학연구, 43(1), pp.45-64.

이영범(1997), “확률전선모형(Stochastic Frontier Cost Model)을 이용한 공공 병원의 효율성 측정에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문.

이정동·오경준(2000), “네트워크 효과를 고려한 천연가스산업의 기술적 효율성분석”, 기술혁신학회지, 3(3), pp.36-52.

전영서(2000), “전기통신사업자들의 기술적 효율성 및 효율성 결정요인에 관한 연구: 우리나라 및 OECD 국가들을 중심으로”, 경제연구, 21(1), pp.103-118.

정선영(2011), “금융업 및 사업서비스업의 총요소생산성 국제비교”, 생산성논집, 25(2), pp.161-184.

최인수·도범성·박창수·박중구(2009), “한·일 도시가스산업의 생산성 비교 분석”, 한국가스학회지, 13(2), pp.14-22.

최홍규(2003), “한국 제조업의 기술적 효율성에 관한 연구: 확률적 프론티어 생산함수 추정을 통한 분석”, 성균관대학교 박사학위 논문.

한광호·김상호(1996), “기업의 규모와 생산의 기술적 효율성: 한국 제조업의 확률적 변경생산함수에 의한 추정”, 국제경제연구, 2(2), pp. 111-131

한규수(1987), “프론티어 생산함수에 의한 기술적 효율성 분석에 관한 연구”, 동국대학교 박사학위 논문.

허광숙·김정렬(2007), “세계 철강기업의 기술적 효율성 요인 분석: 확률적 변경생산함수

(stochastic frontier production function) 모형을 중심으로”, 산업경제연구, 20(5), pp. 1,785-1,801.

허윤·신범철(2004), “세계 주요 철강기업의 국제경쟁력에 관한 비교 연구: 확률변경함수를 이용한 기술적 효율성의 측정과 비교”, 무역학회지, 29(2), pp.31-52.

Battese, G. E. and T. J. Coelli, " A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", Empirical Economics, 20, 1995, pp.325-332.

Battese, G. E. and T. J. Coelli, “Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", Journal of Productivity Analysis, 3, 1992, pp.153-169.

Corbo, Vittorio and Patricio Meller, "The Translog Production Function", Journal of Econometrics, Vol. 10, 1979, pp.193-199

Cornwell C., Peter Schmidt, and Robin C. Sickles, "Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels", Journal of Econometrics, Vol 46, Issues 1-2, 1990, pp.185-200

Farrell, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, Vol.120, No.3, 1957, pp.253-290.

Greene, Willam, “Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model”, Journal of Econometrics, 126, 2005, pp.269-303.

Huang, Cliff. J. and Jin-Tan Liu, "Estimation of a Non-Neutral Stochastic Frontier Production Function", Journal of Productivity Analysis, 5, 1994, pp.171-180.

Kumbhakar, Subal C, Soumendra Ghosh and J. Thomas McGuckin, "A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms", Journal of Business and Economic Statistics, Vol.9, No.3, 1991, pp.279-286.

Kumbhakar, Subal C. and C. A. Knox Lovell, Stochastic Frontier Analysis, United Kingdom: Cambridge University press, 2003. .

Mahadevan, Renuka, "How technically efficient are Singapore's manufacturing industies?", Applied Economics, 32:15, 2000, pp.2,007-2,014.

Perelman, S., R&D, “Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities”, Review of Income and Wealth, Vol. 41, issue 3, 1995, pp.349-366.

Pitt, M. and Kung-Fei Lee, "The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry", Journal of Development Economics, 9, 1981, pp.43-64.

Schmidt, Peter and Robin C. Sickles, "Production Frontiers and Panel Data", Journal of Business and Economic Statistics, Vol. 2, No. 4, 1984, pp.367-374.

Timmer, Marcel P., Mary O'Mahony, and Bart van Ark, “EU KLEMS Growth and Productivity Accounts: An Overview”, University of Groningen & University of Birmingham, 2007.

Wakelin, K., "Productivity Growth and R&D Expenditure in UK Manufaturing Firms", Research Policy, Vol.30, No.7, 2001, pp. 1,079-1,090

Wang, Hung-Jen and Peter Schmidt, "One-Step and Two-Step Estimation of the Effects of Exogenous Variables on Technical Efficiency Levels", Journal of Productivity Analysis, 18, 2002, pp.129-144.

Wang J. C. and Tsai, K. H., Productivity Growth and R&D Expenditure in Taiwan’s Manufacturing Firms, NBER Working Paper, 2003, pp 277-296

ABSTRACT

# A Comparative Study on Technical Efficiency in the Secondary Energy Industry and a Factor Analysis for Technical Efficiency

KyungMo Nam* and Seung-Jin Kang**

This paper compared the technical efficiency of the secondary energy industries of 16 countries and studied the factors that affect technical efficiency. The estimation results indicated that the average technical efficiency of all 16 countries has been stable in a high level since 1995. An analysis of the 1st half (1991-1997) and the 2nd half (1997-2005) of the analysis period showed that average technical efficiency was almost the same. Also, the 16 countries were classified into three groups - European countries, Asian countries and the Anglo-American countries - and analyzed. As a result, the high technical efficiency in Asian countries was noticeable and European and Anglo-American countries showed relatively stable trend. In addition, the factors determining technical efficiency were analyzed with labor (education level), capital (capital intensity) and technology (national R&D investment) as variables. The results showed that technical efficiency improved as capital intensity was higher, the portion of low-education population was lower and a national R&D amount was higher.

Keywords: secondary energy industry, technical efficiency, stochastic frontier analysis

* Director, Ministry of Trade, Industry, and Energy(main author). denverkai2050@gmail.com
** Professor, Graduate School of Knowledge-based Technology and Energy, Korea Polytechnic University. sjkang@kpu.ac.krKorea Polytechnic University. sjkang@kpu.ac.kr