2008~2011년 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 급증에 대한 요인분해연구¹⁾

김태현* · 임덕오** · 김윤경***

요 약

우리나라의 에너지원단위는 1990년대 후반 이후에 개선되는 추세를 보였지만, 2008~2011년에는 악화되었다. 이에 본 논문은 우리나라 에너지소비를 주도한 산업부문을 대상으로 요인분해분석방법을 이용하여 에너지소비의 급등 원인과 온실가스 배출 변화 원인을 분석하였다. 요인분해분석의 대상기간은 1998~2008년, 2008~2011년의 2가지이며, 기간의 구분으로 에너지소비와 온실가스 배출에 영향을 미친 요인을 시기별로 비교하였다. 에너지소비 변화 요인을 경제성장(생산효과), 산업구조 변화(구조효과), 에너지효율(원단위효과)로 나누어 분석한 결과에 따르면 2008~2011년에 산업구조변화는 에너지소비를 감소시켰지만 에너지효율효과는 에너지소비를 증가시켰다. 산업구조효과에 의한 에너지소비의 감소추세도 이전의 기간보다는 둔화된 것으로 나타났다. 각 산업의 에너지효율 악화는 에너지원단위가 높은 철강산업 및 석유화학산업에서 설비가 신·증설되면서 에너지다소비제품의 생산량이 증가한 것에서 원인을 찾을 수 있다. 온실가스 배출 변화 요인을 경제성장(생산효과), 산업구조(구조효과), 에너지효율(원단위효과), 에너지원대체(에너지믹스효과)로 나누어 분석한 결과에 따르면 에너지효율효과와 에너지믹스효과가 온실가스 배출을 증가시킨 것으로 나타났다.

* 에너지경제연구원 에너지수급연구실 연구위원(제1저자), thkim@keei.re.kr

** 에너지경제연구원 에너지수급연구실 위촉연구원, dolim14229@keei.re.kr

*** 이화여자대학교 사회과학대학 경제학과 부교수(교신저자), yoonkim@ewha.ac.kr

주요 단어 : 요인분해, 에너지소비, 온실가스, 산업부문, LMDI
경제학문헌목록 주제분류 : Q4, C8

I. 서론

총에너지소비 증가율이 경제성장률보다 낮아지는 것은 한 나라가 경제성장을 유지하면서 이전보다 더 적은 에너지를 경험하게 되는 것이므로 에너지수입의존도가 높은 우리나라로서는 바람직한 현상이라고 할 수 있다. 2000년대에 우리나라의 경제성장률과 총에너지소비 증가율의 관계는 총에너지소비 증가율이 경제성장률보다 낮아지는 시기와 총에너지소비 증가율이 경제성장률보다 높아지는 시기가 공존한다. 2000~2008년에는 총에너지소비 연평균 증가율(2.8%)이 경제성장률(4.4%)보다 낮았다.²⁾ 그러나 2009~2011년에는 총에너지소비 증가율은 경제성장률을 상회하였다. 경제성장률과 총에너지소비 증가율은 각각 2009년에 0.3%와 1.1%, 2010년에 6.3%와 8.4%, 2011년에 3.7%와 4.5%였다. 이에 따라 에너지효율을 나타내는 에너지원단위는 2000~2008년에 개선되었지만, 2008~2011년에 악화되었다. 2012년에 총에너지소비 증가율은 0.7%로 다시 경제성장률(2.7%)보다 낮아졌고, 이는 유지되고 있다.

2008~2011년의 에너지소비 급증은 온실가스 배출에도 큰 영향을 미쳤다. 2000~2008년에 연료의 연소에 의한 온실가스 배출량은 연평균 2.6%로 증가

1) 본 논문은 김태현 외(2014)의 「에너지다소비산업구조 심화요인 분석 및 경제적 파급효과 분석」을 기초로 하고 있지만, 산업분류, 분석대상에서 상이성을 갖는다. 김태현 외(2014)의 연구대상은 제조업이지만 본 논문의 연구대상은 농림어업, 광업 등을 포함한 산업부분이다. 더하여 본 논문은 요인분해대상으로 온실가스 배출 변화를 추가하였다.

2) 2000년대에 경제성장률이 높아지면 이와 함께 총에너지소비 증가율이 높아지기도 하였다. 경제성장률과 총에너지소비증가율은 순서대로 2001년에 4.0%과 2.9%였고, 2008년에 2.3%와 1.8%였다

하였지만, 2008~2011년에는 연평균 6.0%로 증가하였다. 이는 이 시기의 경제 성장률 3.6%를 크게 상회한다.

에너지소비가 급등하고 급락하는 추세는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생하지만, 우리나라의 경우는 산업구조와 깊은 관련을 갖는다. 성장측면에서 산업부문은 경제성장과 수출에서 중요한 역할을 담당하며, 생산이 증가하면 부가가치가 증가하게 되고, 이 과정에서 노동을 필요로 하므로 고용의 기회를 창출하게 된다. 에너지소비측면에서 보면 산업부문은 우리나라 최종에너지 소비의 60% 이상을 차지하며, 에너지소비의 증가를 주도하고 온실가스 배출을 유발하는 부정적 측면을 갖는다.

이에 본 연구에서는 요인분해분석(decomposition analysis)을 이용하여 우리나라 산업부분의 에너지소비와 온실가스 배출의 변화를 요인별로 분석하고 에너지소비를 증가시킨 원인을 파악한다. Greening et al.(2007)에 따르면 요인분해방법은 한 나라의 에너지 소비에 영향을 주는 요소들의 근원을 규명하거나, 에너지수요부문의 효율을 파악할 때에 자주 이용된다.

분석기간은 1997~2008년과 2008~2011년의 2기간이며, 기간을 구분한 분석을 통해서 기간별 요인을 식별할 수 있고 2008~2011년에 에너지소비가 급증한 원인을 규명할 수 있다. 분석대상은 산업부문이며, 산업부문별 최종에너지 소비, 전력소비, 연료소비, 온실가스 배출에 대해서 요인분해한다.

분석에서는 에너지의 사용 용도가 다르다는 점을 반영하고 에너지소비 전체에 대한 요인분해분석 결과를 보완하기 위하여 전력소비, 연료소비를 구분한다. 전력은 산업부문에서 주로 동력용으로 사용되며, 다른 에너지원과는 다르게 대체하기 어렵다. 2008~2011년에 산업부문의 전력수요 연평균증가율은 7.6%이며, 1997~2008년의 연평균증가율 4.8%를 상회하였다. 석유화학산업의 원료로 사용되는 비에너지유는 산업부문의 에너지소비 중에서 큰 비중을 차지하며, 소비는 2008~2011년에도 빠르게 증가하였다.³⁾

3) 비에너지유는 석유제품이지만, 생산과정에서 원료로 사용되며 원료용으로 사용되는 경우에는 온실가스를 배출하지 않는다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II는 1997~2013년의 우리나라 에너지소비지표를 제시하여 시점별로 에너지소비의 추이와 원단위의 추이를 살핀다. III은 요인분해분석을 사용한 선행연구와 요인분해분석방법을 정리한다. 선행연구의 결과들은 에너지소비와 온실가스 배출에 큰 영향을 미치는 요인들을 알려주고, 본 논문의 분석결과와 비교할 수 있게 한다. IV에서는 Log Mean Divisia Index(LMDI) 방법을 이용하여 1998~2007년, 2008~2011년의 산업부문 업종별 에너지소비, 전력소비, 연료소비, 온실가스 배출을 급증시킨 요인들을 추정하여 비교한다. 에너지소비, 전력소비, 연료소비 변화의 요인으로는 경제성장(생산효과), 산업구조변화(구조효과), 에너지효율(원단위효과)을, 온실가스 배출 변화의 원인으로는 경제성장(생산효과), 산업구조(구조효과), 에너지효율(원단위효과), 에너지원대체(에너지믹스효과)를 고려한다. V는 결론이다.

II. 우리나라의 에너지소비지표 추이

1997년 외환위기 이후 2000년대 중후반까지 에너지소비는 안정적으로 증가하는 모습을 보였다. 1997~2008년에는 경제성장률이 총에너지소비 증가율보다 높아서 에너지원단위(TOE/백만원)는 1997년의 0.252에서 2008년의 0.204로 낮아졌고, 이 기간에 에너지원단위 연평균 개선율은 1.9%였다(<표 1> 참조). 그러나 2009~2011년에는 경제성장률보다 총에너지소비 증가율이 높았고, 2011년에 에너지원단위는 0.211로 상승하였다. 2011년 이후에는 다시 과거와 비슷한 속도로 원단위가 개선되고 있는 모습을 보이고 있다.

〈표 1〉 주요 에너지·경제 지표

구분	1997	2008	2011	2013	연평균증가율(%)		
					'97~'08	'08~'11	'11~'13
GDP (2010년 불변, 조 원)	716	1,180	1,312	1,381	4.6	3.6	2.6
총에너지 소비 (백만 TOE)	180.6	240.8	276.6	280.3	2.6	4.6	0.7
에너지 소비 GDP 탄성치	-	-	-	-	0.57	1.32	0.25
에너지원단위 (TOE/백만원)	0.252	0.204	0.211	0.203	-1.9	1.1	-1.9

주: 에너지소비 GDP 탄성치는 연평균경제성장률/연평균총에너지소비증가율의 값이다.

자료: 국가통계포털(kosis.kr)

〈표 2〉 산업부분의 에너지원단위 추이

(단위: TOE/백만원)

구분	1997	2008	2011	연평균증가율(%)	
				'97~'08	'08~'11
산업계	0.39	0.28	0.28	-3.0	0.1
제조업	0.44	0.30	0.30	-3.4	-0.4
- 석유화학	1.10	1.00	1.06	-0.8	2.0
- 1차금속	0.66	0.76	0.87	1.3	4.5
- 조립금속	0.07	0.04	0.04	-4.0	-0.4
에너지다소비산업	0.91	0.87	0.94	-0.4	2.3

주: 한국은행의 산업부분의 업종별 부가가치(간접세 제외)를 이용한다.

2008~2011년 총에너지소비 증가는 주로 발전용 연료와 산업용 원료 소비 증가에 기인한다. 총에너지 소비 증가에 대한 에너지원별 기여율⁴⁾은 발전용 석탄이 30.4%, 발전용 LNG가 17.2%, 원료탄이 16.0%, 남사가 15.6%이며, 이 에너지원들은 높은 기여율을 갖는다. 김태현 외(2014)에 따르면 최종에너지 소비를 기준으로 하면 산업부분이 소비 증가의 87.7%를 차지하고, 산업부분에서 사용하는 원료와 전력이 소비를 주도하였다. 산업부분이 에너지소비 기

4) 기여율은 항목별 변화를 전체의 증감에 대한 백분율로 표시한 것이다.

여율을 보면 납사와 원료탄이 각각 24.1%와 24.6%로 많은 부분을 차지한다.

<표 2>에서 보면 우리나라 산업부문의 에너지원단위는 1997~2008년에 연평균 3.0%로 개선되었으나, 2008~2011년에는 연평균 0.1%로 악화되었다. 이는 에너지다소비산업인 1차금속과 석유화학의 에너지원단위가 높아지고, 조립금속의 에너지원단위 개선율이 1997~2008년의 연평균 4.0%에서 2008~2011년에는 연평균 0.4%로 낮아졌기 때문이다.

Ⅲ. 요인분해분석법

1. 선행연구

에너지를 대상으로 요인분해를 실시한 선행연구로서는 Ang(2004), Oh et al.(2010) 등이 있다. Ang(2005)은 승법적 LMDI와 가법적 LMDI를 이용하여 1990~2000년의 캐나다 산업부문의 에너지 소비 변화를 분해하였다. 이 연구는 산업부문의 에너지소비 변화는 3가지 요인으로, CO₂ 배출량 변화는 5가지 요인으로 분해하였다. 분석결론에 따르면 캐나다 산업부문의 에너지소비 증가는 주로 산업활동효과에 기인한다. 구조효과와 에너지원단위효과는 에너지 효율을 높였고, 이는 에너지 소비량을 감소시켰다.

Oh et al.(2010)은 가법적 LMDI 방법을 이용하여 1990~2005년의 우리나라 온실가스 배출량에 대한 요인분해를 하였다. 분석대상은 가정, 수송 등의 11개 부문이며, 요인은 연료믹스, 에너지원단위, 구조변화, 경제성장효과로 구분하였다. 분석결과에 따르면 4가지 요인들 중에서 경제성장효과는 온실가스 배출을 증가시키는 가장 큰 요인이고, 연료믹스효과와 에너지원단위효과는 온실가스의 배출을 감소시켰다.

우리나라 산업부문의 에너지소비를 대상으로 요인분해를 실시한 연구들 중

에서 LMDI 방법을 적용한 것은 진상현·황인창(2009), 임재규·김종익(2014), 박성준·김진수(2014) 등이다. 진상현·황인창(2009)은 1990~2006년을 대상으로 우리나라 16개 지방자치단체의 에너지소비에 LMDI 방법을 적용하여 소비 특성을 요인분해하였다. 에너지소비 변화의 요인으로는 에너지원단위효과, 1인당 생산효과, 인구효과를 설정하였다. 분석결과에 따르면, 광역시의 경우에 외환위기 이전에는 생산효과로 에너지소비가 증가하였지만, 이후에는 에너지원단위효과가 커지면서 생산 증가에 의한 에너지소비의 증가 중의 일부는 상쇄되었다. 도(道)지역을 살펴보면 외환위기 이전에는 에너지원단위효과가 생산효과와 같은 규모로 에너지소비를 증가시켰지만, 외환위기 이후에는 에너지원단위효과가 생산효과에 의한 에너지소비 증가를 소폭 상쇄하였다.

임재규·김종익(2014)은 1990~2011년을 대상으로 제조업의 전력소비 및 에너지소비 변화의 요인을 분석하였다. 분석결과에 따르면 제조업에서 에너지소비 증가의 요인은 생산효과와 원단위효과이며, 에너지소비를 감소시키는 요인은 구조효과였다. 제조업의 전력소비 변화를 분석한 결과에 따르면, 에너지소비의 증감요인처럼 생산효과와 원단위효과는 전력소비를 증가시키는 요인이지만, 구조효과는 전력소비를 감소시키는 요인이었다.

박성준·김진수(2014)는 우리나라 산업부분의 1차에너지와 최종에너지 소비변화를 Refined Laspeyres 분해법과 LMDI를 사용하여 분석하였다. 분석에 따르면 1차에너지 기준의 결과와 최종에너지 기준의 결과의 차이는 시간의 흐름과 함께 커졌다. 1981년 대비 2011년의 분석결과를 보면, 최종에너지 기준에서 원단위효과는 0.607배 감소하고, 구조효과는 0.227배 증가하였지만, 1차에너지 기준으로 원단위효과는 0.236배 감소하고, 구조효과는 0.434배 증가하였다.

2. 요인분해분석방법

요인분해는 총에너지의 변화를 생산효과, 구조효과, 에너지원단위효과로 나누어서 전체 변화에 대한 각 효과의 기여정도를 계산한다. 에너지소비의 변화에 대한 요인분해를 할 때에 사용하는 지수분석방법으로는 Laspeyres Index 방법과 Divisia Index 방법이 있다.⁵⁾ Laspeyres Index 방법은 특정요인의 변화를 분석하기 위해서 다른 요인들을 기준연도에 고정하며, 에너지효율의 변화는 시간의 변화에 따른 증가율의 변화로 측정한다. Divisia Index 방법은 두 시점 간의 에너지소비량 변화를 분해한다. 에너지효율의 변화 형태에 산술 평균을 이용하는 Arithmetic Mean Divisia Index(AMDI)는 큰 잔차를 갖지만, Log Mean Divisia Index(LMDI)는 잔차를 갖지 않는다. Divisia Index 방법에는 두 시점간의 에너지소비 변화량을 분해하는 가법적(additive) 요인분해와 두 시점간의 에너지소비 변화율을 분해하는 승법적(multiplicative) 요인분해가 있다.⁶⁾ Ang(2004)은 요인분해의 분석결과에서 설명되지 않은 잔차가 없는 LMDI 방법이 산업부문의 에너지소비에 대한 요인분해에 가장 적합하다고 제안하였다.

본 연구에서는 요인분해방법으로 LMDI 방법의 가법적 방법을 사용한다. 가법적 LMDI를 적용한 요인분해구조식은 에너지소비의 경우에 식 (1), 온실가스 배출의 경우에 식(5)이다. 이는 Ang(2005)에서 제시한 것과 같다.

$$\Delta E_{tot} = E^T - E^O = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{ins} \quad (1)$$

5) 많은 국가 및 국제기구들은 에너지효율분석에서 Laspeyres Index 방법 또는 Divisia Index 방법 중의 한 가지를 선택하여 그 방법을 유지한다. Ang(2005)에 따르면 캐나다는 두 가지 방법을 혼용한다.

6) 승법적 요인분해는 해당기간의 에너지소비량 변화를 요인들의 곱으로 표현한다. 각 요인의 효과는 총변화율에 대한 각 요인의 상대적 기준에 따른 기여정도이다.

$$\Delta E_{act} = \sum \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} \ln \left(\frac{Y^T}{Y^O} \right) \quad (2)$$

$$\Delta E_{str} = \sum \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^O} \right) \quad (3)$$

$$\Delta E_{int} = \sum \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^O} \right) \quad (4)$$

E	산업부분의 에너지소비량
E_i	산업 i 의 에너지소비량
Y	총생산액
S_i	총생산에 대한 산업 i 의 비중
I_i	산업 i 의 에너지원단위
ΔE_{tot}	총에너지소비의 변화
ΔE_{act}	생산효과 ⁷⁾
ΔE_{str}	구조효과
ΔE_{int}	에너지원단위효과

식 (1)은 기준년도(0기)부터 비교년도(T기)까지의 에너지소비 변화(ΔE_{tot})를 생산효과(ΔE_{act}), 구조효과(ΔE_{str}), 에너지원단위효과(ΔE_{int})로 분해하며, 잔차는 없다. 생산효과는 경제성장에 의한 효과로서 특정기간의 생산활동이 에너지소비의 변화에 미치는 영향을, 구조효과는 산업정책, 소비자 기호 등에 의한 산업구조의 변화가 에너지소비의 변화에 미치는 영향을, 에너지원단위효과는 에너지효율의 효과로서 기술진보, 에너지가격, 연료간 대체, 에너지절약 정책 등이 에너지소비의 변화에 미치는 영향을 나타낸다. 대상산업의 제품에

7) 성장효과 또는 활동효과라고 한다.

대한 생산기술 또는 생산요소의 투입구조는 에너지원단위효과에 영향을 미치며, 이 효과는 제품 구성의 변화, 생산기술의 진보, 투입요소의 변화 등을 포함한다.

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^O = \Delta C_{mix} + \Delta C_{ins} + \Delta C_{str} + \Delta C_{act} \quad (5)$$

$$\Delta C_{mix} = \sum \frac{C_i^T - C_i^O}{\ln C_i^T - \ln C_i^O} \ln \left(\frac{C_i^T/E_i^T}{C_i^O/E_i^O} \right) \quad (6)$$

$$\Delta C_{int} = \sum \frac{C_i^T - C_i^O}{\ln C_i^T - \ln C_i^O} \ln \left(\frac{E_i^T/Y_i^T}{E_i^O/Y_i^O} \right) \quad (7)$$

$$\Delta C_{str} = \sum \frac{C_i^T - C_i^O}{\ln C_i^T - \ln C_i^O} \ln \left(\frac{Y_i^T/Y^T}{Y_i^O/Y^O} \right) \quad (8)$$

$$\Delta C_{act} = \sum \frac{C_i^T - C_i^O}{\ln C_i^T - \ln C_i^O} \ln \left(\frac{Y^T}{Y^O} \right) \quad (9)$$

C	산업부문의 온실가스 배출량
C_i	산업 i 의 온실가스 배출량
E_i	산업 i 의 에너지소비량
Y_i	산업 i 의 생산액
Y	산업생산액
ΔC_{tot}	온실가스 총배출량의 변화
ΔC_{mix}	에너지믹스효과
ΔC_{int}	원단위효과
ΔC_{str}	구조효과
ΔC_{act}	생산효과

식 (5)는 기준년도(0기)부터 비교년도(T기)까지의 온실가스 배출량의 변화 (ΔC_{tot})를 에너지믹스효과(ΔC_{mix}), 원단위효과(ΔC_{int}), 구조효과(ΔC_{str}), 생산효과(ΔC_{act})로 분해하며, 잔차는 없다. 에너지믹스효과는 에너지원간의 대체 관계가, 원단위효과는 에너지효율을 고려하며 에너지의 사용정도가, 구조효과는 산업구조의 변화가, 생산효과는 특정기간의 생산활동이 온실가스 배출 변화에 미치는 영향을 나타낸다.

IV. 산업부분의 에너지소비와 온실가스 배출에 대한 요인분해분석

1. 분석기간과 대상

요인분해분석에서는 에너지소비가 급증하고 에너지원단위가 악화된 원인을 기간별로 비교하기 위하여 2기간으로 구분한다. 1기는 1998~2007년으로 외환 위기 이후부터 금융위기 이전까지이다. 2기는 2008~2011년으로 에너지소비 증가율이 경제성장률을 상회한 시기이다.

분석 대상은 산업부분의 에너지소비, 연료소비, 전력소비이다. 산업분류는 에너지 밸런스(Energy Balance)표와 업종별 생산액의 산업분류를 이용하므로 서비스업은 제외한다. 에너지소비는 산업부분에서 사용하는 모든 에너지를 대상으로 한다. 연료소비는 에너지의 용도를 고려한 것으로 에너지소비에서 전력과 비에너지유를 제외한다. 전력소비가 증가하면 전환손실이 증가하여 1차 에너지 소비에 영향을 미치므로 전력소비도 고려한다. 연료소비와 전력소비를 대상으로 한 분석은 최종에너지소비에 대한 요인분해분석을 보완한다.⁸⁾

분석에 사용한 에너지통계는 에너지통계연보의 에너지 밸런스(Energy Balance)

8) 본 논문에서 실시한 요인분해에서는 최종에너지와 전력을 구분하였다. 에너지의 전력화를 반영하는 1차 에너지소비 기준의 요인분해분석은 추후의 연구로 한다.

표, 산업의 업종별 최종에너지, 전력소비, 연료소비이며, 산업의 업종별 부가가치통계는 업종별 생산액(2010년 기준)이다.⁹⁾ 온실가스 배출량 통계는 에너지경제연구원 기후변화연구실(2014)의 CO₂ 배출량 통계이다.

2. 산업부문의 에너지소비 변화에 대한 요인분해¹⁰⁾

가. 산업부문의 최종에너지 소비에 대한 요인분해

우리나라 산업부문의 최종에너지 소비에 LMDI 방법을 적용하여 요인분해한 결과는 <표 3>이다. 요인별로 보면 생산효과는 모든 기간에서 양(+)¹¹⁾의 부호를 가지며, 기여도가 가장 크다. 구조효과는 모든 기간에서 음(-)의 부호를 가지며, 에너지소비를 감소시켰고, 산업구조는 지속적으로 에너지효율적인 방향으로 전환된 것으로 나타났다.

구조효과는 1997~2008년에 에너지 효율을 크게 개선하였고, 2008~2011년에는 기여도가 낮아졌지만 여전히 에너지소비를 감소시켰다. 원단위효과는 1997~2008년에 음(-)의 부호를 가지며, 에너지소비를 감소시켰다. 이 기간에는 생산에 대한 에너지저소비 고부가가치 제품의 비중 증가, 에너지다소비산업부문의 에너지효율 향상, 기술개발, 에너지절약 등으로 에너지원단위가 개선되었다. 그러나 2008~2011년에는 다시 양(+)¹²⁾의 부호로 전환되었다. 이는 석유화학업 및 1차금속업의 원단위효과가 이 기간에 에너지소비를 각각 3,156천TOE, 3,250천TOE만큼 증가시켰기 때문이다(<부록 표 1> 참조). 이 기간에 총원단위효과는 에너지소비를 5,486천TOE만큼 증가시켰으며, 구조효과로 감소된 에너지소비의 크기(-5,089천TOE)를 대부분 상쇄하는 규모이다. 각 산업의 에너지원단위가 악화되는 경우는 생산제품에 대한 에너지다소비제품의 구성비가 증가하거나, 투입생산요소들 중의 일부를 에너지로 대체하거나, 기술적 에너지효율이 악화되는 경우이다. 에너지집약도가 매우 높은 전로강

9) 한국은행 경제통계시스템 ecos.bok.or.kr

10) 산업부문 업종별 요인분해분석결과는 <부록 표 1>~<부록 표 3>에 기재한다.

및 기초유분 생산설비의 신·증설로 생산량이 크게 증가한 것이 에너지원단위를 악화시켰다.

〈표 3〉 LMDI를 이용한 산업부분의 최종에너지 소비에 대한 요인분해 결과

구분		구조효과	원단위효과	생산효과	계
1997 ~2008년	변화량(천TOE)	-14,637	-14,048	49,421	20,736
	계수	-0.245	-0.236	0.829	0.348
	기여율(%)	-70.6	-67.7	238.3	100
2008 ~2011년	변화량(천TOE)	-5,089	5,486	17,324	17,721
	계수	-0.294	0.317	1.001	1.024
	기여율(%)	-28.7	31.0	97.8	100

각 산업의 에너지원단위가 악화되는 경우는 생산제품에 대한 에너지다소비 제품의 구성비가 증가하거나, 투입생산요소들 중의 일부를 에너지로 대체하거나, 기술적 에너지효율이 악화되는 경우이다. LMDI 요인분해 방법으로는 이러한 원인들을 분석할 수 없다. 이 두 산업에서 에너지원단위가 악화된 주요 이유는 에너지집약도가 매우 높은 전로강 및 기초유분 생산설비의 신·증설로 생산량이 크게 증가하였기 때문이다.

국내 석유화학산업에서 기초유분(에틸렌, 프로필렌, 부타디엔)을 생산하기 위한 기초원료로 사용되는 납사 소비량은 2008년의 311 백만 bbl에서 2011년의 355 백만 bbl로 증가하였으며, 연평균증가율은 4.5%였다. 이 기간에 기초유분의 생산은 연평균 2.4% 증가하였다.¹¹⁾ 수요측면을 보면 기초유분에 대한 수요의 87.5%(2011년 기준)를 차지하는 국내수요는 2006~2009년에 연평균 5.6% 증가하였으며, 총수출량의 81%(2011년 기준)를 차지하는 대중국 수출은 연평균 9.4%로 증가하였다.

석유화학제품인 합성수지, 합성원료, 합성고무의 생산량은 2008~2011년에 연평균 3.4%로 증가하였다. 합성수지, 합성원료, 합성고무의 수출이 수요에서

11) 2006~2011년에 기초유분 생산량의 연평균증가율은 4.5%였다.

차지하는 비중은 내수의 비중보다 높으며, 2008~2011년에 내수의 연평균증가율은 3.0%이고, 수출의 연평균증가율은 3.6%였다. 이 제품들의 주요 수출국은 중국으로 2011년 기준으로 총수출량의 61%를 차지한다. 석유화학산업의 경우에 기초유분 및 3대 석유화학제품의 수출 증가가 생산량을 증가시키고, 투입요소인 납사 수요 증가를 유발한 것으로 해석할 수 있다.

원료탄 소비 급증을 유발시킨 철강산업의 조강생산을 보면 2008~2011년에 조강 생산량은 2008년의 53.6백만 톤에서 2011년의 68.5백만 톤으로 증가하였고, 연평균증가율은 8.5%였다. 2010년의 조강 생산량은 현대제철과 포스코의 생산설비 증·신설로 2009년에 비해서 21.1%만큼 증가하였다. 로형별로 보면 전로강의 생산은 2008년의 30.2백만 톤에서 2011년의 42.1백만 톤으로 변화하였고, 연평균증가율은 11.7%이다. 전기로강의 생산은 2008년의 23.4백만 톤에서 2011년의 26.4백만 톤으로 변화하였고, 연평균증가율은 4.1%였다.

<표 4>는 우리나라의 철강재 수급이다. 공급에서 철강재 생산량은 2011년에 72.3백만 톤이며, 2008년보다 7.9백만 톤이 증가하였다. 2011년의 수입량은 23.1백만 톤이며, 2008년보다 5.8백만 톤이 감소하였다. 이에 대해서 김태현 외(2014)는 2010년에 현대제철이 고로 2기(연산 400만톤 급/기)를 완공하면서 철강재 생산량은 급격히 증가하였고, 수입을 일부 대체하였다고 설명하였다. 2008~2011년에 철강재 생산이 크게 증가하면서 수출은 2011년에 2008년보다 8.3천만 톤만큼 증가하였다. 이러한 동향은 이 기간의 에너지 소비를 증가시킨 원인이었다.

〈표 4〉 철강재 수급 추이

(단위: 백만톤, %)

구분		2008	2009	2010	2011	연평균증가율
수요	내수	58.6	45.4	52.4	56.4	-1.3
	수출	20.8	20.5	24.9	29.1	11.9
공급	생산	64.4	56.9	65.9	72.3	4.0
	수입	28.9	20.6	25.1	23.1	-7.2

자료: 한국철강협회 steeldata.kosa.or.kr/index.html#, 조사통계, 2014.7.11

최종에너지소비에 대한 요인분해분석결과에 따르면 2008~2011년에 에너지 소비가 급증한 원인은 원단위효과이다. 1997~2008년에는 생산효과에 의한 에너지소비 증가를 구조효과와 원단위효과에 의한 에너지소비 감소가 상당부분 상쇄하였다. 2008~2011년에는 구조효과가 에너지소비를 감소시켰지만, 원단위효과가 이 감소를 모두 상쇄시켜서 산업부분의 에너지소비가 빠르게 증가하게 되었다.

나. 산업부분의 전력 소비에 대한 요인분해

<표 5>는 산업부분의 전력소비에 대해 LMDI 방법을 적용하여 요인분해한 결과이다. 분석결과에 따르면 생산효과는 모든 기간에 전력소비를 증가시켰다. 구조효과는 모든 기간에 전력소비를 감소시켰고, 2008~2011년에 구조효과의 크기는 다소 감소하였다. 원단위효과는 모든 기간에 전력소비를 증가시켰다. 원단위효과는 1997~2008년보다 2008~2011년에 컸으며, 전력소비를 빠르게 증가시킨 원인으로 도출되었다. 2008~2011년에 구조효과는 에너지소비를 감소시켰지만, 원단위효과가 전력소비를 증가시켜서 산업 전체의 전력원단위가 상승하였다. 산업별로 보면 음식담배, 석유화학, 1차금속, 농림어업, 조립금속 등 여러 산업의 원단위효과가 증가하였으며, 석유화학업 및 1차금속업의 원단위효과는 전력소비를 각각 433 천TOE, 531 천TOE만큼 증가시켰다(<부록 표 2> 참조). 이 기간에 총원단위효과는 전력소비를 1,362 천TOE만큼 증가시켰으며, 원단위효과는 구조효과로 감소된 전력소비의 크기(-361 천TOE)를 초과한다. 이는 낮은 전력요금이 유지되면서 산업 전반에 걸쳐서 전력수요가 급증하였기 때문이며, 이 기간에 발전용 연료소비의 급증을 유발하였다.

<표 5> LMDI를 이용한 산업부분의 전력소비에 대한 요인분해 결과

구분		구조효과	원단위효과	생산효과	계
1997	변화량(천TOE)	-1,186	358	7,557	6,729

구분		구조효과	원단위효과	생산효과	계
~2008년	계수	-0.150	0.045	0.956	0.852
	기여율(%)	-17.6	5.3	112.3	100
2008 ~2011년	변화량(천TOE)	-361	1,362	3,091	4,091
	계수	-0.120	0.453	1.027	1.360
	기여율(%)	-8.8	33.3	75.5	100

다. 산업부문의 연료 소비에 대한 요인분해

<표 6>은 산업부문의 연료소비에 LMDI 방법을 적용하여 요인분해한 결과이다. 2008~2011년에 구조효과는 연료소비를 감소시켰지만 원단위효과는 연료소비를 증가시켰다. 후자가 전자보다 커서 결과적으로 연료소비는 증가하였다. 이는 최종에너지와 전력소비에 대한 요인분해분석결과와 동일하다. 그러나 1997~2008년에 생산효과는 연료소비를 증가시켰지만 구조효과와 원단위효과가 이 증가를 상쇄하였다. 따라서 연료소비는 감소하였다. 연료소비는 2009년까지는 감소하였지만, 2008~2011년에는 원단위효과로 증가하였다.

<표 6> LMDI를 이용한 산업부문의 연료소비에 대한 요인분해 결과

구분		구조효과	원단위효과	생산효과	계
1997 ~2008년	변화량(천TOE)	-10,311	-12,720	21,954	-1,077
	계수	-0.339	-0.418	0.721	-0.035
	기여율(%)	957.3	1,181.0	-2,038.3	100
2008 ~2011년	변화량(천TOE)	-1,546	1,818	6,752	7,025
	계수	-0.229	0.270	1.002	1.042
	기여율(%)	-22.0	25.9	96.1	100

3. 산업부문 온실가스 배출 변화에 대한 요인분해

<표 7>은 산업부분의 온실가스 배출에 가법적 LMDI 방법을 적용하여 요인분해한 결과이다. 요인으로는 구조효과, 생산효과, 원단위효과, 에너지믹스효과를 고려한다.

생산효과는 두 기간에서 모두 양(+)이며, 기여도가 가장 크다. 산업구조는 온실가스의 배출을 감소시키는 쪽으로 변화하였다. 구조효과는 1997~2008년에 온실가스 배출을 크게 감소시켰고, 2008~2011년에 그 기여도는 작아졌지만 여전히 온실가스 배출을 감소시켰다. 구조효과의 영향은 에너지소비에 대한 요인분해분석결과와 유사하다.

<표 7> LMDI를 이용한 산업부문 온실가스 배출 요인분해 결과

구분		에너지믹스	원단위	구조	생산	계
1997 ~ 2008년	변화량(천CO ₂ 톤)	11,062	-44,958	-44,905	128,338	49,538
	계수	0.071	-0.287	-0.287	0.820	0.316
2008 ~ 2011년	기여율(%)	22.3	-90.8	-90.6	259.1	100.0
	변화량(천CO ₂ 톤)	17,903	11,794	-8,845	46,254	67,106
2008 ~ 2011년	계수	0.402	0.265	-0.199	1.038	1.506
	기여율(%)	26.7	17.6	-13.2	68.9	100.0

주: 온실가스 배출량은 간접배출을 포함한다.

온실가스 배출 변화에 대한 요인분해분석에서도 원단위효과는 2008~2011년에 온실가스 배출을 증가시키는 주요 요인이었다.¹²⁾ 원단위효과는 1997~2008년에 온실가스 배출을 감소시켰지만, 2008~2011년에는 원단위효과가 11.8 백만 CO₂ 톤(기여율 17.6%)의 온실가스 배출량을 증가시켰다. 이는 2008년 이후

12) 에너지소비에 대한 요인분해분석결과에 따르면 원단위효과는 2008~2011년의 에너지소비 급증에 크게 기여하였다

에 에너지소비가 급증하면서 온실가스 배출도 함께 증가하였기 때문이다.

에너지원간 대체를 나타내는 에너지믹스효과는 2008~2011년에 온실가스 배출을 크게 증가시켰다. 1990~2008년에 에너지믹스효과는 온실가스 배출을 증가시켰고, 2008~2011년에는 온실가스 배출을 더욱 크게 증가시켰다. 2008~2011년에 산업부문의 온실가스 배출 증가량은 67.1백만 CO₂ 톤이었고, 이 중의 26.7%는 에너지믹스효과에 기인한다. 에너지믹스효과를 산업 업종별로 보면 석유화학업이 5.5백만 CO₂ 톤, 기타제조업이 4.9백만 CO₂ 톤, 조립금속업이 3.2백만 CO₂ 톤, 1차금속업이 1.4백만 CO₂ 톤만큼 기여하였다(<부록 표 3> 참조).

2008~2011년에 우리나라의 산업구조는 에너지저소비형으로 변화되었다. 그러나 이 기간에 산업의 원단위효과와 에너지믹스효과는 온실가스 배출을 증가시켜서 온실가스 배출이 증가하였다.

V. 결론

2000년대에 들어서 우리나라의 에너지소비는 안정적 증가세를 보였고 에너지원단위도 하락하여 국가 전체의 에너지효율도 개선되었다. 이러한 경향이 2008~2011년에 달라졌으며, 이 기간에 총에너지소비의 증가율은 경제성장률을 상회하였고 에너지원단위는 악화되었다. 에너지소비에서 가장 높은 비중을 차지하는 산업부문은 2008~2011년에 에너지소비의 증가를 주도하였다.

이에 본 연구에서는 1997~2008년과 2008~2011년의 두 기간으로 구분하여 산업부문을 대상으로 에너지소비, 전력소비, 연료소비, 온실가스 배출에 대한 요인분해를 실시하였다. 요인분해분석방법으로는 가법적 LMDI 방법을 이용하였다. 분석결과에 따르면, 구조효과는 모든 기간에 대해서 음(-)이며, 우리나라의 산업구조는 지속적으로 에너지저소비형으로 전환하고 있는 것으로 나

타났다. 이에 비해서 원단위효과는 1997~2008년에는 에너지소비를 감소시켰지만 2008~2011년에는 에너지소비를 증가시켰다. 이는 산업부분의 에너지소비, 연료소비, 전력소비에서 동일하게 나타났다.

산업부분의 에너지원단위는 생산품의 구성, 투입요소의 대체, 기술적 에너지효율의 변화 등으로 결정되지만, LMDI 요인분해분석은 이 요인들을 분해하지 못한다. 그러나 2008~2011년에 전로강 및 기초유분의 생산설비가 증설되어 생산량이 크게 증가하면서 에너지집약도가 높은 석유화학업 및 1차금속업의 에너지원단위가 악화된 것을 고려하면 생산품의 구성이 원단위효과를 악화시킨 주된 요인이라고 할 수 있다. 그리고 낮은 전력요금에 의한 전력수요 증가는 전력원단위를 악화시키고 발전용 연료소비 급증을 유발하였다고 해석할 수 있다.

2008~2011년에 철강산업 및 석유화학산업의 생산량 증가는 주로 수출 증가로 이어졌고, 이는 에너지소비를 급증시켰다. 석유화학산업의 경우에 수출수요가 기초유분의 생산 증가를 주도하였고, 석유화학제품 3대 부문(합성수지, 합성연료, 합성고무)의 경우에 수출의 증가가 내수의 증가보다 다소 높았다. 철강산업의 경우에 고로설비가 증설되면서 전로조강의 생산량이 급증하였고, 이와 함께 철강재 수출도 크게 증가하였다. 2008~2011년에는 온실가스 배출도 크게 증가하였다. 요인분해분석결과에 따르면 산업의 원단위효과와 에너지믹스효과가 온실가스 배출을 증가시켰다.

LMDI 요인분해분석 결과에 따르면 2008~2011년에 산업부분 에너지소비가 급증한 요인은 원단위효과에 기인하고, 이는 주로 석유화학산업 및 철강산업의 설비증설로 에너지다소비제품 생산량이 증가하였기 때문이다. 또한 낮은 전기요금으로 인해 산업 전반에 걸쳐 원단위효과가 전력소비를 크게 증가시켰으며, 이로 인한 발전연료투입량은 크게 증가하였다. 2011년 이후 최근까지 에너지소비는 안정적인 증가세를 지속하고 있다. 이는 에너지다소비산업에서의 설비 증설이 둔화되고, 에너지 상대가격 구조가 개편되면서 에너지원간 가격 왜곡이 개선되고 있기 때문이다. 에너지수급 안정을 위해서는 합리적인 에

에너지경제연구 ● 제 14 권 제 3 호

너지 상대가격 구조를 유지하는 것은 중요하다. 에너지다소비 산업구조를 에너지저소비형으로 전환하는 노력은 에너지수급 안정화와 온실가스 감축목표 달성을 위해 반드시 필요하다.

접수일(2015년 8월 31일), 게재확정일(2015년 10월 11일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김태현 외, 2014, 「에너지다소비 산업구조 심화요인 분석 및 경제적 파급효과 분석」, 기본연구보고서 14-09, 에너지경제연구원
- 박성준·김진수, 2014, “우리나라 1차 에너지와 최종에너지 소비 변화요인 분해분석”, 「자원·환경경제연구」, Vol.23, No.2, pp.305~330.
- 에너지경제연구원, 2013, 중기에너지수요전망(2012~2017), 제14권, 2013년 5월
_____, 2014, 에너지통계연보 2013
- 임재규·김종익, 2014, “국내 산업부분의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인분해 방법론 활용”, 「에너지경제연구」, Vol.13, No.1, pp.121~143.
- 진상현·황인창, 2009, “지수분해분석을 이용한 지자체의 에너지 소비특성에 관한 연구”, 「자원·환경경제연구」, Vol.18, No.4, pp.577~586.
- 한국석유공사, 2012, 2011년 국내석유수급 동향 및 2012년 전망
_____, 2013, 2012년 국내석유수급 동향 및 2013년 전망
- 한국철강협회, 2014, 철강보, “2013년도 수요산업별 철강재 출하구조 보고서”, 34권 9호 및 36권 5호
- Ang, B. W., 2004. “Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method?”, Energy Policy, Vol.32, pp.1131~1139
_____, 2005. “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide”, Energy Policy, Vol.33, pp.867~871
- Baležentisa, A., T. Baležentisb, D. Streimikienec, 2011, “The energy intensity in Lithuania during 1995 - 2009: A LMDI approach”, Energy Policy, Vol.39, pp.7322 - 7334
- Greening, L. A., G. Boyd, J. M. Roop, 2007, "Modeling of industrial energy consumption: An introduction and context", Energy Economics, Vol.29, pp.559 - 608
- Oh I, W. Wehrmeyer, Y. Mulugetta, 2010, "Decomposition analysis and mitigation

strategies of CO₂ emissions from energy consumption in South Korea", Energy Policy, Vol.38, pp.364-377

한국은행 경제통계시스템	ecos.bok.or.kr
한국석유공사	www.petronet.co.kr/main2.jsp , 석유수급총괄 www.petronet.co.kr/main2.jsp , 석유제품생산
한국석유화학공업협회	www.kpia.or.kr/index_jungbo.php 석유화학수급
한국철강협회	steeldata.kosa.or.kr/index.html# 테마별통계 steeldata.kosa.or.kr/index.html# 조사통계

< 부 록 >

<부록 표 1> 2008~2011년 산업부문 업종별 에너지 소비 변화 요인분해

구분	최종에너지 소비(천 TOE)			
	생산효과	구조효과	원단위효과	총효과
음식담배	271	-271	127	127
섬유의복	341	-153	-196	-8
목재나무	296	-166	-234	-104
화학	8,798	-3,743	3,156	8,211
비금속	914	-421	-563	-69
1차금속	4,094	-220	3,250	7,124
조립금속	1,435	669	-116	1,989
기타제조업	645	-133	-348	164
농림어업	491	-586	317	222
광업	37	-65	93	65
합계	17,324	-5,089	5,486	17,721

<부록 표 2> 2008~2011년 산업부문 업종별 전력 소비 변화 요인분해

구분	전력 소비(천 TOE)			
	생산효과	구조효과	원단위효과	총효과
음식담배	121	-121	127	127
섬유의복	174	-78	-5	91
목재나무	167	-93	-13	61
화학	617	-262	433	787
비금속	165	-76	-54	36
1차금속	564	-30	531	1,065
조립금속	1,091	509	80	1,679
기타제조업	34	-7	-12	15
농림어업	134	-160	214	188
광업	24	-42	59	41
합계	3,091	-361	1,362	4,091

〈부록 표 3〉 2008~2011년 산업부문 업종별 온실가스 배출 변화 요인분해

구분	온실가스 배출(천 CO ₂ 톤)				
	생산효과	구조효과	원단위효과	에너지믹스효과	총효과
음식담배	1,091	-1,091	511	396	908
섬유의복	1,474	-660	-848	588	554
목재나무	1,330	-746	-1,051	558	91
화학	9,352	-3,979	3,355	5,531	14,258
비금속	3,588	-1,651	-2,208	514	243
1차금속	16,384	-882	13,005	1,443	29,949
조립금속	7,322	3,414	-590	3,150	13,296
기타제조업	3,716	-768	-2,005	4,942	5,886
농림어업	1,816	-2,168	1,173	720	1,541
광업	181	-317	452	62	379
합계	46,254	-8,845	11,794	17,903	67,106

Tae Heon Kim*, Deok Oh Lim** and Yoon Kyung Kim***

Energy intensity, which shows energy efficiency of national wide, of Korea became better in the late of 1990. However energy intensity during 2008~2011 became worse. In this paper we made decomposition analysis for the surge of energy consumption and GHG emission in industrial sector who take main role in energy consumption of Korea during 2008~2011. There are two time period, which are 1998~2007 and 2008~2011 in decomposition analysis. Production effect decreased energy consumption but energy intensity effect increased energy consumption. Structure effect in decreasing of energy consumption was lower than the other period. Iron industry and petrochemical industry who had constructed and added new facilities. And both of industries produce more much energy used products made energy intensity worse. Decomposition analysis for GHG emission showed that energy intensity effect and energy mix effect increased GHG emission.

Key Words : decomposition, energy consumption, GHG, industrial sector, LMDI

* Research fellow, Korea Energy Economics Institute, thkim@keei.re.kr

** Research assistant, Korea Energy Economics Institute, dolim14229@keei.re.kr

*** Associate Professor, Ewha Womans University, corresponding author. yoonkkim@ewah.ac.kr