에너지경제연구 제 15권 제 2 호
Korean Energy Economic Review
Volume 15, Number 2, Sep 2016 : pp. 23 ~ 54

학 술

전력소비 변화 요인분석을 통한 국내 제조업의 전력효율성 평가†

구자열* · 주희천** · 정은호***

요 약

에너지 안보 및 국제적인 환경규제에 대응하는 수단으로서 에너지다소비 산업인 제조업의 에너지소비 효율성이 강조되어 왔으나 최근 급격한 전력소비 증가에 대한 우려가 높다. 따라서 제조업의 전력효율성을 지속적으로 모니터링하고 평가하는 것이 중요하다. 본 연구는 15년간 제조업의 전력소비 변화에 대해 업종별·요인별 기여량을 분석하였다. 또한 경제적 전력효율과 기술적 전력효율을 구분하고 효율개선에 의한 전력감축량과 전력효율지표를 도출하였다. 전 업종에서 전력화효과는 전력소비 증가 요인이며 경제적 효율 보다 기술적 효율 악화가 더욱 심했다. 특히 전력다소비 업종인 1차금속과 석유화학은 전력효율이 크게 악화되어 제조업 평균 전력효율지표보다 높은 수준을 보였다. 단기적인 요금 지원정책보다 효율개선을 촉진할 수 있는 투자 지원정책을 통해 제조업의 국제 경쟁력을 갖추는 것이 바람직해 보인다.

주요 단어 : 지수분해분석, 로그평균 디비지아 지수, 전력감축량, 전력효율지표
경제학문헌목록 주제분류 : Q40

† 본 연구는 저자 개인의 견해이며, 소속기관의 공식적인 견해를 대변하는 것은 아님

* 한국전력 경제경영연구원 선임연구원(주저자). jayeol.ku@kepco.co.kr
** 한국전력 경제경영연구원 책임연구원(교신저자). juheech@kepco.co.kr
*** 한국전력 경제경영연구원 원장(공동저자). eunho.cheong@kepco.co.kr

Ⅰ. 서 론

한국은 제조업 중심의 산업구조를 가지고 있어 전체 부가가치 생산에서 제조업이 차지하는 비중은 OECD 국가 중 1위로 2014년 기준 31%에 달한다. 대표적인 제조업 강국으로 알려진 독일과 일본의 제조업 비중은 22.6%와 19.0% 정도이다. 산업화로 경제성장을 이루었던 선진국들은 이미 오래전부터 전반적인 탈산업화 경향, 특히 제조업의 비중 하락 현상을 보여 왔으며 이에 따라 국내 제조업 중심의 산업 전략은 기대와 우려를 동시에 받고 있다.

우리나라의 국민경제에서 제조업, 특히 ICT제조 등 첨단 제조업이 차지하는 비중이 높은데도 불구하고 고부가가치 첨단 제조업의 부가가치 증가율은 그다지 높지 않은 것으로 나타났다(정보통신정책연구원, 2016). 따라서 기존의 주력 제조업 품목들로는 향후 지속적인 경제성장을 견인하기 쉽지 않을 것으로 전망하고 있다. 더욱이 제21차 기후변화협약 당사국총회(the 21st Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change)에서 2020년 이후 새로운 기후변화체제 수립을 위한 최종 합의문인 파리협정(Paris Agreement)이 채택됨에 따라 온실가스 부담 의무에 따른 산업계 경영부담이 가속화 될 것이라는 우려가 크다.

비판적인 인식과는 반대로 제조업 강국인 독일의 사례가 최근 새롭게 부각되기도 하였다. 세계경제 위기 이후 제조업의 중요성에 대한 재인식과 함께 산업의 부활을 위한 정책이 선진국에서 부활하고 있기 때문이다. 기업이 전통적인 제조업의 경쟁력을 유지하면서 새로운 핵심기술을 개발해 시장을 확대해 나갈 수 있도록 돕고 생산 방식의 패러다임을 바꿔나가고자 하는 혁신적인 노력 등이 그것이다. 그리고 정보통신기술 중심의 4차 산업혁명시대가 도

래하는 현상에 대해 제조업을 버리고 서비스업을 육성하는 것이 아니라 두 산업의 융합으로 새로운 산업을 만들어 가는 것으로 보는 시각도 있다. 독일 정부가 추진하고 있는 제조업 성장전략인 “인더스트리 4.0(Industry 4.0)[1]”이 하나의 예시가 되고 있다(포스코경제연구소, 2014; 김종혁·김석철, 2016). 이와 같이 어떤 형태로든 제조업이 여전히 경제성장에서 중요한 역할을 해 나갈 것이라는 기대도 여전히 존재한다.

한편 제조업의 부가가치 비중이 큰 만큼 제조업의 에너지소비 비중도 OECD 국가 중 한국이 가장 높다(2013년 기준). 2000년 대비 2013년의 제조업 에너지소비 비중이 대부분의 국가에서는 줄어들었으나 한국을 비롯한 독일, 아이슬란드, 네덜란드, 오스트리아 등 5개국만이 제조업의 에너지소비 비중이 늘어났다. 한국은 OECD 국가와 비교하여 제조업에서의 전력소비 비중 또한 높은 편이다. IEA(2015)에 따르면 2013년 최종 에너지(납사 등 비에너지 제외) 중 전력소비 비중은 아이슬란드, 노르웨이 등에 이어 3위를 차지하고 있다. 이러한 제조업의 에너지 소비 증가, 특히 전력 다소비 경향은 기후변화 협약과 에너지가격 변동 등 급변하는 외부 요인에 취약하게 되어 산업경쟁력을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있다.

본 연구는 에너지 및 전력 다소비산업인 제조업의 전력효율 수준을 파악하여 향후 추진해나갈 정책적 방향을 제시하고자 한다. 따라서 제조업 전력소비 변화 분석을 통해 그 증감요인을 밝히고 전력효율지표를 산정하여 제조업 업종별 전력효율을 평가하는 것을 그 내용으로 하고 있다. Ⅱ장에서는 제조업의 에너지 및 전력소비 현황을 소개하고 제조업 분야 에너지 및 전력소비 요인분석 선행연구를 정리하면서 기존 연구와의 차별성을 살펴본다. Ⅲ장에서는 에너지효율의 개념을 정의하고 본 연구에 사용된 분석방법론을 설명한다. 분석방법론은 기존 연구논문을 참고하여 보다 다양한 해석이 가능한 요인분해

1) 독일이 제조업 주도권을 이어가기 위해 구상한 차세대 산업혁명으로 디지털혁명을 제조업에 접목시킨 제4차 산업혁명을 지칭한다. 최근에는 표준화 추진, 정치·사회적 공감대 형성 등을 바탕으로 한 플랫폼 인더스트리 4.0(Platform Industry 4.0)가 진행 중이다.

구조식을 갖추고 이를 바탕으로 한 전력감축량과 전력효율지표 산정방법을 설명한다. Ⅳ장에서는 이러한 분석방법론을 적용한 결과를 요약 및 정리하고 Ⅴ장의 결론에서 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 국내 제조업의 전력소비 현황과 선행연구

앞 장에서 주지한 바와 같이 한국은 OECD 국가 중 제조업의 에너지소비 비중이 가장 높으며 2000년 대비 에너지소비 비중은 증가 추세에 있다. 국내 제조업의 최종 에너지 소비는 2014년 기준 119백만toe(tonnes of oil equivalent)로 2000년에 비해 53% 증가하였다. 소비량 순으로 보면 석유화학업, 1차금속업, 조립기계업, 음식담배업의 에너지소비가 증가하였고 반대로 섬유의복업, 목재인쇄업, 비금속업, 기타제조업은 에너지소비가 감소하였다. 소비가 증가한 업종 중 석유화학업, 1차금속업, 조립기계업의 에너지소비는 각각 전체 에너지의 52%, 28%, 9%를 차지하며 이들 3개 업종이 제조업 에너지소비의 90%를 차지하고 있다.

최종 에너지 중 전력소비 비중도 OECD 국가 중 3위로 높은 편이어서 제조업에서 전력화[2]에 대한 우려도 크다. 제조업의 전력소비는 2014년 기준 249,490GWh로 2000년 125,951GWh에 비해 2배 가까이 증가하며 총 최종 에너지 소비보다 높은 증가세를 보였다. 섬유의복업만 유일하게 전력소비가 감소하였으며 증가량 순으로 조립기계업, 1차금속업, 석유화학업, 음식담배업, 비금속업, 목재인쇄업 등이 증가하였다. 업종별 전력소비 변화는 <표 1>에서 확인할 수 있다. 2014년 기준 조립기계업이 39%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 석유화학업과 1차금속업도 20% 내외의 비중을 차지해 이들 3개 업종이 제조업 전력소비의 80%를 소비하고 있다.

2) 본 연구에서 전력화(Electrification)는 제조업의 생산과정에서 에너지소비가 타에너지에서 전력으로 전환되는 현상을 말한다.

<표 1> 제조업 업종별 전력소비 변화

	2000년		2014년		기간 중 변화	
	전력소비량 (GWh)	비중 (%)	전력소비량 (GWh)	비중 (%)	전력소비량 (GWh)	비중 (%P)
제조업 전체	125,951	100.0	249,490	100.0	123,539	
음식담배업	6,149	4.9	10,105	4.1	3,956	-0.8
섬유의복업	15,497	12.3	11,965	4.8	-3,532	-7.5
목재인쇄업	9,980	7.9	11,908	4.8	1,928	-3.1
석유화학업	26,899	21.4	54,992	22.0	28,093	0.6
비금속업	8,981	7.1	11,643	4.7	2,662	-2.4
1차금속업	27,700	22.0	57,404	23.0	29,704	1.0
조립기계업	29,049	23.1	88,649	35.5	59,600	12.4
기타	1,697	1.3	2,824	1.1	1,127	-0.2

주: 제조업 업종구분은 한국표준산업분류체계를 바탕으로 본 연구의 분석데이터 이용 가능성에 따라 재정의 되었음. 자세한 내용은 Ⅲ장 4절 참고바람.

국내 제조업의 에너지소비 변화에 대한 요인분석은 박희천(2001), 산업연구원(2009), 이진식(2010), 김수이·김현석(2011), 박정욱·김수이(2013), 임재규·김종익(2014) 등을 통해 이루어졌으나 전력에 대한 분석은 진행되지 않았다. 또한 Lim *et al.*(2009), Oh *et al.*(2010)은 국가 전체 혹은 산업을 대상으로 온실가스 배출요인을 분석하였으며, Jeong & Kim(2013)은 제조업을 대상으로 한 연구에서 전력소비 비중 증가를 보이고 있는 에너지믹스(energy-mix) 요인은 온실가스 배출이 증가하는데 영향을 미쳤으나 그 양은 크지 않은 것으로 결론을 내렸다.

전력소비 변화에 대한 직접적인 요인분석은 다음과 같다. 임동순·유상희(2007)는 1990년부터 2004년까지 제조업 업종별 전력소비 증가요인을 생산, 구조, 효율효과 3가지로 구분하여 분석하였다. 전력다소비업종을 중심으로 전력소비 원단위는 지속적으로 증가하였으나 전력소비가 적은 산업부문은 원단

위 개선이 미약한 것으로 결과를 도출하였다. 임재규·김종익(2014)는 로그평균 디비지아 분해분석법을 활용하여 제조업의 에너지 및 전력소비 변화 요인 분석을 하였다. 전력소비 변화를 생산효과, 구조효과, 집약도(원단위)효과로 구분하였으며, 1990년에서 2011년까지의 데이터를 이용하였다. 분석을 통해 집약도(원단위)효과가 전력소비를 증가시키는 요인임을 확인하고 이는 제조업에서의 전력소비 절감 및 효율향상을 위한 노력이 부족했던 것으로 결론짓고 있다. 하지만 위 연구의 요인분석 구조식에서는 에너지와 전력을 따로 분석하여 전력화 현상을 설명하기 어려운 한계점이 있다. 한준(2015)은 제조업의 산업공정 중 직접가열용으로 소비되는 전력에 초점을 맞추어 제조업 중 석유화학업과 1차금속업의 직접가열용 에너지 이용에서 전력화현상이 가장 크게 일어났음을 밝혔다. 기존 연구와는 달리 전력소비가 증가하고 있는 특정 산업공정에서의 전력화 현상을 규명하고 있어 정책적 의의가 높다고 판단된다. 다만 본 연구는 전력화 현상 뿐 만 아니라 제조업 전반의 기술적·경제적 전력효율을 포괄하는 전력효율지료 산정을 목적으로 하고 있으므로 본 연구의 데이터 구성이나 구조식과는 차이를 보인다.

한편 기존의 에너지소비 변화요인 분석연구에서는 1차 에너지 혹은 최종 에너지를 저자의 의도에 따라 다양하게 적용해 왔다[3]. 하지만 최근 박성준·김진수(2014)의 연구에서는 1차 에너지와 최종 에너지 각각을 기준으로 분해분석을 수행하였고 그 결과의 차이는 상당하다고 지적하고 있다. 이는 전력의 전환손실 포함 여부에 따른 에너지소비량 차이에 연유한다. 하지만 김진수(2015)는 전력소비에 대한 분석이나 특정 산업에 대한 분석은 최종 에너지를 기준으로 분석해도 무방하다고 언급하기도 했다. 또한 최종 에너지에서 전력 전환손실 등을 고려하여 1차 에너지로 변환하는 과정이 연구별로 다양하다. 박희천(2001)은 고정된 전환계수를 사용하였고, 박성준·김진수(2014)는 에너지 밸런스 데이터에 제시된 발전에 투입된 1차 에너지를 집계하는 방식을 사용하였다. Kim & Heo(2012)는 발전부문의 1차 에너지를 각 산업의 최종 전력

3) 김진수(2015), p.276 “<표 1> 한국의 에너지소비 분해분석 연구 비교” 참조.

소비의 비율로 배분하였다. 본 연구에서는 효율지표 도출을 위한 계산의 편의성과 통계자료의 일관성을 위해 전환 손실을 고려하지 않은 최종 에너지를 전력소비 변화요인의 한 요소로 사용하였음을 한계점으로 밝혀둔다. 최종 에너지에서 1차 에너지로의 변환 방법이나 전력소비 요인분석에서 1차 에너지 혹은 최종 에너지 선택기준은 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

위에서 언급한 최근의 전력소비 분석연구들이 결론에서 공통적으로 지적하고 있는 사실은 타 에너지 보다 낮은 전력가격으로 인해 전력화율이 지속적으로 증가했다는 점이다. 전력화와 관련된 이슈는 2000년대 들어 계속 언급되어 왔으며 최근 전수연(2013)은 전력화의 원인을 생활수준의 향상과 전기 사용의 편리성 이외에 타에너지에 비해 저렴한 전력가격으로 설명하고 있다. 에너지기본계획(2014)에서는 전력은 타에너지와 달리 해외 구매 및 저장이 불가능하여 공급설비 부족 시 안정적인 운영이 불가능하여 수급불안으로 직결됨을 언급하면서 제조업의 전력화 현상에 대한 우려를 나타내고 있다. 따라서 에너지 세제와 요금 개편을 통한 적절한 가격신호체계를 확립하는 것을 주요 정책 과제로 제시하고 있다.

다음의 [그림 1]은 타에너지 대비 전력의 상대가격[4] 변화를 보여주고 있다. 두 실선은 산업용 전력판매단가의 명목과 실질가격의 변화 추이이며 두 점선은 각각 천연가스(도시가스용)의 산업용 도매가격과 석유제품 평균수입단가 대비 산업용 전력판매단가의 상대가격이다. 산업용 전력의 명목가격은 2004년 60.2원에서 2015년 107.4원으로 78.3% 증가하였고, 물가상승률을 감안한 실질단가는 36.1% 증가하였다. 하지만 천연가스 등 타에너지와 비교한 상대전력

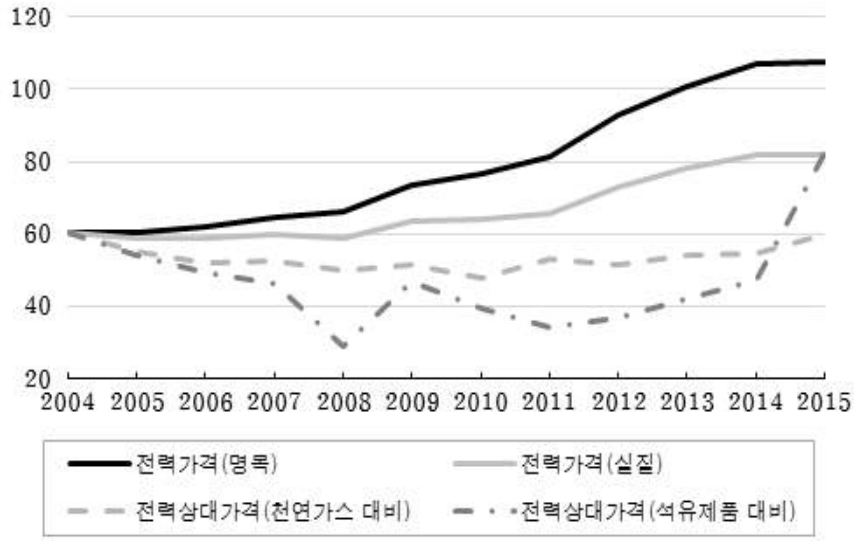
4) 본 연구에서 전력상대가격은 전력의 명목 및 실질가격과 타에너지 상대가격을 함께 표기하기 위해 각 년도의 전력가격과 타에너지가격의 비율을 구한 후 기준년도 값을 전력가격으로 하여 전력상대가격을 표현하였다. 결국 명목가격에서 물가 증감분을 제거하여 실질가격을 구한 것처럼 전력가격에서 각 타에너지 증감분을 제거한 전력상대가격을 전력가격 단위(원/kWh)로 표현할 수 있다.

$$P_t = P_0^{\tilde{E}}\left(\frac{P_t^E}{P_t^{\tilde{E}}}\right), \quad P\text{: 가격, } E\text{: 전력, } \tilde{E}\text{: 타에너지}$$

가격은 2004년 기준 가격을 하회[5]하는 것으로 나타나 전력가격의 상승은 국제가격에 영향을 받는 타에너지 가격의 증가폭에 못 미치는 수준인 것으로 보여 진다.

[그림 1] 타에너지 대비 산업용 전력상대가격의 변화

(단위 : 원/kWh)



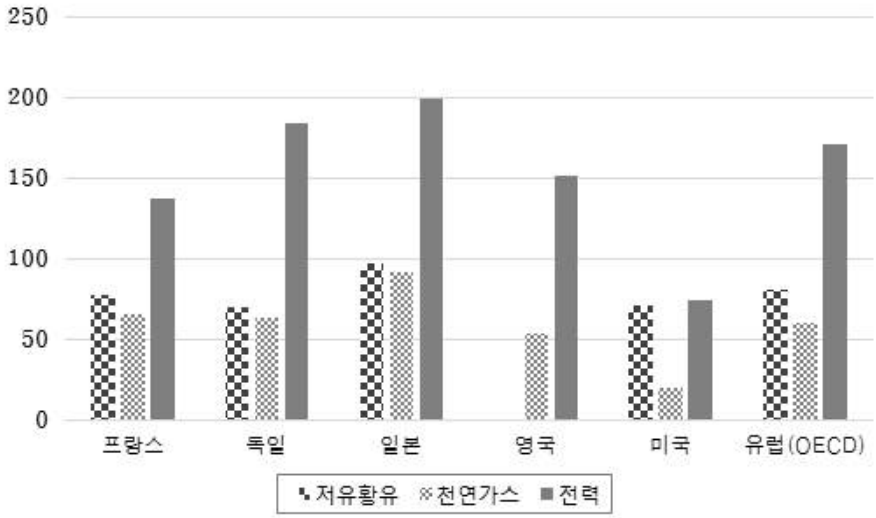
출처: 한국가스공사, 한국석유공사 페트로넷(petronet), 통계청 국가통계포털

한편 산업연구원(2015)는 IEA(2015)를 인용하여 산업용 에너지가격을 다른 국가와 비교하고 있다. [그림 2]는 한국의 에너지가격을 100으로 했을 때 비교국가의 에너지가격 수준을 각 에너지별로 나타내고 있다. 석유류와 천연가스 가격은 주요 국가들에 비해 한국이 높았다. 저유황유의 경우 유럽과 미국은 한국의 70~80% 수준이고, 천연가스는 각각 한국의 60%, 20% 수준으로 한국에 비해 낮은 것으로 나타났다. 전력가격의 경우 한국은 미국을 제외한

5) 예외적으로 2015년은 급격한 유가하락으로 전력상대가격이 2004년 기준가격을 상회하는 현상이 일어났다.

다른 비교국가들에 비해 1.4~2배 정도 높은 것으로 나타났으며 미국은 한국의 75% 수준이다.

[그림 2] 한국 대비 주요국의 에너지가격(2013년, 한국=100)



출처: IEA, Energy Prices and Taxes(각 호), 산업연구원(2015)

Ⅲ. 연구방법론

1. 에너지 및 전력원단위 및 효율 개념

에너지원단위(Energy Intensity)는 특정 경제 활동을 통해 산출되는 생산량 단위 당 투입되는 에너지량을 의미하며 생산량은 재화나 용역 즉, 부가가치나

물량으로 표현될 수 있다. 따라서 분석 목적에 따라 부가가치 기준 에너지원단위와 물량 기준 에너지원단위 형태로 표현된 경제적 에너지효율과 기술적 에너지효율로 각각 활용될 수 있다.

<표 2> 에너지원단위와 효율의 분류

	경제적 에너지효율	기술적 에너지효율
의 미	단위 에너지 투입에 의해 산출되는 경제활동	에너지 이용합리화에 따른 에너지 소비 효율 증대
원단위와의 관계	경제적 에너지 효율 향상은 원단위 감소(개선)	기술적 에너지 효율 향상은 원단위 감소(개선)
관련 원단위	부가가치 기준 에너지원단위, 생산액 기준 에너지 원단위	생산활동 기준 에너지원단위 (생산 단위물량당, 공정단위당)
효율향상 방안	에너지 절감, 고부가가치화 산업구조 개선, 부가가치율 향상	노후 시설 개체 및 공정 개선, 폐열 회수 및 폐자원 활용, 운전관리 합리화와 기기효율향상
장 점	거시적 비교 및 분석 가능	특정 업종, 제품, 공정의 기술 수준 파악에 유효
단 점	경제 변수에 따라 영향받음	거시적 비교 및 분석 곤란

주: 김인길(1995)의 내용을 재정리함.

김인길(1995)에서는 에너지효율을 경제적 에너지효율과 기술적 에너지효율로 구분하여 설명하고 있다. 경제적 에너지효율은 경제 활동의 성과를 반영해 주고 업종별 비교가 가능하다는 장점이 있지만, 생산 공정 기술상의 에너지 이용 효율성 변화를 정확히 파악하기 곤란하고 생산제품의 시장가격에 의해 크게 영향을 받는다는 단점을 갖고 있다. 반면 기술적 에너지효율은 생산 공정 기술상의 에너지 이용 효율 변화를 정확히 나타내고 가격의 영향을 받지 않으므로 경제적 에너지효율지표가 갖는 단점을 극복할 수 있다. 하지만 하나의 업종에서 생산하는 여러 가지 품목의 성격과 측정 단위가 서로 달라서 품목별 물량 기준 에너지원단위 산출만 가능하고 업종별 또는 제조업 전체의 물량 기준 에너지원단위 산출은 불가능하다는 한계점을 가진다. 이러한 한계

점을 보완하기 위해 기술적 에너지효율로 산업생산지수[6] 기준 에너지원단위를 제시하고 있다.

박희천(2001)도 경제적 에너지효율지표는 상호 합산과 업종 간 비교를 가능하게 하지만 지표에 사용되고 있는 부가가치(가격)가 시장의 수요공급에 의해 결정되는 점을 지적하면서 부가가치 에너지원단위에 바탕을 둔 에너지소비 요인분석의 한계를 언급하고 있다. 그 대안으로 물량생산지수의 개념을 설명하고 있지만 현실적으로 제조업의 모든 업종별 물량생산지수를 만들기는 불가능하기 때문에 상기 연구에서는 통계청에서 발표하는 산업생산지수를 물량생산지수의 대용으로 사용하고 있다. 다만 박희천(2001)에서 언급하고 있듯이 통계청은 산업생산지수 작성에 있어서 업종에 따라 부가가치생산 자료를 사용하고 있기 때문에[7] 산업생산지수가 물량생산의 변동을 제대로 반영하지 못하고 있는 한계점은 존재한다.

본 연구에서는 앞선 연구 내용들을 참고하여 부가가치 기준 전력원단위는 경제적 전력효율의 의미로 사용하고 기술적 전력효율은 물량지수 대신 생산지수를 사용하여 생산지수 기준 전력원단위로 나타낸다.

<표 3>은 제조업 업종별 부가가치 및 산업생산지수 변동 추이를 보여준다. 제조업 전체는 부가가치와 생산지수 모두 5%의 연평균 증가율을 기록하고 있으며 업종별로 차이를 보이고 있다. 특히 섬유의복업의 부가가치는 증가하는 동안 생산지수는 하락하는 경향을 보이고 있다.

---

6) 산업생산지수는 통계청에서 광업·제조업동향조사를 통해 발표하며 지수 추정 산식은 다음과 같이 물량 변화에 대한 생산액 가중평균 방식을 이용한다.

$$\text{산업생산지수 } Q_t = \sum w_0 \left(\frac{q_t}{q_0} \right), \text{ 가중치 } w_0 = \frac{p_0 q_0}{\sum p_0 q_0}, \ p\text{: 단위가격, } q\text{: 수량}$$

7) 통계청 산업생산지수 작성방법에 따르면 지수 작성 시 UN권고와 각 국에서 일반적으로 사용하고 있는 품목별 생산량 자료를 원칙적으로 사용하고 있지만 품질 및 규격이 다양하여 물량 파악이 어려운 104개 품목(의약품, 화장품, 자동차 부품 등)은 금액 자료를 사용한다고 설명하고 있다.

<표 3> 제조업 업종별 부가가치 및 산업생산지수 변동 추이

	부가가치(10억원,실질가격)			산업생산지수(2010년=100)		
	2000년	2014년	평균증가율(%)	2000년	2014년	평균증가율(%)
제조업 전체	186,646.5	411,494.7	5.8	53.10	108.50	5.2
음식담배업	13,362.9	15,552.2	1.1	86.42	105.72	1.5
섬유의복업	15,147.4	19,447.5	1.8	153.22	93.71	-3.5
목재인쇄업	8,347.1	9,936.7	1.3	92.95	100.28	0.5
석유화학업	34,449.5	59,359.9	4.0	71.91	110.50	3.1
비금속업	7,712.9	11,772.3	3.1	83.40	96.90	1.1
1차금속업	42,379.1	61,692.2	2.7	77.66	115.99	2.9
조립기계업	71,535.9	229,542.1	8.7	38.64	105.90	7.5
기타	3,520.1	5,069.0	2.6	157.88	104.41	-2.9

출처: 한국은행 경제통계시스템, 통계청 국가통계포털

2. 지수분해분석

1970년대 말 오일쇼크를 경험하면서 에너지소비 변화에 대한 분석 연구에서는 산업생산에서의 구조적 변화에 관심을 가지게 되었고, 요인 분해를 통해 산업구조의 변화는 총 에너지원단위에 큰 영향을 미친다는 점에 주목하게 되었다(Ang and Zhang, 2000). 이와 같이 에너지원단위는 경제구조, 생산가동률 등의 요인들을 포함하고 있기 때문에 에너지효율이 일정하게 유지되어도 원단위는 변화할 수 있다. 이는 정책지표로서는 적합하지 않으며 에너지원단위 변화에서 경제구조 등 요인들의 변화를 분리시킨 표준화된 통계량으로 에너지효율 지표를 개발하여 사용하는 것이 바람직하다(박희천, 2001).

요인 분해를 통한 에너지 분야 소비 변화, 에너지 원단위, 에너지와 관련된 온실가스 배출분석 등에는 지수분해분석(Index Decomposition Analysis)이

널리 쓰이고 있으며 이 분석법은 캐나다, 미국, 뉴질랜드, 유럽연합, IEA (International Energy Agency) 등 국가기관이나 기구에서 에너지 효율분석시스템에 적용하여 운용하고 있다(Ang, 2004; Dong and Wu, 2010).

지수분해분석은 Ang(2004)에 의해 크게 두 가지로 분류되어 디비지아 지수(Divisia Index)를 이용한 방법과 라스파이레스 지수(Laspeyres Index)를 이용한 방법으로 정리되었다. 라스파이레스 지수 등 다양한 지수 중 로그평균 디비지아 지수(Log Mean Divisia Index)를 이용한 방법이 갖는 우수성은 지수이론(Index Theory)에 근거하는 특성 테스트를 만족한다는 점이다(Ang and Zhang, 2000). 이들 특성 테스트는 0기에서 T기까지의 분석 결과 값과 T기에서 0기까지의 분석 결과 값이 역수관계 혹은 음의 관계를 갖는 시간 역전성(Time-reversal), 분해된 요인 결과 값들의 곱이나 합이 전체 관찰 값과 일치하는 요인 역전성(Factor-reversal), 그리고 데이터의 0값 처리에 대한 유연성(Zero-value Robustness)이다.

본 연구에서는 로그평균 디비지아 분해분석법을 적용하여 전력소비 변화에 대한 요인분해분석을 수행한다. 또한 일반적으로 사용되는 3가지 요인(생산효과, 구조 효과, 원단위 효과)에 추가적인 요인을 포함한 분해분석을 함으로써 제조업의 전력효율과 전력화에 대한 이슈를 점검할 수 있는 결과를 도출하고자 한다.

한편 로그평균 디비지아 분해분석법은 승법적(Multiplicative) 요인분해와 가법적(Additive) 요인분해로 구분할 수 있는데 전자는 전체 변화에 요인별 변화량(Difference Change)을 분해한 것이고, 후자는 전체 변화를 변화율(Ratio Change)로 분해한 것이다(Ang, 2004). 승법적 요인분해의 결과 값은 로그 변화(log change) 개념에 바탕을 두기 때문에 로그 백분위(log percent) 변화로 해석해야함에 유의한다. 승법적 요인분해와 가법적 요인분해는 순서나 방법론적으로 우위를 비교할 수 없고 분석 대상이나 결과 해석상 편의에 따라 선택한다. 본 연구에서는 순차적으로 두 방법을 모두 활용한다. 효율분석 접근에 있어서 효율개선에 의한 전력감축량과 전력효율지표를 산정하므로 먼

저 가법적 요인분해를 통해 감축량을 산정하고 승법적 방법과 감축량 값을 이용하여 효율지표를 도출해낸다.

우선, 이용 가능한 데이터 분류에 따라 제조업을 n개 업종으로 구분하고 전력소비 변화 요인을 경제활동 효과, 산업구조 효과, 생산제품 효과, 에너지 효율 효과, 전력화 효과 등 총 5가지로 가정하면 분해분석 구조식은 다음과 같이 설정될 수 있다.

$$E = \sum_{i=1}^{n} E_i = \sum_{i=1}^{n} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{P_i}{Q_i} \frac{\ddot{E}_i}{P_i} \frac{E_i}{\ddot{E}_i} = \sum_{i=1}^{n} Q S_i V_i F_i R_i \quad (1)$$

E = 전력소비량

Q = 국내총생산(부가가치)

Q_i = i업종 국내총생산(부가가치)

P_i = i업종 산업생산지수

$\ddot{E}_i$ = i업종 최종에너지 소비량

S_i = 총부가가치 대비 i업종 부가가치 비중

V_i = i업종 부가가치 대비 생산지수

F_i = i업종 생산지수 대비 에너지원단위

R_i = i업종 최종에너지 대비 전력소비 비중

구조식 (1)에 따르면 0기에서 T기까지의 전력소비 변화량(ΔE)은 수식 (2)와 같이 5가지 요인으로 분해 가능하다.

$$\begin{aligned} \Delta E^{0,T} &= E^T - E^0 \\ &= \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{prd} + \Delta E_{eff} + \Delta E_{elc} \end{aligned} \quad (2)$$

첫 번째 항은 경제활동 효과에 의한 전력소비 변화량(ΔE_{act})이다. 부가가치(Q)의 증감에 의한 전력소비 변화량으로 이해할 수 있다. 두 번째 항은 산업

구조 효과에 의한 전력소비 변화량(ΔE_{str})이며 각 업종이 전체 제조업에서 차지하는 부가가치 비중(Q_i/Q) 변화로 인한 전력소비 변화를 파악한다. 세 번째 항은 고부가가치화 효과에 의한 전력소비 변화량(ΔE_{prd})으로 해당 항은 부가가치 대비 물량(산업생산지수)의 비율(P_i/Q_i)로 생산제품이 고부가가치화 될수록 비율은 작아진다. 본 연구에서는 생산제품 효과로 명명한다. 네 번째 항은 기술적 에너지효율 효과에 의한 전력소비 변화량(ΔE_{eff})이다. i산업에서 산업생산지수 대비 최종 에너지 사용량 비율($\ddot{E}_i/P_i$) 변화로 기술적 에너지효율 효과를 측정하며 비율이 작아질수록 에너지효율 개선을 의미한다. 전력이 제조업 생산 활동에서의 유일한 에너지원은 아니기 때문에 타에너지원 간의 대체관계를 고려하여야 하므로 최종 에너지 소비량($\ddot{E}_i$)을 구조식에 추가하였다. 이로 인해 마지막 항인 전력화 효과, 즉 최종 에너지 대비 전력소비량의 비율 변화로 인한 전력소비 변화량(ΔE_{elc})이다. 분해된 각 요인항의 공식은 수식 (3)에 정리하였다.

$$
\begin{aligned}
\Delta E_{i,act} &= w_i \ln\left(\frac{Q^T}{Q^0}\right), \quad \Delta E_{act} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,act} \\
\Delta E_{i,str} &= w_i \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^0}\right), \quad \Delta E_{str} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,str} \\
\Delta E_{i,prd} &= w_i \ln\left(\frac{V_i^T}{V_i^0}\right), \quad \Delta E_{prd} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,prd} \\
\Delta E_{i,eff} &= w_i \ln\left(\frac{F_i^T}{F_i^0}\right), \quad \Delta E_{eff} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,eff} \\
\Delta E_{i,elc} &= w_i \ln\left(\frac{R_i^T}{R_i^0}\right), \quad \Delta E_{elc} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,elc}
\end{aligned}
\tag{3}
$$

가중치 w_i는 수식 (4)와 같이 로그평균 형태로 표현되며 위에서 설명했던

지수 특성 테스트 등 다른 분해분석법에 대비하여 로그평균 디비지아 분해분석법의 장점을 갖추게 한다.

$$w_i = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \tag{4}$$

3. 전력감축량과 전력효율지표 산정

전력효율 요인에 의한 전력소비 변화 기여량은 다른 요인항의 결합을 통해 아래 수식 (5)와 같이 산출 가능하다. 경제적 전력효율에 의한 전력소비 변화량($\Delta E_{i,int(Q)}$)은 고부가가치 효과, 기술적 에너지효율 효과, 그리고 전력화 효과의 합으로 나타낼 수 있으며, 기술적 전력효율에 의한 전력소비 변화량($\Delta E_{i,int(T)}$)은 기술적 에너지효율 효과와 전력화 효과의 합으로 나타낼 수 있다. 결국 기술적 전력효율은 경제적 전력효율에서 상품가격에 의한 변동, 즉 고부가가치화 효과를 뺀 것으로 표현된다. 이러한 산식은 김인길(1995)에서 언급한대로 경제적 에너지효율이 광의(廣義)로 기술적 에너지효율을 포함한다는 것에 부합한다.

$$\begin{aligned} \Delta E_{i,int(Q)} &= \Delta E_{i,prd} + \Delta E_{i,eff} + \Delta E_{i,elc} \\ \Delta E_{i,int(T)} &= \Delta E_{i,eff} + \Delta E_{i,elc} \end{aligned} \tag{5}$$

$\Delta E_{i,int(Q)}$: 경제적 전력효율 효과로 인한 전력소비 변화량

$\Delta E_{i,int(T)}$: 기술적 전력효율 효과로 인한 전력소비 변화량

전력효율 요인에 의한 전력소비 변화 기여량은 '전력효율 개선에 의한 전력감축량(ES; Electricity Saving)'으로도 해석 가능하다. 전력효율 효과에 의한 전력소비 변화가 양(+)의 값으로 나온다면 전력감축량은 음(-)의 값을 가지고 이는 전력효율개선에 실패한 것으로 해석할 수 있다. 반대로 전력감축량이 양(+)의 값을 가진다면 전력효율개선이 이루어 진 것으로 판단할 수 있다. 전력감축량도 경제적 효율개선에 의한 전력감축량($ES_{i,int(Q)}$)과 기술적 효율개선에 의한 전력감축량($ES_{i,int(T)}$)으로 구분하여 산출할 수 있다.

$$ES_{i,int(Q)} = -\Delta E_{i,int(Q)}$$
$$ES_{i,int(T)} = -\Delta E_{i,int(T)} \quad (6)$$

한편 상기에서 언급한 바와 같이 가법적 요인분해는 변화량을 산출하는 반면 승법적 요인분해는 로그 백분위 변화율을 산출한다. 따라서 전력효율 요인을 승법적 요인분해로 계산하면 로그 백분위 변화율 개념의 전력효율지표(EEI; Electricity Efficiency Index)로 활용할 수 있다(Ang and Zhou, 2010).

전력효율지표(EEI_i)는 앞에서 구한 전력효율 효과로 인한 전력소비 변화량($\Delta E_{i,int}$)과의 관계식 (7)을 통해 간단히 도출될 수 있다. 이는 아래와 같은 승법적 요인분해와 가법적 요인분해의 이론적인 관계를 통해 접근한다(Ang, 2004). 자세한 전개는 부록에 첨부하였다.

$$\frac{\Delta E_{i,int}}{\ln EEI_i} = w_i \quad (7)$$

따라서 w_i를 식(4)로 치환하면 제조업 전체와 업종별 전력효율지표는 아래와 같이 산출된다.

$$EEI_i = \exp\left(\Delta E_{i,int}\frac{\ln\left(E_i^T/E_i^0\right)}{E_i^T - E_i^0}\right) = \left(\frac{E_i^T}{E_i^0}\right)^{\Delta E_{i,int}/\left(E_i^T - E_i^0\right)} \quad (9)$$

$$EEI_{tot} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} E_i^T}{\sum_{i=1}^{n} E_i^0} \right)^{\sum_{i=1}^{n} \Delta E_{i,int} / \sum_{i=1}^{n} (E_i^T - E_i^0)} = \left(\frac{E^T}{E^0} \right)^{\Delta E_{int} / (E^T - E^0)} \quad (10)$$

4. 분석데이터

제조업은 통계청에서 고시한 한국표준산업분류(9차 개정, 2008년 2월 시행)에 따라 33개 업종으로 구분할 수 있다. 하지만 부가가치, 에너지 소비량, 전력 소비량 등 각 데이터 집계기관의 제조업 분류가 상이하여 분석 상의 분류는 음식담배업, 섬유의복업, 목재인쇄업, 석유화학업, 비금속업, 1차금속업, 조립금속업, 기타제조업 등 총 8개 업종으로 하였다. <표 4>는 각 통계집계기관의 제조업 분류와 분석 상의 분류를 비교하였다.

분석데이터는 2000년부터 2014년까지 15년간의 제조업 업종별 부가가치, 산업생산지수, 최종 에너지 소비량, 전력 소비량이다. 제조업 업종별 부가가치는 한국은행에서 작성한 국민계정 상의 생산인 부가가치, 즉 제조업 업종별 국내총생산(GDP) 데이터를 사용하였다. 업종별 산업생산지수는 통계청에서 발표하는 광업·제조업조사의 데이터이다. 제조업 업종을 분석 상의 분류에 맞게 재분류하기 위해 산업생산지수는 광업·제조업조사의 업종별 부가가치[8] 데이터를 반영한 가중평균법을 이용하였다. 제조업 업종별 최종 에너지 소비량은 에너지경제연구원의 에너지통계연보 데이터를 사용하였으며, 전력소비량은 한국전력공사의 한국전력통계 데이터를 사용하였다.

8) 통계청 광업·제조업조사의 센서스 부가가치는 한국은행 국민계정 상의 생산인 부가가치와 다른 방법으로 추계되고 있어 직접 비교에 한계가 있음을 통계청에서 밝히고 있다. 본 연구에서는 요인분석 상의 부가가치는 한국은행 자료를 이용하고, 산업생산지수를 가중 평균하여 업종 재분류할 때는 통계청 자료를 이용하였음을 밝힌다.

<표 4> 통계자료(통계기관)별 제조업 업종구분 재분류

분석 상 분류	광공업통계조사 (통계청)	경제통계시스템 (한국은행)	에너지 밸런스 (에너지경제연구원)	한국전력통계 (한국전력공사)
음식 담배	식료품 제조업	음식료 및 담배 제조업	음식·담배	식료품제조
	음료 제조업			
	담배 제조업			
섬유 의복	섬유제품 제조업	섬유 및 가죽제품 제조업	섬유·의복	섬유·의복
	의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업			
	가죽, 가방 및 신발제조업			
목재 인쇄	목재 및 나무제품 제조업	목재, 종이, 인쇄 및 목재업	목재·나무	목재·나무
	펄프, 종이 및 종이제품 제조업		펄프·인쇄	펄프·종이
	인쇄 및 기록매체 복제업			출판·인쇄
석유 화학	코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	석탄및석유제품제조업	석유·화학	석유·화학
	화학물질 및 화학제품 제조업	화학제품 제조업		
	의료용 물질 및 의약품 제조업			
	고무제품 및 플라스틱제품 제조업			
비금속	비금속 광물제품 제조업	비금속광물제품제조업	비금속	요업
1차금속	1차 금속 제조업	1차 금속제품 제조업	1차금속	1차금속
	금속가공제품 제조업	금속제품 제조업	비철금속	
조립 금속	기타 기계 및 장비 제조업	기계 및 장비 제조업	조립금속	조립금속
				기타기계
				사무기기
	전자부품, 컴퓨터, 영상,음향및통신장비제조업	전기 및 전자기기 제조업		전기기기
	전기장비 제조업			영상·음향
	의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업	정밀기기 제조업		의료·광학
	자동차 및 트레일러 제조업	운송장비 제조업		자동차
	기타 운송장비 제조업			기타운송
기타 제조	가구 제조업	기타 제조업	기타제조	가구 및 기타
	기타 제품 제조업			
미분류	-	-	기타에너지	재생재료

Ⅳ. 분석 결과

본 장에서는 2000년부터 2014년까지의 전력소비 변화에 대한 요인 분해분석 결과를 정리하였다. 이전 장에서 설명한 지수분해분석법을 이용해 전력소비 변화에 대한 업종별·요인별 기여량을 산출하고, 효율개선에 의한 전력감축량을 산정하였다. 또한 산정된 전력감축량을 이용하여 전력효율 변화를 반영하는 전력효율지표를 도출하였다.

1. 전력소비 변화에 대한 업종별·요인별 기여량

다음의 <표 5>는 2000년부터 2014년까지 제조업 업종별 전력소비 변화에 대한 요인별 기여량을 보여준다. 분석기간 15년 동안 제조업의 전력소비는 123,539GWh가 증가하며 2000년 전력소비량 125,951GWh 대비 2배 가까운 증가세를 보였다.

전력소비 변화를 요인별로 살펴보면 경제성장으로 인해 전력소비는 132,335GWh 증가하였으나 산업구조 변동, 생산제품의 고부가가치화, 에너지효율 개선으로 각각 21,704GWh, 27,200GWh, 13,473GWh 감소하여 경제성장에 의한 소비 증가를 상쇄하였다. 또한 타에너지에서 전력으로의 전환에 의한 영향, 즉 전력화 효과로 전력소비가 53,581GWh 증가하는데 기여한 것으로 나타났으며 이는 소비 증가에 대한 영향력이 경제성장 효과를 제외한 다른 요인 효과보다 컸음을 보여준다.

업종별로 살펴보면, 섬유의복업은 유일하게 전력소비가 3,532GWh 줄었다. 음식담배업과 목재인쇄업, 비금속업은 전력소비가 늘었으나 제조업 전체 전력소비 증가량의 7%를 차지하는 정도이다. 제조업 전력소비 증가의 대부분은

석유화학업과 1차금속업, 조립기계의 전력소비 증가에 연유한다. 모든 업종에서 경제성장 효과로 인해 전력소비가 증가하였으며, 증가량은 조립기계업이 가장 크고 음식담배업이 가장 작다. 산업구조 변동 효과로 인해 전력소비가 증가한 업종은 조립기계업이 유일하며, 제조업에서 차지하는 부가가치 비중이 조립기계업만 증가했다는 점을 상기시키는 결과이다.

<표 5> 제조업 전력소비 변화에 대한 업종별·요인별 기여량

(단위 : GWh)

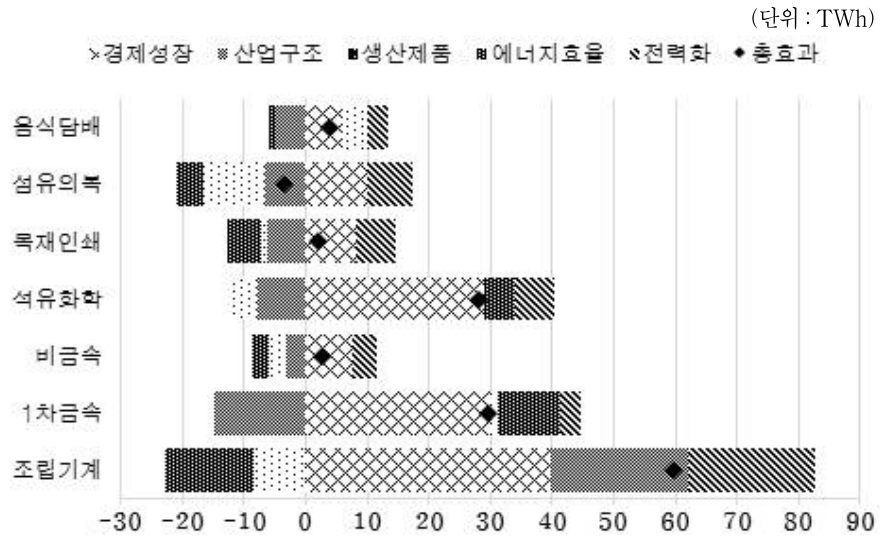
	총 효과	경제성장 효과	산업구조 효과	생산제품 효과	에너지효율 효과	전력화 효과
제조업 전체	123,539	132,335	-21,704	-27,200	-13,473	53,581
음식담배업	3,956	5,905	-4,696	397	-1,253	3,604
섬유의복업	-3,532	10,125	-6,713	-10,126	-4,051	7,233
목재인쇄업	1,928	8,094	-6,191	-1,074	-5,368	6,468
석유화학업	28,094	29,130	-7,754	-4,499	4,914	6,303
비금속업	2,661	7,604	-3,267	-2,798	-2,728	3,851
1차금속업	29,704	30,226	-14,919	1,046	9,881	3,470
조립기계업	59,601	39,601	22,671	-8,423	-14,522	20,265
기타제조업	1,127	1,641	-834	-1,722	-347	2,388

생산제품 효과는 음식담배업과 1차금속업에서 전력소비가 증가하는 요인으로 영향을 미쳤다. 해당 업종에서 생산제품의 고부가가치화가 이루어지지 못했거나 생산제품 시장가격의 변동이 영향을 미쳤다고 판단된다. 에너지효율 효과는 석유화학업과 1차금속업의 전력소비가 증가하는 방향으로 영향을 미쳤으며 이는 해당 업종의 에너지효율이 악화된 현상을 반영한다. 전력화 효과는 최종 에너지 소비 중 전력소비 비중 변화가 전력소비 변화에 미치는 영향으로 모든 업종에서 전력소비가 증가하는 방향으로 영향을 미쳤다. 분석기간

동안 제조업 전반적으로 전력을 비롯한 에너지소비가 증가하였으나 증가폭은 전력소비가 더 컸다. 조립기계업의 전력화효과는 전체 전력화효과로 인한 전력소비 증가량의 38%를 차지할 정도로 영향이 컸으며 섬유의복업, 목재인쇄업, 석유화학업이 순서대로 전력화효과로 인한 전력소비 증가폭이 컸다. 전력소비 비중이 큰 1차금속업에서 전력소비 증가에 미친 전력화효과는 다른 업종에 비해 상대적으로 작았다.

[그림 3]은 업종별·요인별 기여량 증감을 막대그래프로, 총 효과를 점그래프로 나타내어 이해를 돕고 있다.

[그림 3] 제조업 전력소비 변화에 대한 업종별·요인별 기여량



2. 효율 개선에 의한 전력감축량과 전력효율지표

이전 장에서 살펴본 바와 같이 구조식의 각 요인항의 결합을 통해 전력효율에 의한 전력소비 변화 기여량을 산정할 수 있으며, 여기서 전력효율은 두

가지 - 부가가치와 물량 - 개념의 전력원단위, 즉 경제적 에너지 효율과 기술적 에너지 효율로 구분한다. 전력효율지표는 절대량으로 계산되는 전력효율에 의한 전력소비 변화 기여량을 지수화 하여 상대적인 기여도 측정을 통해 업종별 비교 시 활용될 수 있다.

'전력효율 요인에 의한 전력소비 변화 기여량'은 '전력효율 개선에 의한 전력감축량'으로 해석 가능하다. 전력감축량에서 양(+)의 부호는 효율개선에 의한 전력소비의 감소, 음(-)의 부호는 효율악화로 인한 전력소비의 증가를 의미함에 주의한다. 전력효율지표는 2000년을 기준으로 100보다 낮을 경우 효율개선, 높을 경우 효율악화를 의미한다. 예를 들어 전력효율 요인으로 인한 전력소비 변화가 100GWh 이고 여기서 도출된 전력효율지표(기준=100)가 90이라면 "전력효율이 10% 개선되어 100GWh의 전력감축량이 발생하였다"라고 해석 가능하다[9].

전력감축량과 전력효율지표 산정 결과는 <표 6>에 정리하였다. 전체 제조업은 분석기간 동안 경제적 전력효율이 7% 악화되어 전력소비가 12,908GWh 증가하였다. 또한 기술적 전력효율은 25% 악화되어 전력소비는 40,108GWh 증가하였다. 기술적 전력효율이 경제적 전력효율 보다 더욱 악화된 것으로 나타나는 이유는 이전 절에서 설명하였듯이 경제적 전력효율은 기술적 전력효율에 생산제품 효과, 즉 생산제품의 고부가가치화로 인한 전력증감 효과가 포함된 개념이기 때문이다. 따라서 생산제품의 고부가가치화로 27,200GWh의 전력소비가 감소하였고 이로 인해 경제적 전력효율이 기술적 전력효율에 비해 효율악화 정도가 낮은 것으로 나타났다. 비록 정도의 차이는 있지만 경제적 전력효율과 기술적 전력효율의 악화현상은 이전 절에서 확인하였듯이 심화된 전력화효과의 영향을 크게 받고 있다.

9) Ang(2010)에서는 에너지감축량(Energy Saving)과 에너지성능지표(Energy Performance Index)를 해석하는 예를 제공하고 있으며, 이는 본 연구의 전력소비 분석에도 동일하게 적용된다.

<표 6> 제조업 업종별 전력효율 개선에 의한 전력감축량과 전력효율지표

	경제적 전력효율		기술적 전력효율	
	전력감축량 (GWh)	전력효율지표 (2000=100)	전력감축량 (GWh)	전력효율지표 (2000=100)
제조업 전체	-12,908	107	-40,108	125
음식담배	-2,748	141	-2,351	134
섬유의복	6,944	60	-3,182	126
목재인쇄	-26	100	-1,100	111
석유화학	-6,718	119	-11,217	133
비금속	1,675	85	-1,123	112
1차금속	-14,397	142	-13,351	139
조립기계	2,680	95	-5,743	111
기타	-1,013	116	-2,735	252

주: 전력감축량의 양(+)의 값은 소비감소, 음(-)의 값은 소비증가를 의미함.

한편, 업종별 전력효율은 분석기간 동안 경제적 전력효율과 기술적 전력효율이 모두 개선된 업종은 없다. 경제적 전력효율만 개선된 업종은 섬유의복, 비금속, 조립기계로, 각각의 효율지표는 40%, 15%, 5%가 개선되어 6,944GWh, 1,675GWh, 2,680GWh가 감축되었다. 기술적 전력효율은 각각 효율지표 34%, 12%, 11%가 악화되어 2,351GWh, 1,123GWh, 5,743GWh가 증가하는 요인으로 작용하였다. 음식담배업, 목재인쇄, 석유화학, 1차금속업은 경제적 전력효율과 기술적 전력효율 모두 악화되었으며, 1차금속이 각각 42%와 39% 악화되어 14,397GWh와 13,351GWh의 전력소비량이 증가하였다.

섬유의복의 경제적 전력효율은 개선되었음에도 불구하고 기술적 전력효율이 악화된 이유는 생산제품효과의 영향이 크다. 경제적 효율은 생산제품의 고부가가치화로 인한 전력소비 감축량이 크기 때문에 효율개선이 이루어진 것으로 나타났지만 생산제품효과가 제거된 기술적 전력효율은 전력화효과로 인한 전력소비 증가량이 커 효율이 악화된 것으로 나타났다. 이러한 현상은 비금속업과 조립기계업에도 똑같이 적용된다. 각 업종의 최종 에너지 소비는 감

소하였으나 최종 에너지 소비 중 전력소비의 비중은 증가하여 발생한 것으로 볼 수 있다. 이러한 경제적 전력효율과 기술적 전력효율의 요인별 영향은 비금속과 조립기계에도 같은 패턴으로 적용·해석된다.

음식담배업은 요인별 전력소비 변화량에서 보면 생산제품효과가 미미하고 에너지효율은 개선이 되었으나 상대적으로 전력화효과가 전력소비 증가에 미치는 영향이 커서 경제적·기술적 전력효율이 모두 악화되는 것으로 나타났다.

석유화학업은 에너지효율은 악화되었고 생산제품의 고부가가치화로 인한 전력소비 감축량을 전력화효과가 상쇄하고도 남아 두 측면의 전력효율 모두 악화된 것으로 나타났다.

1차금속업은 기술적 에너지효율이 타 업종에 비해 크게 악화된 점이 주목할 만하다. 생산제품효과도 전력소비 증가 방향으로 영향을 미쳤다. 생산제품효과는 제품의 고부가가치화도 실패한 것으로 볼 수도 있고 제품시장에서의 가격하락으로 인한 영향으로도 볼 수 있다. 아울러 전력화효과에 의한 전력소비 증가로 이루어져 경제적 효율과 기술적 효율 모두 전 업종 중 가장 악화된 것으로 나타났다.

Ⅴ. 결　　론

저탄소와 친환경을 고려한 성장이라는 기조 아래 기후변화 대응에 대한 국제적인 압력이 강화되고 국제 에너지가격의 변동성 증가 등 외부 압력이 가중되고 있는 상황에서 에너지다소비 산업인 제조업은 새로운 도전을 받고 있다. 국가 에너지안보를 강화하고 국제적인 환경규제에 대응하는 수단으로서 제조업의 에너지 및 전력소비 효율성 개선이 필요하며, 이는 장기적인 관점에서 제조업의 국제 경쟁력을 강화하는 방안이 될 것이다. 따라서 제조업의 전력효율성을 지속적으로 모니터링하고 평가하는 것은 중요하다.

본 연구는 2000년부터 2014년까지 15년간 제조업의 전력소비 변화에 대해 업종별·요인별 기여량을 분석하였다. 또한 전력효율을 경제적 효율과 기술적 효율로 구분하고 효율개선에 의한 전력감축량을 산정하였으며 이를 이용하여 전력효율 변화를 반영하는 전력효율지표를 도출하였다.

기존 연구논문과 달리 로그평균 디비지아 분해분석법의 구조식을 5가지 요인으로 구성하여 기술적 효율효과와 경제적 효율효과, 전력화효과 등 기존 연구에서 간과하고 있는 결과를 도출한다는 점에서 의의가 있다. 또한 승법적 요인분해와 가법적 요인분해 결과를 그대로 도출하지 않고, 가법적 요인분해 결과를 전력감축량으로 해석하는 방법을 제공하고 전력감축량을 통해 전력효율 개념의 지표를 도출하여 전력효율성 모니터링을 위한 이해를 돕고 있다.

분석 기간 동안 섬유의복을 제외한 모든 제조업 업종에서 전력소비가 증가하였고 제조업 전체는 2000년 대비 2014년 전력소비가 2배 가까이 증가하였다. 전력소비 증가에 대한 요인분석 결과에서 다음의 내용을 확인할 수 있었다. 첫째, 제조업의 전력소비 증가는 경제성장효과와 전력화효과의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 특히 전력화효과가 각 업종에서의 전력소비 증감의 방향이나 크기에 관계없이 모든 업종에서 양(+)의 효과를 미쳤다는 결과에 주목할 만하다. 반면, 산업구조효과와 생산제품효과, 에너지효율효과는 전력소비 감축에 기여하였다. 특히 생산제품효과, 즉 생산제품의 고부가가치화로 인한 전력소비 감축이 효율개선에 크게 기여했다. 둘째, 전력효율성은 경제적 효율과 기술적 효율 측면에서 차이를 보였다. 업종별로 개선 여부는 편차가 있으나 경제적 효율과 기술적 효율은 각각 2000년 대비 7%와 25% 악화된 것으로 분석된다. 두 전력효율의 악화는 전력화효과의 영향이 크며 경제적 전력효율과 기술적 전력효율의 차이는 생산제품효과로 인한 전력감축에 연유한다. 다시 말해 생산제품의 고부가가치화로 인해 업종별로 경제적 전력효율은 개선되는 듯 보이지만 기술적 전력효율 개선에는 소홀해왔다고 판단된다. 효율개선을 위해 부가가치가 높은 생산제품의 비중을 늘리는 것이 방법일 수 있으나 이는 시장가격에 큰 영향을 받을 수 있다. 시설이나 공정 등 기술적 전력

효율을 개선하는 것은 비용이나 시간이 소요되는 일이지만 장기적으로 대외적인 경쟁력을 갖출 수 있는 방법이다. 셋째, 전력감축량과 전력효율지표는 업종별로 큰 편차를 보이고 있다. 1차금속과 석유화학은 제조업 전체의 평균 전력효율지표 보다 높은 효율지표를 기록하면서 효율성 악화현상을 보였으며 전력소비 증가량도 타 업종에 비해 월등히 높다. 따라서 업종별 특성에 맞는 효율정책 추진이 필요할 것이다.

앞서 언급하였듯이 제조업의 대내외적 환경변화에 대한 대응하는 수단으로 전력효율 개선이 유용하며 이를 통해 제조업은 대외 경쟁력을 갖출 수 있다. 생산제품의 고부가가치화와 더불어 장기적으로 기술적인 효율개선에도 자구적인 노력이 필요하며 정책적으로도 뒷받침되어야 할 것이다. Ⅱ장의 현황에서도 살펴보았듯이 전력가격은 국제정세에 영향을 받는 국내 타에너지나 타 국가의 전력가격에 비해 낮은 수준이다. 산업용 전기요금이 환경비용이나 타에너지 수준의 세금 등을 포함한 적정수준에 이른다면 제품의 고부가가치를 위한 노력이나 기술적 전력효율 개선 노력의 유인책이 될 수 있을 것 이다.

이처럼 적절한 상대가격체계를 확립하여 합리적인 의사결정을 위한 가격신호를 통해 전력화의 속도를 조절하는 것도 필요하다. 산업용 전기요금 인하와 같은 단기적인 지원 정책은 에너지 절약 및 효율성 투자를 저해할 수 있어 전기요금 인하 정책보다 효율촉진 투자 지원정책이 바람직해 보인다.

접수일(2016년 8월 23일), 게재확정일(2019년 9월 9일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

김수이, 김현석. 2011. “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석”, 에너지경제연구 10(1): pp 49-76.

김인길. 1995. “제조업부문 에너지효율 향상방안 연구”, 에너지경제연구원 연구보고서 95-9.

김종혁, 김석철. 2016. “인더스트리 4.0 시대의 전략적 제조-서비스 융합을 통한 경제효과분석 및 정책수요시사”, 국제지역연구 20(2): pp 25-46.

김진수. 2015. “우리나라 에너지소비 분해분석 연구에 대한 고찰”, 에너지경제연구 14(3): pp 265-291.

박성준, 김진수. 2014. “우리나라 1차 에너지와 최종 에너지 소비 변화요인 분해 비교분석”, 자원·환경경제연구 23(2): pp 305-330.

박정욱, 김수이. 2013. “한국과 일본의 산업부문 에너지 소비에 대한 LMDI 요인분해 분석”, 에너지경제연구 12(1): pp 67-103.

박희천. 2001. “한국 제조업의 에너지효율 향상평가”, 자원·환경경제연구 10(2): pp 135-159.

산업연구원. 2009. “산업부문 에너지효율의 국제비교와 요인분해 및 시사점”, 산업경제정보 제437호(2009-12).

산업연구원. 2015. “주요국 제조업의 에너지 소비구조·가격 및 에너지 비용 비교 분석”, 산업경제(2015년 10월): pp 38-46.

산업통상자원부. 2014. “제2차 에너지기본계획”.

에너지경제연구원. “에너지통계연보”, 각 년도.

이성근, 안영환, 나인강. 2007. “국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선 방안 연구”, 에너지경제연구원 연구보고서 07-9.

이진식. 2010. “제조업부문 에너지효율 추이 분석”, GRI연구논총 12(3): pp 249-267

임동순, 유상희. 2007. “국내 제조업 전력수요구조의 변화요인 분석”, 한국자료분석학회 9(6): pp 2877-2887.

임재규, 김종익. 2014. “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인분해 방법론 활용”, 에너지경제연구 13(1): pp 121-143.

전수연. 2013. “전력가격체계의 문제점과 개선방안”, 국회예산정책처, 사업평가현안분석 제48호.

정보통신정책연구원. 2016. “4차 산업혁명과 산업구조의 변화”, 정보통신방송정책 28(15) 통권 629호.

포스코경영연구소. 2014. “인더스트리 4.0, 독일의 미래 제조업 청사진”, POSRI보고서 (2014년 2월).

한국전력. “한국전력통계”, 각 년도.

한준, 2015. “LMDI 요인 분해분석을 이용한 우리나라 제조업 전력화 현상에 관한 연구”, 에너지공학 24(1): pp137-148.

Ang, B. W. 2004. “Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method?”, *Energy Policy* 32(2004): pp 1131-1139.

_____. 2005. “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide”, *Energy Policy* 33(2005): pp 867-871.

_____. 2015. “LMDI Decomposition Approach: A Guide for Implementation” *Energy Policy* 86(2015): pp 233-238.

Ang, B. W., Liu, F. L. 2001. “A New Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation”, *Energy* 26(2001): pp 537-548.

Ang, B. W., Liu, N. 2007. “Handling Zero Values in the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Approach”, *Energy Policy* 35(2007): pp 238-246.

Ang, B. W., Mu, A. R. and Zhou, P. 2010. “Accounting Frameworks for Tracking Energy Efficiency Trends”, *Energy Economics* 32(5): pp1209-1219.

Ang, B. W., Zhang, F. W. 2000. “A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies”, *Energy 25*, pp1149-1176.

Ang, B. W., Zhang, F. W. and Choi, K. 1998. “Factorizing Changes in Energy and

Environmental Indicators through Decomposition", *Energy* 23: pp489-495.

Asia Pacific Energy Research Centre. 2001. "Energy Efficiency Indicators – A Study of Energy Efficiency Indicators in APEC Economies", Tokyo.

_____. 2002. "Energy Efficiency Indicators and Potential Energy Savings in APEC Economies", Tokyo.

Boyd, G. A., McDonald, J. F., Ross, M. and Hanson, D. A. 1987. "Separating the Changing Composition of US Manufacturing Production from Energy Efficiency Improvement: A Divisia Index Approach" *Energy Journal* 8(2), pp77-96.

Dong, J., Wu, M. 2010. "Energy Performance Index Based on LMDI Technique and Decomposition Analysis of Beijing's Energy Consumption", 2010 International Conference on Future Information Technology and Management Engineering

IEA. 2015. "Energy Balances of OECD Countries 2015" OECD Publishing, Paris.

IEA. 2015. "Energy Prices and Taxes(each year)", IEA, Paris.

Oh, I., Wehrmeyer, W. and Mulugetta, Y. 2010. "Decomposition Analysis and Mitigation Strategies of CO_2 Emissions from Energy Consumption in South Korea", *Energy Policy* 38(2010): pp 364-377.

Jeong, K., Kim, S. 2013. "LMDI Decomposition Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Korean Manufacturing Sector", *Energy Policy* 62(2013): pp 1245-1253.

Kim, J. and Heo, E. 2012. "Energy and Economic Growth: Causality Analysis using Decomposed Energy Consumption." *Geosystem Engineering* 15(3): pp 171-178.

Lim, H., Yoo, S. and Kwak, S. 2009. "Industrial CO_2 Emissions from Energy Use in Korea: A Structural Decomposition Analysis", *Energy Policy* 37(2009): pp 686-698.

Zhao, H. and Li, N. 2015. "Decomposition of Electricity Consumption Intensity of High Energy-consuming Industries in Shanxi Province Based on LMDI Method." *International Journal of Energy and Power Engineering* 4(4-1): pp 7-11.

부 록

본문에서는 로그평균 디비지아 분해분석법의 가법적 요인분해를 통해 전력 감축량을 계산하고 식(7)의 가법적 요인분해와 승법적 요인분해의 관계를 통해 전력효율지표를 계산하고 있다. 로그평균 디비지아 분해분석법의 승법적 요인분해와 가법적 요인분해의 수식적 관계 도출은 다음과 같다. 여기서 V는 전력소비와 같은 분석대상이며, e는 효율효과와 같은 요인, i는 산업분류와 같은 구분이다.

(가법적 요인분해)

$$\Delta V_e = \sum_i L\left(V_i^T, V_i^0\right) \ln\left(\frac{e_i^T}{e_i^0}\right)$$

(승법적 요인분해)

$$D_e = \exp\left(\sum_i \frac{L(V_i^T, V_i^0)}{L(V^T, V^0)} \ln\left(\frac{e_i^T}{e_i^0}\right)\right)$$

함수 $L(a,b)$은 a와 b 두 수의 로그평균을 계산하며, 이는 본문에서 설명한 가중치 w_i를 의미한다.

$$L(a,b) = \frac{a-b}{\ln a - \ln b}$$

승법적 요인분해식에 로그를 취하고 가법적 요인분해 ΔV_e로 대치하면

$$\ln D_e = \sum_i \frac{L(V_i^T, V_i^0)}{L(V^T, V^0)} \ln\left(\frac{e_i^T}{e_i^0}\right) = \frac{\Delta V_e}{L(V^T, V^0)}$$

이고, $L(V^T, V^0)$은 가중치 w이므로

$$\frac{\Delta V_e}{\ln D_e} = w.$$

ABSTRACT

Evaluation on Electricity Efficiency of Manufacturing in Korea using Decomposition Analysis

Jayeol Ku*, Hee-Cheon Ju**, Eun Ho Cheong***

The energy efficiency of manufacturing is one of the keys to response to energy security and international environmental regulations. Drastic increase in electricity consumption is especially concerned with electrification of manufacturing industry. Therefore it is emphasized the electricity efficiency of manufactures to be monitored and evaluated.

This paper analyzes the electricity consumption of Korean manufacturing during 2000 to 2014, based on Index Decomposition method. The economic and technical efficiency are considered to establish the electricity savings and the electricity performance index. Through all manufacturing sectors, electrification factor is one of positive effect on electricity consumption, and technical efficiency is always lower than economic efficiency. Primary Metal and Petroleum·Coal Products Manufacturing are the inefficient sectors on electricity so that they have the lowest electricity performance index among others.

Key Words : Index Decomposition Analysis, LMDI(Log-Mean Divisia Index), Electricity Saving, Electricity Efficiency Index

† Any opinions expressed in this paper are those of the author and not those of the KEPCO(Korea Electric Power Corporation).

* Senior Researcher, KEMRI(KEPCO Economy&Management Research Institute, main author). jayeol.ku@kepco.co.kr

** Principal Researcher. KEMRI (corresponding author). juheech@kepco.co.kr

*** President. KEMRI (co-author). cheong.eunho@kepco.co.kr