

제조업 에너지 생산성 분해분석[†]

김광욱* · 황석준**

요약 : 본 연구는 거리함수에 기초한 분해분석을 활용하여 표본기간 1995년부터 2009년 한국 14개 제조업의 에너지 생산성 변화요인을 분석한다. 산출거리함수를 적용한 분해분석은 기술적 성장에 따른 생산성 성장효과를 생산요소 및 에너지 믹스와 관련된 다양한 분해요인으로 세분화하는 장점이 있으며 추정결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째 한국 제조업은 90년대 후반 이후 전반적인 에너지 생산성의 향상을 보였으며 표본기간 에너지 저소비형 산업이 경험한 경제성 성과가 핵심적인 요인으로 작용하였다. 둘째 생산프론티어의 성장을 의미하는 기술적 진보에 의한 에너지 생산성 성장이 크게 표출되었으며 효율성 개선을 통한 성장여지가 존재한다. 셋째 주요 생산요소인 노동 및 자본과 관련된 분해요인은 에너지 생산성 변화에 상호 상충된 영향을 미쳤으며 에너지 믹스에 의한 생산성 성장이 확인되었다. 다음으로 본 연구는 산업별 에너지 생산성 변화와 수출성장률의 관계를 추가적으로 분석하였으며 일부 에너지 집약 산업을 제외한 대부분의 산업부문에서 수출생산 성장률과 에너지 생산성의 성장 간 양(+)의 상관관계를 확인하였다.

주제어 : 산출거리함수, 에너지 생산성, 분해분석, 자료포락분석

JEL 분류 : C6, Q4, Q5

접수일(2015년 4월 1일), 수정일(2015년 6월 10일), 게재확정일(2015년 6월 12일)

[†] 이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A3A2055150)

* 경북대학교 경제경영연구소 전임연구원, 제1저자(e-mail: kukim.knu@gmail.com)

** 경북대학교 경제통상대학 조교수, 교신저자(e-mail: sxh219@knu.ac.kr)

A Decomposition Analysis of Energy Productivity Change in Korean Manufacturing Industries: A Distance Function Approach

Kwang-Uk Kim* and Seok-Joon Hwang**

ABSTRACT : This paper decomposed energy productivity changes across 14 Korean manufacturing industries into 5 components, technological catch-up(EC), technological progress(TC), and changes in labor-energy ratio(LC), capital-energy ratio(KC) and energy mix(EMC). Then we also figured out the possible relationship between energy productivity change and export growth rate across the industries. It is found that (1) technological progress, changes in capital-energy ratio and energy mix contribute to energy productivity growth in Korea during the sample period, (2) technological progress is the primary driving forces for energy productivity growth, (3) increase in export growth rate had a positive impact on energy productivity growth excepting a part of energy-intensive industries.

Keywords : Output distance function, Energy productivity, Decomposition analysis, Data envelopment analysis

Received: April 1, 2015. Revised: June 10, 2015. Accepted: June 12, 2014.

* Associate Researcher, Research Institute for Economics and Business Administration, Kyungpook National University(e-mail: kukim.knu@gmail.com)

** Assistant Professor, School of Economics and Trade, Kyungpook National University(e-mail: sxh219@knu.ac.kr)

I. 서론

에너지 다소비형 산업이 우리나라 국가경제의 큰 비중을 차지하고 있는 상황에서 에너지의 효율적 소비는 지속가능성장(sustainable development)을 위한 ‘숨겨진 연료’로 그 중요성이 더해지고 있다. 에너지 효율성의 향상은 생산기술의 혁신, 에너지 수급정책의 안정성, 새로운 경쟁우위체제에 대한 적응 등과 같은 다양한 사회경제적 이슈를 포함하고 있으며 특히 화석 에너지의 저감에 기초한 에너지 효율성 성장은 현재 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 온실가스 감축과 직접적으로 관련되며 환경 친화적 경제성장을 위한 정부의 핵심전략과도 부합된다. 2009년 현재 우리나라 전체 에너지 소비량은 17,121,418(TJ)이며 석탄(17.8%), 석유(56.7%), 천연가스(6.6%)와 같은 화석 에너지의 사용비중이 절대적인 수준이다. 이러한 현실은 향후 온실가스 감축을 위한 전략시행에 있어 막대한 경제적 부담으로 작용할 가능성이 크며 비화석 에너지 비중의 확대를 골자로 한 에너지 믹스(energy mix) 전략의 효과적인 적용이 필수적인 상황이다.

이러한 시각에서 본 연구는 자료포락분석(data envelopment analysis)에 기초한 분해분석(decomposition analysis)을 활용하여 한국 14개 제조업의 에너지 생산성 변화요인을 분석한다. 분해분석은 에너지 생산성 변화의 주요 변화요인을 구분하고 그 영향력 수준을 파악하는 분석으로 효과적인 에너지 생산성 향상방안을 설정하는데 필수적인 과정이다. 특히 본 연구에서 적용한 거리함수접근법(distance function measure)은 기존의 구조분해분석(structural decomposition analysis) 및 지수분해분석(index decomposition analysis)에서 정의되는 기술적 요인을 다양한 분해요인으로 세분화할 수 있는 장점이 있다. 또한 온실가스 저감에 대한 환경적 요구가 강화되고 있는 시점에서 에너지 믹스에 의한 생산성 변화수준을 계측하여 향후 에너지 다각화 전략에 따른 환경적 파급효과를 산업별로 파악할 수 있다는 점이 특징적이다¹⁾.

Charnes *et al.* (1978)에 의해 제시된 비-모수적(non-parametric) 분석방법인 자료포락분석은 선형프로그램(linear programming)을 통해 형성된 생산프론티어(production

1) 지수분해분석(index decomposition analysis)을 활용한 국내연구는 김수아·김현석 (2011), 임재규·김종익 (2014), 박성준·김진수 (2014)를 참고바란다.

frontier)로부터 특정 의사결정단위(decision making units)까지의 거리를 계측하는 분석기법으로 생산성 및 효율성 추정에 관한 다양한 연구로 확대·발전되어 왔다. 특히 Pasurka (2006), Wang (2007, 2011), Zhou and Ang (2008), Li (2010), Zhang *et al.* (2012), 김광욱·강상목 (2012) 등은 특정 사회·경제적 변수의 시계열적 변화요인을 다양한 거리함수(distance function)를 바탕으로 분해한 대표적인 연구이다. 먼저 Pasurka (2006)은 산출지향 방사선 척도(output-oriented radial measure)를 기초로 미국 석탄발전소의 대기오염(NOx, SOx)배출량 변화요인을 분석하였으며, Zhou and Ang (2008), Zhang *et al.* (2012)은 다수의 투입요소에 대해 각각의 투입거리함수(input distance function)를 적용하여 이산화탄소 배출량 변화에 대한 분해산식을 제시하였다. 한편 Li (2010), Wang (2011)은 중국 29개 지역을 대상으로 이산화탄소 배출량 및 에너지 생산성의 변화요인을 분해한 연구를 시도하였으며 산출거리함수(output distance function)을 적용한 공통점이 있다²⁾. 한편 거리함수에 기초한 분해산식을 제시한 국내연구로는 김광욱·강상목 (2012)이 있으며 OECD국가를 대상으로 산출물의 확장과 오염물의 저감을 동시에 고려할 수 있는 방향거리함수(directional distance function)를 적용하여 화석 및 비화석 에너지 구분에 따른 에너지 믹스효과를 정의했다는 점에서 특징적이다.

본 연구는 Wang (2007, 2011), Li (2010)에서 제시된 산출거리함수 접근법을 기초로 표본기간 1995년~2009년 한국 14개 제조업의 에너지 생산성 분해분석을 시도한다. 현재까지 거리함수에 기초하여 산업별 에너지 생산성의 변화요인을 분해한 연구가 없는 것으로 사료되며 특히 화석 및 비화석 에너지의 투입비중 변화에 따른 에너지 생산성의 변화효과를 산업별로 구분했다는 점에서 차별적인 연구로 판단된다. 제조업의 생산활동에 투입되는 에너지 비중이 전체 에너지 사용량의 50%를 넘어서는 상황에서 각 제조업별 에너지 생산성 수준을 파악하고 그 변화요인을 계측하는 것은 향후 에너지 정책의 효율적 설정에 중요한 기준으로 활용가능하다. 특히 에너지 효율화 방안의 일환으로 추진되고 있는 비화석 에너지의 증대가 실제 에너지 생산성에 미치는 효과를 추정함으로써 기후변화에 대응한 환경정책의 효과적

2) Wang (2007)은 산출거리함수를 기초로 OECD국가의 에너지 생산성을 분해분석한 연구이며 Wang (2011)과 동일한 연구모형을 적용하였다.

추진에도 중요한 실증적 근거가 될 것이다. 나아가 본 연구는 추정된 분해요인을 기초로 산업별 수출성장률과 에너지 생산성 변화의 관계를 추가적으로 분석한다. 표본기간 한국의 제조업은 지속적인 수출성장을 경험하고 있으며 이러한 생산규모의 확대가 실제 에너지 생산성에 미치는 효과를 산업별로 분석함으로써 자유무역확산에 따른 에너지 효율적 산업성장 방안을 실증적으로 제시한다.

이하 제II장에서는 에너지 생산성의 분해산식을 위한 산출거리함수를 제시하고 각 분해요인의 수학적 도출과정을 설명한다. 제III장에서는 실증분석에 사용된 통계 데이터 설명과 실증분석결과를 제시하며, 제IV장은 분석결과를 기초로 결론을 맺는다.

II. 분석모형

Wang (2007, 2011), Li (2010)은 Shephard의 산출거리함수에 기초한 에너지 생산성의 분해산식을 정의하기 위해 식 (1)과 같은 생산기술(S^0)을 가정한다.

$$S^0 = \{(L^0, K^0, E^0, Y^0): (L^0, K^0, E^0) \text{ can produce } Y^0\} \quad (1)$$

여기서 L^0 , K^0 , E^0 , Y^0 는 각각 0기의 노동, 자본, 에너지, 총생산을 의미하고 에너지 투입변수(E^0)는 에너지 믹스에 의한 생산성 변화를 추정하기 위해 화석 에너지(E_1^0)와 비화석 에너지(E_2^0)로 구분한다. 0기 k 산업의 생산효율성을 정의한 산출거리함수는 식 (2)와 같으며 여기서 파라미터 θ 는 주어진 투입물과 기술수준 하에서 임의의 산업 k 가 잠재적으로 달성가능한 최대 산출량 수준까지의 거리를 의미한다.

$$D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0) = \inf \left[\theta \left(L^0, K^0, E^0, \frac{Y^0}{\theta} \right) \in S^0 \right] \quad (2)$$

만약 임의의 산업 k 가 현재 주어진 투입물 수준에서 최대한의 산출량을 생산하고 있다면 생산가능곡선 상에 위치하게 되며 $\theta=1$ 을 만족한다. 반면 생산의 비효율성으로 인해 생산가능곡선의 내부에 위치하는 경우 $\theta < 1$ 을 만족하며 추가적인 산출량의

증가가 가능하다. 한편 본 연구는 생산효율성의 시계열적 변화를 분석하는 것이 목적이기 때문에 0기의 생산기술수준 하에서 1기 데이터의 생산효율성(mixed-period analysis)을 계측할 필요가 있으며 이를 수식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$D^0(L^1, K^1, E^1, Y^1) = \inf \left[\theta \mid \left(L^1, K^1, E^1, \frac{Y^1}{\theta} \right) \in S^0 \right] \quad (3)$$

먼저 0기 생산기술의 산출거리함수를 바탕으로 각 산업별 에너지 생산성의 변화요인을 분해한 결과는 식 (4)와 같다. 식 (4)의 좌변은 0기와 1기의 에너지 생산성 변화를 의미하고 에너지 투입 단위당 산출량 수준의 변화로 정의한다³⁾. 에너지 생산성의 변화요인 중 우변의 첫 두 항은 효율변화(efficiency change)와 기술변화(technical change)로 정의할 수 있으며 Färe *et al.* (1994, 1997), Kumbhakar *et al.* (2001), Guzman and Reverte (2008)에서 일반적으로 활용되고 있는 Malmquist 생산성 지수(productivity index)와 동일한 개념이다⁴⁾.

$$\begin{aligned} \frac{\frac{Y^1}{E^1}}{\frac{Y^0}{E^0}} &= \frac{D^1(L^1, K^1, E^1, Y^1)}{D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0)} \times \frac{D^0(L^1, K^1, E^1, Y^1)}{D^1(L^1, K^1, E^1, Y^1)} \times \left[\frac{E^0}{E^1} \times \frac{\frac{D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0)}{Y^0}}{\frac{D^0(L^1, K^1, E^1, Y^1)}{Y^1}} \right] \quad (4) \\ &= \underbrace{\frac{D^1(L^1, K^1, E^1, Y^1)}{D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0)}}_{\text{Efficiency Change}(EC)} \times \underbrace{\frac{D^0(L^1, K^1, E^1, Y^1)}{D^1(L^1, K^1, E^1, Y^1)}}_{\text{Technical Change}(TC)} \times \left[\frac{E^0}{E^1} \times \frac{D^0(L^0, K^0, E^0, 1)}{D^0(L^1, K^1, E^1, 1)} \right] \end{aligned}$$

식 (4)의 마지막 항은 산출물에 대한 1차 동차(homogeneous degree of +1 in output)의 특성을 가지는 산출거리함수가 아래의 식 (5)가 성립하기 때문에 가능한 수학적 변형이며 주어진 투입물과 생산기술 하에서 달성가능한 최적 산출량 수준을

-
- 3) 본 연구에서 적용하는 에너지 생산성 지수는 산출 단위당 에너지 사용량을 의미하는 에너지 집약도(energy intensity) 혹은 에너지 원단위(energy basic unit)의 역수이다.
 - 4) 0기에서 1기로의 시계열적 흐름에서 효율변화(EC)는 각 생산단위가 생산가능곡선으로 얼마나 접근하는가(catch-up effect)에 대한 효율지표이며, 기술변화(TC)는 생산가능곡선 그 자체의 변화 즉 기술진보(technical progress effect)에 의한 생산효율성 변화를 정의한 것이다.

의미한다(Färe *et al.*, 1997; Li, 2010; Wang, 2007, 2011)⁵⁾.

$$Y^* = \frac{Y^0}{D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0)} = \frac{1}{D^0(L^0, K^0, E^0, 1)} \quad (5)$$

마찬가지로 Färe (1988)는 규모수익불변(constant returns to scale)의 산출거리함수가 투입물에 대한 -1차 동차함수(homogeneous degree of -1 in input)임을 정의하고 있으며 이는 식 (6)과 같이 표현가능하다⁶⁾.

$$D^0(\beta L^0, \beta K^0, \beta E^0, Y^0) = \beta^{-1} D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0) \quad (6)$$

이를 바탕으로 식 (4)의 마지막 항은 다시 식 (7)로 변형가능하며 여기서 l^0, k^0 는 에너지 투입 단위당 노동 및 자본비율(labor-energy ratio and capital-energy ratio)을 의미하고 각각 $l^0 = \left(\frac{L^0}{E^0}\right), k^0 = \left(\frac{K^0}{E^0}\right)$ 를 만족한다. 한편 본 연구에서는 에너지 투입변수를 화석 에너지와 비화석 에너지로 구분하였으며 $E^0 = (E_F^0, E_{NF}^0)$ 를 만족한다. 따라서 식 (7)에서 정의된 $e^0 = \left(\frac{E_F^0}{E^0}, \frac{E_{NF}^0}{E^0}\right) = (e_F^0, e_{NF}^0)$ 이며 총 에너지 투입에서 각 에너지 원(energy source)의 투입비중으로 해석할 수 있다.

$$\left[\frac{E^0}{E^1} \times \frac{D^0(L^0, K^0, E^0, 1)}{D^0(L^1, K^1, E^1, 1)} \right] = \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^1, 1)} \right] \quad (7)$$

다음으로 식 (7)은 Seigel (1945)의 정의에 따라 식 (8)과 같이 3개의 항으로 추가 분해가 가능하며, 0기와 1기 사이 에너지 투입 단위당 노동 및 자본비율과 에너지

5) 언급한 바와 같이 본 연구의 분해산식은 산출거리함수를 기초로 정의되었으며 이는 Li (2010), Wang (2011)과 유사하다. 그러나 에너지 원의 투입비중에 따른 생산성 변화효과를 추정한다는 점과 그 적용 대상이 제조업 산업단위라는 점에서 선행연구와 차별성을 가진다.

6) 식 (6)에서 정의되는 β 는 양의 스칼라(positive scalar)이다.

믹스의 변화가 에너지 생산성에 미치는 효과를 각각 *LC*(labor-energy ratio change), *KC*(capital-energy ratio change), *EMC*(energy mix change)로 정의한다(Wang, 2007, 2011, 2013; Li, 2010; Du *et al.*, 2014) 먼저 *LC*를 구성하는 4개의 각 세부 항은 노동-에너지 비율을 의미하는 *l*변수의 시계열적 변화($l^0 \rightarrow l^1$)만을 고려한 생산성 추정이며 여타 *k*, *e* 변수는 일정한 상태를 가정한다. 따라서 *LC*는 0기와 1기 사이 노동과 에너지 간 생산요소의 대체에 따른 생산성 변화효과를 의미한다. 다음으로 *KC*를 구성하는 분해산식 역시 관련변수인 *k*를 제외한 *l*, *e*는 일정한 상태를 가정하며 자본-에너지 간 생산요소의 대체효과(substitution effect)로 해석할 수 있다.

한편 앞서 정의된 *e*는 총 에너지 투입에서 화석(e_F) 및 비화석(e_{NF}) 에너지의 비율변수로 변형되므로 *EMC*는 0기와 1기 사이 에너지 원의 투입비중 변화가 에너지 생산성에 미치는 파급효과를 의미한다. 표본기간 한국 제조업은 석유 의존도를 낮추기 위한 에너지 다각화 전략이 꾸준히 시도되었으며 그 결과 비화석 에너지의 사용비중이 크게 확대되는 경향을 보였다. 따라서 *EMC*는 비화석 에너지의 확대에 기초한 산업별 에너지 믹스변화가 에너지 생산성에 미치는 효과를 의미한다.

$$\begin{aligned} & \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^1, 1)} \right] = \\ & \underbrace{\left\{ \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^0, e^0, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^0, k^1, e^1, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^1, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^1, 1)}{D^0(l^1, k^0, e^1, 1)} \right] \times \left[\frac{D^0(l^0, k^1, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^0, 1)} \right] \right\}^{\frac{1}{6}}}_{LC(Labor\ Energy\ Change)} \times \\ & \underbrace{\left\{ \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^0, k^1, e^0, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^1, k^0, e^1, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^1, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^1, 1)}{D^0(l^0, k^1, e^1, 1)} \right] \times \left[\frac{D^0(l^1, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^0, 1)} \right] \right\}^{\frac{1}{6}}}_{KC(Capital\ Energy\ Change)} \times \quad (8) \\ & \underbrace{\left\{ \left[\frac{D^0(l^0, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^0, k^0, e^1, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^1, k^1, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^1, e^1, 1)} \right]^2 \times \left[\frac{D^0(l^1, k^0, e^0, 1)}{D^0(l^1, k^0, e^1, 1)} \right] \times \left[\frac{D^0(l^0, k^1, e^0, 1)}{D^0(l^0, k^1, e^1, 1)} \right] \right\}^{\frac{1}{6}}}_{EMC(Energy\ Mix\ Change)} \end{aligned}$$

마지막으로 식 (4)와 (8)을 종합하면 산업별 에너지 생산성 변화를 총 5개의 세부 요인으로 분해가능하며 1기 기술수준에서 측정된 지수와의 기하평균을 통해 에너지 생산성 변화요인에 대한 최종 분해산식을 식 (9)와 같이 정의할 수 있다.

$$\frac{Y^1}{E^0} = EC^0 + [TC^0 \times TC^1]^{\frac{1}{2}} + [LC^0 \times LC^1]^{\frac{1}{2}} + [KC^0 \times KC^1]^{\frac{1}{2}} + [EMC^0 \times EMC^1]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$= EC + TC + LC + KC + EMC$$

한편 실제 생산성의 측정에 필요한 거리함수는 식 (10), (11)과 같은 선형계획식 (linear programming)을 통해 계측가능하며 여기서 z는 생산가능곡선을 형성하기 위한 일종의 가중치(weight)로서 k×1의 밀도벡터(density vector)를 의미한다⁷⁾.

$$[D^0(L^0, K^0, E^0, Y^0)]^{-1} = Max \theta \quad (10)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^K Y_k^0 \geq \theta Y_{k'}^0, \quad \sum_{k=1}^K L_k^0 \leq L_{k'}^0, \quad \sum_{k=1}^K K_k^0 \leq K_{k'}^0$$

$$\sum_{k=1}^K E_{1k}^0 \leq E_{1k'}^0, \quad \sum_{k=1}^K E_{2k}^0 \leq E_{2k'}^0, \quad z_{k'}^0 \geq 0$$

$$[D^0(l^0, k^0, e^0, 1)]^{-1} = Max \theta \quad (11)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^K Y_k^0 \geq \theta, \quad \sum_{k=1}^K L_k^0 \leq l_{k'}^0, \quad \sum_{k=1}^K K_k^0 \leq k_{k'}^0$$

$$\sum_{k=1}^K E_{1k}^0 \leq e_{1k'}^0, \quad \sum_{k=1}^K E_{2k}^0 \leq e_{2k'}^0, \quad z_{k'}^0 \geq 0$$

III. 통계데이터 및 분석결과

본 연구는 데이터 수입이 가능한 1997년~2009년의 한국 14개 제조업을 대상으로 에너지 생산성의 변화요인을 분해한다⁸⁾. 사용된 통계자료는 산업별 생산액(Y), 노동

7) 본 연구의 실제 실증분석에서는 최적화 과정에서 발생할 수 있는 non-solution문제를 제어하기 위해 3-year moving windows 방식을 통해 생산가능곡선을 형성하였다. 즉 0기의 생산가능곡선은 0기, 0-1기, 0-2기의 산업별 데이터를 모두 종합하여 형성하였다. 일반적으로 자료포락분석은 특정 통계데이터의 변동에 따라 생산프론티어의 형태가 매우 민감하게 변화하는 경향이 존재하는데 moving windows 방식은 특정 연도의 통계데이터의 변동에 따른 민감성 문제를 다소 완화시켜주는 장점이 있다(Pasurka, 2006).

스톡(L), 실질 고정자본스톡(K), 화석 에너지(FE) 및 비화석 에너지(NFE) 투입량이
며 데이터의 출처 및 단위는 <표 1>과 같다⁹⁾.

<표 1> 통계자료의 출처 및 단위

변수	정의	단위	출처
Y	산업별 총생산	10억(원)	World Input-Output Database (WIOD)
L	노동스톡	1,000(명)	
K	실질 고정자본스톡	10억(원)	
FE	화석 에너지 투입량	TJ	
NFE	비화석 에너지 투입량		

다음으로 <표 2>는 실증분석에 사용된 통계 데이터의 산업별 기초통계량을 정리한 것이다¹⁰⁾. 먼저 에너지 투입 단위당 산업 총생산을 의미하는 에너지 생산성(EP) 수준을 살펴보면 제조업의 평균 에너지 생산성 수치가 611.9(10억원/TJ)이고 표본기간 연 평균 2.84%의 에너지 생산성 향상을 보인다.

먼저 에너지 집약 산업(energy-intensive industry)으로 분류되는 ‘석탄, 석유, 핵연료’, ‘화학, 화학제품’, ‘비금속 광물’, ‘1차 금속, 조립금속’ 부문은 산업원료를 생산·공급하는 기간산업으로서 여타 제조업에 비해 생산 단위당 에너지 소비량이 절대적으로 높다. 반면 ‘전자, 전자기기’, ‘기계’, ‘운송장비’ 부문은 상대적으로 에너지 생산성이 높은 산업이며 표본기간 자동차, 조선, IT산업의 성장에 따라 급격한 규모확대를 경험한 특징이 있다¹¹⁾. 한편 ‘가죽, 의복, 신발’, ‘나무, 목재’ 부문은 표본기간 에너지 생산성의 하락을 보인 부문으로 산업 경쟁력 상실로 인한 성장 둔화가 예

8) 본 연구는 실증분석을 위해 World Input-Output Database의 산업분류를 따른다. WIOD에서는 14개 제조업을 [FOOD, BEVERAGES AND TOBACCO], [Textiles and textile], [Leather, leather and footwear], [WOOD AND OF WOOD AND CORK], [PULP, PAPER, PAPER, PRINTING AND PUBLISHING], [Coke, refined petroleum and nuclear fuel], [Chemicals and chemical], [Rubber and plastics], [OTHER NON-METALLIC MINERAL], [BASIC METALS AND FABRICATED METAL], [MACHINERY, NEC], [ELECTRICAL AND OPTICAL EQUIPMENT], [TRANSPORT EQUIPMENT], [MANUFACTURING NEC; RECYCLING]으로 구분한다.

9) 실증분석에 사용된 모든 금액변수는 1995년 기준 불변지수(constant price)이다.

10) 전력 에너지의 경우 전력생산을 위한 에너지 원의 투입비율에 따라 화석 및 비화석 에너지로 구분한다.

11) 기초통계량에서 확인할 수 있듯이 ‘전자, 전자기기’, ‘기계’, ‘운송장비’ 부문은 표본기간 각각 15.75%, 5.68%, 6.81%의 성장률을 기록하고 있으며 제조업 평균 3.75%에 비해 상대적으로 높은 수준이다.

제조업 에너지 생산성 분해분석

지 생산성 하락의 주요한 요인으로 판단된다. 언급된 산업은 표본기간 중국 및 동남 아시아 국가의 경제성장과 같은 대외적 요인과 더불어 한국 내 인건비 상승으로 인한 가격경쟁력 상실이 크게 나타난 산업으로서 에너지 효율성 제고를 위한 추가적인 설비투자의 제약이 에너지 생산성 하락의 주원인으로 예상할 수 있다.

〈표 2〉 기초통계량

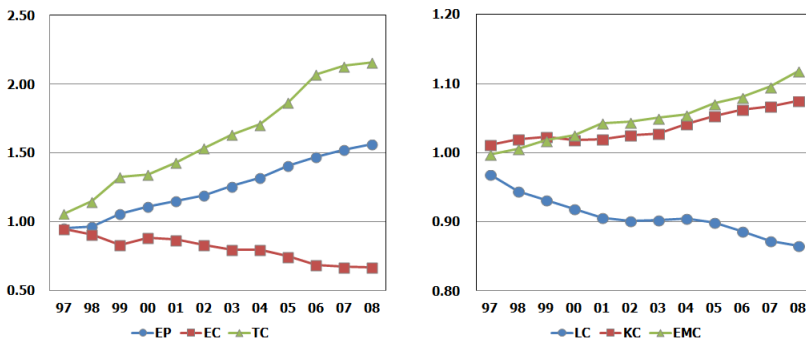
산업	EP		Y		L		K		FE		NFE	
	평균	%	평균	%	평균	%	평균	%	평균	%	평균	%
음식, 담배	602.2	2.39	45211.9	1.34	230.3	-2.16	17257.0	3.29	49000.6	-3.36	26399.3	5.74
섬유, 섬유제품	238.7	0.45	32177.2	1.00	410.8	-6.39	16536.3	2.68	73926.5	-3.83	63235.8	4.62
가죽, 의복, 신발	489.2	-1.66	4135.4	-5.76	56.1	-8.67	2505.4	-1.52	6077.1	-6.04	2526.9	-1.49
나무, 목재	322.1	-0.70	3644.4	2.07	32.1	-3.90	1915.6	1.32	4276.8	-0.19	7034.1	7.35
펄프, 종이, 인쇄	230.6	1.96	23000.5	1.90	198.4	-1.72	11402.8	5.26	53888.5	-3.61	45698.4	5.19
석탄, 석유, 핵연료	4.2	1.53	24042.2	4.36	49.4	0.96	7522.7	1.37	5746687.6	1.92	4354.6	N/A
화학, 화학제품	38.8	-0.06	61767.5	5.51	197.1	-3.23	25358.6	4.03	1436414.4	5.66	155568.4	7.81
고무, 플라스틱	663.2	7.31	21067.5	4.26	211.2	0.88	9342.6	3.23	26279.4	-1.37	6172.5	1.10
비금속광물	74.5	2.53	18827.8	2.53	133.9	-4.56	15785.4	2.92	206237.2	-0.74	45325.1	5.12
1차 금속, 조립금속	89.8	0.89	80868.8	3.99	406.3	0.77	44483.0	3.41	715506.2	1.03	178015.4	8.03
기계	1215.8	4.53	52657.4	5.68	384.0	-0.60	12683.8	4.31	22663.5	-0.39	19645.4	4.26
전자, 전자기기	2793.4	10.61	271718.5	15.75	711.5	0.29	78431.2	9.02	41114.9	2.93	46629.2	8.72
운송장비	852.3	0.54	84516.3	6.81	451.7	0.88	33367.1	5.23	58578.7	2.17	39626.7	11.07
기타 제조업, 재활용	951.4	9.43	9685.6	3.02	109.9	-2.49	3506.0	5.50	9641.4	-5.09	1586.1	-0.98
전체평균	611.9	2.84	52380.1	3.75	255.9	-2.14	20007.0	3.57	603592.3	-0.78	45844.1	5.12

%는 표본기간 산업별 연 평균 성장률(annual growth rate)을 의미함.
에너지 생산성 지수(EP)의 단위는 (10억원/TJ)로 정의함.

다음으로 생산요소인 노동 및 자본투입의 변화를 보면 표본기간 노동투입은 평균 -2.14% 감소한 반면 자본투입은 평균 3.57% 상승한 것을 확인할 수 있다. 대부분의 산업에서 노동투입감소와 자본투입증가 경향이 표출되고 있으며 성장효과가 상대적으로 크게 나타난 ‘전자, 전자기기’, ‘운송장비’, ‘석탄, 석유, 핵연료’, ‘고무, 플라스틱’, ‘1차 금속, 조립금속’ 부문에서는 노동과 자본요소가 동시에 증가한 특징이 있다¹²⁾. 이러한 결과는 표본기간 서비스업 고용비중의 확대, 노동절약형 산업구조 개편, 국내 제조업의 해외투자 등이 전반적인 제조업 고용량의 하락을 유도하였으며 일부 성장효과를 경험한 산업에서만 고용증가를 보인 것이 주원인으로 판단된다.

마지막으로 각 에너지 원의 투입변화를 살펴보면 전반적으로 비화석 에너지의 사용량이 화석 에너지에 비해 현저하게 낮은 수준이지만 표본기간 빠른 속도로 그 사용비중이 확대되고 있다. 화석 에너지의 경우 대부분의 제조업 분야에서 그 사용량이 감소하고 있으나 ‘화학, 화학제품’, ‘석탄, 석유, 핵연료’, ‘1차 금속, 조립금속’과 같은 에너지 집약산업과 ‘전자, 전자기기’, ‘운송장비’와 같이 표본기간 급격한 성장을 보인 산업에는 화석 에너지의 사용량 역시 증가하는 것을 확인할 수 있다.

〈그림 1〉 분해요인의 시계열적 변화



〈그림 1〉은 실증분석을 통해 계측된 각 분해요인의 시계열적 변화를 표현한 것이다¹³⁾. 먼저 생산프론티어의 확장을 의미하는 기술진보(TC) 요인이 표본기간 한국

12) 노동 및 자본의 성장을 동시에 경험한 산업에서도 자본의 성장률이 노동의 성장률에 비해 상당히 높은 특징을 보인다.

제조업이 경험한 에너지 생산성(*EP*) 향상에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다. 반면 기술적 catch-up 효과를 의미하는 *EC*는 표본기간 점진적인 하락경향이 나타나며 기술진보와의 격차가 확대되는 현상을 보인다¹⁴⁾. 한편 생산요소투입과 관련된 분해요인 *LC*, *KC*, *EMC*는 *EC*, *TC*에 비해 그 영향력이 다소 낮게 계측되었다. 먼저 *LC*는 노동-에너지 비율변화에 기초한 분해요인이며 노동과 에너지 간 생산요소의 대체효과가 에너지 생산성에 미치는 효과로 해석가능하다. 기초 통계량에서 확인한 바와 같이 표본기간 대부분의 산업부문에서 노동투입의 감소가 에너지 사용량의 증가로 대체되는 경향이 확인되며 그 결과 에너지 사용량 증가에 따른 생산성의 하락이 유도되는 것으로 판단된다. 반면 자본과 에너지의 대체효과를 정의한 *KC*는 비록 1에 근접한 수치이나 에너지 생산성의 성장을 유도하고 있으며 자본축적에 따른 에너지 절감효과로 해석할 수 있다. 즉 신규자본투자의 증가는 상대적으로 에너지 효율적인 설비확충으로 이어지고 이는 생산 단위당 에너지 투입을 감소시켜 결과적으로는 에너지 생산성의 향상을 유도한다. 마지막으로 에너지 믹스변화를 정의한 *EMC* 역시 표본기간 제조업의 에너지 생산성 향상에 기여하고 있으며 비화석 에너지 사용량 증대에 따른 에너지 효율상승이 주원인으로 판단된다. 표본기간 한국 정부는 에너지 다각화 전략을 통해 지나치게 높은 석유의존도에서 탈피하고자 노력하였으며 특히 원자력, 신재생-대체 에너지 등의 비화석 에너지의 사용비율을 높이기 위한 정책을 추진하였다¹⁵⁾. 일부 산업을 제외한 대부분의 제조업에서 비화석 에너지의 사용량 증가가 크게 표출되었으며 에너지 생산성의 성장에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

13) 그래프는 전체 제조업 평균값의 누적치를 기준으로 표현한 것이다.

14) 분석방법에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 적용한 자료포락분석은 상대적 효율성(relative efficiency)에 기초한 추정방법이다. 따라서 일부 산업의 기술적 성장이 빠르게 표출되는 경우 생산프론티어의 확장이 크게 나타나고 그 결과 *EC*의 전반적인 수치가 1보다 작게 계측되는 경향이 있다.

15) 한국의 에너지 정책은 ‘국가에너지기본계획’을 근간으로 시행되고 있으며 에너지 안보(energy security), 에너지 효율(energy efficiency), 친환경(environmental protection)이라는 3E정책을 표방하고 있다. 구체적으로는 에너지 자주개발률과 신재생에너지 사용비중확대, 에너지 원단위 향상, 탈석유사회 실현 등과 같은 5대 비전을 제시하고 있다.

<표 3> 에너지 생산성 분해요인 실증분석 결과(누적지수)

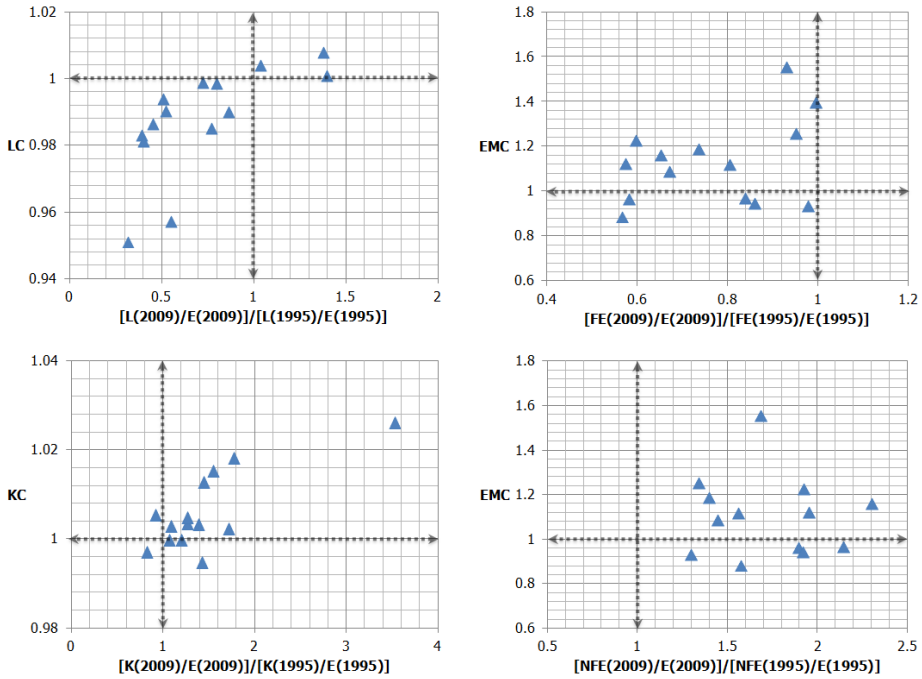
산업	EP	EC	TC	LC	KC	EMC
음식, 담배	1.3807	0.4813	1.8915	0.8888	1.1651	1.1629
섬유, 섬유제품	1.2677	0.6962	1.8111	0.8156	1.0429	0.9662
가죽, 의복, 신발	0.9490	0.3789	2.0159	0.8899	0.9386	1.1205
나무, 목재	1.1801	0.6426	2.2819	0.7983	0.9671	0.8862
펄프, 종이, 인쇄	1.5310	0.5458	1.8456	0.9828	1.2433	1.1263
석탄, 석유, 핵연료	1.3541	0.8113	1.2225	1.0517	0.9988	1.0000
화학, 화학제품	0.9289	0.7059	3.3027	0.5488	1.0664	0.9346
고무, 플라스틱	2.2172	0.6970	2.3089	1.1015	1.0295	1.2587
비금속광물	1.3718	0.6057	3.3608	0.5931	1.0415	0.9456
1차 금속, 조립금속	1.1741	0.4829	2.8182	0.8364	1.0369	0.9698
기계	2.0986	0.9412	1.6935	0.9879	1.2000	1.1913
전자, 전자기기	3.6036	1.0058	2.9065	0.8500	1.0594	1.0885
운송장비	1.2574	0.6106	2.3029	0.9294	0.9987	1.2290
기타 제조업, 재활용	2.8145	0.8921	1.7230	1.0137	1.3633	1.5575
평균	1.6520	0.6784	2.2489	0.8777	1.0823	1.1027

<표 3>은 실증분석을 통해 얻은 에너지 생산성 분해요인을 산업별로 정리한 것이다¹⁶⁾. 먼저 ‘전자, 전자기기’ 부문을 제외한 모든 제조업에서 EC는 1보다 작은 값을 보이며 특히 ‘가죽, 의복, 신발’, ‘음식, 담배’, ‘1차 금속, 조립금속’, ‘펄프, 종이, 인쇄’ 부문의 효율성 하락이 크게 나타났다. 반면 TC는 에너지 생산성 성장의 가장 중요한 요인으로 작용하고 있으며 모든 제조업 부문에서 일관된 결과를 보인다¹⁷⁾. 특히 표본기간 상대적으로 빠른 규모의 성장을 보인 ‘전자, 전자기기’, ‘운송장비’ 부문과 ‘비금속 광물’, ‘화학, 화학제품’, ‘1차 금속, 조립금속’과 같은 에너지 집약 산업에서 기술진보에 의한 에너지 생산성 성장이 크게 표출된 특징이 있다.

16) <표 3>의 결과는 분석기간 첫 해인 1997년을 기준으로 각 연도의 추정결과를 누적시켜 정리한 실증 결과이다. 기하평균에 의한 산업별 분해결과는 <부록>에 첨부한다. 언급한 바와 같이 본 연구의 실증 분석은 3-year moving windows 방식으로 통해 계측되었으며 이에 따라 1997년이 실증결과의 첫 해가 된다.

17) 한국의 제조업을 대상으로 Malmquist 생산성 지수를 적용한 선행연구에서도 기술발전에 의한 생산성 성장효과가 가장 크게 계측된 공통점이 있다(조상규·강상목, 2007)

<그림 2> 생산요소의 비율변화와 분해요인 추정결과



다음으로 에너지 생산성 분해요인 중 *LC*, *KC*, *EMC*는 산업별로 다소 상이한 결과를 보이며 이는 각 산업별 생산요소의 투입형태, 에너지 믹스 등의 격차에 따른 결과로 판단된다. 본 연구는 생산요소의 투입과 에너지 생산성과의 관계를 보다 엄밀히 분석하기 위해 <그림 2>와 같은 그래프를 추가적으로 제시한다. 좌측 두 개 그래프의 *x*축은 에너지 투입 대비 각 생산요소(노동, 자본)의 성장률을 의미하고 *y*축은 관련 분해요인(*LC*, *KC*)의 추정결과 값이다.

먼저 1995년 대비 2009년의 노동-에너지 투입비율의 변화율과 산업별 *LC* 값의 분포를 확인하면 통계적으로 유의한 양(+)의 관계를 확인할 수 있으며 이는 에너지 생산성이 노동-에너지 투입비중의 증가에 따라 상승한다는 것을 나타낸다. 표본기간 대다수의 산업에서 노동-에너지 비율변화가 1보다 작다는 것을 확인할 수 있고 이는 생산요소인 노동이 에너지 투입으로 대체된 현상을 의미한다. 그 결과 *LC*는 에너지 생산성의 하락요인으로 작용하고 있으며 구체적으로 ‘화학, 화학제품’, ‘비

금속 광물’, ‘나무, 목재’ 부문에서 뚜렷하게 표출된다. 반면 ‘고무, 플라스틱’, ‘석탄, 석유, 핵연료’ 부문에서는 비록 1에 근접한 수치이긴 하지만 LC 가 에너지 생산성의 성장에 기여한 것을 확인할 수 있으며 표본기간 노동요소의 투입이 오히려 증가한 부문이라는 특징이 있다. 한편 자본-에너지 투입비율의 변화와 KC 값의 분포에서도 양(+)¹⁸⁾의 상관관계가 나타나며 자본증가에 따른 에너지 생산성의 향상을 뚜렷하게 확인할 수 있다. 대다수의 산업에서 표본기간 자본-에너지 비중이 증가하고 있으며 특히 ‘펄프, 종이, 인쇄’, ‘기계’ 부문에서 KC 에 의한 에너지 생산성 성장이 강하게 표출되었다. 언급된 산업은 에너지 투입에 비해 자본투자가 더 크게 증가한 부문으로서 상대적으로 에너지 효율적인 신규설비투자를 통한 에너지 절감효과가 주원인으로 예상할 수 있다. 표본기간 한국의 제조업이 지속적인 자본축적을 기초로 노동 절약형 생산구조전환이 이루어진 점을 감안한다면 생산요소(L, K)와 관련된 두 분해요인(LC, KC)은 에너지 생산성 변화에 상호 상충된 영향을 미친 것으로 확인된다.

다음으로 우측 두 개의 그래프는 화석 및 비화석 에너지 믹스와 EMC 추정결과 간의 관계를 표현한 것으로 앞선 생산요소효과와 같이 뚜렷한 선형관계는 확인하기 어렵다. 그러나 표본기간 모든 제조업 부문에서 비화석 에너지의 사용비중이 증가하고 있고 일부 에너지 집약적 산업을 제외한 대다수 산업에서 EMC 가 에너지 생산성 향상에 기여하는 것을 감안한다면 화석 에너지 의존도를 낮추기 위한 에너지 믹스전략이 실제 에너지 생산성에도 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단할 수 있다¹⁸⁾. 즉 비화석 에너지의 소비확대에 따라 에너지 생산성의 전반적인 성장이 보이며 이는 에너지 다각화 전략의 긍정적인 효과에 대한 실증적 증거로 활용가능하다.

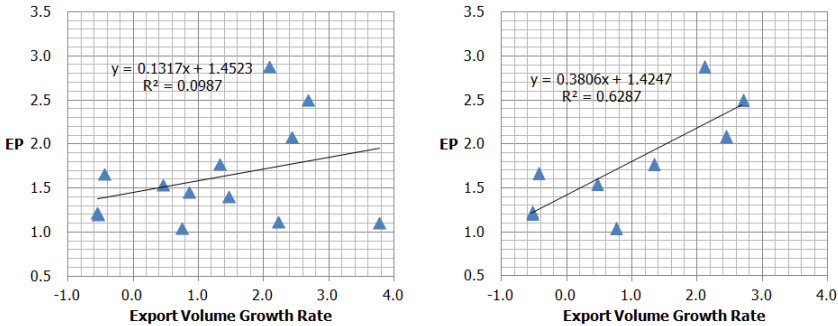
본 연구는 각 산업별 수출성장률과 에너지 생산성 간의 관계를 확인하기 위해 <그림 3>과 같은 그래프를 제시한다¹⁹⁾. 한국의 제조업은 수출지향 산업전략을 바탕으로 표본기간 전반적인 수출증대를 경험하고 있으며 이러한 경향은 향후 자유무역의 확산흐름을 통해 더욱 확대될 전망이다. 국제무역의 확대는 글로벌 경쟁을 촉진할 것을 의미한다. 그 결과 국제 경쟁력 강화를 위한 생산자원 효율적 배분이 발생하며

18) EMC 를 통한 에너지 생산성의 하락을 보이는 산업은 ‘섬유, 섬유제품’, ‘나무, 목재’, ‘비금속 광물’, ‘1차 금속, 조립금속’, ‘화학, 화학제품’ 부문이다.

19) <그림 3>의 그래프는 경제적 안정기에 접어든 1998년 이후의 통계데이터를 기초로 작성한 것이다.

생산성의 성장을 유도할 수 있다. 따라서 본 연구는 수출량 증대와 에너지 생산성의 장기적 관계를 산업별로 비교함으로써 미래 산업환경 변화의 환경성과를 가늠해 보고자 한다.

<그림 3> 산업별 수출성장률과 에너지 생산성

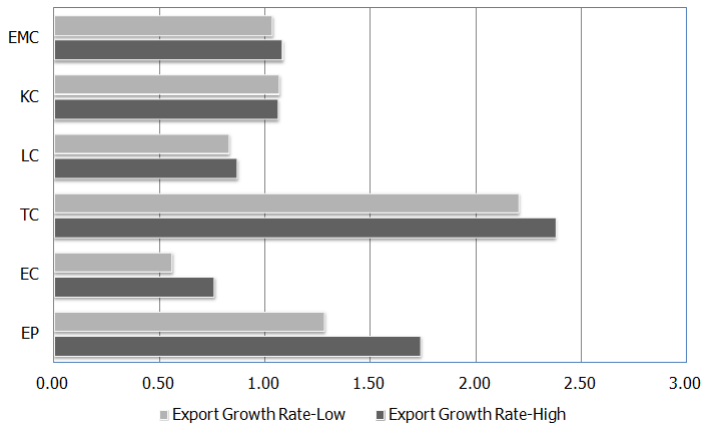


<그림 3>의 왼쪽 그래프는 전체 제조업 대상이며 수출증가율과 에너지 생산성 간 우상향의 관계가 보이지만 통계적으로 유의한 수준이 아닌 반면 오른쪽 그래프는 4개 에너지 집약 산업을 제외한 경우로서 두 변수가 통계적으로 유의한 양(+)의 관계를 보인다. 즉 수출생산의 성장률이 상대적으로 빠른 부문에서 에너지 생산성의 성장 역시 더 크게 표출된 경향이 확인되며 수출생산증가로 인해 유도되는 규모의 경제효과, 수출경쟁력 유지를 위한 혁신유인, 수출이윤을 통한 지속적인 자본투자 등이 주원인으로 예상된다(Taskin and Zaim, 2001; Doganay *et al.*, 2014). 한편 언급된 4개 에너지 집약 산업은 초기 막대한 자본설비를 바탕으로 기초 원재료를 공급하는 기간산업이라는 공통점이 있고 에너지 투입공정 및 상품의 생산활동에 있어 인위적인 구조조정이 현실적으로 어렵다는 특징이 있다. 즉 수출증대로 인하여 발생가능한 기술적 성장요인이 여타 산업에 비해 낮게 표출되는 생산구조를 가지고 있으며 그 결과 에너지 생산성의 성장이 상대적으로 더디게 나타난 것으로 예상할 수 있다²⁰⁾. 마지막으로 <그림 4>는 제조업 평균 수출성장률을 기준으로 구분된 산업그룹

20) 언급된 에너지 집약 산업은 1990년대 초반 글로벌 경쟁력 확보를 위한 대규모 자본투자가 이미 이루어졌고 특히 원재료-중간재 간 관련산업의 통합을 통해 생산공정 상의 에너지 비효율을 최소화하는

별 에너지 생산성과 그 분해요인의 평균치를 비교한 것이다²¹⁾. 앞서 확인한 바와 같이 수출생산의 성장률이 빠른 산업군에서 에너지 생산성의 성장이 더 크게 나타났으며 대부분의 분해요인에서도 일관된 결과를 확인할 수 있다.

〈그림 4〉 수출성장률로 구분된 분해요인 결과



IV. 결론

본 연구는 한국의 14개 제조업 대상으로 에너지 생산성 변화에 관한 분해분석을 시도하였다. 거리함수접근법을 적용한 분해산식은 에너지 생산성의 시계열적 변화를 효율변화, 기술변화, 생산요소(노동, 자본) 투입변화 그리고 에너지 믹스변화로 구분할 수 있으며 에너지 생산성 변화에 미치는 기술적 요인을 세분화시킬 수 있는 장점을 가진다. 특히 에너지 변수를 화석 에너지와 비화석 에너지로 구분함으로써 에너지 믹스변화에 따른 에너지 생산성 변화를 산업별로 계측했다는 점이 특징적이다. 1995년~2009년의 시계열 데이터를 기초로 각 산업별 분해요인을 분석한 결과를

노력을 기하였다. 그 결과 표본기간 국제경제환경의 급격한 변화에도 에너지 생산성의 변동이 상대적으로 작게 나타난다.(Jung, 2014)

21) <그림 4>는 제조업 평균 수출생산 증가율을 기준으로 하여 두 개의 산업군(high, low)으로 구분한 것이다.

요약하면 다음과 같다.

첫째 한국 제조업은 90년대 후반 외환위기 이후 지속적인 에너지 생산성의 향상을 보이고 있으며 산업의 경제적 성과가 에너지 생산성에 핵심적인 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 특히 상대적으로 에너지 저소비형 산업으로 분류되는 ‘전자, 전자기기’, ‘기계’ 부문은 2000년대 이후 가장 급격한 산업성장을 보였으며 한국 제조업의 전반적인 에너지 생산성 향상에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

둘째 분해산식에 의해 정의된 기술발전(TC) 요인이 에너지 생산성 향상에 가장 큰 영향을 미친 반면 효율변화(EC)는 대부분 하락하는 경향을 보였다. 즉 에너지 생산성의 향상은 생산프론티어의 시계열적 성장에 기초하고 있으며 효율상승을 통한 생산성 개선여지가 존재한다. 따라서 에너지 절감기술 및 노하우의 산업별 공유를 가능하게 하는 제도적 지원이 필요하며 제조업의 전반적인 에너지 생산성 향상에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

셋째 생산요소투입에 따른 분해요인에서는 자본-에너지 비중의 변화에 따른 에너지 생산성 성장효과가 확인되었으며 이는 상대적으로 에너지 효율적인 신규자본투자가 주요인으로 판단된다. 반면 노동-에너지 비중변화의 경우 규모의 성장을 제외한 대부분의 제조업 부문에서 음(-)의 효과를 보였으며 노동요소가 에너지 투입으로 대체되면서 표출된 에너지 생산성 하락으로 판단된다. 특히 이러한 경향은 산업경쟁력 약화로 인한 산업이전과 노동절약형 산업구조로의 전환이 강하게 일어난 산업에서 더욱 크게 나타난 특징이 있다.

넷째 에너지 믹스변화에 의한 요인은 미미한 수준이지만 전반적으로 제조업 에너지 생산성의 향상을 유도하는 것으로 계측되었다. 언급한 바와 같이 에너지 다각화 전략을 통한 효율성 제고는 단순히 에너지 절약과 같은 일상적 수준을 넘어 기후변화대응을 위한 전략적 관점에서 접근이 이루어지고 있다. 따라서 미래 새로운 경제 패러다임에 적절히 적응하기 위해서는 비화석 에너지 사용의 증가에 따른 에너지 생산성 증가요인을 보다 확대할 필요성이 높다고 판단된다. 특히 비화석 에너지의 경제성을 확보하기 위한 정책적 지원이 필수적이며 향후 환경 친화적 경제성장에 가장 핵심적인 요인이 될 가능성이 높다.

마지막으로 본 연구는 FTA와 같은 자유무역의 확산에 따라 크게 확대되는 경향

을 보이는 제조업 수출생산이 에너지 생산성에 미치는 효과를 산업별로 추가분석하였다. 전반적으로 수출생산의 성장률이 높은 산업에서 에너지 생산성 역시 상대적으로 더 크게 성장하였으며 이러한 경향은 4개 에너지 집약 산업을 제외한 경우 더욱 뚜렷하게 확인된다. 이는 수출확대를 통한 규모의 경제효과, 국제경쟁력 유지를 위한 생산기술혁신유도, 수출이윤을 통한 활발한 자본투자 등이 그 원인으로 판단된다. 한편 4개 에너지 집약 산업의 경우에는 산업의 특성상 에너지 투입공정과 생산과정이 대규모 초기 자본설비를 바탕으로 형성되어 있어 자본구조의 인위적인 조정 자체가 어려운 현실이 있다. 그 결과 수출확대를 통해 표출가능한 기술적 요인이 여타 산업에 비해 작게 나타난 경향이 있으며 에너지 효율적인 신규자본설비의 투자확대와 부가가치 개선을 동시에 고려하는 것이 제조업의 전반적인 에너지 생산성 향상에도 크게 기여할 것으로 예상된다.

[References]

1. 김광욱·강상목, “OECD 국가의 이산화탄소 배출량 분해분석,” 자원·환경경제연구, 제21권, 제2호, 2012, pp. 211~235.
2. 김수이·김현석, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업 에너지 소비 요인 분해 분석,” 에너지경제연구, 제10권, 제1호, 2011, pp. 49~76.
3. 박성준·김진수, “우리나라 1차 에너지와 최종 에너지 소비 변화요인 분해 비교분석,” 자원·환경경제연구, 제23권, 제2호, 2014, pp. 305~330.
4. 임재규·김종익, “국내 산업부문 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인분해 방법론 활용,” 에너지경제연구, 제13권, 제1호, 2014, pp. 121~143.
5. 조상규·강상목, “한국 제조업의 총요소 생산성 변화와 그 결정요인 분석,” 국제지역연구, 제11권, 제1호, pp. 630~655.
6. Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operational Research*, 2, 1978, pp. 429~444.
7. Doganay, S. M., S. Sayek, and F. Taskin, “Is environmental efficiency trade inducing or trade hindering?,” *Energy Economics*, 44, 2014, pp. 340~349.

8. Du, K., L. Huang, and Z. Yang, "Understanding industrial energy productivity growth in China: a production-theoretical approach," *Energy Efficiency*, forth coming, 2014.
9. Färe, R. S. Grosskopf, M. Morris, and Z. Zhang, "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries," *The American Economic Review*, 84, 1994, pp. 66~83.
10. Färe, R., E. Grifell-Tatje, S. Grosskopf, and C. A. K. Lovell, "Biased technical change and the Malmquist productivity index," *Scandinavian Journal of Economics*, 99, 1997, pp. 121~130.
11. Guzman, I., and C. Reverte, "Productivity and efficiency change and shareholder value: evidence from the Spanish banking sector," *Applied Economics*, 40, 2008, pp. 2033~2040.
12. Jung, W. S., "Can index decomposition analysis give a clue in understanding industry's Greenhouse gas footprint?," *Environmental and Resource Economics Review*, 2014, forthcoming.
13. Kumbhakar, S. C., A. Lozano-Vivas, C. A. K. Lovell, and I. Hasan, "The effect of deregulation of the performance of financial institutions: the case of Spanish saving banks," *Journal of Money, Credit and Banking*, 33, 2001, pp. 101~120.
14. Li, M., "Decomposing the change of CO₂ emissions in China: a distance function approach," *Ecological Economics*, 70, 2010, pp. 77~85.
15. Pasurka, C. A., "Decomposing electric power plant emissions within a joint production framework," *Energy Economics*, 28, 2006, pp. 26~43.
16. Seigel, I. H., "The 'ideal' index-number formula," *Journal of the American Statistical Association*, 40, pp. 520~523.
17. Wang, C., J. Chen, and J. Zou, "Decomposition of energy related CO₂ emission in China: 1957~2000," *Energy*, 30, 2005, pp. 73~83.
18. Wang, C., "Decomposing energy efficiency change: a distance function approach," *Energy*, 32, 2007, pp. 1326~1333.
19. Wang, C., "Source of energy productivity growth and its distribution dynamics in China," *Resource and Energy Economics*, 33, 2011, pp. 279~292.

20. Wang, C. “Changing energy intensity of economies in the world and its decomposition,” *Energy Economics*, 40, 2013, pp. 637~644.
21. Zhang, X. P., Y. K. Tan, Q. L. Tan, and J. H. Yuan, “Decomposition of aggregate CO₂ emissions within a joint production framework,” *Energy Economics*, 34, 2012, pp. 1088~1097.
22. Zhou, P. and B. W. Ang, “Decomposition of aggregate CO₂ emissions: a production theoretical approach,” *Energy Economics*, 30, 2008, pp. 1054~1067.

제조업 에너지 생산성 분해분석

〈부 록〉 에너지 생산성 분해요인 실증분석 결과

	<i>EP</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>LC</i>	<i>KC</i>	<i>EMC</i>
음식, 담배	1.0272	0.9409	1.0545	0.9902	1.0128	1.0127
섬유, 섬유제품	1.0200	0.9703	1.0507	0.9832	1.0035	0.9971
가죽, 의복, 신발	0.9956	0.9223	1.0602	0.9903	0.9947	1.0095
나무, 목재	1.0139	0.9638	1.0712	0.9814	0.9972	0.9900
펄프, 종이, 인쇄	1.0361	0.9508	1.0524	0.9986	1.0183	1.0100
석탄, 석유, 핵연료	1.0256	0.9827	1.0169	1.0042	0.9999	1.0284
화학, 화학제품	0.9939	0.9714	1.1047	0.9512	1.0054	0.9944
고무, 플라스틱	1.0686	0.9704	1.0722	1.0081	1.0024	1.0194
비금속광물	1.0267	0.9591	1.1063	0.9574	1.0034	0.9953
1차 금속, 조립금속	1.0135	0.9411	1.0902	0.9852	1.0030	0.9975
기계	1.0637	0.9950	1.0449	0.9990	1.0153	1.0147
전자, 전자기기	1.1127	1.0005	1.0930	0.9865	1.0048	1.0071
운송장비	1.0193	0.9597	1.0720	0.9939	0.9999	1.0173
기타 제조업(재활용)	1.0901	0.9905	1.0464	1.0011	1.0262	1.0376
평균	1.0362	0.9656	1.0668	0.9879	1.0062	1.0093

〈부 록〉 에너지 생산성 분해요인의 시계열적 변화

	<i>EP</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>LC</i>	<i>KC</i>	<i>EMC</i>
97	0.9566	0.9508	1.0629	0.9680	1.0113	0.9981
98	1.0090	0.9579	1.0839	0.9759	1.0087	1.0080
99	1.1017	0.9171	1.1553	0.9858	1.0026	1.0125
00	1.0477	1.0622	1.0122	0.9865	0.9960	1.0072
01	1.0364	0.9837	1.0649	0.9865	1.0005	1.0169
02	1.0328	0.9568	1.0712	0.9943	1.0058	1.0014
03	1.0579	0.9592	1.0663	1.0016	1.0030	1.0059
04	1.0488	0.9988	1.0432	1.0030	1.0132	1.0040
05	1.0665	0.9383	1.0944	0.9935	1.0110	1.0153
06	1.0441	0.9204	1.1092	0.9847	1.0084	1.0085
07	1.0345	0.9796	1.0287	0.9844	1.0044	1.0141
08	1.0263	0.9953	1.0114	0.9925	1.0075	1.0206