

확률변경모형을 이용한 지역별 에너지 효율 측정 -제조업의 구조가 에너지 효율성에 미치는 영향을 중심으로-

임승모* · 김명석**

요 약

한국은 천연자원의 부재로 에너지 자립도는 낮으나 에너지를 다소비하는 국가이며 총 에너지 소비의 50% 이상을 제조업 부문에 사용하고 있는 제조업 중심 국가다. 따라서 에너지 효율을 측정하고 제조업 유형이 에너지 효율에 미치는 영향을 분석하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 확률변경모형을 이용하여 2000년부터 2014년까지 전국 15개의 광역시, 도에 대한 지역별 에너지 효율성을 측정하였고 지역별 에너지 효율을 비교하여 이러한 차이를 야기하는 요인을 발견하였다. 분석결과 해당 기간 동안 전 지역의 평균 에너지 효율은 0.81이었으며 시간이 경과됨에 따라 에너지 효율이 향상되는 경향을 나타냈다. 지역별 차이로는 서울, 광주가 0.97로 가장 높았으며 전남이 0.47로 가장 낮은 효율을 보였다. 특히 지역별 제조업 구조는 에너지 효율성에 유의한 영향을 미쳤는데 석탄 및 석유, 화학제품 제조업과 비금속광물 및 금속제품 제조업 비중이 높은 지역일수록, 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 기계 운송장비 및 기타 제품 제조업 비중이 낮은 지역일수록 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 마지막으로, 분석결과를 바탕으로 지역별 에너지 효율성 격차 해소 및 효율성 향상 방안을 제안한다.

주요 단어 : 지역별 에너지 효율, 확률변경분석, 제조업 구조

경제학문헌목록 주제분류 : Q43, Q48

* 서강대학교 경영학과 석사과정(주저자), imseungmo@sogang.ac.kr

** 서강대학교 경영학과 교수(교신저자), myungkim@sogang.ac.kr

I. 서 론

에너지는 경제가 성장함에 있어 생산의 필수 요소로 작용해 왔다. 대부분의 국가들에서는 경제가 성장함에 따라 지속적으로 에너지 소비량을 증가시켜 왔다. 우리나라 최종에너지소비¹⁾는 2002년 160,451에서 2014년 213,870(단위: 천 TOE¹⁾)로 증가했으며 그 기간 최종에너지²⁾ 소비 증가율은 연평균 2.8%을 기록했다. 또한 2012년 기준 에너지 소비량은 세계 8위 수준으로 에너지 다소비 국가에 해당된다. 더욱이 우리나라와 같이 에너지의 95%이상을 수입에 의존하여 에너지 자립도가 낮은 국가의 경우 안정적인 에너지 수급과 에너지 공급이 중요한 국가 과제이다. 이러한 이유로 1990년대 우리나라의 에너지 정책의 주요 목적은 에너지를 안정적으로 수급하고 공급하는 것이었다. 하지만 2000년대에 들어 지속가능발전을 위하여 에너지의 효율적인 사용에 대한 국가의 관심이 증대되었으며 이에 따라 에너지 집약도를 낮추는 정책이 실행되었다. 그 결과 지속적으로 에너지 집약도³⁾(Energy Intensity, TOE/GDP)는 감소했으나 2013년 기준 우리나라의 에너지 집약도는 OECD 평균 0.13보다 높은 0.17로 OECD 국가 중 5위를 기록하고 있어 여전히 투입 에너지 대비 생산이 낮은 상태이다. 한편, 정부에서 에너지 효율을 대변하는 지표로 사용하고 있는 에너지 집약도는, 산출요소를 생산 하는데 투입되는 요소로 에너지만 고려하여 계산된다. 즉 자본, 노동인구, 경제구조와 같은 부가가치를 생산하는 다른 요소들을 고려하지 않는다. 그러므로 에너지라는 단일요소투입으로

1) Tones of Oil Equivalent. 석유를 비롯한 모든 에너지에 공통 적용하는 에너지단위이다. 원유 1톤의 발열량 107kcal를 1TOE로 정의한다.

2) 최종에너지는 1차 에너지 중 직접 에너지로 사용되는 것과 전환과정을 거쳐서 전환된 산출물 에너지 모두를 포함한다. 이 때 전환할 때 손실되는 양이나 에너지 산업체에서 자체소비 되는 양은 제외한다.

3) 국내총생산에 소요되는 에너지 소비량을 뜻한다.

만 생산이 이루어지지 않는 현실을 고려할 때 에너지 집약도와 같은 단일요소만을 반영한 에너지 효율 지표를 사용하는 것은 왜곡된 결과를 보일 수 있다. 이와 같은 이유로 총 요소를 고려하여 측정한 에너지 효율 지표를 사용할 필요성이 제기 된다.

우리나라의 산업부문에서 사용하는 에너지는 2014년 기준 총 에너지 사용량 대비 63.6%를 차지한다. 또한 산업부문의 에너지 소비비중이 지속적으로 증가하고 있어 향후에도 국내 산업부문에서의 에너지 사용은 전체 에너지 사용의 큰 비중을 차지할 것이다. 특히 산업부문 에너지 소비량의 절반 이상은 원료용 에너지 소비량으로, 이는 납사, 아스팔트와 같이 타제품의 원료로 소비되는 에너지 소비량이다. 원료용 에너지를 이용하여 제품을 생산하는 산업군은 대표적인 에너지 다소비형 산업으로써 주로 제조업 중 석탄 및 석유, 화학제품 제조업과 비금속광물 및 금속제품 제조업이 이에 해당한다. 반면에 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 기계 운송장비 및 기타 제품 제조업은 에너지 저소비형 제조업으로 분류 할 수 있다. 2014년 기준 제조업의 부가가치 비중은 우리나라 전체 부가가치의 약 31.7%를 차지하고 있으며 이는 OECD 국가 중 1위에 해당한다. 그리고 제조업은 2010년도 실질가격 기준으로 2000년 1,928,034에서 2014년 4,086,430(단위: 억원)으로 14년 동안 212% 가량 성장하며 우리나라 산업의 중심 역할을 수행하고 있다. 이와 같이 국내 제조업 구조는 우리나라의 에너지 효율과 밀접한 관계가 있을 것이라고 보는 것은 타당해 보인다. 또한 우리나라는 각 지역별로 특화된 산업을 기반으로 지역경제가 발전해왔으며 이러한 발전 형태에 따라 지역별 제조업 구조는 상이한 형태를 보이고 있다. 전남의 경우 에너지 다소비형 제조업의 비중이 많으며, 서울과 광주는 에너지 저소비형 제조업인 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 기계 운송장비 및 기타 제품 제조업 비중이 높다. 이러한 제조업 구조의 차이는 지역별 에너지 소비에 영향을 미쳐 지역 간 에너지 효율 격차를 야기할 수 있다. 제조업의 구조가 에너지 효율에 미치는 영향을 분석할 수 있다면, 해당 분석결과는 각 지역의 에너지 효율뿐 아니라 더 나아가 국내 전체의 에너지 효율

향상을 위한 중요한 실증적 근거가 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 총 요소 효율성 측정 방법인 확률변경분석을 이용하여 지역별 에너지 효율을 측정하고 비교하고자 한다. 나아가 지역별 에너지 효율에 해당 지역이 가진 제조업 구조가 미치는 영향을 파악하고자 한다. 마지막으로 지역별 에너지 효율 격차 해소 및 효율성 향상 방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 선행 연구된 관련 문헌들을 살펴보고, 3장에서는 사용된 연구 방법론과 자료를 설명한다. 4장에서는 지역별 에너지 효율을 측정하고 비교 분석하여 시사점을 도출하고 마지막 5장에서는 효율 향상 방안 및 결론을 제시한다.

Ⅱ. 문 헌 연 구

초기 에너지 효율 측정 연구에서는 에너지 집약도, 에너지 생산성⁴⁾과 같은 부분 요소 에너지 효율 지표(Partial-factor energy efficiency Indicator)가 많이 사용되어 왔다. 근래에는 부분 요소 에너지 효율 측정 하에서 지수분해분석(Index Decomposition Analysis, IDA)방법이 에너지 효율/소비량 변화에 대한 동인을 파악하는데 널리 사용되고 있다. 국내의 경우에도 김진수(2015), 임재규과 김종익(2014), 박정욱과 김수이(2012) 등이 분해분석을 이용하여 국내 에너지 효율/소비량 변화에 영향을 미치는 요인에 대해 연구했다.

하지만 에너지는 생산을 하는데 필요한 다양한 요소들 중의 하나이다. 그렇기 때문에 부분 요소 에너지 효율 지표를 사용하는 것은 현실을 반영한 에너지 효율을 측정하는데 한계가 있으며 왜곡된 결과를 나타내기도 한다.(Lin and Du(2013)) 이러한 한계를 극복하기 위하여 총 요소 에너지 효율 측정 방법론이 대두 되었다. 최근에 활발히 활용되고 있는 총 요소 에너지 효율측정

4) 에너지 집약도의 역수

방법으로는, 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)과 확률변경분석(Stochastic Frontier Analysis, SFA)이 있다. 이 두 방법의 공통점은 효과적인 프론티어를 추정하여 효율적인 투입량의 기준점을 정한 후 실제 투입량과 효율적인 투입량의 상대적인 거리를 비교하여 에너지 효율을 측정하는데 있다.

자료포락분석은 비모수적인 접근방법으로 어떤 특정한 함수형태를 가정하지 않아 모형 오지정(misspecification) 문제를 피할 수 있다는 장점이 있다(Choi et al.(2012)). Hu and Wang(2006)은 자료포락분석을 이용하여 효과적인 에너지 투입량을 찾고 이를 실제 에너지 투입량과 비교하여 중국의 지역별 에너지 효율성을 측정하였다. Zhou and Ang(2008)은 CO₂와 같은 생산 활동 결과 발생하는 바람직하지 않은 산출물을 고려하여 에너지 효율 측정을 위한 몇 가지의 자료포락분석 모형을 제안했다. Mukherjee(2008)는 자료포락분석 모형으로 제조업 분야에서의 지역별 에너지 효율을 구하고 회귀분석을 이용하여 에너지 다소비형 제조업의 에너지 효율이 낮은 것을 검증했다. Hernandex-Sancho et al.(2011)은 자료포락분석을 이용하여 스페인의 폐수처리 공정에서의 에너지 효율을 측정하였다. 공정의 크기와 연식, 제거된 유기물의 양, 생화학반응기의 포기(aeration) 유형이 에너지 효율에 영향을 미치는 중요한 요소임을 지적했다. Shi et al.(2010)은 바람직하지 않은 산출물과 에너지 사용 최소화 문제를 고려한 자료포락분석 모형을 이용하여 중국 산업의 지역별 에너지 효율을 측정하고 각 지역별 상황에 적합한 정책을 제안했다. Wu et al.(2012)는 CO₂ 방출을 고려한 자료포락분석 모형을 이용하여 중국 산업의 지역별 에너지 효율을 측정했다. 측정한 에너지 효율을 바탕으로 분해분석을 이용하여 실증분석을 한 결과 기술발전이 에너지 효율을 증가시키는 요인이라는 것을 밝혔다.

자료포락분석을 이용한 측정방법은 사용하기는 쉬우나 극단 값에 의해 영향을 쉽게 받을 수 있으며 측정오차나 거시경제데이터를 사용할 때 일반적으로 발생하는 통계적 오차를 고려하지 못하는 문제점이 있다. 따라서 GDP와

자본, 노동력과 같은 거시경제변수를 다루는 본 연구에서는 확률변경분석을 이용하여 한국의 지역별 에너지 효율을 측정하고자 한다. Zhou et al.(2012)은 범경제적(Economy-wide) 에너지 효율을 측정하는데 확률변경분석방법을 채택하였으며 이 연구에서 확률변경분석 방법은 자료포락분석 방법보다 범경제적 에너지 효율을 측정할 때 분별력에 있어 더 뛰어나다는 것을 보였다. Aranda-Usón et al.(2012)은 스페인의 식음료, 섬유산업, 화학산업, 비금속산업의 에너지 소비를 분석하는데 확률변경분석 방법을 적용하였으며 위의 4가지 산업에 대해 약 20% 에너지 절약 기회가 있음을 보였다. Lin and Du(2013)는 모수적인 메타 프론티어 분석(Meta Frontier Analysis)을 이용하여 중국의 지역별 기술격차와 에너지 효율을 구하였다. 이 연구에서는 중국을 3개의 지역그룹으로 구분하여 분석했다. 여기서 동부지역이 가장 효율성이 높고 기술 역시 가장 앞서고 있음을 보였다. Lin and Wang(2014)은 확률변경분석 방법을 이용하여 중국의 철강 산업에서의 지역별 에너지 효율을 측정하였으며, 산업의 집중도와 지배구조를 비효율성을 설명하는 변수로 설정하였다. 그 결과 산업이 해당 지역에 집중도가 높을수록 효율성이 높아지며 해당 지역 정부가 관할하는 회사가 많을수록 효율성이 떨어지는 것을 보였다. Lin and Long(2015)은 확률변경분석을 이용하여 중국의 지역별 화학 산업 에너지 효율을 측정하였으며 해당 지역의 기업규모, 지배구조, 에너지가격과 지역구분을 비효율성 설명 변수로 사용하였다. 해당 연구에서 기업규모와 에너지가격이 커질수록 에너지 효율성에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 지배구조는 지역정부의 소유가 많을수록 효율성에 부정적인 영향을 미침을 보였다.

이와 같이 총 요소 효율 측정방법을 이용한 에너지 효율 추정에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있다. 특히 Mukherjee(2008), Aranda-Usón et al.(2012)은 제조업 업종간의 에너지 효율을 분석했으며 제조업의 특성에 따라 에너지 효율과 소비량이 다름을 밝혔다. 공지영 등(2016)은 확률변경 비용함수를 이용하여 OECD국가의 환경오염지수를 분석했는데 각 국가의 제조업 비중을 환경오염지수에 대한 영향요인으로 선택했다. 이러한 선행연구에 따라 본 연

구는 제조업을 에너지 효율에 영향을 미치는 요인으로 고려하고자 한다. 더 나아가 제조업 간 비교가 아닌 제조업 구조가 에너지 효율에 미치는 영향을 살펴보고자 하며, 이에 따라 총 제조업 비중이 아니라 특성에 따라 제조업을 구분하여 분석하고자 한다. 또한 Shi et al.(2010), Wu et al.(2012), Lin and Du(2013), Lin and Wang(2014), Lin and Long(2015)은 중국에서 지역별 에너지 효율 비교를 통하여 에너지 효율에 영향을 미치는 요인을 찾고 정책적 시사점을 도출했다. 특히 우리나라는 제조업의 발전이 지역마다 명확히 상이하기 때문에 지역 간 에너지 효율 비교 연구를 통해 제조업 구조가 에너지 효율에 미치는 영향을 밝히고 에너지 효율 향상에 관한 시사점을 도출해낼 수 있을 것이다. 하지만 현재까지는 총 요소 효율 측정방법을 이용하여 국내의 지역별 에너지 효율을 측정하고 비교한 연구는 미흡한 것으로 보인다.

따라서 본 연구는 아래와 같은 사항에서 기존 연구와의 차별점이 있다. 첫째, 에너지 효율에 영향을 미치는 요인으로 해당 지역의 제조업 비중을 사용하였다. 둘째, 국내에서 지역별 에너지 효율을 측정 및 비교하여 시사점을 도출한다.

Ⅲ. 연구방법 및 자료 설명

1. 연 구 방 법

본 연구에서는 에너지 효율을 분석하기 위하여 확률변경모형을 이용한다. 경제학 이론에서 일반적으로 투입요소의 수요를 추정할 때 이익 최대화나 비용 최소화를 가정한다. 하지만 이는 시장의 실패를 고려하지 못하는 문제가 있다. 위와 같은 가정으로 얻어진 수요함수는 편의 되어 있으며 일관적이지 못할 수 있다. 실제로 에너지 가격은 시장에서 형성되는 가격이 아니라 정부의 정책이나 외부환경에 의해 쉽게 영향을 받는다. 국내의 경우에도 전력, 가

스와 같은 에너지 가격은 정부의 정책에 의해서 결정된다. 이러한 에너지의 성질은 이익최대화, 비용최소화와 같은 가정을 위배하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 Debreu(1951)는 산출물 중심의 기술 효율성 측정 방법을, Farrell(1957)은 투입물 중심의 기술 효율성 측정방법을 제시하였다. 이 두 가지 기술효율성은 Debreu-Farrell 효율성으로 널리 알려져 있다. (Kumbhakar(2000)) Lovell et al.(1994)는 Debreu-Farrell 효율성이 Shephard(1970)가 제시한 투입과 산출 거리 함수의 역수라는 것을 지적했다. Shephard(1970)는 투입거리 함수를 식(1)과 같이 정의 하였으며 이에 따라 기술효율성(Technical Efficiency, TE)는 식(2)와 같이 정의 된다.

$$D_i(x, y) = \max[\lambda : (x/\lambda) \in L(y)] \quad (1)$$

$$TE = \frac{1}{D_i(x, y)} \quad (2)$$

이때 x 는 투입물 벡터, y 는 산출물 벡터이고 $L(y)$ 는 투입집합이다. Love et al(1994)에 따르면 투입거리함수는 선형동차성을 가진다. 선형동차성을 표현하면 식 (3)과 같다.

$$D_i(\lambda x, y, t) = \lambda D_i(x, y, t), \quad \forall \lambda > 0 \quad (3)$$

식(3)에 제시한 선형동차성에 따라 Zhou et al(2012)은 에너지를 투입변수로 하는 Shepherd 에너지 투입거리함수를 제시했다.

$$D_E(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt}) = \max[\alpha : (K_{kt}, L_{kt}, \frac{E_{kt}}{\alpha}, Y_{kt}) \in T] \quad (4)$$

이때 생산 기술은 아래와 같이 표현된다.

$$T = [(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt}) : (K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}) \text{ can produce } Y_{kt}] \quad (5)$$

식(4)은 $\alpha = E_{kt}$ 로 치환하면 식(6)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\ln D(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt}) = \ln(E_{kt}) + \ln D\left(\frac{K_{kt}}{E_{kt}}, \frac{L_{kt}}{E_{kt}}, 1, Y_{kt}\right) \quad (6)$$

본 연구에서는 확률변경모형을 사용하여 에너지 효율을 분석하는데 초월대수 함수(Trans-log function)를 사용하였다. 초월대수함수는 단순하고 쉽게 동차성을 부여할 수 있으며 변수들 간의 상호작용도 고려할 수 있는 장점을 가지고 있다. Coellia and Perelman(1999)은 다중 산출물, 다중 투입물에 대한 거리함수를 정의하였는데 그들의 연구에 따르면 단일 산출물, 다중 투입물의 거리함수는 식(7)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \ln D = & \alpha_0 + \alpha_y \ln Y + \sum_i \alpha_i \ln X_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \ln X_i \ln X_j + \frac{1}{2} \alpha_{yy} (\ln Y)^2 \\ & + \sum_i \alpha_{iy} \ln X_i \ln Y + \alpha_t T + \frac{1}{2} \alpha_{tt} T^2 + \sum_i \alpha_{ti} T \ln X_i + \sum_i \alpha_{ty} T \ln Y \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 X_i 는 투입요소, Y 는 산출요소이다. T 는 시간요인을 나타낸다. $\ln D$ 는 0보다 크거나 같아야 한다. 이와 같은 제약을 만족하기 위하여 식(7)은 식(8)과 같은 조건을 따라야 한다.

$$\sum_j \alpha_{ij} = \sum_i \alpha_{iy} = \sum_i \alpha_{ti} = 0, \alpha_{ij} = \alpha_{ji}, i \neq j \quad (8)$$

식(4)와 식(7)을 이용하여 에너지 투입거리함수로 표현하면 식(9)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
\ln D(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt}) &= \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_{kt} + \alpha_2 \ln K_{kt} + \alpha_3 \ln L_{kt} + \alpha_4 \ln E_{kt} \\
&+ \alpha_5 \frac{1}{2} (\ln K_{kt})^2 + \alpha_6 \frac{1}{2} (\ln L_{kt})^2 + \alpha_7 \frac{1}{2} (\ln E_{kt})^2 + \alpha_8 \ln K_{kt} \ln L_{kt} \\
&+ \alpha_9 \ln Y_{kt} \ln K_{kt} + \alpha_{10} \ln Y_{kt} \ln L_{kt} + \alpha_{11} \ln Y_{kt} \ln E_{kt} + \alpha_{12} \frac{1}{2} (\ln Y)^2 \\
&+ \alpha_{13} T + \alpha_{14} \frac{1}{2} T^2 + \alpha_{15} T \ln Y_{kt} + \alpha_{16} T \ln K_{kt} + \alpha_{17} T \ln L_{kt} \\
&+ \alpha_{18} T \ln E_{kt} + v_{kt}, \quad k = 1, 2, \dots, 15, \quad t = 2000, 2001, \dots, 2014
\end{aligned} \tag{9}$$

Y_{kt} 는 지역별 GDP로서 산출요소이다. K_{kt} 는 지역별 자본스톡, L_{kt} 는 지역별 노동인구, E_{kt} 는 지역별 2차 에너지 소비량으로 이 3가지 요소는 투입요소이다. 시간요인 T 는 시간의 추세를 사용한다. 이 때 k 는 지역별 구분을 나타내며 t 는 시간의 변화를 나타낸다.

$\mu_{kt} = \ln D(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt})$ 로 놓으면 식(6)에 의해서 $\mu_{kt} = \ln(E_{kt}) + \ln D(\frac{K_{kt}}{E_{kt}}, \frac{L_{kt}}{E_{kt}}, 1, Y_{kt})$ 이다. 그러므로 식(9)는 식(10)과 같이 표현 될 수 있다.

$$\begin{aligned}
\ln E_{kt} &= \beta_0 + \beta_1 \ln Y_{kt} + \beta_2 \ln \frac{K_{kt}}{E_{kt}} + \beta_3 \ln \frac{L_{kt}}{E_{kt}} + \beta_4 \frac{1}{2} (\ln \frac{K_{kt}}{E_{kt}})^2 + \beta_5 \frac{1}{2} (\ln \frac{L_{kt}}{E_{kt}})^2 \\
&+ \beta_6 \ln \frac{K_{kt}}{E_{kt}} \ln \frac{L_{kt}}{E_{kt}} + \beta_7 \ln Y_{kt} \ln \frac{K_{kt}}{E_{kt}} + \beta_8 \ln Y_{kt} \ln \frac{L_{kt}}{E_{kt}} + \beta_9 \frac{1}{2} (\ln Y)^2 + \beta_{10} T \\
&+ \beta_{11} \frac{1}{2} T^2 + \beta_{12} T \ln Y_{kt} + \beta_{13} T \ln \frac{K_{kt}}{E_{kt}} + \beta_{14} T \ln \frac{L_{kt}}{E_{kt}} - v_{kt} + \mu_{kt}, \\
&k = 1, 2, \dots, 15, \quad t = 2000, 2001, \dots, 2014
\end{aligned} \tag{10}$$

$$E_{kt} = f(Y_{kt}, \frac{K_{kt}}{E_{kt}}, \frac{L_{kt}}{E_{kt}}, Z_{kt}; \beta) e^{-v_{kt} + u_{kt}} \tag{11}$$

위의 식(11)은 에너지 투입 확률변경모형이다. $f(\cdot)$ 은 에너지수요함수로 투입에너지에 대한 프론티어이다. 주어진 Y_{kt} 에 대하여 실제 에너지 투입과 프론티어 상의 에너지 투입차이는 기술적 비효율성에 의해 야기된 에너지의 초과사용으로 간주된다. Z_{kt} 는 효율성에 영향을 줄 수 있는 다른 외부요소(external factor)를 나타낸다. 이 때 에너지 투입 효율성은 식(12)와 같이 표

현 할 수 있다.

$$Eff_{kt} = \frac{1}{D(K_{kt}, L_{kt}, E_{kt}, Y_{kt})} = e^{-u_{kt}} \quad (12)$$

v_{kt} 와 u_{kt} 는 독립적이며 v_{kt} 는 임의오차항을 나타내는 것으로 $iid \sim N(0, \sigma_v^2)$ 를 따르고 u_{kt} 는 기술적 비효율성에 따른 에너지의 초과투입의 정도를 나타내는 것이다. u_{kt} 는 식(13)과 같이 나타난다.

$$u_{kt} = z_{kt}\delta + \varepsilon_{kt}, \quad u_{kt} > 0 \quad (13)$$

이때 δ 는 추정되어야 할 모수를 나타내고, z_{kt} 는 비효율성을 설명하기 위한 변수이며 ε_{kt} 는 평균이 0이고 분산이 σ_u^2 인 $-z_{kt}\delta$ 에서 절단된 분포를 가진다.(Battese and Coelli(1995))

2. 자 료

본 연구는 에너지 효율을 측정하기 위해 2000년부터 2014년까지 전국의 7개 광역시와 8개 도의 자료를 이용하였다. 자료는 KOSIS 국가통계포털, KESIS 국가에너지통계포털에서 얻었다. 금액단위는 백만원 단위로, 에너지는 천TOE 단위로 환산되었다. 각 변수의 기술통계량은 <표1>에 정리되어 있다.

산출변수로 지역별 총생산을 사용하였으며 가격 변화의 영향을 제거하기 위하여 2010년 기준으로 물가를 반영한 자료를 사용하였다. 투입변수로는 자본스톡, 노동력, 최종 에너지 소비량을 사용하였다. 자본스톡은 영구재고법을 이용하여 구하였다. 영구재고법⁵⁾은 자본스톡을 구하기 위해 널리 사용되는 방법으로 $K_t = K_{t-1}(1-\delta) + I_t$ 와 같이 나타낼 수 있다. K_t 는 t년도에 자본스톡을 나타내고 K_{t-1} 는 t-1년도 자본스톡을 나타낸다. I_t 는 t년도에 투자금

5) 투자금액의 대리변수로 총고정자본형성을 이용하였으며 감각상각률은 0.4로 고정하여 사용하였다.(서승환(2004)) 초기자본스톡은 $K_0 = (I_0/(\delta+g)), g = (I_n/I_0)^{(\frac{1}{n-1})} - 1$, 위 두 식을 이용하여 구하였다.

액을 나타낸다. 노동력은 지역별로 실제 노동활동을 하고 있는 취업자의 수를 사용하였으며 최종에너지 소비량은 석유, 가스, 전기 에너지 등을 열량단위로 환산하여 사용했다.

김광욱과 황석준(2015)은 에너지를 많이 사용하는 제조업의 에너지 생산성이 낮고 에너지를 적게 소비하는 제조업이 에너지 생산성이 높다는 것을 밝혔다. Mukherjee (2008)는 에너지를 다량 소비하는 제조업의 에너지 효율성이 낮다는 것을 밝혔다. 이러한 문헌으로부터 추론해 보건데, 지역을 구성하고 있는 제조업들의 에너지 사용 특성이 해당 지역의 에너지 효율에 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다. 본 연구는 지역간 에너지 효율성 격차를 설명하기 위해 해당 지역의 제조업 비중⁶⁾을 비효율성 설명 변수로 채택하였다. 제조업은 일반적으로 7개의 유형으로 분류되는데 2014년 기준 제조업 총생산중 80%를 넘게 차지하는 상위 4개의 제조업⁷⁾인 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업, 2)기계 운송장비 및 기타 제품 제조업, 3)비금속광물 및 금속제품 제조업, 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업의 비중을 중심으로 분석하고자 한다.

〈표 1〉 자료 기술통계량

변수		기호	단위	개수	평균	표준편차	최대값	최소값
산출변수	지역별 총생산	Y	10억	225	74688.71	72546.61	314626.4	17877.06
투입변수	자본스톡	K	10억	225	354678.9	33143.7	1436275	105851.5
	노동력	L	천명	225	1534.45	1440.09	6225.6	437
	최종 에너지 소비	E	천TOE	225	11999.77	9171.62	39218	1774
비효율성 설명변수	전기전자 및 정밀기기제조업 비중	ER	-	225	0.19	0.13	0.50	0.01
	기계운송장비 및 기타제품제조업 비중	MR	-	225	0.25	0.15	0.58	0.05
	비금속광물 및 금속제품제조업 비중	IR	-	225	0.22	0.10	0.55	0.04
	석탄 및 석유, 화학제품제조업 비중	CR	-	225	0.16	0.12	0.60	0.02

6) 비중은 총 제조업 총생산 대비 해당 제조업의 총생산을 이용했다.

7) 제조업 유형에는 음식료품 및 담배제조업 / 섬유및가죽제품제조업 / 목재,종이,인쇄 및 복제업이 있으나 제조업에서 각 산업이 차지하는 비중은 각각 5%, 5%, 3%로 4대 제조업에 비해 에너지 효율에 미치는 영향이 미미하다고 판단되어 제외했다.

IV. 분석 결과

1. 확률변경모형 분석결과

에너지 투입을 포함한 확률변경모형을 이용하여 에너지 효율을 분석했으며 사용한 확률변경모형은 시간요인을 포함한 초월대수함수모형이다. 분석결과는 <표2>에 정리되어 있다. 모형의 타당성을 검증하기 위해 Likelihood ratio test를 사용했다. 만약 귀무가설인 $\gamma=0$ 을 기각하지 못한다면 이는 에너지 투입에 비효율성이 존재하지 않음을 뜻한다. 해당 모형은 귀무가설을 기각하여 에너지 투입에 비효율성이 존재함을 나타냈다. 따라서 유의하지 않은 계수가 있음에도 불구하고 해당 확률변경모형을 이용하여 지역별 에너지 효율성을 측정하는 것은 유효하며 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하는데 타당하다. 비효율성 설명변수의 추정된 계수를 살펴보면 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업 비중(δ_1)과 2)기계 운송장비 및 기타제품 제조업 비중(δ_2)은 각각 -0.32, -0.39로 음수를 나타냈다. 이는 해당 지역의 에너지 효율성에 양의 영향을 미치는 것을 나타낸다. 반면에 3)비금속광물 및 금속제품 제조업 비중(δ_3)과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업 비중(δ_4)은 1.04, 0.87로 양수가 나왔다. 이 결과는 해당 지역에서 석탄 및 석유, 화학제품 제조업 비중과 비금속광물 및 금속제품 제조업 비중이 높아질수록 지역의 에너지 효율이 낮아지는 것을 의미한다. 네 가지 비효율성 설명 변수는 모두 유의하였으며 이를 통해 지역을 구성하고 있는 제조업의 업종이 에너지 효율성에 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있다. 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업 과 2)기계 운송장비 및 기타제품 제조업은 지식집약산업이다. 이는 지적활동의 집약도가 높은 산업으로 높은 부가가치를 창출할 수 있으며 2000년대부터 급격한 기술성장으로 인하여 에너지 생산성은 더욱 높아졌다. 반면 3)비금속광물 및 금속제품 제조업

과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업은 에너지 집적 산업으로 주로 산업원료를 생산, 공급하는 산업으로 에너지 다량투입에 따라 생산을 하기 위하여 에너지 손실이 상대적으로 많이 이루어진다. 이에 따라 3)비금속광물 및 금속제품 제조업과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업의 비중이 높은 지역은 상대적으로 낮은 에너지 효율을 가지는 것으로 보인다.

〈표 2〉 확률변경분석 결과

계수	변수	계수 값	p-value	계수	변수	계수 값	p-value
β_0	Constant	71.92	***	β_{12}	$T^* \ln Y$	-0.006	***
β_1	$\ln Y$	-3.01	**	β_{13}	$T^* \ln(K/E)$	-0.011	0.0835
β_2	$\ln K/E$	-6.48	***	β_{14}	$T^* \ln(L/E)$	0.01	*
β_3	$\ln L/E$	10.77	***	δ_1	ER	-0.32	***
β_4	$\frac{1}{2} \ln(K/E) * \ln(K/E)$	0.55	*	δ_2	MR	-0.39	***
β_5	$\frac{1}{2} \ln(L/E) * \ln(L/E)$	0.60	**	δ_3	IR	1.04	***
β_6	$\ln(K/E) * \ln(L/E)$	-0.76	***	δ_4	CR	0.87	***
β_7	$\ln Y * \ln(K/E)$	-0.06	0.437	σ^2	-	0.002	***
β_8	$\ln Y * \ln(L/E)$	-0.13	0.068	γ	-	0.999	***
β_9	$\frac{1}{2} \ln Y * \ln Y$	0.24	***				
β_{10}	T	0.23	***	Log-likelihood		392.31	
β_{11}	$\frac{1}{2} T^2$	0.001	***	LR-test		***	

2. 지역별 에너지 효율성 분석

추정된 확률변경모형을 이용하여 에너지 효율을 측정한 결과 2000년에서 2014년까지의 전국 15개의 광역시, 도에 대한 지역별 평균 에너지 효율은

0.81로 나타났다. 투입 효율은 주어진 산출물 상황에서 실제 에너지 투입과 효과적인 에너지 투입의 비율이다. 효율성이 1보다 작다는 것은 초과 에너지 투입이 있다는 것을 나타낸다. 전체 평균 에너지 효율은 2000년 0.77에서 2014년 0.86으로 시간이 경과됨에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 지역별 평균 에너지 효율은 <표3>에 요약 되어 있다. 전남의 평균 에너지 효율은 0.47로 전 지역 중에 가장 낮은 값을 나타냈으며 서울과 광주의 평균 에너지 효율은 0.97로 전 지역 중에서 가장 높은 값을 보였다. 부산, 강원도, 경북의 에너지 효율성은 0.80에 미치지 못했고 경남은 0.90으로 서울과 광주 다음으로 높은 에너지 효율성을 보였다.

〈표 3〉 연도/지역별 에너지 효율성 비교

지역	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
서울	0.96	0.94	0.97	0.95	0.93	0.94	0.96	1.00
부산	0.73	0.75	0.75	0.76	0.75	0.75	0.75	0.77
대구	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.81
인천	0.82	0.78	0.81	0.81	0.82	0.79	0.81	0.78
광주	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.96	0.96	0.97
대전	0.84	0.83	0.83	0.84	0.83	0.84	0.82	0.82
울산	0.82	0.85	0.84	0.78	0.83	0.87	0.84	0.87
경기	0.73	0.76	0.78	0.79	0.79	0.82	0.84	0.86
강원	0.67	0.66	0.66	0.67	0.68	0.69	0.71	0.71
경남	0.83	0.85	0.86	0.85	0.85	0.88	0.89	0.91
경북	0.61	0.62	0.63	0.67	0.70	0.74	0.75	0.78
전남	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.48
전북	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.80	0.83
충남	0.68	0.68	0.70	0.76	0.81	0.86	0.88	0.87
충북	0.83	0.81	0.80	0.80	0.85	0.83	0.86	0.87
평균	0.77	0.77	0.78	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82
지역	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	평균
서울	0.99	0.98	0.99	0.99	1.00	0.98	0.98	0.97
부산	0.77	0.75	0.76	0.77	0.76	0.76	0.77	0.76
대구	0.80	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.80
인천	0.83	0.78	0.82	0.82	0.79	0.80	0.79	0.81
광주	0.96	0.95	0.97	0.99	0.99	0.99	1.00	0.97
대전	0.81	0.82	0.84	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83
울산	0.89	0.91	0.93	0.89	0.88	0.89	0.94	0.87
경기	0.86	0.84	0.90	0.91	0.91	0.93	0.94	0.84
강원	0.69	0.67	0.67	0.66	0.75	0.77	0.77	0.70
경남	0.92	0.94	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.90
경북	0.78	0.78	0.80	0.81	0.82	0.81	0.79	0.74
전남	0.47	0.47	0.49	0.48	0.50	0.50	0.51	0.47
전북	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.84	0.83
충남	0.89	0.88	0.98	0.96	0.92	0.92	0.92	0.85
충북	0.84	0.86	0.88	0.91	0.90	0.94	0.95	0.86
평균	0.82	0.82	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.81

확률변경모형에서 지역 에너지 효율에 양의 영향을 미치는 제조업 유형은 공통적으로 에너지를 적게 소비하는 지식집약산업이었으며, 지역 에너지 효율에 음의 영향을 미치는 제조업 유형은 에너지를 많이 소비하는 에너지 집적 산업이었다. 김광욱과 황석준(2015)과 이진식(2010)은 에너지 다소비형 제조업과 에너지 저소비형 제조업을 구분하여 비교분석을 하였다. 이와 같은 본 연구모형 결과와 기존문헌에 따라 상세분석을 진행하기 위하여 비효율성 설명변수로 채택한 네 가지의 제조업 유형을 에너지 소비 특성에 따라 에너지 다소비형 제조업과 에너지 저소비형 제조업으로 재분류하였다. 에너지 다소비형 제조업은 에너지 집적 산업으로 원료를 생산하여 판매하는 산업이며, 에너지 저소비형 제조업은 지식집약산업으로 생산된 원료를 이용하여 조립, 가공하여 판매하는 것을 주로 하는 제조업을 의미한다. 이에 따라 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업, 2)기계 운송장비 및 기타 제품 제조업은 에너지 저소비형 제조업으로 분류했으며 3)비금속광물 및 금속제품 제조업, 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업은 에너지 다소비형 제조업으로 분류했다.⁸⁾(<표4> 참조)

〈표 4〉 제조업 유형별 분류

	에너지 다소비형 제조업	에너지 저소비형 제조업
제조업 업종명	3) 비금속광물 및 금속제품 제조업, 4) 석탄 및 석유, 화학제품 제조업	1) 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 2) 기계 운송장비 및 기타 제품 제조업

한편, <표5>와 <표6>에는 에너지 다소비형 및 저소비형 제조업 비중이 정리되어 있다. 이 표에 따르면, 전남, 부산, 강원, 경북의 경우 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업, 2)기계 운송장비 및 기타 제품 제조업의 비중이 3)비금속광물 및 금속제품 제조업 비중과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업 비중보다 작

8) 에너지 소비 특성별 제조업의 분류는 이미 확률변경분석을 이용하여 각 제조업 변수의 통계적 유의성을 얻은 상태에서 재분류를 하였기에 어느 정도 통계적인 의미를 함축하고 있으며 논리적 일관성을 해치고 있지 않다고 볼 수 있으나 분류한 변수를 통계적으로 검증하지는 않은 점에 한계가 있을 수 있다.

았다. 반면에 서울, 광주, 경남의 경우 전자의 비중이 후자보다 컸다. <표3>과 비교해보면 에너지 다소비형 산업의 비중이 높은 지역일수록 효율성이 낮은 경향을 보임을 알 수 있는데 이는 확률변경모형에서 얻은 결과와 일치한다. 특히 서울과 광주는 평균 에너지 다소비형 제조업 비중이 0.3보다 낮았는데 두 지역 모두 0.95를 넘는 높은 에너지 효율을 나타냈다. 반면, 전남은 가장 높은 에너지 다소비형 제조업 비중을 가지고 있었으며, 가장 낮은 효율을 보였다.

<표 5> 지역별 에너지 다소비형 제조업 비중 비교

지역	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
서울	0.15	0.14	0.14	0.13	0.15	0.15	0.13	0.13
부산	0.45	0.44	0.46	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47
대구	0.30	0.36	0.38	0.38	0.36	0.37	0.35	0.35
인천	0.50	0.52	0.51	0.48	0.46	0.47	0.46	0.44
광주	0.30	0.29	0.31	0.29	0.26	0.25	0.25	0.25
대전	0.34	0.39	0.38	0.36	0.33	0.37	0.35	0.34
울산	0.45	0.44	0.45	0.42	0.43	0.42	0.43	0.43
경기	0.42	0.43	0.44	0.42	0.39	0.39	0.34	0.33
강원	0.46	0.48	0.47	0.47	0.45	0.41	0.41	0.42
경남	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33	0.34	0.34	0.33
경북	0.65	0.68	0.63	0.59	0.54	0.54	0.50	0.45
전남	0.89	0.87	0.85	0.87	0.88	0.87	0.86	0.87
전북	0.33	0.36	0.35	0.36	0.33	0.35	0.38	0.35
충남	0.43	0.44	0.40	0.40	0.38	0.37	0.36	0.37
충북	0.41	0.41	0.40	0.39	0.33	0.38	0.39	0.39
평균	0.43	0.44	0.44	0.43	0.41	0.41	0.40	0.40
지역	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	평균
서울	0.09	0.10	0.10	0.08	0.06	0.07	0.07	0.11
부산	0.45	0.46	0.40	0.41	0.39	0.39	0.40	0.44
대구	0.35	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.35
인천	0.41	0.46	0.40	0.39	0.37	0.37	0.37	0.44
광주	0.27	0.23	0.23	0.22	0.23	0.24	0.24	0.26
대전	0.34	0.35	0.34	0.33	0.31	0.34	0.34	0.35
울산	0.40	0.38	0.41	0.40	0.40	0.37	0.37	0.41
경기	0.30	0.28	0.25	0.23	0.23	0.22	0.23	0.33
강원	0.39	0.41	0.37	0.39	0.40	0.40	0.41	0.42
경남	0.29	0.25	0.27	0.27	0.28	0.30	0.29	0.31
경북	0.42	0.40	0.39	0.39	0.36	0.36	0.36	0.48
전남	0.81	0.81	0.83	0.80	0.78	0.82	0.83	0.84
전북	0.36	0.37	0.37	0.36	0.37	0.39	0.40	0.36
충남	0.36	0.36	0.35	0.32	0.32	0.33	0.33	0.37
충북	0.38	0.37	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.37
평균	0.37	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.39

〈표6〉 지역별 에너지 저소비형 제조업 비중 비교

지역	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
서울	0.33	0.32	0.31	0.37	0.33	0.31	0.34	0.36
부산	0.36	0.38	0.39	0.41	0.40	0.42	0.43	0.42
대구	0.34	0.33	0.33	0.36	0.41	0.42	0.42	0.45
인천	0.45	0.42	0.43	0.46	0.49	0.49	0.48	0.50
광주	0.57	0.60	0.59	0.59	0.65	0.65	0.65	0.67
대전	0.31	0.30	0.33	0.37	0.40	0.38	0.39	0.41
울산	0.56	0.59	0.56	0.58	0.56	0.58	0.55	0.55
경기	0.48	0.47	0.47	0.49	0.52	0.51	0.55	0.56
강원	0.19	0.19	0.18	0.20	0.21	0.23	0.25	0.25
경남	0.56	0.56	0.55	0.58	0.59	0.60	0.59	0.60
경북	0.34	0.34	0.37	0.40	0.43	0.44	0.46	0.49
전남	0.05	0.08	0.10	0.09	0.09	0.11	0.12	0.11
전북	0.36	0.31	0.31	0.35	0.39	0.40	0.38	0.38
충남	0.41	0.42	0.45	0.46	0.50	0.53	0.55	0.56
충북	0.35	0.35	0.36	0.38	0.46	0.43	0.44	0.45
평균	0.38	0.38	0.38	0.41	0.43	0.43	0.44	0.45
지역	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	평균
서울	0.33	0.31	0.33	0.35	0.33	0.32	0.32	0.33
부산	0.43	0.40	0.45	0.43	0.45	0.44	0.43	0.42
대구	0.43	0.44	0.42	0.45	0.45	0.46	0.47	0.41
인천	0.54	0.43	0.48	0.51	0.53	0.54	0.53	0.48
광주	0.65	0.68	0.68	0.70	0.69	0.68	0.68	0.65
대전	0.41	0.38	0.41	0.43	0.43	0.41	0.41	0.38
울산	0.58	0.60	0.56	0.57	0.58	0.61	0.62	0.57
경기	0.58	0.60	0.64	0.67	0.67	0.69	0.68	0.57
강원	0.28	0.29	0.29	0.29	0.33	0.32	0.32	0.25
경남	0.64	0.68	0.65	0.66	0.64	0.62	0.62	0.61
경북	0.51	0.53	0.53	0.54	0.57	0.56	0.56	0.47
전남	0.16	0.16	0.13	0.17	0.20	0.14	0.13	0.12
전북	0.37	0.38	0.40	0.42	0.41	0.39	0.38	0.38
충남	0.57	0.57	0.59	0.63	0.62	0.61	0.61	0.54
충북	0.45	0.46	0.49	0.52	0.52	0.54	0.55	0.45
평균	0.46	0.46	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.44

충남의 경우 에너지 효율성이 2000년 0.68에서 2014년 0.92로 가장 많이 향상된 것을 알 수 있다. 충남의 에너지 다소비형 산업의 비중을 보면 2000년 0.43에서 0.33으로 지속적으로 감소하였으며 에너지 저소비형 제조업의 경우 0.41에서 0.61로 지속적으로 증가했다. 충남에 이어 두 번째로 많은 효율성 향상을 보인 경기의 경우에도 2000년과 2014년을 비교해보면 에너지 다소비형 비중은 0.42에서 0.22로 감소한 반면, 에너지 저소비형 제조업은 0.47에서 0.68로 상승하였다. 즉, 이러한 에너지 효율 향상은 해당 지역의 제조업 비중 변화의 영향으로 볼 수 있을 것이다. 국내 제조업 비중에서 에너지 저소비형 제조업의 비중은 점점 증가하고 있으며 모든 지역에서 에너지 다소비형 제조업의 비중은 차츰 감소되고 있다. 이에 따라 인천을 제외한 지역의 평균 에너지 효율은 차이가 있으나 모두 향상 하였다.

3. 분류별 에너지 효율성 분석

지역별 에너지 효율과 유형별 제조업의 관계를 보다 명확하게 살펴보기 위해서, 에너지 효율을 1)에너지 다소비형 제조업 총생산과 2)에너지 저소비형 제조업 총생산 대비 에너지 다소비형 제조업 총생산, 즉 에너지 다소비형 제조업 비율에 따른 두 가지 분류방법을 이용하여 지역별로 구분해 분석을 진행하였다.

3.1 에너지 다소비형 제조업 총생산을 이용한 분류

분류기준을 설정하기 위하여 2000년도부터 2014년도까지 전 기간 동안의 지역별 효율과 에너지 다소비형 제조업 총생산을 이용했으며 에너지 다소비형 제조업 총생산은 <표7>에 정리되어 있다.

〈표 7〉 지역별 에너지 다소비형 제조업 총생산

(단위: 백만원)

지역	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
서울	1,606,897	1,534,578	1,816,012	1,824,262	1,913,403	2,010,044	1,932,687	1,923,024
부산	3,737,029	3,814,691	4,255,877	4,420,362	4,518,660	4,802,347	5,006,406	5,598,462
대구	1,691,368	1,879,289	2,154,125	2,121,124	2,140,102	2,383,433	2,284,499	2,407,413
인천	6,534,248	6,706,431	7,071,903	6,701,264	6,795,125	6,858,877	6,824,064	7,044,015
광주	934,046	994,720	1,155,901	1,074,862	1,074,766	1,320,438	1,274,792	1,409,604
대전	1,165,451	1,267,639	1,407,152	1,194,068	1,218,096	1,258,039	1,261,468	1,302,312
울산	11,062,757	11,273,783	12,245,440	11,762,942	13,371,381	13,374,814	13,772,718	14,167,255
경기	18,143,591	19,220,121	21,476,951	21,229,612	21,884,375	23,064,786	23,111,955	23,776,836
강원	977,691	1,008,060	944,735	999,995	1,007,154	933,984	1,018,856	1,059,482
경남	6,255,212	6,739,883	7,375,114	7,491,908	7,710,526	8,756,432	9,289,315	9,743,281
경북	13,152,344	13,815,919	14,025,972	14,743,596	15,397,005	16,567,075	15,686,781	16,019,460
전남	11,597,444	11,919,574	11,515,013	13,276,519	14,360,996	14,875,768	15,387,310	16,036,991
전북	2,270,013	2,330,933	2,388,466	2,460,002	2,470,855	2,651,981	2,922,124	2,986,854
충남	6,367,784	6,817,237	7,210,958	7,999,027	8,468,351	9,376,634	10,408,409	11,450,737
충북	3,283,221	3,327,093	3,576,523	3,577,021	3,438,364	3,938,181	4,505,205	4,863,615
평균	5,918,606	6,176,663	6,574,676	6,725,104	7,051,277	7,478,189	7,645,773	7,985,956
지역	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	평균
서울	1,341,051	1,498,744	1,504,982	1,288,908	1,144,141	1,161,658	1,155,166	1,577,037
부산	5,463,526	4,887,784	4,836,083	4,790,421	4,898,185	4,828,192	5,022,523	4,725,370
대구	2,427,672	2,100,035	2,666,395	2,840,698	2,924,735	3,153,637	3,118,693	2,419,548
인천	6,233,816	5,937,519	6,371,080	6,406,064	6,127,504	6,210,119	6,261,111	6,538,876
광주	1,517,675	1,362,425	1,677,146	1,683,122	1,698,299	1,845,187	1,845,187	1,391,211
대전	1,215,501	1,262,027	1,407,355	1,422,427	1,397,835	1,568,041	1,618,564	1,331,065
울산	13,804,938	13,130,716	14,166,849	14,732,037	14,922,869	14,267,164	14,369,179	13,361,656
경기	22,495,966	20,897,683	22,081,230	22,191,821	22,248,869	23,443,078	26,624,765	22,126,109
강원	1,076,807	1,081,957	1,103,209	1,225,079	1,199,480	1,255,101	1,319,941	1,080,769
경남	9,305,825	8,767,272	10,286,766	10,193,063	10,872,540	11,260,599	11,098,649	9,009,759
경북	15,177,753	14,415,450	15,498,159	15,265,205	14,888,820	14,674,235	14,963,462	14,952,749
전남	15,878,304	14,130,559	17,648,283	17,939,486	18,063,410	18,442,202	18,398,326	15,298,012
전북	3,075,700	3,015,785	3,427,913	3,542,634	3,553,166	3,791,477	3,957,863	2,989,718
충남	11,865,755	12,310,080	14,158,629	14,488,704	15,178,231	16,596,656	17,247,659	11,329,657
충북	4,628,481	4,858,569	5,298,950	5,618,062	5,683,392	6,330,036	6,482,383	4,627,273
평균	7,700,585	7,310,440	8,142,202	8,241,849	8,320,098	8,588,492	8,898,898	7,517,253

에너지 효율 그룹을 구분하기 위해 <표3>의 자료를 이용하였다. 평균 $\pm \frac{1}{2}$ *표준편차를 분류기준으로 이용하였고 (Lin and Wang(2014)와 Lin and Long(2015)) 이 때 분류기준이 극단값에 의해 받는 영향을 최소화하기 위해 최대값과 최소값은 제외한 상태에서 평균과 표준편차를 구하였다. 그 결과 0.87과 0.79를 기준으로 고효율, 중효율, 저효율의 세 개의 그룹으로 나누었다.

에너지 다소비형 제조업 총생산은 <표7>의 자료를 이용하였다. 에너지 효율과 마찬가지로 평균과 표준편차를 이용하여 91,267과 38,210(단위 : 억원)을 분류기준으로 총생산 대규모, 총생산 중규모, 총생산 소규모로 구분했다. <표8>은 에너지 다소비형 제조업 총생산을 이용하여 구분한 결과를 나타낸다.

<표 8> 에너지 다소비형 제조업 총생산과 에너지 효율성에 따른 분류

그룹	총생산 대규모	총생산 중규모	총생산 소규모
고효율	울산	경남	광주, 서울
중효율	충남, 경기	인천, 충북	대전, 대구, 전북
저효율	전남, 경북	부산	강원

에너지 다소비형 제조업 총생산으로 분류했을 때 <표8>에 정리 되어진 바와 같이 총생산 규모별 그룹간 뚜렷한 차이를 볼 수 없었다. 에너지 다소비형 제조업 총생산으로 구분한 총생산 대규모 지역, 총생산 중규모 지역과 총생산 소규모 지역들은 모두 고효율, 중효율, 저효율 그룹에 골고루 속하였다.

3.2 에너지 다소비형 제조업 비율을 이용한 분류

에너지 저소비형 제조업 총생산 대비 에너지 다소비형 제조업 총생산으로 에너지 다소비형 제조업 비율을 나타냈으며 이는 표<9>에 정리되어 있다. 에너지 다소비형 제조업 비율은 분류하기 위하여 <표9>의 자료를 이용하였으

며 평균과 표준편차를 이용하여 1.01과 0.68을 분류기준으로 에너지 다소비형 제조업 고비율, 중비율, 저비율로 구분했다. 구분한 결과는 <표10>에 정리되어 있다.

〈표 9〉 지역별 에너지 저소비형 제조업 대비 다소비형 제조업 비율

지역	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
서울	0.46	0.44	0.45	0.35	0.45	0.49	0.39	0.35
부산	1.23	1.17	1.19	1.16	1.19	1.13	1.11	1.10
대구	0.89	1.11	1.17	1.07	0.88	0.89	0.83	0.78
인천	1.13	1.25	1.21	1.05	0.95	0.98	0.98	0.88
광주	0.52	0.47	0.52	0.50	0.41	0.39	0.39	0.38
대전	1.11	1.30	1.17	0.97	0.83	0.97	0.91	0.83
울산	0.81	0.74	0.81	0.73	0.77	0.72	0.79	0.78
경기	0.87	0.91	0.92	0.85	0.75	0.77	0.63	0.59
강원	2.44	2.51	2.62	2.41	2.16	1.78	1.65	1.67
경남	0.61	0.63	0.63	0.59	0.56	0.57	0.58	0.55
경북	1.92	1.99	1.68	1.47	1.25	1.22	1.09	0.92
전남	17.46	10.32	8.49	9.98	9.93	7.70	7.28	7.76
전북	0.91	1.14	1.11	1.02	0.86	0.89	1.00	0.92
충남	1.04	1.04	0.89	0.87	0.77	0.69	0.66	0.66
충북	1.18	1.17	1.12	1.05	0.72	0.88	0.88	0.86
평균	2.17	1.75	1.60	1.60	1.50	1.34	1.28	1.27
지역	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	평균
서울	0.27	0.34	0.30	0.23	0.19	0.21	0.20	0.34
부산	1.03	1.14	0.88	0.94	0.86	0.90	0.92	1.06
대구	0.81	0.74	0.78	0.73	0.76	0.74	0.70	0.86
인천	0.76	1.07	0.83	0.76	0.70	0.69	0.69	0.93
광주	0.42	0.34	0.34	0.31	0.34	0.35	0.35	0.40
대전	0.84	0.92	0.83	0.79	0.73	0.83	0.83	0.92
울산	0.70	0.63	0.73	0.71	0.68	0.61	0.60	0.72
경기	0.52	0.47	0.39	0.35	0.34	0.33	0.34	0.60
강원	1.38	1.43	1.30	1.33	1.18	1.24	1.28	1.76
경남	0.46	0.37	0.42	0.40	0.44	0.48	0.47	0.52
경북	0.81	0.77	0.74	0.71	0.64	0.64	0.63	1.10
전남	5.05	5.14	6.37	4.66	3.92	5.82	6.41	7.75
전북	0.97	0.99	0.92	0.85	0.91	1.01	1.05	0.97
충남	0.63	0.63	0.60	0.51	0.53	0.55	0.55	0.71
충북	0.84	0.79	0.70	0.64	0.64	0.61	0.58	0.84
평균	1.03	1.05	1.07	0.93	0.86	1.00	1.04	1.30

〈표 10〉 에너지 다소비형 제조업 비율과 에너지 효율성에 따른 분류

그룹	고비율	중비율	저비율
고효율		울산	서울, 광주, 경남
중효율		대구, 인천, 대전, 전북, 충남, 충북	경기
저효율	전남, 부산, 강원, 경북		

〈표10〉에 의하면, 에너지 다소비형 제조업이 저비율인 지역은 총 4곳으로 그 중 3곳은 고효율 그룹에 해당하였고 1곳은 중효율 그룹에 속하였다. 에너지 다소비형 제조업이 중비율인 7곳의 지역 중 1곳은 고효율 그룹에 해당하였고 나머지 6곳은 중효율 그룹에 속하였다. 에너지 다소비형 제조업이 고비율인 경우 4곳 모두 저효율 지역에 속하였다. 에너지 다소비형 제조업의 비율이 커질수록 에너지 효율은 낮아지는 경향성을 볼 수 있었다.

〈표8〉과 〈표10〉에서 볼 수 있듯이 두 분류기준 중 에너지 다소비형 제조업 비율을 이용하여 분류할 때 더 분명한 구분을 할 수 있었다. 이는 단순히 제조업의 총생산보다는 다른 유형의 제조업 상호간의 조합이 에너지 효율을 설명하는데 더 적절하다는 것을 나타낸다. 위 분석을 통하여 에너지 다소비형 제조업의 총생산만으로 해당 지역의 에너지 효율이 결정되지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 에너지 효율과 생산성이 낮다고 밝혀진 에너지 다소비형 제조업의 총생산크기가 크에도 불구하고 에너지 효율을 높일 수 있다는 것을 뜻한다. 대표적으로, 울산의 경우 에너지 다소비형 제조업 총생산은 다른 총생산 중규모, 총생산 소규모에 속한 지역들보다 더 컸으나 에너지 효율은 고효율 그룹에 속하였다. 또한 경남 같은 경우에도 총생산 소규모 그룹에 속한 대전, 대구, 전북, 강원보다 에너지 다소비형 제조업의 총생산은 더 컸으나 효율은 더 높았다. 반면 강원 같은 경우 에너지 다소비형 제조업 총생산은 지역 중 가장 작았으나 저효율 그룹에 속하였다. 에너지 다소비형 제조업 비율로 분류했을 때 경남, 울산, 강원은 각각 에너지 다소비형 제조업 저비율, 중비

율, 고비율로 분류됐다. 즉, 에너지 다소비형 제조업의 총생산이 큰 지역의 경우 에너지 효율성을 높이기 위해선 그와 맞게 에너지 저소비형 제조업을 키우면 에너지 효율을 높일 수 있는 반면 에너지 다소비형 제조업 총생산이 작더라도 저소비형 제조업의 총생산 크기 또한 작으면 에너지 효율이 낮을 수 있다는 것을 뜻한다. 특히 에너지 저소비형 제조업 대비 에너지 다소비형 제조업의 비율이 1이 넘어가는 지역은 모두 저효율 그룹에 속하였는데 이와 같은 결과는 에너지 다소비형 제조업보다 저소비형 제조업의 총생산 크기를 더 크게 유지하는 것이 에너지 효율측면에서 중요하다는 것을 나타낸다.

V. 결론 및 토의

우리나라와 같은 에너지 다소비 국가에서 에너지 효율 향상은 중요한 국가 과제이다. 국내에서 제조업은 산업의 중심이며 에너지를 가장 많이 소비하는 산업이다. 따라서 제조업이 에너지 효율에 미치는 영향을 분석하고 이에 따라 에너지 효율을 향상시키는 방안을 제안 하는 것은 중요하다. 따라서 본 연구에서는 확률변경분석을 이용하여 지역별 에너지 효율을 측정 및 비교하였다. 중요한 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 에너지 효율 측정 결과 전체 평균 에너지 효율은 0.81이었으며 서울과 광주의 에너지 효율이 가장 높았고 전남의 에너지 효율이 가장 낮았다. 인천을 제외하고 각 지역들은 시간이 흐름에 따라 에너지 효율성이 증가하였고 모든 지역은 에너지 효율에서 차이를 나타냈다. 둘째, 지역별 제조업 비중은 각 해당 지역의 에너지 효율에 유의한 영향을 미쳤다. 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업 비중과 2)기계 운송장비 및 기타제품 제조업 비중이 높을수록 지역의 평균 에너지 효율성에 양의 영향을 미쳤으며 3)비금속광물 및 금속제품 제조업 비중과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업 비중이 높을수록 지역의 평

균 에너지 효율성에 음의 영향을 미쳤다. 더 나아가 제조업 유형을 에너지 소비 특성에 따라 재분류 한 후, 상세분석을 통해 전국의 에너지 효율 변화를 해당 지역의 에너지 소비 특성별 제조업 비중 변화를 통하여 설명할 수 있었다. 셋째, 에너지 소비 특성별 제조업의 총생산 크기만을 이용하여 지역별 에너지 효율차이를 설명할 수 없었다. 에너지 소비 유형별 제조업의 절대적인 총생산크기보다 유형별 제조업 비율이 효율 차이를 설명하는데 더 적절하였다. 분류 결과, 에너지 다소비형 제조업 총생산크기로 구분했을 때는 그룹별로 에너지 효율에 관하여 뚜렷한 경향성과 차이를 확인 할 수 없었던 반면, 제조업 구조로 분류했을 때는 에너지 다소비형 제조업이 저비율인 지역 4개 중 3개가 고효율 그룹에 속하였고 에너지 다소비형 제조업이 고비율인 지역은 모두 저효율성 그룹에 속하여 뚜렷한 차이를 확인 할 수 있었다. 위와 같은 분석 결과를 바탕으로 에너지 다소비형 제조업의 총생산크기를 크게 유지하더라도 에너지 효율을 높일 수 있다는 시사점을 얻을 수 있었다. 에너지 다소비형 제조업은 국가의 기간산업으로 없어선 안 될 제조업 분야이다. 따라서 에너지다소비형 제조업의 총생산크기를 유지하며 에너지 효율을 높이는 것이 중요하다. 분석결과는 에너지 다소비형 제조업의 총생산을 크게 유지하더라도 그에 맞게 에너지 저소비형 제조업의 총생산크기를 키우면 높은 에너지 효율을 얻을 수 있다는 것을 나타낸다. 반면에 에너지 다소비형 제조업의 총생산크기가 작더라도 에너지 저소비형 제조업의 총생산크기도 함께 작다면 에너지 효율은 낮았다. 한국의 에너지 다소비형 제조업의 경우 대표적으로 전남, 울산에서 집중 육성됐다. 이중에 전남은 에너지 저효율 그룹에 속하였지만 울산의 경우 에너지 저소비형 제조업도 같이 육성함으로써 울산의 에너지 효율은 전국 에너지 효율 평균보다 높았으며 에너지 고효율 그룹에 속할 수 있었다. 최근에도 각 지역들은 지역별 특성화 산업을 집중 육성할 계획을 수립하고 있다. 산업의 유형은 각 지역의 에너지 효율에 지대한 영향을 미칠 수 있으나, 많은 지역들은 에너지 효율을 고려하지 않고 육성할 산업의 업종을 결정하고 있다. 에너지 효율의 중요성이 증대되고 있는 지금, 에너지 효율을 고

려한 산업 육성 정책의 수립이 필요하다. 따라서 에너지 효율관점에서 에너지 다소비형 제조업을 집중육성 하고자 할 때, 해당 지역은 에너지 저소비형 제조업도 함께 육성시키는 것이 바람직한 것으로 보인다.

하지만 본 연구에서는 인천의 경우에서 관찰할 수 있었던 것처럼, 감소한 효율을 제조업 구조를 이용하여 설명하지는 못한 한계점을 가지고 있다. 제조업은 1)전기 전자 및 정밀기기 제조업, 2)기계 운송장비 및 기타제품 제조업, 3)비금속광물 및 금속제품 제조업 비중과 4)석탄 및 석유, 화학제품 제조업으로 분류되지 않고 더 다양하게 분류할 수 있다. 또한 구성하는 인원의 교육 및 훈련 수준, 해당 지역의 기술개발능력, 규모의 경제 효과 등에 해당 제조업의 특성이 영향 받을 수 있다. 이러한 요인을 고려한다면 추가적인 분석이 가능할 것으로 보인다.

이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 국내에서는 연구가 미흡한 지역별 에너지 효율 측정, 비교를 총 요소 효율 측정방법인 확률변경모형을 이용하여 수행하였고 이를 제조업의 유형을 통해 설명한 초기연구라는 것에 의의가 있다. 또한 본 연구결과는 국가의 에너지 효율 향상을 위한 산업 발전 전략을 수립하는 근거가 될 수 있을 것이다.

접수일(2017년 6월 16일), 수정일(2017년 8월 10일), 게재확정일(2017년 8월 18일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 공지영·정수관·강상목. 2016. “확률변경 비용함수를 이용한 환경오염지수 계측과 영향 요인 분석.” 환경정책 24(3) : pp207-231
- 김진수. 2015. “우리나라 에너지소비 분해분석 연구에 대한 고찰.” 에너지경제연구 14(3) : pp265-291.
- 김광욱·황석준. 2015. “제조업 에너지 생산성 분해분석.” 자원·환경경제연구 24(2) : pp411-433
- 박정욱·김수이. 2013. “한국과 일본의 산업부문 에너지 소비에 대한 LMDI 요인분해분석.” 에너지경제연구 12 : pp67-103
- 서승환. 2004. “서울시 경제의 국민경제적 위상에 관한 연구.” 서울도시연구 5 : pp69-89.
- 이진식. 2010. “제조업부문 에너지효율 추이 분석.” GRI 연구논총, 12(3) : pp249-267.
- 임재규·김종익. 2014. “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석.” 에너지경제연구 13 : pp121-143.
- Aranda-Uson, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M. D., Scarpellini, S., and Sastresa, E. L. 2012. “Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors.” *Energy* 42(1) : pp477-485.
- Battese, G. E., and Coelli, T. J. 1995. “A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data.” *Empirical economics* 20(2) : pp25-332.
- Choi, Y., Zhang, N., and Zhou, P. 2012. “Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: a slacks-based efficiency measure.” *Applied Energy* 98 : pp198-208.
- Coelli, T., and Perelman, S. 1999. “A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways.” *European journal of operational research* 117(2) : pp326-339

- Debreu, G. 1951. "The coefficient of resource utilization." *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 19(3) : pp273-292.
- Farrell, M. J. 1957. "The measurement of productive efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 120(3) : pp253-290
- Hernandez-Sancho, F., Molinos-Senante, M., and Sala-Garrido, R. 2011. "Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach." *Science of The Total Environment* 409(14) : pp2693-2699
- Hu, J. L., and Wang, S. C. 2006. "Total-factor energy efficiency of regions in China." *Energy policy* 34(17) : pp3206-3217.
- Kumbhakar, S. C., Denny, M., and Fuss, M. 2000. "Estimation and decomposition of productivity change when production is not efficient: a paneldata approach." *Econometrics Review* 19(4) : pp312-320
- Lin, B., and Du, K. 2013. "Technology gap and China's regional energy efficiency: a parametric metafrontier approach." *Energy Economics* 40 : pp529-536
- Lin, B., and Long, H. 2015. "A stochastic frontier analysis of energy efficiency of China's chemical industry." *Journal of Cleaner Production* 87 : pp235-244.
- Lin, B., and Wang, X. 2014. "Exploring energy efficiency in China's iron and steel industry: A stochastic frontier approach." *Energy Policy* 72 : pp87-96.
- Lovell, C. K., Travers, P., Richardson, S., and Wood, L. 1994. "Resources and functionings: a new view of inequality in Australia." *Models and measurement of welfare and inequality*. Springer Berlin Heidelberg : pp 787-807
- Mukherjee, K. 2008. "Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector: an interstate analysis." *Energy policy* 36(2) : pp662-672
- Shepherd, R. W. 2015. *Theory of cost and production functions*. Princeton University Press.
- Shi, G. M., Bi, J., and Wang, J. N. 2010. "Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs." *Energy policy* 38(10) : pp6172-6179.

- Wu, F., Fan, L. W., Zhou, P., and Zhou, D. Q. 2012. "Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China: a nonparametric analysis." *Energy Policy* 49 : pp164-172.
- Zhou, P., and Ang, B. W. 2008. "Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance." *Energy Policy* 36(8) : pp2911-2916.
- Zhou, P., Ang, B. W., and Zhou, D. Q. 2012. "Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach." *Applied Energy* 90(1): pp196-200.

ABSTRACT

Regional energy efficiency estimation with a
stochastic frontier model
- The Impact of manufacture structure on energy efficiency-

Seungmo Im* and Myung suk Kim**

Due to the absence of natural resources, S. Korea has low energy independence. Also S. Korea is manufacturing-oriented country that uses more 50% of total energy consumption in the manufacturing sector. Therefore it is important to measure energy efficiency and analyze the impact of manufacturing structure on energy efficiency. In this paper, the energy efficiency of 15 metropolitan cities and provinces is measured by using stochastic frontier model from 2000 to 2014. As a result, the average energy efficiency of whole regions is 0.81, and the energy efficiency is improved with time. Seoul and Gwangju show the highest efficiency of 0.97 and Jeonnam has the lowest efficiency of 0.47. By comparing energy efficiency among regions, we find factors that cause the regional differences. In particular, the regional manufacturing structure has a significant impact on energy efficiency. The result show that the higher the proportion of large energy consumption manufacturing, the lower energy efficiency. Finally, we suggest recommendation to reduce the regional differences and improve energy efficiency

Key Words : Regional energy efficiency, Stochastic frontier analysis,
manufacturing structure.

* Graduate school, Sogang University (main author). imseungmo@sogang.ac.kr

** College of Business Administration, Sogang University(corresponding author).
myungkim@sogang.ac.kr