

국내 제조업의 전력 소비 요인분해 분석*

김수이**

요 약

국내 제조업은 전력화가 꾸준히 진행되고 있다. 1999년 31.9%이던 전력화율은 2019년 46.82%로 증가하였다. 이러한 전력화가 국내 제조업의 전력소비 증가에 구체적으로 어떤 영향을 미쳤는가를 분석하기 위해서 본 연구는 1999년부터 2019년 기간 동안 LMDI 요인분해 분석 방법을 이용하여 국내 제조업의 전력소비 증감 요인을 분석하였다. 본 연구에서는 전력소비 변화를 생산효과, 산업구조효과, 에너지집약도효과, 전력화효과 등 네가지로 분석하였다. 생산효과와 전력화효과가 전력소비 증가의 주요 요인이었으며, 산업구조효과와 에너지집약도효과는 전력소비를 감소시키는 요인이었음을 확인하였다. 생산효과보다는 전력화효과가 작아 생산효과가 가장 큰 전력소비 증가의 요인으로 작용하였지만 전력화효과도 생산효과의 1/3 이상을 차지하여 전력소비 증가의 중요한 요인임을 알 수 있다. 에너지집약도효과가 산업구조효과보다 더 큰 전력소비 감소 요인으로 작용하였다. 산업별 요인분해 분석에 의하면 전력화효과로 가장 전력소비 증가가 큰 산업은 '화학 및 석유화학'이며, 에너지집약도효과로 가장 전력소비 감소가 큰 산업은 '섬유 및 가죽'이다. '화학 및 석유화학'은 에너지집약도효과로 오히려 전력소비가 증가하였다.

주요 단어 : LMDI, 에너지집약도, 산업구조, 제조업
경제학문헌목록 주제분류 : Q40

* 이 논문은 2023학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

** 홍익대학교 상경대학 상경학부 교수 (e-mail: suyikim@hongik.ac.kr)

I. 서 론

국내 전력 수요는 2000년 239,536 GW이던 것이 2020년에는 509,270 GW로 약 2.13배 증가하였다. 이렇게 전력수요가 빨리 증가하는 가운데 석유나 석탄 등이 최종에너지소비에서 차지하는 비중은 감소하고 전력이 최종에너지소비에서 차지하는 비중은 2000년 13.7%에서 2020년 19.7%로 증가하였다. 이와 같이 최종에너지 소비량 대비 전력소비량의 비중을 전력화라고 정의한다(Desbrosses, 2006; Nishio and Hoshino, 2010; Schurr et al., 1990). 전력화는 온실가스 감축 등 기후변화 대응 정책이 강화될수록 더욱 가속화될 것으로 보인다. 왜냐하면 온실가스 감축을 위해서는 에너지의 전력화와 동시에 신재생에너지 등 친환경에너지의 생산을 동시에 추구하기 때문이다. Manne and Richels(1992)와 Nishio and Hoshino(2010)는 전기 자동차나 전기난방장치(heat pump) 이용과 같은 전력화를 통해 이산화탄소 배출을 획기적으로 줄일 수 있음을 보여주었다. 이러한 전력화는 전력소비의 증가를 가져 오는 한 요인으로 작용한다.

전력소비 중에서도 제조업부문이 전체 전력에서 차지하는 비중은 2000년 52.6%에서 2020년 기준으로 49.1%로 소폭 감소하기는 하였으나 여전히 50%에 달하고 있다. 즉 국내에서 소비되는 전력의 반이 제조업에서 사용되고 있는 것이다. 이는 우리나라의 경우 GDP에서 차지하는 제조업 비중이 다른 OECD국가에 비해 현저히 높기 때문이다. 그만큼 국내 제조업부문의 전력소비는 국내 전체 에너지소비에서 중요한 위치를 차지하고 있으며 전체 에너지소비를 증가시키는 역할을 하고 있다.

따라서 지금까지의 국내 제조업 부문의 전력수요에 대한 정확한 진단과 동시에 전력소비의 효율적인 절약방안을 모색하는 것이 비용효과적인 기후변화 대응 정책뿐만 아니라 에너지절약 정책이 될 수 있다. 본 연구에서는 지난 20년 동안 국내 제조업 부문의 전력소비 변화 요인을 분석하고 전력소비 증가의 주된 요인을 파악한다. 아

올러 국내 제조업 부문의 전력소비 절약을 위해서 어떤 부문에 초점을 맞추어 정책을 추진해 나가야 되는 지에 대해 논해 보고자 한다. 주요 분석방법은 Ang(2005)에서 제시한 방법을 응용한 Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) 요인분해 분석을 사용하기로 한다. 이 분석방법은 factor-reversal test를 만족함으로써 설명되지 않는 잔차가 결과에 남지 않고, Aggregation할 때 일관성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 가법적 요인분해 방식과 더불어 승법적 요인분해 방식을 동시에 분석함으로써 전력소비 증가량뿐만 아니라 전력소비 증가율도 각 요인별로 분해 할 수 있다.

II장에서는 선행연구 및 구체적인 연구방법론을 제시한다. III장에서는 국내제조업의 전력소비 현황 및 전력집약도 현황 등을 살펴본다. IV장에서는 LMDI 요인분해 분석결과를 제시하고 V장에서는 분석결과를 바탕으로 국내 제조업의 전력소비 절약을 위한 정책시사점을 도출한다.

II. 선행연구 및 연구방법론

1. 선행연구

LMDI 지수분해분석 방법론을 이용하여 우리나라의 에너지소비나 온실가스 배출 구조를 파악한 연구는 다음과 같은 연구들이 다수 있다. 대표적으로는 나인강·이성근(2008), 진상현·황인창(2009a), 진상현·황인창(2009b), Oh et al.(2010), 김수이·김현석(2011), 김수이·정경화(2011), 김수이·박정욱(2013), 박성준·김진수(2014), 박년배·심성희(2015), 김수이(2022) 등이 있다. 진상현·황인창(2009a)과 진상현·황인창(2009b)은 각각 지자체의 에너지소비와 온실가스 배출 특성을 분석하였다. 김수이·김현석(2011)과 김수이(2022)는 국내 제조업 부문의 에너지소비의 특성을 LMDI 요인분해 방법론을 이용하여 하였다. 김수이·정경화(2011)는 LMDI

분석 방법론을 통해 국내 제조업 부문의 온실가스 배출특성을 분석하였다. 박년배·심성희(2015)는 국내 산업부문의 온실가스 배출 특성을 분석하였는데 산업부문 분류를 더 세분화해 분석하였다. 박성준·김진수(2014)는 국내 산업부문의 일차에너지와 최종에너지소비로 나누어서 분석하고 두 대상의 차이가 얼마나 나는지를 상호 비교하였다. 이상의 연구들은 주로 에너지소비 및 온실가스 배출 특성에 한정되어 있다.

국내 전력소비 및 전력소비 부문의 탄소 배출에 대한 요인분해분석은 임동순·유상희(2007), 김규남 외(2010), 임재규·김종익(2014), 한준(2015), 구자열 외(2016), 김철현·강병욱(2017) 등이 있다. 김규남 외(2010)에서는 1991년부터 2007년까지 국내 산업부문에서 사용된 전력수요를 대상으로 탄소배출 변화요인을 LMDI 분석 방법론을 통해 분석하였다. 전력수요측면에서 탄소배출은 크게 전력원단위효과, 산업구조변화효과, 생산활동효과 등 3가지 요인으로 분해되었다. 분석방법은 LMDI 가법적 요인분해 방법을 사용하였다. 하지만 이 연구에서는 전력화현상을 분석할 수 있는 요인이 없다.

임동순·유상희(2007)는 1990년부터 2004년까지 국내 제조업의 전력소비를 대상으로 생산효과, 구조효과, 효율효과 등 3가지로 분해하였다. 분석 방법론적으로는 단순평균 계수 디비지아 추정방법(simple average parametric Divisia method 2 : AVE-PDM2)을 사용하였다. 본 연구에서는 업종별 전력소비 및 전력원단위 변화가 다양하게 나타나고 있다는 추정결과를 제시하고 전반적으로 산업부문에서 전력에너지 사용을 여타 에너지에 비하여 상대적으로 선호하는 전력화율 증가추세가 꾸준히 이어졌다는 견해를 제시하고 있다. 하지만 전력화효과를 포함하여 요인분해를 하지는 않음으로써 구체적으로 전력화율이 얼마나 전력소비 증가에 기여하였는지를 제시하지는 못하였다.

임재규·김종익(2014)은 1990년에서 2011년까지 국내 제조업의 전력소비에 대하여 생산효과, 구조효과, 집약도효과 3개 요인으로 LMDI 요인분해 분석을 진행하였다. 이 시기 동안 전력소비 감소를 가져온 요인은 구조효과였으며, 생산효과 집약도 효과는 오히려 전력소비를 증가시키는 요인으로 작용하였다. 이 연구에서는 전력화

효과가 빠져 있어 생산효과가 지나치게 과장된 측면이 있다.

한준(2015)은 국내 제조업에서 이용되는 직접가열용 전기 사용량의 변화를 LMDI 분해분석을 이용하여 분석하였다. 여기에서는 전기사용량을 전기비중효과, 직접가열용 비중효과, 에너지집약도효과, 부가가치효과 등 네가지 요인으로 분석하였다. 이 논문에서는 전기비중효과를 통해 제조업의 전력화 현상을 분석하였다는데 의의가 있다. 하지만 산업구조 변화에 의한 전력사용량 변화를 관찰할 수 있는 요인은 결여되어 있다. 분석결과를 보면 1995-2010년 기간 동안 국내 제조업의 전기사용량 증가의 주요요인은 전기비중효과와 부가가치 효과인 것을 확인할 수 있다.

구자열 외(2016)는 2000년부터 2014년까지 국내 제조업의 전력소비 변화를 경제활동 효과, 산업구조효과, 생산제품 효과, 에너지효율 효과, 전력화 효과 등 5가지로 분해하였다. 이 연구에서는 시계열로 분석하지 않고 2000년부터 2014년까지의 전체 전력소비변화에 대해서 분석하였으므로 그 사이에 요인별로 어떤 변화가 있었는지는 파악하기 힘들다.

김철현·강병욱(2017)에서는 1990년부터 2015년 기간 동안 가정용과 수송용을 제외한 전력소비에 대해서 LMDI방법론을 이용하여 전력화, 에너지원단위, 산업구조, 생산효과 등 4가지 요인으로 분해하였다. 하지만 이 연구에서는 구조효과를 파악하기 위해 산업과 서비스업으로 단순히 나누어 분석함으로써 실질적인 산업구조효과를 파악하기 힘들었다.¹⁾

이상에서와 같이 국내 제조업에 대한 전력소비를 분석한 연구 중 전력화효과가 포함된 연구는 한준(2015), 구자열 외(2016), 김철현·강병욱(2017) 등이 있지만 분석기간, 분석대상, 분석방법론 측면에서 LMDI 분석의 한계점이 있다. 배출권거래제가 이루어진 2015년 이후 연구는 없으며, 분석 방법론적으로도 기존연구에서는 LMDI 분석방법 중 가법적 요인분해 방식이 주를 이루고 있으며 승법적 요인은 몇몇 연구에 그치고 있다. 또한 기존 연구는 분석대상 기간 전체의 변화만을 고려하였을 뿐 시계열적으로 분석한 연구는 일부에 그치고 있어 전체적인 전력소비 트렌드의 변

1) 산업에는 제조업, 농림어업, 광업, 건설업이 포함되어 있으며, 서비스업에는 상업, 공공, 전기·가스·수도업 등이 포함되어 있다.

화는 파악할 수 없었다.

본 연구는 1999년부터 2019년까지 약 20년간의 국내 제조업 부문의 전력소비 특성을 분석하였다. 분석기간 측면에서 2015년 이후 제조업부문의 전력소비변화를 파악할 수 있다는 장점이 있다. 분석대상은 에너지경제연구원의 개정에너지밸런스를 이용함으로써 산업분류가 더 세분화되고 더 정확한 산업구조효과가 가능하다. 분석방법론적 측면에서는 Ang(2005)의 모형을 확장하여 전력소비 특성을 생산효과, 산업구조효과, 에너지집약도효과, 전력화효과 등 4가지 요인으로 분석하였으며, 방법론적으로는 LMDI 가법적 요인분해 분석과 LMDI 승법적 요인분해 분석을 모두 분석하였다. LMDI 가법적 요인분해에서는 에너지변화에 대한 절대량을 추정할 수 있으며, LMDI 승법적 요인분해에서는 에너지변화에 대한 상대적인 기여도를 측정할 수 있다. 따라서 향후 에너지절약과 같은 정책을 추진함에 있어서 어떤 전략을 가져가야 할지에 대한 시사점을 도출할 수 있다. 또한 본 연구에서는 각 산업별로도 생산효과, 에너지집약도효과, 전력화효과로 나누어 분석함으로써 각 산업에서의 전력소비 증감 요인변화가 전체 제조업의 구조효과에 어떠한 영향을 미치는지도 파악할 수 있다.

2. 연구방법론

요인분해 방법은 크게 라스파이레스 지수(Laspeyres index)와 디비지아 지수(Divisia index)로 나눌 수 있는데 라스파이레스 지수에 대한 연구로는 Reitler et al. (1987), Howarth et al.(1991), Park(1992), Sun(1998), Ang and Liu(2001) 등이 있으며, 디비지아 지수에 대한 연구로는 Boyd et al.(1987), Boyd et al.(1988), Liu et al.(1992), Ang(1994), Ang and Choi(1997), Ang et al.(1998), Ang and Liu(2001) 등이 있다. 본 연구는 디비지아 지수에 해당하는 LMDI(Log mean divisia index) 방법론을 사용한다. 이 방법론은 잔차가 남지 않는다는 장점이 있으며 그룹별로 나누어 분석할 때 그룹별 결과를 종합하여 전체결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. (Ang and Liu, 2001). LMDI 방법은 크게 가법적 요인분해 방법과 승법적 요인분해 방법으로 나뉘는데 가법적 요인분해 방법은 전력량의 증감에 대해서 분석할 수 있는

반면에 승법적 요인분해 방법은 전량량의 변화율에 대해서 분석할 수 있다.

본 연구에서는 국내 제조업의 전체 전력소비 변화를 생산효과, 산업구조효과, 에너지집약도효과, 전력화효과 등 네가지 요인으로 분해하였다. 이 방법론은 Ang (2005)의 모형을 확장한 것으로 김철현·강병욱(2017)에서도 이미 LMDI 가법적 분석방법론은 제시된 바 있다. 하지만 김철현·강병욱(2017)에서는 가법적 분석방법론만 제시하였을 뿐 승법적 분석방법론은 제시하지 않았다.

제조업의 전력소비량은 식(1)에서의 Kaya equation을 따른다. 제조업의 전력량 (EL)은 각 산업의 전력량(EL_i)을 합한 것이다. 첫 번째 요인은 생산효과이다. 생산량(Q) 증가에 따른 전력소비의 변화를 나타낸다. 두 번째 요인은 산업구조효과이다. 제조업 내에서 산업비중(Q_i/Q)의 변화에 따른 전력소비 변화를 나타낸다. 세 번째 요인은 에너지집약도 효과이다. 각 산업의 에너지집약도(E_i/Q_i)의 변화에 따른 전력소비변화를 나타낸다. 네 번째 요인은 전력화요인이다. 각 산업에서 전력소비량이 전체 에너지소비량에서 차지하는 비중의 변화에 따른 전력소비(EL_i/E_i) 변화를 나타낸다.

$$EL = \sum_i EL_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} \frac{EL_i}{E_i} = \sum_i QS_i I_i J_i, \quad (1)$$

EL : 제조업의 총 전력 소비량

EL_i : i 산업의 전력 소비량

Q : 제조업 생산액

Q_i : i 산업의 생산액

E_i : i 산업의 에너지 소비량

S_i : i 산업이 제조업 총생산에서 차지하는 비중

I_i : i 산업의 에너지집약도

J_i : i 산업의 전력화율

본 연구에서 사용한 LMDI 요인분해 분석 구조식은 Ang(2005)에서 제시한 방법을 응용하였다. 식(2)에서 보는 바와 같이 승법적 요인분해는 기준연도(0기)에서 목표연도(T기)까지의 제조업부문의 총 전력 소비량 변화율을 생산 효과(D_{act}), 산업구조 효과(D_{str}), 에너지집약도 효과(D_{ent}), 전력화 효과 등 네 가지 요인으로 분해하였다. D_{act} , D_{str} , D_{int} 그리고 D_{elt} 는 각각 생산효과, 산업구조효과, 에너지집약도 효과, 그리고 전력화 효과에 의한 전력소비 변화율이다. 각 효과에 의한 전력소비 변화율을 모두 곱하면 전체 제조업부문 전력소비 변화율이 된다.²⁾ 따라서 승법적 요인분해는 각각의 요인별로 상대적인 기여도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 D_{act} &= \exp \left(\sum_i \frac{(EL_i^T - EL_i^O) / (\ln EL_i^T - \ln EL_i^O)}{(EL^T - EL^O) / (\ln EL^T - \ln EL^O)} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^O} \right) \right) \\
 D_{str} &= \exp \left(\sum_i \frac{(EL_i^T - EL_i^O) / (\ln EL_i^T - \ln EL_i^O)}{(EL^T - EL^O) / (\ln EL^T - \ln EL^O)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^O} \right) \right) \\
 D_{int} &= \exp \left(\sum_i \frac{(EL_i^T - EL_i^O) / (\ln EL_i^T - \ln EL_i^O)}{(EL^T - EL^O) / (\ln EL^T - \ln EL^O)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^O} \right) \right) \\
 D_{elt} &= \exp \left(\sum_i \frac{(EL_i^T - EL_i^O) / (\ln EL_i^T - \ln EL_i^O)}{(EL^T - EL^O) / (\ln EL^T - \ln EL^O)} \right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

LMDI 가법적 요인분해 분석 구조식은 식(3)에서 보는 바와 같이 기준연도(0기)에서 목표연도(T기)까지의 전력 소비량 증가량을 생산효과(ΔE_{act}), 산업구조효과(ΔE_{str}), 에너지집약도효과(ΔE_{int}) 효과, 전력화효과(ΔE_{elt}) 등 네가지 요인으로 분해하였다. 각 효과에 의한 에너지소비량을 모두 더하면 전체 제조업부문 에너지 소비량 변화량이 된다.³⁾ 따라서 가법적 요인분해는 각 요인에 의한 전력 소비량 변화를 나타낸다.

2) $D_t = EL^T / EL^O = D_{act} D_{str} D_{int} D_{elt}$

3) $\Delta EL_t = EL^T - EL^O = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} + \Delta E_{elt}$

$$\begin{aligned}
 \Delta E_{act} &= \sum_i \frac{EL_i^T - EL_i^O}{\ln EL_i^T - \ln EL_i^O} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^O} \right) \\
 \Delta E_{str} &= \sum_i \frac{EL_i^T - EL_i^O}{\ln EL_i^T - \ln EL_i^O} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^O} \right) \\
 \Delta E_{ent} &= \sum_i \frac{EL_i^T - EL_i^O}{\ln EL_i^T - \ln EL_i^O} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^O} \right) \\
 \Delta E_{elt} &= \sum_i \frac{EL_i^T - EL_i^O}{\ln EL_i^T - \ln EL_i^O} \ln \left(\frac{J_i^T}{J_i^O} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

3. 분석자료

본 연구에서 필요한 데이터는 각 산업별 전력소비량, 각 산업별 에너지소비량, 각 산업별 생산량, 각 산업의 생산자 물가지수 등이다. 먼저 각 산업별 전력 소비량과 각 산업별 에너지소비량은 에너지경제연구원의 ‘KESIS’의 「개정에너지밸런스」에서 가져왔다. 개정에너지밸런스에서는 산업이 식품 및 담배, 섬유 및 가죽, 목재 및 나무제품, 제지 및 인쇄, 화학 및 석유화학, 비금속광물, 철강, 비철금속, 기계류, 수송장비, 기타제조 등 11개 산업으로 분류되어 있지만 생산액 데이터와의 정합성을 위해 철강과 비철금속을 합쳐 10개 산업으로 분석하였다. 각 산업별 생산액은 통계청의 「광업제조업조사」 ‘ 시도/산업분류별 출하액, 생산액, 부가가치 및 주요생산비(10인 이상)’ 데이터에서 가져왔다. 각 산업의 생산자물가지수는 한국은행의 「생산자물가지수」에서 가져왔다. 생산자물가지수는 2015년 물가지수(100)를 기준으로 하였다. 본 연구에서 사용한 생산액 데이터는 산업별 생산액을 물가지수로 나눈 실질생산액을 사용하였다. 이는 물가상승에 따른 생산액 증가효과를 상쇄하기 위해서이다.

〈표 1〉 데이터 출처

자료목록	자료원	비고
산업별 에너지사용량 산업별 전력사용량	에너지경제연구원, 개정에너지밸런스	1000TOE
산업별 생산액	통계청 국가통계포털	2015년 불변가격
산업별 생산자물가	한국은행	생산자 물가지수 (2015년 기준)

Ⅲ. 국내 제조업의 전력소비 및 전력집약도 현황

〈표 2〉는 국내 제조업의 산업별 전력소비량을 나타내고 있다. 1999년에는 철강 및 비철금속의 소비량이 2,655 천TOE 로 전체 제조업 전력소비량 중에서 가장 높은 비중인 27.61%를 차지하고 있다. 그 다음 비중이 높은 산업은 기계류로 1,993 천 TOE를 소비하였으며, 20.73%를 나타내고 있다. 세 번째로 높은 비중을 차지하는 산업은 섬유 및 가죽으로 1,379 천TOE를 소비하였으며, 14.34%의 비중을 나타내고 있다. 20년이 지난 2019년에는 그 비중이 큰 변화를 보이고 있다.

〈표 2〉 산업별 전력 소비량

단위: 천TOE, %

	1999년		2009년		2019년		연평균 증가율 (%)	총증가율 (1999-2019) (%)
	전력 소비량	비중	전력 소비량	비중	전력 소비량	비중		
식품 및 담배	519	5.40	697	4.09	1,179	4.96	4.18	122.30
섬유 및 가죽	1,379	14.34	1,037	6.09	888	3.74	-2.17	-29.65
목재 및 나무제품	95	0.98	139	0.82	149	0.63	2.31	70.82
제지 및 인쇄	776	8.07	846	4.97	852	3.58	0.47	10.76
화학 및 석유화학	581	6.04	3,100	18.21	4,716	19.84	11.04	704.11
비금속광물	718	7.47	966	5.67	1,008	4.24	1.71	48.62
철강 및 비철금속	2,655	27.61	4,239	24.91	5,398	22.71	3.61	105.21

	1999년		2009년		2019년		연평균 증가율 (%)	총증가율 (1999-2019) (%)
	전력 소비량	비중	전력 소비량	비중	전력 소비량	비중		
기계류	1,993	20.73	4,365	25.64	7,321	30.80	6.72	267.53
수송장비	793	8.25	1,474	8.66	1,881	7.91	4.41	136.36
기타제조	105	1.09	158	0.93	376	1.58	6.61	252.23
제조업 전체	9,614	100.00	17,022	100.00	23,769	100.00	4.63	148.63

먼저 가장 높은 비중을 차지하는 산업은 기계류로 30.8%를 차지하고 있으며, 철강 및 비철금속이 22.71%로 그 뒤를 잇고 있다. 세 번째로 높은 비중을 차지하는 산업은 화학 및 석유화학으로 19.84%를 차지하고 있다. 산업별 전력소비량 연평균 증가율을 보면, 기타제조를 제외하고 화학 및 석유화학이 11.04%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 기계류가 6.72%의 증가율을 보이고 있다. 섬유 및 가죽의 경우에는 전력소비량이 1999년에 비해 오히려 줄어들었다. 이상에서와 같이 각 산업별 전력소비량 증가율은 달리 나타나고 있으며, 이는 산업구조의 변화가 전력소비량 변화에 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

<표 3>은 산업별 에너지집약도를 보여주고 있다. 1999년부터 2019년까지 대부분의 에너지집약도가 감소하였다. 석유 및 화학산업의 경우에는 오히려 에너지집약도가 증가하였다. 가장 빠른 속도로 에너지집약도가 개선된 산업은 비금속 광물로 매년 -3.53%씩 에너지집약도가 개선되었다. 그 다음으로는 섬유 및 가죽제품으로 연평균 -2.76%로 에너지집약도가 개선되었다. 세 번째로 에너지집약도가 개선된 산업은 제지 및 인쇄로 연평균 -1.66%로 에너지집약도가 개선되었다. 기타제조를 제외하고 1999년에는 비금속 광물이 가장 높은 에너지집약도를 나타내고 있으며 2009, 2019년에도 가장 높은 에너지집약도를 보이고 있다. 에너지집약도가 가장 낮은 산업은 수송장비이며 2009년 2019년에도 에너지집약도가 가장 낮다. 수송장비의 경우, 2009년 에너지집약도를 1.43이었으며, 2019년에는 에너지집약도가 1.21로 개선되었다. 그 다음으로 에너지집약도가 낮은 산업은 기계류로 1999년 1.93에서 2019년에는 1.85로 개선되었다.

〈표 3〉 산업별 에너지집약도

단위: (TOE/10억원)

	1999년	2009년	2019년	연평균 증가율 (%)	총증가율 (1999-2019) (%)
식품 및 담배	2.43	2.06	2.31	-0.24	0.45
섬유 및 가죽	9.22	6.34	5.27	-2.76	-42.40
목재 및 나무제품	6.16	6.22	4.77	-1.27	-16.81
제지 및 인쇄	10.64	7.73	7.61	-1.66	-25.82
화학 및 석유화학	2.48	3.03	3.00	0.95	26.27
비금속광물	30.32	18.83	14.77	-3.53	-55.67
철강 및 비철금속	6.87	7.25	6.06	-0.63	-6.82
기계류	1.93	1.47	1.85	-0.19	-8.09
수송장비	1.43	1.06	1.21	-0.83	-9.70
기타제조	27.29	31.72	28.76	0.26	11.04
제조업 전체	4.68	3.58	3.37	-1.64	-26.42

〈표 4〉 산업별 전력집약도

단위: (TOE/10억원)

	1999년	2009년	2019년	연평균 증가율 (%)	총증가율 (1999-2019) (%)
식품 및 담배	0.81	0.93	1.21	2.04	52.48
섬유 및 가죽	3.20	2.34	2.33	-1.57	-22.70
목재 및 나무제품	2.56	2.92	2.79	0.44	14.93
제지 및 인쇄	4.10	3.60	3.20	-1.24	-20.36
화학 및 석유화학	0.41	1.23	1.29	5.92	209.50
비금속광물	4.08	3.30	2.93	-1.64	-27.80
철강 및 비철금속	2.53	2.87	2.78	0.47	10.16
기계류	1.22	1.17	1.50	1.05	18.57
수송장비	1.03	0.68	0.78	-1.37	-21.43
기타제조	1.42	1.22	2.46	2.79	65.79
제조업 전체	1.49	1.44	1.58	0.27	5.10

<표 4>는 국내 제조업의 산업별 전력집약도를 나타내고 있다. 2019년 기준으로 기타제조를 제외하고 전력집약도가 가장 높은 산업은 제지 및 인쇄다. 비금속 광물, 목재 및 나무제품, 철강 및 비철금속이 그 뒤를 잇고 있다. 에너지집약도 외는 달리 산업별로 전력집약도가 감소한 산업도 있지만 전력집약도가 지난 20년간 증가한 산업이 더 많다. 기타제조를 제외하고 전력집약도가 가장 많이 증가한 산업은 화학 및 석유화학이다. 전력집약도가 1999년에는 0.41에 불과하였지만 2019년에는 전력집약도가 1.29로 증가하였다. 전력소비량이 가장 많은 기계류의 경우에는 전력집약도가 악화되었다. 그 다음으로 전력소비량이 많은 산업인 철강 및 비철금속의 경우에도 전력집약도가 악화되었다.

이와 같이 에너지집약도는 꾸준히 개선되는 반면에 전력집약도는 상승한 이유는 다른 에너지원이 전력으로 전환되기 때문이다. 바로 이로 인해서 전체 제조업의 전력소비가 증가하는 한 요인이 될 수 있다. <표 5>는 산업별 전력화율을 나타내고 있다. 2019년 기준으로 전력화율이 가장 높은 산업은 기계류로 이 산업에서 사용되는 에너지의 80.76%가 전력이다. 그 다음으로 전력화율이 높은 산업은 수송장비이다. 수송장비의 전력화율은 64.77%이다. 세 번째로 전력화율이 높은 산업은 목재 및 나무제품으로 58.47%를 나타내고 있다. 1999년부터 2009년까지 수송장비 산업을 제외하고 모든 제조업 산업에서 전력화율이 증가하였다. 가장 높은 증가율을 나타내고 있는 산업은 화학 및 석유화학이다. 그 다음으로 증가율이 높게 나타난 산업은 비금속 광물, 식품 및 담배 순이다. 가장 높은 전력화율을 나타내고 있는 수송장비의 경우에는 지난 20년 동안 전력화율이 12.99% 감소하였다.

〈표 5〉 산업별 전력화율

단위: TOE/10억원

	1999년	2009년	2019년	연평균 증가율 (%)	총증가율 (%)
식품 및 담배	33.17	45.19	52.13	2.29	51.80
섬유 및 가죽	34.72	36.88	44.27	1.22	34.20
목재 및 나무제품	41.54	46.92	58.47	1.72	38.15
제지 및 인쇄	38.56	46.63	42.02	0.43	7.36
화학 및 석유화학	16.43	40.67	42.92	4.92	145.11
비금속광물	13.45	17.52	19.82	1.96	62.86
철강 및 비철금속	36.79	39.53	45.85	1.11	18.23
기계류	63.09	79.70	80.76	1.24	29.01
수송장비	72.25	64.23	64.77	-0.54	-12.99
기타제조	5.20	3.85	8.55	2.52	49.30
제조업 전체	31.90	40.34	46.82	1.94	42.84

IV. LMDI 분석결과

1. 가법적 요인분해

<표 6>과 <그림 1>은 가법적 요인분해 분석 결과를 나타내고 있다. 1999년부터 해당연도까지의 전력소비량 변화를 생산효과, 산업구조효과, 에너지집약도 효과, 전력화 효과로 분해하였다. <표 6>에서 보는 바와 같이 2010년의 경우에는 1999년부터 2010년까지 총에너지소비는 9,481 천TOE 증가하였는데 그 중에서 생산효과에 의해서는 10,095 천TOE 증가하였으며, 전력화효과에 의하여 2,582 천TOE 증가하였다. 하지만 산업구조효과와 에너지집약도효과에 의해서 각각 1,423 천TOE, 1,773 천TOE 감소하였다.

〈표 6〉 가법적 요인분해 분석 결과 (기준연도: 1999년)

단위: 천TOE

	생산효과	산업구조효과	에너지집약도 효과	전력화 효과	총효과
2000	1,577	-198	-529	2,313	3,163
2001	1,789	-230	-355	1,800	3,004
2002	2,689	-271	-728	1,870	3,559
2003	3,249	-404	-379	2,202	4,669
2004	4,393	-690	-635	2,484	5,552
2005	4,899	-737	-836	2,593	5,919
2006	5,655	-867	-1,387	3,006	6,407
2007	6,788	-971	-1,168	2,806	7,455
2008	7,843	-1,209	-1,419	2,767	7,981
2009	7,704	-1,229	-1,861	2,794	7,408
2010	10,095	-1,423	-1,773	2,582	9,481
2011	11,196	-1,726	-1,540	3,121	11,051
2012	11,440	-1,743	-1,647	3,843	11,893
2013	11,610	-1,582	-1,930	4,163	12,261
2014	11,810	-1,490	-2,025	4,613	12,908
2015	11,098	-1,367	-1,341	3,949	12,339
2016	11,900	-1,105	-2,314	4,456	12,936
2017	12,666	-1,286	-2,383	4,895	13,892
2018	13,082	-1,468	-1,891	4,565	14,288
2019	12,866	-1,466	-2,048	4,803	14,155

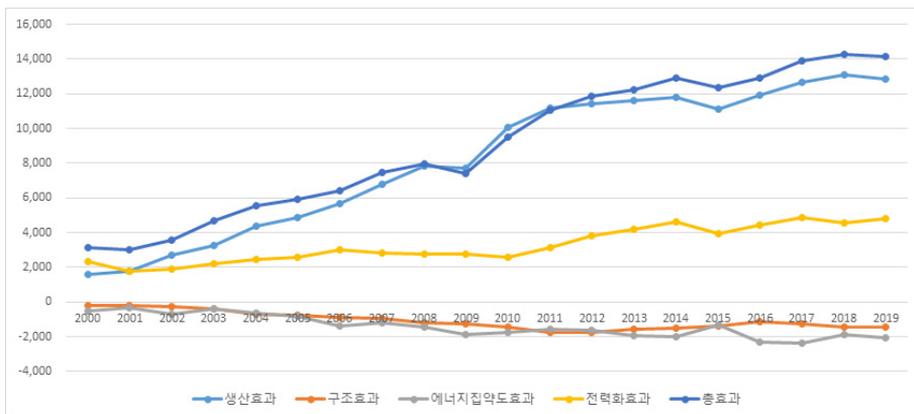
<그림 2>에서 보는 바와 같이 1999년부터 2019년까지 지난 20년 동안 국내 제조업의 전력소비는 14,155 천TOE 증가하였으며, 생산효과와 전력화효과가 전력소비 증가의 주요 요인이었으며, 산업구조효과와 에너지집약도효과는 전력소비를 감소시키는 결과를 보여주고 있다. 생산효과가 전력소비의 가장 큰 요인으로 작용하였다. 그리고 전력화효과가 그 다음으로 전력소비의 증가의 요인으로 작용하였다. 에너지집약도는 <표 3>에서 바와 같이 지난 20년 동안 꾸준히 감소하였다. 이와 같은 요인이 요인분해 분석 결과 에너지집약도효과에 의한 전력소비 감소로 나타났다. 전

력집약도가 높은 산업의 비중의 변화로 인해 산업구조효과에 의한 전력소비 감소로 나타났다.

하지만 이와 같은 변화는 시기별로 다소 차이가 있다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 2008년까지는 생산효과에 의한 전력소비가 증가가 뚜렷하게 나타났다. 2010년까지는 전력화효과도 전력소비 증가에 기여하였지만 상대적으로 그 변화율은 크지 않다. 2010년 이후 전력화효과가 커진 반면 생산효과는 2008년 이전보다는 둔화되었다. 2009년 생산효과가 감소한 것은 글로벌 금융위기에 따른 생산둔화에 기인한다. 이러한 생산효과에 의한 전력소비 감소는 2015년에 다시 한 번 나타난다. 산업구조효과와 에너지집약도효과에 의한 전력소비 감소는 지속적으로 진행되었으나 전반적으로 에너지집약도효과에 의한 전력소비감소가 더 크게 나타난다. 특히 2015년 이후 에너지집약도효과에 의한 전력소비 감소가 두드러진다. 이는 2015년부터 온실가스배출권거래제가 본격적으로 도입되었기 때문으로 보인다. 온실가스 배출권거래제는 온실가스 배출에 대한 규제이지만 온실가스 감축을 위해서는 전력소비 절약도 중요한 감축수단이기 때문이다. 그 외에도 2010년부터 온실가스·에너지 목표관리제도 함께 시행되고 있어 이러한 제도의 효과가 나타났다고 평가할 수 있다.

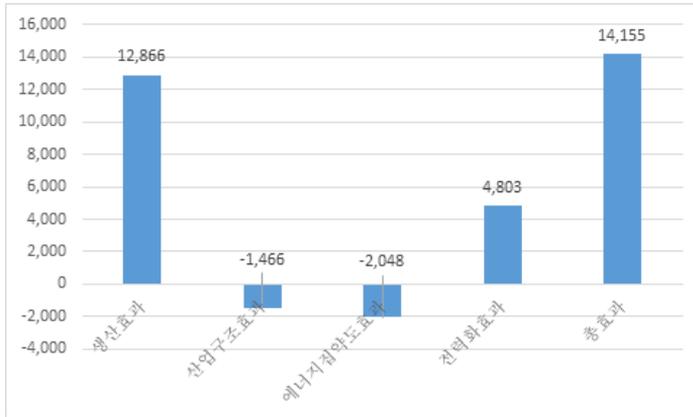
〈그림 1〉 가법적 요인분해 분석 결과

단위: 천TOE



〈그림 2〉 가법적 요인분해 분석 결과 (1999년-2019년)

단위: 천TOE



1999년부터 2019년까지 지난 20년 동안 산업별 요인분해 분석결과는 <표 7>과 같다. 총효과는 동기간 동안 해당산업에 대한 전력소비 변화를 나타내고 있다. 전력 소비가 가장 많이 증가한 산업이 기계류이며, 화학 및 석유화학, 철강 및 비철금속, 수송장비 등이 그 뒤를 잇고 있다. 섬유 및 가죽의 경우에는 전력소비가 동기간 동안 감소하였다. 먼저 생산효과의 경우, 그 효과가 가장 큰 산업은 기계류이다. 그 다음으로 철강 및 비철금속, 화학 및 석유화학 그리고 수송장비가 그 뒤를 잇고 있다. 섬유 및 가죽의 경우에는 생산효과가 음(-)을 기록하고 있어 오히려 이 효과로 인해 전력 소비가 감소하였다.

〈표 7〉 산업별 가법적 요인분해 분석 결과 (1999년-2019년)

단위: 천TOE

산업	생산효과	에너지집약도효과	전력화효과	총효과
식품 및 담배	335	-39	364	660
섬유 및 가죽	-138	-624	271	-490
목재 및 나무제품	44	-31	41	55
제지 및 인쇄	279	-273	70	76
화학 및 석유화학	1,865	374	1,896	4,135

	생산효과	에너지집약도효과	전력화효과	총효과
비금속광물	573	-615	332	290
철강 및 비철금속	2,379	-486	851	2,743
기계류	4,472	-155	1,011	5,328
수송장비	1,437	-211	-138	1,088
기타제조	155	11	106	271

에너지집약도효과의 경우에는 화학 및 석유화학을 제외하고 대부분의 산업에서 이 효과로 인해 전력소비가 감소하였다. 섬유 및 가죽이 가장 많이 전력 소비가 감소하였다. 그 다음으로 비금속 광물이다. 화학 및 석유화학의 경우에는 에너지집약도 효과에 의해 전력 소비가 오히려 증가하였다. 전력화효과로 인해 대부분의 산업에서 전력 소비가 증가하였다. 이는 대부분의 산업에서 전력화가 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 전력화 효과로 인해 전력소비가 가장 많이 증가한 산업은 화학 및 석유화학이다. 그 다음으로 이 효과로 인해 전력소비가 증가한 산업은 기계류이다. 수송장비는 전력화로 인해 오히려 전력 소비가 감소하였다. 수송장비는 원래 전력비중이 높은 산업이었는데 추가적인 전력화가 이루어지지 않았다는 것을 의미한다.

2. 승법적 요인분해

승법적 요인분해는 기준연도로부터 목표연도까지 전력 소비가 몇%나 증가하였는가를 나타낸다. <표 8>에 의하면, 2010년도의 총효과가 1.9863을 나타내고 있는데 이는 1999년에 비해 2010년에 국내 제조업부문의 전력소비가 98.63% 증가하였다는 것을 나타낸다. 이를 각각의 요인으로 분해해 보면 1999년 전력소비 대비 생산 효과로 인해 107.65% 증가하고 전력화효과로 인해 20.55% 증가하였지만 생산구조 효과로 인해 9.79% 감소하였고, 에너지집약도효과로 12.04% 감소하였다는 것을 나타낸다. 즉 각 요인분해 효과의 값이 1보다 큰 것은 그 효과로 인해 전력소비가 증가하였다는 것을 나타내며, 1보다 작은 것은 그 효과로 인해 전력소비가 감소하였다는 것을 나타낸다.

<표 8>과 <그림 3>에 의하면 1999년을 기준연도로 하여 목표연도까지 총효과를 시계열로 살펴보면 그 값이 지속적으로 증가하는 트렌드를 보이고 있지만 2009년, 2015년, 2019년에 전년대비 일시적으로 감소하였다. 생산효과는 총 효과와 비슷한 트렌드를 보이고 있다. 생산효과도 동 기간 동안 지속적으로 증가하였는데 2012년, 2015년, 2019년에 전년대비 감소하였다. 산업구조효과와 에너지집약도효과는 그 값이 1보다 작아서 기준연도대비 이 효과들로 인해 전력소비가 감소하였다는 것을 알 수 있다. 이 두 효과의 전체적인 트렌드는 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있지만 그 값은 꾸준히 감소되는 것이 아니라 증가했다가 감소했다가를 반복하고 있다.

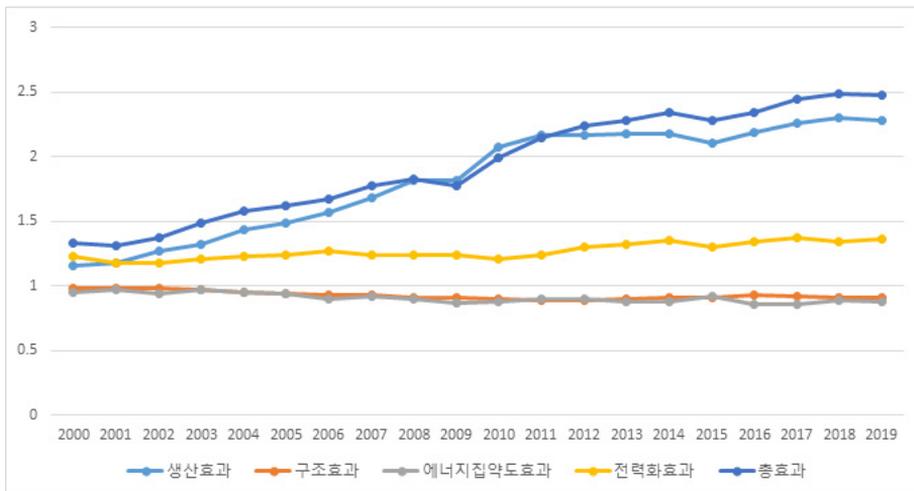
<표 8> 승법적 요인분해 분석 결과 (기준연도: 1999년)

	생산효과	산업구조효과	에너지집약도 효과	전력화효과	총효과
2000	1.1524	0.9824	0.9536	1.2312	1.3291
2001	1.1757	0.9794	0.9684	1.1769	1.3124
2002	1.2686	0.9763	0.9376	1.1799	1.3702
2003	1.3172	0.9663	0.9684	1.2053	1.4856
2004	1.4343	0.9450	0.9492	1.2262	1.5775
2005	1.4874	0.9420	0.9345	1.2339	1.6157
2006	1.5695	0.9332	0.8953	1.2708	1.6664
2007	1.6866	0.9280	0.9140	1.2412	1.7755
2008	1.8111	0.9125	0.8981	1.2331	1.8302
2009	1.8115	0.9096	0.8663	1.2404	1.7706
2010	2.0765	0.9021	0.8796	1.2055	1.9863
2011	2.1711	0.8874	0.8989	1.2413	2.1495
2012	2.1696	0.8887	0.8945	1.2972	2.2371
2013	2.1782	0.8993	0.8786	1.3220	2.2754
2014	2.1790	0.9064	0.8750	1.3556	2.3427
2015	2.1015	0.9126	0.9142	1.3025	2.2835
2016	2.1907	0.9298	0.8585	1.3414	2.3456
2017	2.2595	0.9206	0.8578	1.3703	2.4450
2018	2.3022	0.9107	0.8865	1.3377	2.4863
2019	2.2767	0.9105	0.8773	1.3595	2.4724

예를 들면 구조효과의 값이 2010년에는 0.9021이었다가 2011년에는 1.8874로 감소하였는데 그 이후 그 값이 2016년까지 계속 증가하였다가 그 이후 다시 감소하였다. 구조효과의 값이 전년대비 감소하였다는 것은 산업구조조정으로 전년에 비해 전력소비 감소가 일어났다는 것을 의미하며, 구조효과의 값이 전년대비 증가하였다는 것은 산업구조조정으로 전년에 비해 전력소비 증가가 일어났다는 것을 의미한다.

전력화효과에 의해서는 전반적으로 전력소비가 증가했다는 것을 알 수 있다. 그리고 전반적으로 그 값이 꾸준히 증가하는 것은 국내 제조업의 전력화가 계속 일어나고 있으며, 이로 인해 전력소비 증가가 일어나고 있다는 것을 의미한다. 비록 생산효과보다는 전력화효과에 의한 전력소비가 적다고 하더라도 전력화에 의한 전력소비 증가는 반드시 생산증가에 의한 전력소비 증가가 동반되지 않더라도 전력소비 증가의 주요 요인으로 작용하고 있다는 것을 알 수 있다.

〈그림 3〉 승법적 요인분해 분석 결과 (기준연도: 1999년)



〈표 9〉는 지난 20년 동안 산업별로 승법적 요인분해 결과를 제시하고 있다. 생산효과가 가장 큰 산업은 수송장비이며, 그 다음이 기계류, 화학 및 석유화학이다. 섬유 및 가죽은 오히려 생산효과에 의한 전력소비가 감소하였다. 에너지집약도효과로 인

해 가장 높은 비율로 전력소비 감소가 일어난 산업은 비금속광물이며, 섬유 및 가죽이 그 뒤를 잇고 있다. 대표적인 에너지 다소비 업종인 화학 및 석유화학은 에너지집약도효과로 인해 에너지소비가 증가하였다. 전력화효과로 인해 에너지소비 증가율이 가장 큰 산업은 화학 및 석유화학이며 그 다음이 식품 및 담배, 비금속광물이다.

〈표 9〉 산업별 승법적 요인분해 분석 결과 (1999년-2019년)

	생산효과	에너지집약도효과	전력화효과	총효과
식품 및 담배	1.5155	0.9532	1.5714	2.2700
섬유 및 가죽	0.8839	0.5718	1.2751	0.6444
목재 및 나무제품	1.4469	0.7750	1.4076	1.5785
제지 및 인쇄	1.4085	0.7151	1.0896	1.0974
화학 및 석유화학	2.5706	1.2087	2.6120	8.1158
비금속광물	1.9550	0.4869	1.4742	1.4034
철강 및 비철금속	1.8506	0.8817	1.2461	2.0334
기계류	2.9801	0.9629	1.2800	3.6733
수송장비	3.1276	0.8457	0.8965	2.3713
기타제조	2.0728	1.0540	1.6458	3.5958

V. 결론 및 정책시사점

국내 제조업은 2000년 이후로 꾸준히 전력화가 진행되고 있다. 이러한 전력화는 기후변화 대응 온실가스 감축 정책과 더불어 향후 더 꾸준히 진행될 것으로 예상된다. 전력화는 전력의 탈탄소와 더불어서 진행될 때 효과적인 온실가스 감축 수단으로 작용할 수 있다. 이런 점에서는 본 연구는 LMDI 요인분해 분석 방법을 이용하여 1999-2019년 기간 동안 우리나라 제조업의 전력소비를 구체적으로 분석하였다. 주요 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 우리나라 제조업 전체의 전력화율은 1999년 31.90%에서 2019년 46.82%

로 이 기간 동안 42.84% 증가하였다. 이는 연평균 1.94% 증가율로 전력화가 이루어졌다. 2019년 기준으로 전력화가 가장 높은 산업은 기계류로 전체 에너지소비 중 전력 비중이 차지하는 비중이 80.76%에 달한다. 다음으로는 수송장비 64.77%, 목재 및 나무제품 58.47%, 식품 및 담배 52.13%로 그 뒤를 잇고 있다. 한편 가장 빠른 전력화가 이루어진 산업은 대표적으로 에너지집약도가 높은 산업인 화학 및 석유화학이다. 이러한 전력화는 국내 제조업의 전력소비를 증가시키는 중요한 요인으로 작용하였다.

둘째, 요인분해 분석결과 지난 20년 동안 국내 제조업의 전력소비를 증가시킨 주요요인은 생산효과와 전력화효과이다. 전력소비량 기준으로 생산효과는 전력화효과와의 약 3배에 달하고 있다. 하지만 전력화효과도 전력소비의 주요 증가요인으로 향후 이러한 전력화효과는 기후변화대응 온실가스 감축 정책으로 전력소비 증가의 주요 요인으로 계속 작용할 것으로 보인다.

셋째, 국내 제조업의 전력소비를 감소시키는 주요요인은 산업구조효과와 에너지집약도효과이다. 산업구조효과보다는 에너지집약도효과에 의한 전력소비감소가 더 크다. 이는 지난 20년 동안 국내 제조업의 에너지집약도가 여러 가지 에너지정책으로 많이 향상되었기 때문이다. 특히 2015년~2017년 기간 동안 에너지집약도가 향상이 두드러진다. 2015년부터는 본격적인 배출권거래제가 실시됨에 따라서 기업들의 에너지절약 노력이 초기에 많이 이루어졌기 때문이다. 산업구조효과에 의한 전력소비 감소는 2012년까지 꾸준히 이루지다가 2013년~2016년 기간 동안에는 둔화되었다. 2017년 이후 다시 산업구조효과에 의한 전력소비 절감이 이루어졌다.

넷째, 산업별 요인분해 분석 결과에 의하면, 산업별로 생산효과, 에너지집약도효과, 전력화효과가 큰 차이를 보이고 있다. 가법적 요인분해 결과에 의하면, 생산효과가 가장 큰 산업은 기계류이며, 비철금속, 화학 및 석유화학이 그 뒤를 잇고 있다. 대부분의 산업에서 에너지집약도효과로 인해 전력소비가 감소하였다. 특히, 섬유 및 가죽, 비금속광물이 에너지집약도효과에 의한 전력소비 감소가 크게 나타났다. 전력화효과로 인해 전력소비가 가장 큰 산업은 화학 및 석유화학이며, 기계류, 철강 및 비철금속이 그 뒤를 잇고 있다. 수송장비의 경우에는 전력화효과로 인해 오히려 전력소비가 감소하였다. 승법적 요인분해 결과에 의하면, 생산효과가 가장 큰 산업은

수송장비이며, 기계류, 화학 및 석유화학이 그 뒤를 잇고 있다. 에너지집약도효과로 인해 비금속광물이 가장 높은 비율로 전력소비가 감소하였으며, 섬유 및 가죽이 그 뒤를 잇고 있다. 전력화효과로 인해 가장 큰 비율로 전력소비가 증가한 산업은 화학 및 석유화학이며, 수송장비의 경우에는 전력화소비로 인해 전력소비가 감소하였다는 것을 확인할 수 있다. 2019년 기준으로 전력소비량이 가장 많은 산업인 기계류의 경우, 에너지집약도효과로 인한 전력소비 감소율이 제조업 내에서 상대적으로 적은 특징이 있으며, 그 다음으로 전력소비가 많은 철강 및 비철금속의 경우에는 에너지집약도효과로 인한 전력소비감소율이 기계류보다는 많지만 이 산업 역시 상당히 전력화효과로 인하여 전력소비가 증가했다는 것을 확인할 수 있다.

따라서 향후 국내 제조업부문의 전력소비 절감을 위해서는 산업구조효과와 에너지집약도효과에 주목할 필요가 있다. 에너지집약도를 개선하기 위해서는 Energy Management System(EMS), Factory Energy Management System (FEMS) 등을 보다 광범위하게 도입할 필요가 있으며, 이를 도입한 사업장이나 기업에 대해서는 세제 혜택 등의 인센티브를 제공할 필요가 있다. 또한 제조업 내에서 에너지저소비형, 전력저소비형, 산업으로의 구조조정이 필요하다. 즉 에너지나 전력이 적게 소비되는 고부가가치 산업 육성이 필요하다. 이는 산업구조효과에 의한 에너지소비나 전력소비 절감을 유도하기 위해서이다. 따라서 산업별로 에너지집약도효과가 저조한 산업에 대해서는 산업계 차원의 대응책마련이 필요하다. 마지막으로 전력화가 계속 진행되는 산업에 대해서는 적정한 전력화를 유도할 필요가 있다. 전력화와 전력의 탈탄소화가 동반되지 않으면 오히려 온실가스 감축에 마이너스가 될 수 있다. 또한 기후변화 대응을 위해서는 산업별로 적절한 온실가스 감축 기술과 정책이 마련되어야 할 것이다.

접수일(2023년 2월 1일), 수정일(2023년 2월 22일), 게재확정일(2023년 2월 22일)

◎ 참고 문헌 ◎

- 구자열·주희천·정은호(2016). “전력소비 변화 요인분석을 통한 국내 제조업의 전력효율성 평가.” 에너지경제연구 15(2) : 23-54.
- 김규남·김강석·김연배(2010). “국내 전력산업의 탄소배출 변화요인 분석: 로그평균디비 지안지수를 이용한 수요와 공급 측면 분석.” 자원·환경경제연구 19(2) : 243-282.
- 김수이(2022). “국내 제조업 부문에 대한 에너지소비 요인 분해 분석.” 자원·환경경제연구 31(4) : 825-848.
- 김수이·김현석(2011). “LMDI를 이용한 국내 제조업의 에너지소비 요인분해분석.” 에너지경제연구 10(1) : 51-78.
- 김수이·박정욱(2013). “한국과 일본의 산업부문 에너지소비에 대한 LMDI 요인분해 분석.” 에너지경제연구 12(1) : 67-103.
- 김수이·정정화(2011). “LMDI방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인분해 분석.” 자원·환경경제연구 20(2) : 229-254.
- 김철현·강병욱(2017). 국내 에너지 소비변화의 요인 분해 분석. 울산: 에너지경제연구원.
- 나인강·이성근(2008). “산업부문 에너지 효율 변화요인 분석.” 자원·환경경제연구 17(2) : 255-286.
- 박년배·심성희(2015). “감축목표 업종 분류체계에 따른 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 요인분해 분석.” 자원·환경경제연구 24(1) : 189-224.
- 박성준·김진수(2014). “우리나라 1차 에너지와 최종 에너지소비 변화요인 분해 비교 분석.” 자원·환경경제연구 23(2) : 305-330.
- 임동순·유상희(2007). “국내 제조업 전력수요구조의 변화요인 분석.” Journal of the Korean Data Analysis Society 9(6) : 2877-2887.
- 임재규·김종익(2014). “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인 분해 방법론 활용.” 에너지경제연구 13(1) : 121-143.
- 진상현·황인창(2009a). “지수분해분석을 이용한 지자체의 에너지 소비특성에 관한 연

- 구.” *자원·환경경제연구* 18(4) : 557-586.
- 진상현·황인창(2009b). “지자체의 온실가스 배출특성에 관한 지수분해분석: 에너지부문을 중심으로.” *환경정책* 17(3) : 101-128.
- 한준(2015). “LMDI 요인 분해분석을 이용한 우리나라 제조업 전력화 현상에 관한 연구.” *에너지공학* 24(1) : 137-148.
- Ang, B.W.(1994). “Decomposition of industrial energy consumption :the energy intensity approach.” *Energy Economics* 16(3) : 163-174.
- Ang, B.W.(2005). “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide.” *Energy Policy* 33 : 867-871.
- Ang, B.W. and Choi, K.H.(1997). “Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method.” *Energy Journal* 18(3) : 59-73.
- Ang, B.W. and Liu, F.L.(2001). “A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation.” *Energy Policy* 26(6) : 537-548.
- Ang, B.W., Zhang, F.L. and Choi, K.(1998). “Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition.” *Energy Policy* 23 : 489-495.
- Boyd, G.A., Hanson, D.A. and Sterner, T.(1988). “Decomposition of changes in energy intensity—A comparison of the Divisia index and other methods.” *Energy Economics* 10(4) : 309-312.
- Boyd, G.A., McDonald, J.F., Ross, M. and Hanson, D.A.(1987). “Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach.” *Energy Journal* 8(2) : 77-96.
- Desbrosses, N.(2006). “Understanding the electrification of industrial energy consumption in Europe.” The Leonardo Energy initiative homepage.
- Howarth, R.B., Schipper, L., Duerr, P.A. and Strom, S.(1991). “Manufacturing energy use in eight OECD countries.” *Energy Economics* 13(2) : 135-142.
- Liu, X.Q., Ang, B.W. and Ong, H.L.(1992). “The application of the Divisia index to the decomposition of changes in industrial energy consumption.” *Energy Journal* 13(4) :

161-177.

Manne, A. and Richels, R.(1992). “Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO2 Emission Limits.” MIT Press Books, The MIT Press, edition 1, volume 1, number 026213280x, February.

Nishio, K. and Hoshino, Y.(2010). “Impacts of electrification on CO2 emission reduction potentials in the G7countries.” SERC discussion Paper 10004, Japan : Central Research Institute of Electric Power Industry.

Oh, I., Wehrmeyer, W. and Mulugetta, Y.(2010). “Decomposition analysis and mitigation strategies of CO2 emissions from energy consumption in South Korea.” *Energy Policy* 38 : 364-377.

Park, S.H.(1992). “Decomposition of industrial energy consumption—an alternative method.” *Energy Economics* 14(4) : 265-270.

Reitler, W., Rudolph, M. and Schaefer, H.(1987). “Analysis of the factors influencing energy consumption in industry: a revised method.” *Energy Economics* 14(1) : 49-56.

Schurr, S.H., Burwell, C.C., Devine, W.D. and Sonenblum, S.(1990). *Electricity in the American Economy: Agent of Technical Progress*. New York : Greenwood Press.

Sun, J.W.(1998). “Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model.” *Energy Economics* 20(1) : 85-100.

https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTITLE&menuId=M_01_01

https://www.kesis.net/sub/sub_0001.jsp

ABSTRACT

Factor decomposition analysis on Electricity consumption of domestic manufacturing industry*

Suyi Kim**

Electrification in the domestic manufacturing industry is steadily progressing. The electrification rate, which was 31.9% in 1999, increased to 46.82% in 2019. In order to analyze the specific impact of this electrification on the change in electricity consumption, this study analyzed the factors of the change in electricity consumption in the domestic manufacturing industry for the period from 1999 to 2019 using the Log mean divisia index (LMDI) factor decomposition method. The changes in electricity consumption were analyzed in four factors: production effect, industrial structure effect, energy intensity effect, and electrification effect. It was confirmed that the production effect and the electrification effect were the main factors for the increase in electricity consumption, and the industrial structure effect and the energy intensity effect were the factors that decreased electricity consumption. Although the electrification effect was smaller than the production effect, the production effect acted as the biggest factor in the increase of electricity consumption, but the electrification effect also accounted for more than 1/3 of the production effect, indicating that it is an important factor in the increase of electricity consumption. The energy intensity effect acted as a greater power consumption reduction factor than the industrial structure effect. According to the factor decomposition analysis by industry, the industry with the largest increase in electricity consumption due to the electrification effect is 'chemical and petrochemical', and the industry with the largest decrease in power consumption due to the energy intensity effect is 'textile and leather'. 'Chemistry and petrochemical' actually increased electricity consumption due to the energy intensity effect.

Key Words : LMDI, Energy intensity, Industrial Structure, Manufacturing industry

* This work was supported by 2023 Hongik University Research Fund.

** Professor, College of Business Management, Hongik University, suyikim@hongik.ac.kr

