

## 확률프론티어 모형 및 맘퀴스트 지수를 활용한 산업별 에너지생산성 분석\*

모정윤\*\*

### 요 약

정부는 2019년 12월 '제 3차 배출권거래제 기본계획'을 확정·발표하였다. 배출권거래제를 통해 실효적으로 온실가스를 감축하려면 시장 참여자들이 현재 에너지를 효율적으로 사용하고 있는지를 평가해 보고 이를 바탕으로 에너지 생산성 제고 전략을 수립하여야 한다. 본 연구는 확률 프론티어 모형과 맘퀴스트 지수 모형을 기반으로 총 요소 에너지생산성을 추정하여 국내 배출권거래제 참여기업들의 에너지 생산성을 평가한다. 또한 에너지 생산성을 26개 세부 산업 별로 비교·분석하여 에너지 효율 향상을 위한 시사점을 도출한다. 분석 결과 배출권거래제 참여 기업들의 에너지 생산성은 관측 기간 평균값이 1보다 낮아 전년도 대비 꾸준히 감소해왔으나 에너지 생산성 감소율은 지속적으로 개선되었다는 결론을 도출하였다. 또한 기술변화는 생산성 향상에 가장 중요한 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있음을 밝혀내었다. 산업별 비교 분석 결과 전체 산업의 에너지 생산성 제고를 위해서는 과감한 설비투자의 확대, 에너지효율향상을 위한 혁신적인 기술 및 장비 개발을 목표로 한 연구개발투자가 필요하다는 시사점을 도출하였다.

주요 단어 : 에너지생산성, 확률프론티어모형, 맘퀴스트 생산성 지수, 배출권거래제  
경제학문헌목록 주제분류 : Q21, Q42

\* 이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음(2020년도)

\*\* 조선대학교 조교수(주저자). jyomo@chosun.ac.kr

## I. 서 론

정부는 2019년 12월 ‘제 3차 배출권거래제 기본계획’을 확정·발표하였다. 동 계획에서는 배출권 거래제 1·2차 계획기간의 문제점 및 한계를 개선하고 보다 활발한 시장 참여 유도 및 효율적인 온실가스 감축을 위해 4대 추진 전략을 수립하였다. 먼저 배출허용총량 설정 강화 및 온실가스 감축사업 지원 확대를 통해 실효적 감축을 추진하고 할당단위를 시설에서 사업장으로 변경하는 등의 할당 방식을 개선하였다. 또한 금융기관 및 제 3자의 시장참여 허용을 통해 시장기능을 확대하며 국제 탄소시장과의 연계 협력을 통해 현행 배출권거래제를 고도화하여 2030년 국가 온실가스 감축목표의 달성에 기여하고자 한다.

성공적인 배출권거래제 3차 계획기간의 운영을 위해서는 시장 참여자들이 에너지효율향상 관련 기술을 개발하고 생산 공정의 에너지관리시스템 고도화를 도입하여 산출물의 감소 없이 에너지 사용량을 감축하거나 산출물 증대와 에너지소비 감축을 동시에 달성하는 선진국형 에너지소비구조로의 개편이 필요하다. 이러한 에너지생산성 제고를 성공적으로 추진하기 위해서는 에너지소비 비중이 가장 높은 산업부문의 자발적이며 적극적인 에너지 생산성 제고 노력이 필요하다.

에너지소비구조 혁신을 통해 경제성장과 에너지소비 감소를 동시에 달성하기 위해서는 우리 사회가 에너지 투입 대비 산출물을 얼마나 효율적으로 생산하고 있는지를 먼저 평가하여야 한다. 에너지소비 및 경제성장을 모두 고려하여 도출된 에너지 생산성을 바탕으로 현재 국내 세부 산업들의 에너지 투입 대비 생산의 효율성을 살펴보고 산업의 특성을 고려한 에너지 생산성 제고 정책을 설계하고 실행해 나가는 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는

국내 산업별 에너지 생산성을 추정해 보고자 한다. 동 연구에서는 현재의 기술 수준에서 매출액과 탄소배출량 등의 산출물 벡터를 얻기 위해 투입되어야 하는 최소한의 생산 요소의 결합을 거리함수의 프론티어로 정의하였다. 이를 바탕으로 실제 에너지 투입량이 프론티어로부터 얼마나 가깝게 위치하고 있는지를 비율로 나타낸 수치를 에너지 생산성으로 정의한다. Shepard(1953년)의 거리함수의 개념을 기반으로 노동, 자본 및 에너지소비량 등의 투입물과 매출액 및 탄소배출량 등 다수의 산출물을 모두 고려하여 현재의 기술 수준 하에서 에너지소비가 얼마나 효율적으로 이루어지고 있는지를 평가하고자 한다. 또한 전체 산업을 26개 세부 산업별로 나누어 산업별 에너지 생산성 수준을 비교·분석 후 국내 산업의 에너지효율 혁신을 위한 시사점을 도출하고자 한다. 본 연구에서는 2011년부터 2019년까지 국내 배출권거래제 2차 계획 기간(2018년~2020년)에 참여하고 있는 전체 657개의 기업을 분석의 자료로 사용하였다. 또한 확률프론티어 분석 및 맘퀴스트 지수 모형을 기반으로 전체 산업의 총 요소 에너지 생산성을 추정하고 26개 세부 산업별 에너지 생산성을 비교하여 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제Ⅱ장에서는 에너지 생산성 추정과 관련된 선행연구를 살펴본다. 제Ⅲ장에서는 연구 방법 및 자료를 제시하고, 제Ⅳ장에서는 에너지 생산성 추정 결과를 기반으로 국내 산업별 에너지 생산성 변화를 분석한다. 마지막 제Ⅴ장에서는 논문의 주요 분석 결과를 정리하고 정책적 시사점을 도출한다.

## II. 선행 연구

에너지 투입 대비 산출이 얼마나 효율적으로 이루어지는지를 의미하는 에너지 생산성을 측정하기 위해 다양한 분석 방법 및 지표들이 많은 선행 연구를 통하여 개발되어 왔다. 에너지 투입 대비 산출의 비율을 나타내기 위한 방법론은 크게 부분 요소 에너지 생산성(partial factor energy productivity)과 총 요소 에너지 생산성(total factor energy productivity)으로 구분된다. 먼저 부분 요소 에너지 생산성은 총 산출을 에너지 투입으로 나누어 측정하는 지표로 생산성의 계산 및 해석이 매우 용이하다. 반면 총 산출물의 변화에 다른 생산 요소들이 미치는 효과를 반영할 수 없어 부분 효과만을 측정 한다는 한계를 지니고 있다. 총 요소 에너지 생산성은 산출물에 영향을 주는 다수의 생산 요소들을 모형 안에서 고려할 수 있으며 이를 통해 종합적인 관점에서 생산성을 측정한다는 점에서 부분 요소 생산성보다 에너지 투입의 효율성을 측정하기에 적합하다.

총 요소 생산성 관점에서 생산성을 추정하기 위한 방법론은 자료포락법(Data Envelopment Analysis, DEA)과 확률프론티어분석(Statistical Frontier Analysis, SFA)등으로 구분할 수 있다. 자료포락법은 1982년에 Caves et al. 이 고안한 방법론으로 비모수적 접근 방법을 통해 생산성을 추정한다. 동 방법론은 목적 함수의 특성 및 모수 간 제약 조건 등을 가정하지 않고 상대적 효율성을 추정할 수 있다는 장점이 존재하나 모형에서 확률적 교란항의 고려가 불가능한 단점을 지니고 있다. 구자열 외(2011), 강인규 외(2014), 문하나 외(2015) 및 Xiaoli et al.(2014) 등은 자료포락법을 기반으로 다양한 지역 및 기업/산업의 에너지 생산성을 추정하였다. 구자열 외(2011)는 1996년부터 2007년까지의 한국 및 일본의 광역 경제권별 자료를 활용, 자료포락법을 사용하여 두

국가의 에너지생산성을 추정하고 한국과 일본의 지역별 에너지 생산성 변화의 차이가 크다는 결론을 도출하였다. 강인규 외(2014)는 2008년부터 2011년까지 목표관리제 지정 기업을 대상으로 자료포락법을 적용하여 에코효율성을 추정하였다. 그 결과 전체 기업의 약 67%가 경제적 부가가치에 비해 상대적으로 많은 수준의 탄소를 배출하거나 에너지 사용량이 과다하여 에코효율성이 낮다는 결론을 도출하였다. 문하나 외(2015)는 2009년 국내 에너지 목표 관리제에 참여하고 있는 63개의 기업들을 대상으로 자료포락법을 활용하여 에너지 생산성을 추정하고 이를 비교 분석하였다. 그 결과 분석 대상 기업들의 에너지효율성은 매우 낮은 편이며 특히 관리의 비효율이 높다는 결론을 도출하였다. Xiaoli et al.(2021) 등은 1997년부터 2007년까지 중국의 지역 데이터를 활용하여 자료포락법을 기반으로 다양한 요인이 에너지 생산성에 미치는 효과를 분석하였다. 분석 결과 기술 진보, 경제발전 및 에너지 가격이 에너지 생산성 제고에 통계적으로 유의미한 효과가 있다는 결론을 도출하였다.

총 요소 에너지 생산성을 측정하는 또 다른 방법론인 확률프론티어분석은 모수적 접근방법을 기반으로 효율성을 추정하는 분석 방법론이다. 확률프론티어분석은 목적 함수의 형태 및 모수에 대한 가정이 존재하므로 자료포락법에 비해 많은 제약을 고려하는 단점이 존재한다. 반면, 관측치의 이질성을 통제할 수 있으며 확률적 교란항을 모형에 포함할 수 있는 장점 또한 존재한다. 확률프론티어분석을 기반으로 에너지 및 탄소 생산성을 분석한 선행 연구로는 김광욱 외(2015), Du et al.(2016), 김길환 외(2016), 임승모 외(2017) 및 이우평 외(2018) 등이 존재한다. 먼저 김광욱 외(2015)는 1995년부터 2009년까지 국내 14개 산업 부문 데이터를 활용하여 확률프론티어분석을 기반으로 자본, 노동, 에너지소비량 및 탄소배출량을 투입 변수로 기업의 매출액을 산출 변수로 가정하여 제조업의 에너지 생산성을 추정하였다. 그 결과 90년대 이후 국내 제조업의 에너지 생산성이 꾸준히 향상되어 왔으며 특히 기술 진보에 의해 생산성이 향상되어 왔다는 결론을 도출하였다. Du et al.(2016)는 1990년부터 2010년까지 123개의 국가 데이터를 기반으로 확률프론티어분석을 사용하

여 국가별 에너지 생산성을 추정 후 경제발전 수준에 따른 에너지 생산성의 차이를 분석하였다. 그 결과 경제발전 수준이 높은 국가들은 경제발전 수준이 낮은 국가들에 비해 에너지 생산성이 통계적으로 유의미하게 높다는 결론을 도출하였다. 김길환 외(2016)는 2011년부터 2015년까지의 목표관리 대상기업을 대상으로 확률프론티어분석을 적용하여 15개 산업별 탄소생산성을 추정하였다. 그 결과 전체 기업의 탄소 생산성은 지속적인 감소 추세를 유지 후 배출권거래제 도입 이후 크게 개선되었다는 결론을 도출하였다. 임승모 외(2017)는 2000년부터 2014년까지 전국 15개의 광역시 자료를 기반으로 지역별 에너지 효율성을 추정하였다. 그 결과 시간의 흐름에 따라 에너지효율성은 증가하며 특히 서울 및 광주는 에너지효율성이 상대적으로 높은 지역이라는 결론을 도출하였다. 이우평 외(2019)는 2013년부터 2015년까지 온실가스 관리업체 사업장 데이터를 활용, 확률프론티어분석을 적용하여 산업별 에너지 효율성을 추정하였다. 그 결과 금속, 비금속 및 화학 산업에서 에너지 소비의 비효율성이 존재한다는 결론을 도출하였다.

본 논문에서는 관측치의 산업별 구분에 따른 이질성을 통제하고 확률적 교란항을 모형에서 고려하기 위해 확률프론티어분석을 기반으로 총 요소 에너지 생산성을 추정하고자 한다. 본 연구는 세 가지 부문에서 선행연구와의 차별성이 존재한다. 첫째, 본 연구는 배출권거래제에 참여하는 전체 기업의 총 요소 에너지 생산성을 추정하여 기업들의 에너지 생산성의 변화 추이를 살펴보고 2015년의 배출권거래제 도입의 효과가 에너지 생산성 변화에 어떤 효과를 미치는지를 살펴보았다. 둘째, 산업별 총 요소 에너지 생산성 추정 시 국내 자료를 기반으로 한 선행연구에서는 고려되지 않았던 생산 함수의 산출물로서 기업들의 탄소배출량을 매출액과 동시에 고려하여 보다 종합적인 관점에서 에너지 생산성을 정교하게 추정하였다. 마지막으로 본 연구에서는 2011년부터 2019년까지 배출권거래제 참여 기업들의 에너지 생산성의 변화 추이를 26개의 산업별로 구분하여 살펴보고 산업별 에너지 생산성 변화를 분석 후 에너지 생산성 제고를 위한 정책적 시사점을 도출하였다.

### Ⅲ. 연구 방법 및 자료

#### 1. 확률프론티어 분석

본 연구에서는 확률프론티어분석을 적용하여 배출권거래제 2차 계획기간 참여 기업들의 에너지 생산성을 추정하였다. 확률프론티어분석은 Shapard(1953)의 논문을 기반으로 현재의 주어진 기술 수준에서 매출액 및 탄소배출량의 벡터를 얻기 위해 투입되어야 하는 최소한의 생산 요소의 결합을 거리함수(distance function) 요소 중 프론티어(frontier)라고 정의한다. 투입의 비효율은 실제 투입물 벡터가 프론티어로부터 얼마나 멀리 떨어져 있는냐를 비율로 나타내어 측정한다. 즉, 실제 투입물들이 프론티어에 정확히 위치할 경우 생산이 가장 효율적으로 이루어진 상태로 평가하고, 실제 투입물이 프론티어로부터 멀어질수록 생산의 비효율성이 증가하여 생산성이 낮은 것으로 평가한다. Shapard(1953)의 투입거리함수(input distance function)는 아래의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_I(Y, X) = \max\{\lambda : (X/\lambda) \in I(Y)\} \quad (1)$$

여기서 Y는 매출액 및 탄소배출량으로 구성된 산출물 벡터이며, X는 노동, 자본 및 에너지소비량으로 구성된 투입물 벡터이다. 또한 I(Y)는 산출물 벡터의 생산을 가능하게 만드는 투입물 필요 집합(input requirement set)이다. 투입거리함수는 산출물벡터에 대한 증가함수(increasing function)이며 투입물벡터에 대해 선형 동차성(linear homogeneity) 및 오목성(concavity)의 성질을 만족하며 비감소함수(nondecreasing function)이다(Lovell et al(1994)). 동 투입거리함수에 트랜스로그함수 형태를 적용하면 식 (1)은 아래의 식 (2)로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \ln D_t(k_{it}, l_{it}, e_{it}, y_{it}, c_{it}) = & \beta_0 + \beta_k \ln k_{it} + \beta_l \ln l_{it} + \beta_e \ln e_{it} + \beta_y \ln y_{it} + \beta_c \ln c_{it} \\
 & + \beta_t t + \beta_{ky} \ln k_{it} \ln y_{it} + \beta_{ke} \ln k_{it} \ln e_{it} + \beta_{kl} \ln k_{it} \ln l_{it} \\
 & + \beta_{ke} \ln k_{it} \ln e_{it} + \beta_{le} \ln l_{it} \ln e_{it} + \beta_{ly} \ln l_{it} \ln y_{it} + \beta_{lc} \ln l_{it} \ln c_{it} \\
 & + \beta_{ey} \ln e_{it} \ln y_{it} + \beta_{ec} \ln e_{it} \ln c_{it} + 0.5 \beta_{kk} (\ln k_{it})^2 \\
 & + 0.5 \beta_{ll} (\ln l_{it})^2 + 0.5 \beta_{ee} (\ln e_{it})^2 + 0.5 \beta_{yy} (\ln y_{it})^2 \\
 & + 0.5 \beta_{cc} (\ln c_{it})^2 + 0.5 \beta_{tt} (t)^2 + \beta_{kt} \ln k_{it} t + \beta_{lt} \ln l_{it} t \\
 & + \beta_{et} \ln e_{it} t + \beta_{yt} \ln y_{it} t + \beta_{ct} \ln c_{it} t + \nu_i
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서  $k_{it}$ ,  $l_{it}$ ,  $e_{it}$ ,  $y_{it}$ , 및  $c_{it}$  각각  $t$  기  $i$  기업의 자본, 노동, 에너지소비량, 매출액 및 탄소배출량을 의미하며  $\nu_i$ 는 확률 오차를 의미한다. 자본, 노동, 에너지소비량은 거리함수를 구성하는 생산 요소들이며 동 생산 요소들을 투입하여 현재의 기술 수준 하에서 두 개의 산출물인 매출액(desirable good)과 탄소 배출량(undesirable good)이 생산된다고 가정한다. 위의 식 (2)에 거리함수가 만족해야하는 제약 중 하나인 선형동차조건(linear homogeneity condition)을 적용하면 투입물 벡터는 임의의 투입물(에너지소비량)로 정규화되고 아래의 식 (3)이 도출된다.

$$\ln D_t(k_{it}, l_{it}, e_{it}, y_{it}, c_{it}) = \ln D_t(k_{it}, l_{it}, 1, y_{it}, c_{it}) + \ln e_{it} \tag{3}$$

식 (2)과 (3)를 바탕으로 식 (4)은 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}
 -\ln e_{it} = & \beta_0 + \beta_k^* \ln k_{it}^* + \beta_l^* \ln l_{it}^* + \beta_y \ln y_{it} + \beta_c \ln c_{it} + \beta_t t + \beta_{k^*y} \ln k_{it}^* \ln y_{it} \\
 & + \beta_{k^*l^*} \ln k_{it}^* \ln l_{it}^* + \beta_{k^*c} \ln k_{it}^* \ln c_{it} + \beta_{l^*c} \ln l_{it}^* \ln c_{it} + \beta_{l^*y} \ln l_{it}^* \ln y_{it} \\
 & + \beta_{cy} \ln c_{it} \ln y_{it} + 0.5 \beta_{k^*k^*} (\ln k_{it}^*)^2 + 0.5 \beta_{l^*l^*} (\ln l_{it}^*)^2 + 0.5 \beta_{yy} (\ln y_{it})^2 \\
 & + 0.5 \beta_{cc} (\ln c_{it})^2 + 0.5 \beta_{tt} (t)^2 + \beta_{k^*t} \ln k_{it}^* t + \beta_{l^*t} \ln l_{it}^* t \\
 & + \beta_{yt} \ln y_{it} t + \beta_{ct} \ln c_{it} t + (\nu_i - \nu_i)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서  $k_{it}^*$ 는  $t$  기  $i$  기업의 자본을 에너지소비량으로 정규화한 값( $k_{it}/e_{it}$ )이며 및  $l_{it}^*$ 은  $t$  기  $i$  기업의 노동을 에너지소비량으로 정규화한 값( $l_{it}/e_{it}$ )이다.

$v_i$ 는 현재의 기술 수준에서 투입을 더 줄일 수 있으나 생산 요소가 과다하게 투입되어 발생하는 손실의 크기를 의미하며 생산의 비효율성을  $v_i$ 를 통해 추정한다.

## 2. 맘퀴스트 생산성 지수(Malmquist Productivity Index)

생산 요소의 투입 대비 산출로 정의되는 생산성을 보다 정교하게 추정하기 위해 그동안 다양한 지수들이 개발되었다. 그 중 본 연구에서는 Malmquist가 1953년에 개발한 맘퀴스트 생산성 지수를 활용하여 총 요소 에너지 생산성을 추정하고자 한다. Malmquist(1953)의 연구에 따르면 맘퀴스트 지수는 효율성 변화(efficiency change, EFFCH)와 기술 변화(technical change, TECH)로 지수를 분해할 수 있다. 효율성 변화는  $v_i$ , 즉 확률프론티어모형에서 추정된 비효율성을 바탕으로 아래의 식 (5)와 같이 정의된다.

$$EFFCH_{i(t,t+1)} = \frac{E[\exp(-v_{i,t+1}|\nu_{i,t+1})]}{E[\exp(-v_{i,t}|\nu_{i,t})]} \quad (5)$$

다음으로 기술 변화는 시간의 흐름에 따라 기술이 진보하여 바뀌는 효율성의 변화를 의미하며 총 요소 생산성 변화 중 기술의 진보에 의해 변화하는 생산성의 변화를 기술 변화를 통해 추정하게 된다. 동 연구에서는 Coelli, Rao and Battese(2005)의 연구를 바탕으로 기술 변화를 측정하였다. 기술 변화는 식 (4)을 시간  $t$  와  $t+1$ 에 대해 미분한 값의 기하 평균으로 산출되며 아래의 식 (6)과 같이 측정된다.

$$TECH_{i(t,t+1)} = \left[ \frac{\exp(\beta_t + \beta_{tt}(t+1) + \beta_{k^*} \ln k_{it+1}^* + \beta_{l^*} \ln l_{it+1}^* + \beta_{c^*} \ln c_{it+1} + \beta_{y^*} \ln y_{it+1})}{\exp(\beta_t + \beta_{tt}(t) + \beta_{k^*} \ln k_{it}^* + \beta_{l^*} \ln l_{it}^* + \beta_{c^*} \ln c_{it} + \beta_{y^*} \ln y_{it})} \right]^{1/2} \quad (6)$$

최종적으로 맘퀴스트 생산성 지수에 기반한 총 요소 에너지생산성(total factor energy productivity, TFEP)은 식 (5)와 (6)에서 계산된 효율성 및 기술변화

등 두 변동 요인의 곱셈으로 도출되며 아래의 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$TFEP_{i(t+1)} = EFFCH_{i(t+1)} * TECH_{i(t+1)} \quad (7)$$

맘퀴스트 생산성 지수에 기반한 총 요소 에너지생산성은 전년도 대비 기준 년도의 에너지생산성이 얼마나 증가 또는 감소하였는지를 의미한다. 만약 총 요소 에너지생산성이 1보다 클 경우(또는 1보다 작을 경우) 전년도 대비 기준 년도의 에너지생산성이 증가(또는 감소) 하였음을 나타낸다.

### 3. 자료

배출권거래제 참여기업들의 에너지 생산성 추정에 사용한 자료는 크게 투입 변수와 산출 변수로 구분된다. 먼저 투입 변수로써 배출권거래제에 참여하는 개별 기업들의 노동, 자본 및 에너지소비량을 사용하였고 산출 변수로써 탄소배출량 및 매출액 자료를 사용하였다. 동 분석의 대상은 2011년부터 2019년까지 배출권거래제 2차 계획기간에 참여하고 있는 총 657개의 기업이다. 개별 기업들의 노동, 자본 및 매출액 등 재무제표 자료는 NICE 평가정보의 KISVALUE 데이터베이스 자료를 사용하였다. 재무제표 자료 중 노동은 재무상태표 항목의 총 종업원 수를 사용하였으며 자본의 경우 재무상태표 항목 중 자본 총계 자료를 이용하였다. 또한 매출액의 경우 손익계산서 항목 중 총 매출액 자료를 기반으로 2000년도 기준, GDP 디플레이터를 활용하여 명목 매출액을 실질매출액으로 변환하여 사용하였다. 탄소배출량은 배출권등록부시스템(ETRS) 자료 중 인증배출량 자료를 사용하였으며 연도 및 개별 기업별 에너지사용량은 온실가스종합정보센터(GIR)에서 공개하는 온실가스 통계 자료를 활용하였다. 동 에너지사용량은 연료 연소과정에서 사용한 에너지소비량만을 집계한 것으로 원료 사용에서의 에너지소비량은 포함되지 않는다.

<표 1>은 26개 세부 산업별 자료의 분포 및 주요 변수들의 총량을 요약하

고 있다. 산업 별 기업들의 분포를 살펴보면 석유화학 산업에 전체 기업의 16%가 종사하고 있으며 뒤이어 폐기물 및 철강 산업 등에 많은 기업들이 분포되어 있다. 관측기간 동안 에너지를 가장 많이 사용한 업종은 발전/에너지산업으로 전체 누적 에너지소비량 중 약 43%의 에너지를 동 산업에서 소비하고 있는 것으로 분석되었다. 뒤이어 정유(15%), 디스플레이(9%) 및 철강(5.8%) 산업 등이 상대적으로 타 산업에 비해 에너지를 연료 연소 과정에서 많이 사용하고 있다. 관측 기간 동안 가장 높은 누적 매출액을 기록한 산업은 반도체산업으로 누적 매출액의 15%를 차지하였다. 동 산업 다음으로 누적 매출액이 높은 산업은 석유화학(12%), 자동차(11%) 및 발전/에너지 산업(11%)이다.

〈표 1〉 산업별 자료

산업 분류	해당 기업 수	총 에너지소비량(TJ)	총 매출액(단위: 십 억원)
건물	40	2,457.71	659,000.00
광업	5	536.58	1,820.00
기계	15	1,644.70	104,000.00
디스플레이	5	42,437.86	411,000.00
목재	7	1,629.12	9,920.00
반도체	24)	11,428.96	1,560,000.00
발전/에너지	19	199,354.50	1,110,000.00
비철금속	29	5,006.94	393,000.00
산업단지	14	13,278.16	24,400.00
석유화학	103	10,845.54	1,190,000.00
섬유	19	6,100.93	129,000.00
수도	2	7,910.24	599.00
시멘트	30	9,445.49	38,400.00
요업	10	1,024.77	7,940.00
유리	21	4,100.15	72,900.00
음식료품	28	2,350.38	246,000.00
자동차	39	3,133.46	1,140,000.00
전기전자	28	3,993.65	539,000.00
정유	6	70,977.47	784,000.00
제지	44	2,602.30	83,300.00
조선	12	4,393.81	311,000.00
집단에너지	21	14,188.59	252,000.00
철강	45	26,695.60	610,000.00
통신	9	9,005.38	463,000.00
폐기물	74	1,735.83	4,530.00
항공	7	3,911.21	179,000.00

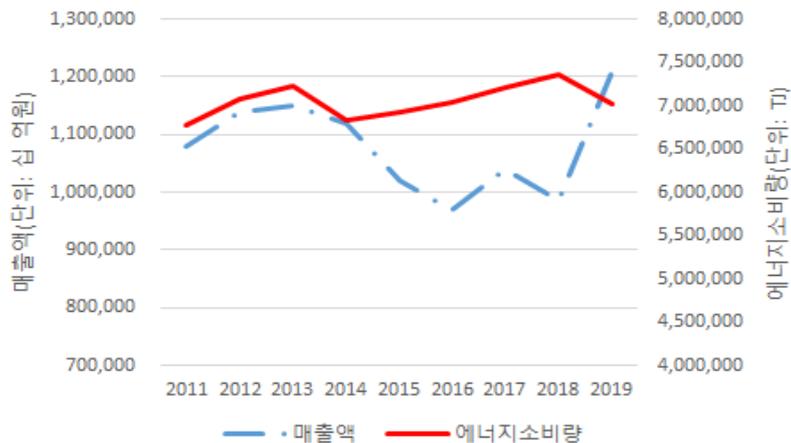
확률프론티어 분석을 위해 본 연구에서는 모든 자료를 로그 변환하여 사용하였으며 원 자료들의 기초통계량은 <표 2>에 정리되어 있다.

<표 2> 기초 통계량

	매출액 (단위: 십억 원)	탄소배출량 (단위: 1000톤)	자본 (단위: 십억 원)	노동 (단위: 명)	에너지소비량 (단위: 1000TJ)
평균	2,406.42	1,067,419.00	1,804.62	1,952.05	14.11
최소	0.00	0.00	-3,651.07	0.00	0.00
최대	170,382.00	80,500,000.00	177,870.30	104,833.00	2,493.56
표준편차	8,771.51	5,350,977.00	8,114.21	6,666.07	69.21
왜도	10.92	9.53	12.19	8.89	14.95
첨도	167.43	106.40	202.16	107.41	393.13

에너지 생산성 도출을 위해 연구의 주요 변수들인 에너지소비량과 매출액의 연도별 추세를 [그림 1]을 통해 살펴보았다. 그 결과 배출권거래제 2차 계획 기간에 참여한 기업들의 에너지소비량은 2014년도에 소폭 감소한 후 다시 증가하는 추세를 유지하다가 2019년도에 소폭 감소하였다. 반면 매출액의 경우 2016년까지 감소하는 추세를 유지, 2017년 소폭 증가 후 2019년 크게 증가하였다.

[그림 1] 연도별 에너지소비량과 매출액 추이



## IV. 분석 결과

### 1. 확률 프론티어분석 결과

확률프론티어 모형은 시간의 흐름에 따른 비효율성( $u_i$ )의 변동성 가정에 따라 비효율성이 시간의 변화에 따라 변동하지 않는 모형(time-invariant technical efficiency model)과 비효율성이 변동하는 모형(time-variant technical efficiency model)으로 구분된다. 본 연구에서는 시간의 흐름에 따라 비효율성이 변동한다고 가정 후 동 가정을 따르는 확률프론티어 모형 중 2005년도에 Green이 제시한 고정효과(true fixed effect, TFE) 모형과 확률효과(true random effect, TRE) 모형 그리고 1992년도에 Battese과 Coelli가 제안한 BC92 모형 등 총 세 가지 모형을 바탕으로 최우추정법에 기반하여 모형을 추정하였다.

확률프론티어 모델에 대한 추정 결과는 <표 3>에 요약되어 있다. 먼저 에너지 사용의 비효율성이 모형에 존재하는지를 알아보기 위해 분산의 모수  $\sigma_u$ 를 바탕으로 유의성 검정을 실시하였다. LR 검정 결과 모든 모형에서 귀무가설을 기각하여 추정된 세 가지 모형에서 에너지 소비의 비효율성이 존재함을 알 수 있다. 동 결과는 현재의 투입물이 가장 효율적인 프론티어에 위치하고 있지 않음을 의미하며 이에 따른 비효율성이 존재하고 있음을 나타낸다.

본 연구에서는 BIC 값이 가장 낮은 확률효과 모형을 세 가지 모형 중 가장 적합한 모형으로 선정하였다. 확률효과 모형의 경우  $\ln kt$ 를 제외한 모든 독립 변수들이 통계적으로 유의미하였다. 추세가 포함되어 있는 설명변수 중 매출액과 관련된 변수를 제외한 모든 변수가 통계적으로 유의미한 양의 값을 지니고 있었으며 이는 시간의 흐름에 따라 에너지 생산성이 증가하고 있음을 시사한다.

〈표 3〉 확률 프론티어 함수 추정치

	Variables	TFE(model1)	TRE(model2)	BC92(model3)
	Intercept		18.2417*** (0.3977)	27.5748* (14.33)
Inputs	lnk	-1.1785*** (0.0940)	-0.1373*** (0.028)	-1.2152*** (0.1002)
	lnl	1.8579*** (0.096)	1.6431*** (0.0320)	2.4001*** (0.1305)
	lnkl	-0.0644*** (0.0034)	-0.0034** (0.0014)	-0.0784*** (0.0040)
	lnk2	0.0874*** (0.0043)	0.0442*** (0.0015)	0.0637*** (0.004)
	lnl2	0.0853*** (0.0031)	0.0752*** (0.0016)	0.0761*** (0.0057)
Ouput	lny	0.0695 (0.1061)	-1.7303*** (0.0257)	-0.2988** (0.1446)
	lnc	-0.1961 (0.1970)	1.0173*** (0.0307)	0.3655** (0.1560)
	lnyc	0.0216*** (0.0052)	-0.0662*** (0.0020)	0.0435*** (0.0048)
	lny2	-0.0182*** (0.0043)	0.0965*** (0.0016)	-0.0377*** (0.0051)
	lnc2	-0.0329*** (0.0079)	0.0232*** (0.0035)	-0.0753*** (0.0092)
Inputs-Output	lnky	-0.0062 (0.0045)	-0.0243*** (0.0012)	0.0257*** (0.0050)
	lnkc	-0.0139*** (0.0039)	0.0044*** (0.0014)	-0.0509*** (0.0063)
	lnly	-0.0231*** (0.0038)	-0.0827*** (0.0014)	-0.0350*** (0.0045)
	lnlc	0.0348*** (0.0035)	0.0839*** (0.0022)	0.0354*** (0.0067)
Technical change	t	-0.0203 (0.0229)	0.0305*** (0.011)	0.0323 (0.0285)
	t2	0.0072*** (0.0005)	0.0075*** (0.0004)	0.0024*** (0.0008)
	lnkt	0.0001 (0.0013)	0.0003 (0.0007)	0.0016 (0.001)
	lnlt	0.0029*** (0.0010)	0.0044*** (0.0006)	0.0046*** (0.0012)

확률프론티어 모형 및 맘퀴스트 지수를 활용한 산업별 에너지생산성 분석

	Variables	TFE(model1)	TRE(model2)	BC92(model3)
Technical change	lnyt	-0.0024** (0.0011)	-0.0056*** (0.0010)	-0.0080 (0.0012)
	lnct	0.0030** (0.0013)	0.0063*** (0.0007)	0.0076*** (0.0013)
Variance parameters	ou	0.2056*** (0.0025)	0.1440*** (0.0028)	0.3435*** (0.0268)
	ov	0.0001 (0.0000)	0.0101*** (0.0020)	0.0181*** (0.000)
	$\lambda$	2766.1390*** (0.0024)	14.2915*** (0.0039)	
LR test		50515.5900***	896972.5400***	16337.3600 ***
BIC		-1987.7540	-2965.1450	-1500.9500

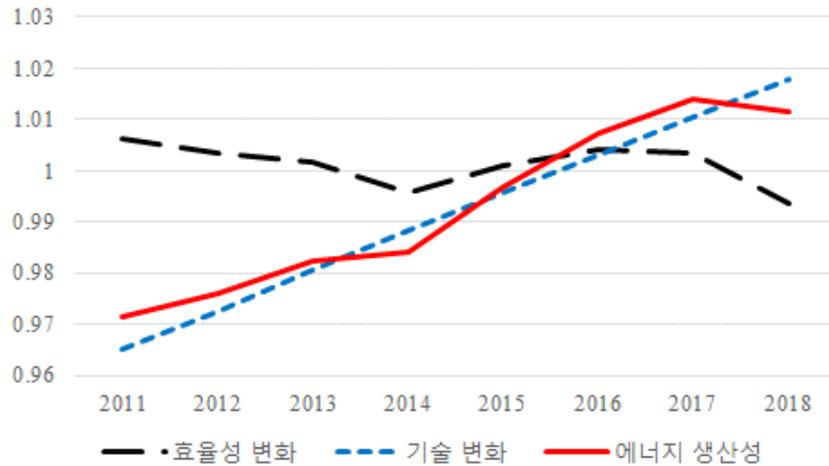
주: \*, \*\*, \*\*\* 은 각각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함.

## 2. 총 요소 에너지생산성 분석 결과

[그림 2]는 확률효과 모형을 기반으로 맘퀴스트 생산성 지수를 적용하여 추정된 배출권거래제 참여 기업 전체의 관측 기간 동안의 효율성 변화, 기술 변화 및 총 요소 에너지 생산성을 정리하여 보여주고 있다. 2018년도부터 2020년까지 배출권 거래제에 참여하고 있는 총 657개 기업들의 총 요소 에너지 생산성 평균의 경우 0.99로 이는 관측 기간 동안 기업들의 에너지 생산성이 전년도 대비 평균적으로 감소하고 있음을 시사한다. 에너지 생산성 변화의 추세를 살펴보면 2014년도 이후 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있다. 총 요소 에너지 생산성 추정치 및 [그림 2]의 변화 추세를 바탕으로 배출권거래제 참여 기업들의 에너지 생산성은 지속적으로 감소하였지만 감소율은 꾸준히 향상되고 있다는 결론을 도출할 수 있다. 다음으로 총 요소 에너지 생산성을 효율성 및 기술 변화로 분해한 결과를 살펴보면, 효율성 변화는 전년도 대비 비슷한 수준을 계속 유지하다 2016년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 유지하고 있는 반면, 기술 변화는 2011년도부터 지속적으로 빠르게 증가하는 추세를 보이고 있다. 이를 통해 배출권거래제 참여 기업들의 총 요소 에너지 생산성에 가장 큰 영향을

미치는 동인은 기술 변화이며 2016년 이후의 총 요소 에너지 생산성 증가 원인은 바로 기술 변화의 빠른 증가라는 결론이 도출된다.

[그림 2] 연도별 효율성, 기술 및 에너지 생산성 변화



에너지 소비의 생산성을 산업별로 비교하기 위해 <표 4>에서 에너지 생산성 추정 결과를 세부 산업별로 분류하여 비교 분석하였다. 그 결과 총 요소 에너지 생산성의 평균값이 가장 높은 산업은 폐기물, 시멘트, 광업 및 디스플레이 산업 등이다. 동 산업들의 총 요소 에너지 생산성의 평균은 1 이상으로 관측 기간 동안 전년도 대비 꾸준한 에너지 생산성의 증가가 있었던 것으로 분석된다.

<표 4> 세부 산업별 효율성 변화, 기술 변화 및 에너지 생산성 비교

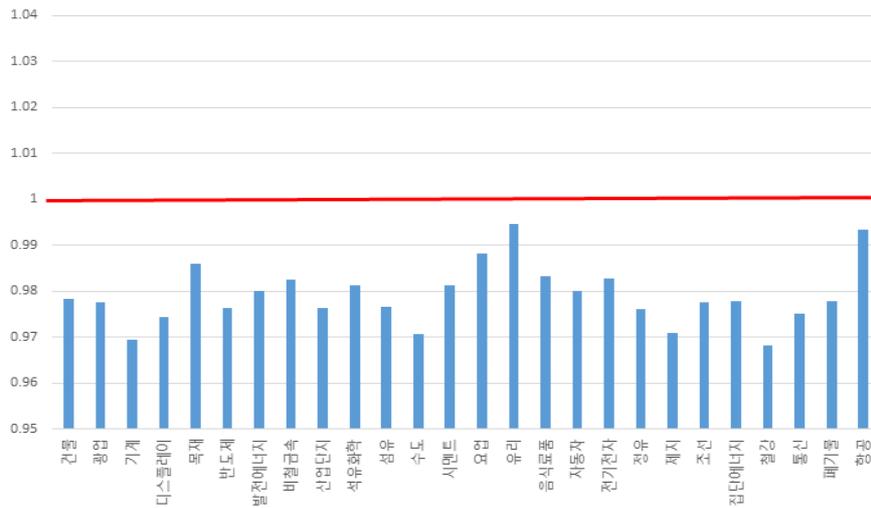
산업	효율성 변화	기술 변화	에너지 생산성		
			2011-2019년	2011년-2014년	2015년-2018년
전 산업	1.0012	0.991731	0.9929	0.9785	1.0073
건물	1.0036	0.989749	0.9933 (11)	0.9777 (15)	1.0089 (8)
광업	0.9970	1.004137	1.0013 (3)	0.9694 (25)	1.0332 (1)
기계	0.9986	0.989467	0.9881 (24)	0.9745 (22)	1.0017 (23)

확률프론티어 모형 및 맘퀴스트 지수를 활용한 산업별 에너지생산성 분석

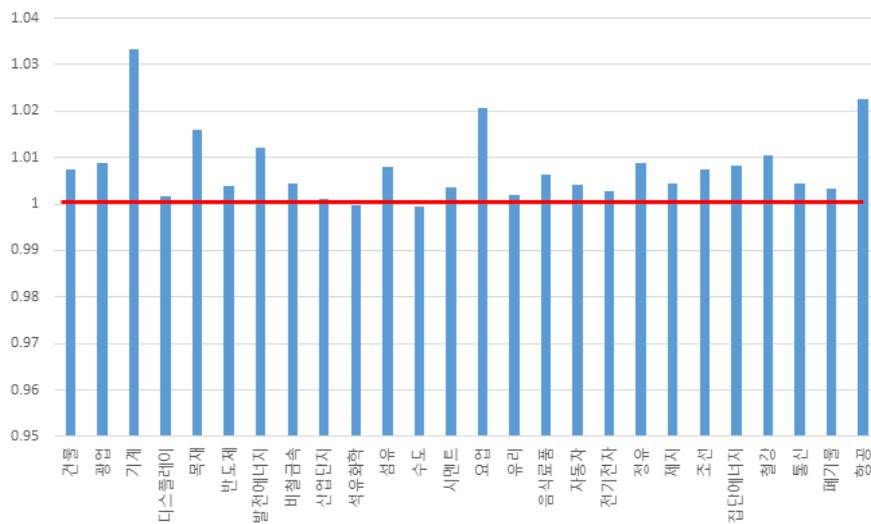
산업	효율성 변화	기술 변화	에너지 생산성		
			2011-2019년	2011년-2014년	2015년-2018년
디스플레이	1.0046	0.99634	1.0009 (4)	0.9860 (4)	1.0158 (4)
목재	1.0000	0.990225	0.9902 (20)	0.9765 (18)	1.0039 (18)
반도체	1.0030	0.99306	0.9960 (7)	0.9800 (12)	1.0121 (6)
발전에너지	1.0016	0.992023	0.9935 (10)	0.9826 (8)	1.0045 (14)
비철금속	1.0000	0.988798	0.9887 (23)	0.9764 (19)	1.0011 (24)
산업단지	0.9980	0.992545	0.9905 (19)	0.9814 (9)	0.9996 (25)
석유화학	1.0027	0.989625	0.9923 (16)	0.9766 (17)	1.0081 (11)
섬유	0.9929	0.992184	0.9850 (26)	0.9707 (24)	0.9993 (26)
수도	1.0015	0.992649	0.9940 (9)	0.9812 (10)	1.0037 (19)
시멘트	1.0035	1.000843	1.0044 (2)	0.9881 (3)	1.0207 (3)
요업	1.0048	0.993759	0.9983 (5)	0.9948 (1)	1.0019 (22)
유리	1.0016	0.993199	0.9948 (8)	0.9832 (5)	1.0063 (13)
음식료품	1.0031	0.989154	0.9922 (17)	0.9802 (11)	1.0041 (17)
자동차	1.0030	0.989876	0.9927 (13)	0.9827 (7)	1.0027 (21)
전기전자	1.0019	0.990585	0.9924 (15)	0.9761 (20)	1.0087 (9)
정유	1.0013	0.986367	0.9876 (25)	0.9709 (23)	1.0043 (15)
제지	0.9993	0.993231	0.9925 (14)	0.9776 (16)	1.0073 (12)
조선	1.0026	0.990319	0.9931 (12)	0.9780 (13)	1.0082 (10)
집단에너지	1.0009	0.988285	0.9892 (22)	0.9681 (26)	1.0103 (7)
철강	0.9991	0.990623	0.9897 (21)	0.9750 (21)	1.0043 (16)
통신	1.0022	0.988498	0.9906 (18)	0.9778 (14)	1.0034 (20)
폐기물	0.9992	1.008802	1.0080 (1)	0.9935 (2)	1.0224 (2)
항공	1.0047	0.993668	0.9983 (6)	0.9828 (6)	1.0139 (5)

총 요소 에너지 생산성을 국내 배출권거래제 도입 전인 2015년 전후로 나누어 분석한 결과는 [그림 3]과 [그림 4]에 요약되어 있다. [그림 3] 및 [그림 4]를 비교해보면 배출권거래제 참여 기업들의 총 요소 에너지생산성은 배출권거래제 도입 전 후로 큰 변화가 존재하였음을 알 수 있다. [그림 3]을 살펴보면 배출권거래제 도입 전인 2011년부터 2014년까지의 기업들의 에너지 생산성은 모두 1 이하로 관측 기간 동안 에너지 생산성이 지속적으로 감소해 오고 있었다. 반면 [그림 4]의 분석 결과 산업단지 및 섬유 산업을 제외한 24개의 산업에서 총 요소 에너지 생산성이 1보다 높아 전년도 대비 에너지 생산성이 꾸준히 향상되었음을 알 수 있다.

[그림 3] 산업별 에너지 생산성 비교(2011년 - 2014년)



[그림 4] 산업별 에너지 생산성 비교(2015년 - 2018년)

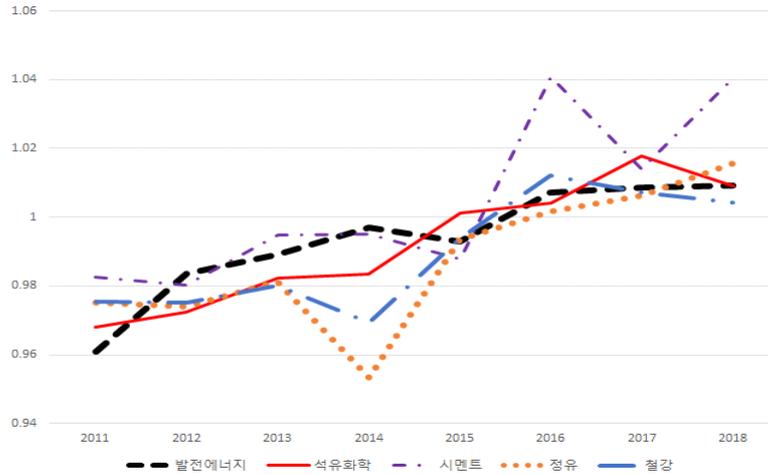


전체 산업 중 배출권거래제 도입 이후 에너지 생산성의 순위가 향상된 주요 산업은 반도체(12위→6위), 전기전자(20위→9위), 석유화학(17위→12위), 정유(23위→15위) 및 집단에너지(26위→7위) 산업 등이다. 반도체 산업은 2017년 이후 슈퍼사이클로 인해 매출액은 큰 폭으로 증가하였으나 에너지시스템 고도화, 에너지효율향상 관련 공정 및 장비 개발 등을 통해 에너지소비량은 크게 증가하지 않아 에너지 생산성 순위가 상승하였다. 정유 및 석유화학 산업의 경우 2015년 이후 대규모 설비 고도화 투자가 완료되어 수출 및 생산 물량의 증가하여 매출액 증가를 견인하였다. 이러한 매출액 증가 및 에너지효율향상 기술 투자가 결국 에너지 생산성의 순위 상승으로 전이되었다. 집단에너지산업의 경우 연료비 구매단가 하락 및 열에너지 요금 상승 등에 힘입어 매출액이 2015년 이후 크게 증가하여 생산성이 크게 향상되었다.

반면 2015년 이후 에너지 생산성 순위가 감소한 대표적인 산업은 발전에너지(8위→14위), 자동차(7위→21위) 등이다. 발전에너지산업은 2015년 이후 매출액이 전력판매단가(SMP) 하락 등으로 인해 급감하면서 에너지 생산성 순위가 크게 하락하였다. 자동차 산업 역시 2015년 이후 내수 및 수출 부진 등으로 인해 매출액은 크게 감소하였으나 에너지소비량의 감소폭은 상대적으로 낮아 에너지 생산성의 순위가 큰 폭으로 하락하였다.

마지막으로 [그림 5]는 세부 산업 중 대표적인 에너지 다소비산업에 해당하는 산업들의 연도별 총 요소 에너지생산성을 요약하였다. 에너지 다소비 산업 중 시멘트 산업의 에너지생산성이 평균적으로 가장 높았으며 모든 에너지다소비 산업들이 2015년 이후 에너지 생산성이 크게 향상되는 추세를 보이고 있다.

[그림 5] 에너지 다소비 산업의 에너지 생산성 비교



## V. 결론 및 시사점

본 연구는 확률프론티어모형과 맘퀴스트 생산성 지수 모델을 활용하여 국내 배출권거래제에 참여하고 있는 기업들의 에너지 생산성을 추정하였다. 2011년부터 2019년까지 배출권 거래제에 참여하는 657개 전체 기업들의 자료를 기반으로 국내 산업의 에너지 생산성 및 세부 산업별 에너지 생산성을 추정하였다. 그 결과 배출권거래제 참여 기업들의 에너지 생산성은 관측 기간 평균값이 1보다 낮아 전년도 대비 생산성이 꾸준히 감소해 오고 있었다는 결론을 도출하였다. 에너지 생산성 관측 기간을 배출권거래제 전·후로 나누어 생산성을 비교 분석한 결과 관측 기간별 참여 기업들의 에너지 생산성 변화가 존재한다는 결론을 도출하였다. 또한 생산성 분해 결과 기술 변화가 에너지 생산성에 가장 큰 영향을 주고 있다는 결론을 도출하였다. 반면 2016년도 이후의 총 요소 에너지 생산성 변화율의 둔화는 내부적 효율성 감소에 기인

한다. 따라서 총 요소 에너지 생산성 향상을 위해서는 현재의 기술 수준 하에서 주어진 생산요소의 투입을 보다 효율적으로 운영하거나 생산 공정의 효율을 향상시켜 산업 내부의 효율성을 제고할 수 있는 다양한 정책적 지원책이 필요하다.

세부 산업별 분석 결과 전체 산업 중 총 요소 에너지 생산성이 높은 산업은 폐기물, 시멘트, 광업 및 디스플레이 산업 순으로 분석되었다. 디스플레이 산업의 경우 선제적 산업 구조 조정 및 에너지효율 향상 관련 기술의 빠른 도입 등으로 인해 주요 제조업 중 관측 기간 동안 높은 에너지 생산성을 기록하였다. 배출권거래제 이후 에너지 생산성 순위가 크게 증가한 산업으로는 반도체, 전기전자, 석유화학 및 정유 산업 등으로 분석되었다. 에너지 생산성 순위가 크게 상승한 산업들의 경우 선제적 설비투자 확대, 생산 공정에서의 에너지 효율 향상 기술 및 장비 관련 연구개발투자가 진행되었다. 이는 전체 제조업의 에너지 생산성 제고를 위해서는 과감한 연구개발투자를 통한 에너지 효율 향상 관련 기술혁신, 생산 공정의 에너지시스템 고도화 등이 필요함을 시사한다.

한편 본 연구는 한계는 다음과 같다. 먼저 배출권거래제에 참여하고 있는 기업만을 분석의 대상으로 한정하여 전체 산업을 대표하지 못하는 문제가 존재한다. 추후 국내 전체 산업의 에너지소비 및 탄소배출 등의 활동 자료 확보가 가능할 경우 국내 전체 산업의 에너지 생산성 추정을 보다 정교하게 분석할 수 있을 것이다. 또한 총 요소 에너지 생산성에 영향을 주는 다양한 요인들(기술혁신, 산업 구조개편의 유연성 등)을 발굴하여 생산성을 설명할 수 있는 회귀 모형을 설계하여 분석한다면 에너지 생산성을 보다 정밀히 분석 후 생산성 제고를 위한 다양한 시사점을 도출할 수 있을 것이다. 원료 및 공정에서의 에너지소비량 등 기타 에너지소비량의 효과, 투입 연료의 구성변화 및 최근 급변하고 있는 전력 므스의 변화 등도 에너지 생산성 변화에 영향을 주는 중요한 요인이나 가용한 자료의 한계로 인해 분석의 대상에서 제외되어 있다. 추후 추가적인 자료의 확보가 가능할 경우 보다 정교하게 에너지 생산

성을 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 본 연구에서는 산출물로써 개별기업의 실질 매출액 자료를 사용하였다. 추후 개별기업의 생산량 자료를 확보하여 산출물을 생산량으로 대체하여 분석할 경우 보다 정확한 에너지 생산성의 추정 및 해석이 가능해 질 것으로 판단된다.

접수일(2021년 1월 13일), 수정일(2021년 3월 10일), 게재확정일(2021년 3월 26일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 강인규 외. 2014. 「DEA 모형을 이용한 온실가스에너지 목표관리제 지정기업의 효율성 평가」. 기업경영연구. 21(1) : pp1-25.
- 구자열 외. 2011. 「자료포락분석법을 적용한 한국과 일본의 광역경제권 단위에서 에너지 효율성 분석」. 한국지구시스템공학지. 48(1) : pp79-88.
- 김광욱 외. 2015. 「제조업 에너지 생산성 분해분석」. 자원환경경제연구. 24(12) : pp411-433.
- 김길환 외. 2016. 「목표관리제 시행에 따른 온실가스 감축효율성에 대한 실증연구」. 에너지경제연구원. 기본연구보고서 16-18.
- 문하나 외. 2015. 「DEA를 활용한 국내 기업의 에너지효율성 분석」. 한국경영과학회. 32(3) : pp37-54.
- 이우평 외. 2018. 「유가 충격 이질성을 고려한 에너지 다소비 사업장의 에너지 효율성 추정」. 생산성논집. 32(3) : pp3-35.
- 임승모 외. 2017. 「확률변경모형을 이용한 지역별 에너지 효율 측정 -제조업의 구조가 에너지 효율성에 미치는 영향을 중심으로-」. 에너지경제연구. 16(2) : pp89-118.
- Caves, D., Christensen, L. and Diewert, W. 1982. "The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity" *Econometrica*, 50 : pp393-414.
- Coelli, T. J., Rao, D. S., and Battese, G. E. 2005. "An introduction to efficiency and productivity analysis" London: Kluwer Academic.
- Du, K. and Lin, B. 2017. "International comparison of total-factor energy productivity growth: A parametric Malmquist index approach" *Energy* 118 : pp481-488.
- Lovell, C. A. K., Richardson, S., Travers, P., and Wood, L. L. 1994. "Resources and Functionings: A New View of Inequality in Australia" *Models and Measurement of Welfare and Inequality* pp787-807
- Malmquist, S. 1953. "Index numbers and indifference surfaces" *Trabajos de Estadística* 4: pp209-242.

에너지경제연구 ● 제 20 권 제 1 호

Shephard, R. W. 1953. "Cost and production functions" Princeton University Press.

Xiaoli, Z., Rui, Y. and Qian, M. 2014. "China's total factor energy efficiency of provincial industrial sectors" Energy 65 : pp52-61.

<https://ets.gir.go.kr/ets/>

<http://www.gir.go.kr/home/main.do>

---

ABSTRACT Estimating energy productivity by industry based on Stochastic Frontier model and Malmquist index\*

---

Jung Youn Mo\*\*

In December 2019, the government announced the “master plan for the third emission trading scheme”. To achieve economic growth and reduced energy consumption simultaneously, it is necessary to prepare an evaluation index to see whether our society is effectively using energy. This study evaluates the energy productivity of firms participating in the KETS by estimating total factor energy productivity based on the stochastic frontier model and the Malmquist productivity index model. In addition, carbon productivity is indexed by 26 industries, and productivity levels by industry are compared and analyzed to present efficient energy productivity improvement schemes for each industry. From the empirical results, it is confirmed that the energy productivity in Korea is lower than 1 on average during the observation period, resulting in a conclusion that productivity has been steadily decreasing compared to the previous year. It is also revealed that technological change is a main driver to increase the total factor energy productivity. From the estimation results, it is concluded that developing innovative technologies/ equipment and increasing facility investment is necessary to increase energy productivity.

Key Words : Energy productivity, Stochastic Frontier model, Malmquist productivity index, Emission trading scheme

---

\* Acknowledgements: This study was supported by research fund from Chosun University(2020)

\*\* Assistant Professor, Department of Economics, Chosun University. jymo@chosun.ac.kr