에너지경제연구 제 10 권 제 1 호
Korean Energy Economic Review
Volume 10, Number 1, March 2011 : pp. 49~76

LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석*

김수이** · 김현석***

요 약

본 논문은 LMDI(Log Mean Divisia Index)방법론을 이용하여 국내 제조업의 에너지 소비에 대한 요인분해 분석을 하였다. 국내 제조업의 에너지 소비에 대한 요인분해는 크게 생산효과, 구조효과, 집약도 효과 등 3가지로 요인으로 분해하였다. 1991년부터 2007년까지 국내 제조업의 온실가스 배출 변화요인을 분석한 결과를 보면 국내 제조업의 에너지 소비는 대부분 생산효과에 의해서 증가하였다. 구조효과는 2000년 이후 국내 에너지 소비 감소요인으로 작용하였으며, 집약도 효과는 2005년 이후 에너지 소비 감소요인으로 작용하였다. 요인분해분석에 의해 에너지집약도가 에너지소비 감소 요인으로 가장 많이 기여한 산업은 1차금속 · 비철금속, 조립금속, 비금속, 섬유의복 등이다.

주제어 : 분해분석, LMDI, 에너지집약도, 산업구조
경제학문헌목록 주제분류 : Q40

* 본 연구논문은 에너지경제연구원 기본연구보고서 “저탄소 경제시스템 구축 전략 연구: 저탄소경제체제 구축전략 수립”의 일부를 초청 게재한 것입니다.
** 원광대학교 국제통상학부 교수(주저자). suyikim@wku.ac.kr
*** 에너지경제연구원, 부연구위원(교신저자). hyun.kim@keei.re.kr

Ⅰ. 서 론

2012년 이전 기후변화에 대한 대응체제는 온실가스 감축 '의무부담'이 있는 선진국(부속서 Ⅰ 국가)과 '의무부담'이 없는 개발도상국(비부속서 Ⅰ국가)국가로 이분화되어 진행됨으로써 우리나라는 상대적으로 온실가스 감축에 비켜나 있었다. 하지만 코펜하겐 기후변화협약 당사국총회를 기점으로 기후변화 대응체제는 선진국뿐만 아니라 개발도상국들에게도 책임 있는 역할을 요구하였다. 이에 우리나라도 2009년 8월 3가지 온실가스 감축 시나리오를 발표하고 2009년 11월 16일에는 우리나라의 중기(2020) 감축목표를 기준전망치(BAU, Business as Usual) 대비 30% 감축으로 결정하였다.

본 연구에서는 지난 20년간 우리나라의 제조업부문에 대한 에너지소비의 구체적인 특성을 분석함으로써 장기적인 관점에서 저탄소 경제체제를 구축에 대응하고자 한다. 특히 생산수준 변화, 산업구조 조정, 에너지원단위 변화 등의 파악을 통해서 온실가스 감축을 위해서 어떠한 관점에서 대응책을 마련하는 것이 우리나라의 저탄소체제를 마련하는데 보다 효율적인지를 살펴보고자 한다.

본 논문에서 제조업부문으로 그 연구범위를 한정한 것은 에너지 관련 데이터가 산업별로 잘 구축되어 있는 부문이 제조업부문이기 때문에 산업구조조정에 대한 효과를 분석하기가 용이하기 때문이다. 주요 분석방법으로는 로그평균디비지아지수(LMDI)법을 사용하였다. 이 방법론은 에너지소비를 분해하는 과정에서 디비지아 지수와 로그평균가중치를 사용하고 있으며, 분해 이후에 잔차가 남지 않는다는 특징을 가지고 있다. 그리고 다른 기법에 비해 이론적인 기초와 적용 가능성, 결과해석의 편리성 등이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

국내 제조업의 에너지 소비에 대한 요인분해는 크게 생산효과, 구조효과, 집약도 효과 등 세 가지 요인으로 분석하였다. 1991년부터 2007년까지 국내

제조업의 에너지 소비 변화요인을 분석한 결과를 보면 국내 제조업의 에너지 소비는 생산효과에 의해서 대부분 증가한 것으로 파악되었다. 그리고 구조효과와 집약도 효과는 에너지 소비를 줄이는 역할을 하였다. 같은 기간에 대하여 상대적으로 집약도 효과보다는 구조효과가 에너지소비 감소에 더 큰 역할을 하였다. 한편 시계열로 에너지 소비를 요인분해 해 본 결과 1998년 IMF체제를 전후로 에너지소비 패턴에 변화가 일어났다. IMF체제 이후로 구조효과에 의한 에너지소비 감소가 IMF체제 이전보다 더욱 두드러진 것이 특징이다. 산업별로는 1차금속, 조립금속, 비금속, 섬유의복 등의 에너지집약도 개선 효과가 두드러졌다.

제 Ⅱ장에서는 선행연구 및 연구방법론에 대해 알아보고 본 연구와의 차별성을 살펴본다. 제 Ⅲ장에서는 국내 제조업의 에너지소비 현황과 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 파악한다. 제 Ⅳ장에서는 국내 제조업의 에너지 소비에 대한 LMDI 요인 분해 분석결과를 제시하며, 제 Ⅴ장에서 결론을 제시한다.

Ⅱ. 선행연구 및 연구방법론

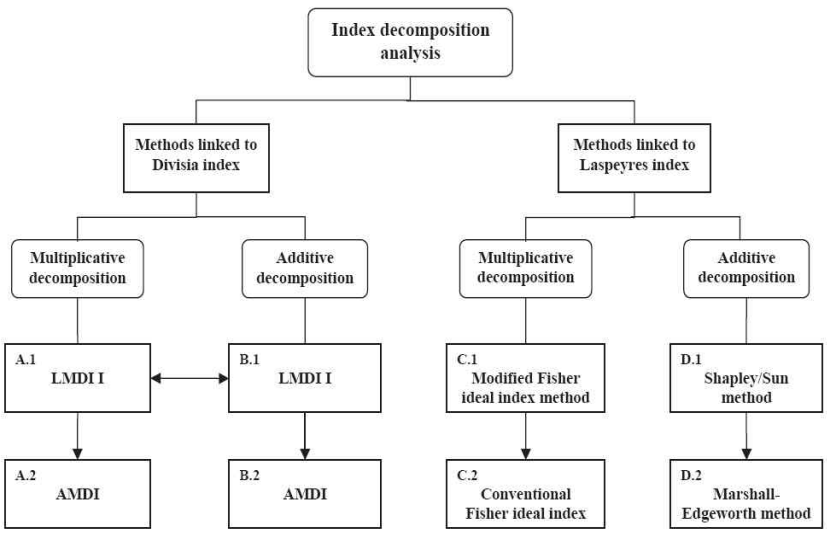
2.1 선행연구

요인분해 방법은 크게 라스파이레스 인덱스(Laspeyres Index)와 디비지아 인덱스(Divisia Index) 등 두 그룹으로 나눌 수 있다. 1970년대 후반과 1980년대 초기에 주로 사용된 방법론은 라스파이레스 인덱스에 근접한 것인데 어떤 한 요인의 변화를 분석하기 위해서 다른 요인들은 기준 연도에 고정시켜 놓았다. 대표적인 사례가 미국과 영국의 산업부문 에너지 사용에 대한 Jenne and Cattell(1983)과 Marlay(1984)의 연구를 들 수 있다. 그 이후로 Reitler et

al.(1987), Howarth et al.(1991), Park(1992), Sun(1998), Ang et al.(2002) 등이 라스파이레스 인덱스에 대한 보다 추가 연구를 진행하였다. 그 이후로 Boyd et al.(1998)이 에너지 요인 분해 분석에서 라스파이레스 인덱스에 대항한 디비지아 인덱스를 제안하였으며, 그 이후로 디비지아 인덱스에 대한 추가 연구가 Boyd et al.(1988) Liu et al.(1992), Ang(1994), Ang and Choi(1998), Ang et al.(1998), Ang and Liu(2001)에 의해서 진행되었다.

[그림 1]은 주요 에너지 요인분해 분석 방법을 제시하고 있다. 왼쪽의 두 방법론은 디비지아 인덱스이고 오른쪽 두 방법론은 라스파이레스 인덱스이다. 디비지아 인덱스는 승법적(Multiplicative) 요인분해와 가법적(Additive) 요인분해로 나눌 수 있는데 가법적 요인분해는 총 변화에 대한 변화율(ratio)을 요인분해한 것이며, 가법적 요인분해는 변화량(difference)을 요인 분해한 것이다.

[그림 1] 주요 에너지요인분해 분석 모형



자료: B.W. Ang, 2004 “Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the perferred method?”, *Energy Policy* 32, 1131-1139.

승법적 LMDI I(Log Mean Divisia Index I)은 Ang and Liu(2001)에서, 가법적 LMDI I은 Ang et al.(1998)에 제시되었다. 이 두 가지 방법은 모두 factor-reversal test를 만족하는데 이는 설명되지 않는 잔차(Residuals)가 결과에 남지 않는 장점을 가지고 있다는 것이다. 그리고 이 두 방법론은 Aggregation에서 일관성을 유지하고 있다. 이는 산업을 여러 부문으로 나누어 그룹별로 다시 재구분하여 분석할 때 각 그룹별 분석결과를 이용하여 전체 요인 분해 결과를 도출할 수 있다는 것이다(Ang and Liu, 2001).

AMDI(Arithmatic Mean Divisia Index)는 로그평균 대신에 산술평균을 사용한다는 점에서 차이가 있다. 결과적으로 이 공식은 LMDI I보다는 공식이 단순하다는 장점이 있다. 이에 대한 승법적 방법론은 Boyd et al.(1987), 가법적 방법론은 Boyd et al.(1988)에 제시되어 있다. AMDI 방법론도 LMDI I 방법론 대신에 많은 경우 사용되었으며, 그 요인분해 분석 결과도 LMDI I 결과와 유사하다. 그러나 AMDI 방법론은 첫째, factor-reversal test를 만족하지 않으며, 둘째, 데이터가 0의 값을 가질 때 요인분해가 되지 않는다는 단점이 있다. AMDI는 다음과 같은 경우에 큰 잔차를 가진다. 첫째, 두 국가 사이에 데이터의 차이가 큰 경우 국가 간 요인 분해를 할 경우, 둘째, 잔차가 시간에 비례하여 축적되도록 장기간에 걸쳐서 요인분해를 할 경우, 셋째, 데이터의 변화가 급격한 장기간을 대상으로 요인분해를 할 경우이다. 한편 LMDI방법론에서는 데이터가 0의 값을 가질 때 이 값이 계산과정에서 아주 작은 양(+)의 값으로 수렴되는 반면, AMDI방법론에서는 이러한 수렴 기능이 없다. 따라서 이와 같은 점에서 두 방법이 차이가 있으므로 LMDI방법론과 AMDI방법론을 선택해야 한다면 LMDI를 선택하는 것이 바람직하다.

라스파이레스 인덱스와 결부된 방법론으로는 승법적 요인분해와 가법적 요인분해가 있다. 승법적 요인분해 방법으로는 Modified Fisher ideal index method이 있다. 이 방법론은 Ang et al.(2002)에 의해서 제안되었는데 완전한 요인분해가 가능하다. 그리고 단 두 개의 요인만 있을 경우에는 Modified Fisher ideal index method이 경제학에서 사용되는 Conventional Fisher ideal

index와 동일하다. 가법적 요인분해 방법으로는 Sharply 요인분해 방법론이 있다. 이 방법은 처음에 비용 배분 문제에 도입되었는데 Albercht et al.(2002)에 의해 에너지 요인 분해에도 도입되었다. Sun(1998)에 의해 제안된 방법론도 Sharply에 의해 제안된 모형과 동일하다. Sharpley/Sun방법론도 완전 요인 분해가 가능하며, 요인 분해 요소가 2개일 경우에는 이 Sharpley/Sun 방법은 Marshall-Edgeworth 방법과 동일하다. 그러나 이러한 Laspeyres Index와 연관된 방법들은 Aggregation에서 일관성을 유지하지 못한다는 단점이 있다.

[그림 1]에 제시된 방법론 이외에도 Conventional Laspeyres Index Method이 있는데 이 방법은 잔차의 크기가 너무 크다는 단점을 가지고 있다. 그리고 Adaptative Weighting Parametric Divisia Index 방법론(Liu et al., 1992; Aug, 1994)은 잔차의 크기는 상대적으로 적은 편이지만 계산방식이 너무 복잡하다는 단점이 있다. Chung and Rhee(2001)가 제안한 Additative Perfect Decomposition Method는 역시 계산이 복잡하다는 단점이 있다. Ang and Choi(1997)가 제안한 LMDI II방법은 LMDI I 방법론과 매우 유사한 결과를 내지만 공식이 복잡하다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 여러 가지 방법론 중에서 가장 많은 장점을 가지고 있는 LMDI I 방법론(이하 LMDI)에 의해 에너지소비를 분석하고자 한다.

LMDI 지수분해분석 방법론을 이용한 국내외 에너지소비특성이나 온실가스 배출특성에 대한 연구는 국내외에 다수 있다. Kaivo-oja and Luukkanen(2004), Ang(2005), Kwon(2005), Lee and Oh(2006), Han and Shin(2007), Liu et al.(2007), Bacon and Bhattacharya(2007), 황인창(2008), 나인강·이성근(2008), 이유아·허은영(2009), 진상현·황인창(2009a), 진상현·황인창(2009b), Ilyoung Oh et al.(2010) 등이 있다.

특히 진상현·황인창(2009a)의 연구에서는 LMDI 요인분해 분석을 통하여 지자체의 에너지 소비특성을 분석하였다. 우리나라를 16개 지방자치단체로 구분하여 1990년부터 2006년 사이 기간을 대상으로 하여 시계열적으로 분석하였다. 지자체의 에너지 소비는 에너지원단위, 일인당 생산량, 인구 등 3가지로

분해하였다. 그리고 나인강・이성근(2008)의 연구는 산업부문에 대한 LMDI 요인분해 분석과 더불어 계량모형으로 요인분해를 확장하였다. 그러나 LMDI 분석이 가법적 요인분해에 한정되었으며, 기준연도 고정 방식(fixed base year) 대신에 기준연도 변경 방식(rolling base year)을 채택하였다.[1)]

이상에서와 같이 국내외 연구를 보면 LMDI 분석방법론을 사용하였으나 그 요인을 분석하는데 있어서 고려되는 요인을 조금씩 다르게 설정하였다. 그리고 분석 대상 기간도 진상현・황인창(2009a, 2009b), 나인강・이성근(2008)을 제외하고는 시계열로 분석하지 않았다. 그리고 대부분의 연구에서 LMDI분석 방법 중에서 가법적 요인분해 방법을 사용하였으며, 승법적 요인분해는 시도하지 않았다.

본 연구에서는 국내 제조업을 대상으로 하여 1991년부터 2007년까지 약 17년간의 국내 데이터를 근간으로 하여 국내 제조업 부문의 에너지소비특성을 분석하였다. 특히 Ang(2005)에서 제시하는 바와 같이 에너지소비특성은 생산효과, 집약도 효과, 산업구조 효과 등 3가지 요인으로 분석하였으며, 방법론적으로는 LMDI 가법적 요인분해 분석과 승법적 요인분해 분석을 모두 분석하였다는데 그 의미가 있다. LMDI 요인분해 분석 방법론에서 가법적 요인분해 분석과 승법적 요인분해 분석은 동전의 이면과도 같다. 하지만 이를 해석하는데 있어서는 두 가지 방법 모두 의미가 있다.[2)] 가법적 요인분해에서는 에너지변화에 대한 절대량을 추정할 수 있으며, 승법적 요인분해에서는 에너지변화에 대한 상대적인 기여도를 측정할 수 있어 향후 에너지절약과 같은 정책

1) 나인강・이성근(2008)의 연구에서는 시계열적으로 분석은 하였으나 전년대비 에너지소비량 변화에 대해서 분석하였다. 즉 기준연도가 1991년이라면 최종연도는 1992년이 되며, 기준연도가 1992년이라면 최종연도가 1993년으로 항상 전년대비 에너지소비량 증가분에 대한 요인분해 분석인 반면 본 연구에서는 기준연도가 1991년으로 고정되어 있고 최종연도가 해마다 1년씩 증가하는 방식이다. 본 연구의 방식은 진상현·황인창(2009a, 2009b)와 동일하다.

2) Ang(2004)에서는 다음과 같이 해석하고 있다. “어떤 경우에는 가법적인 요인 분해가 승법적인 요인분해에 우선될 수 있다. 그리고 어떤 경우에는 그 반대가 될 수 있다. 어떤 방법을 선택하느냐는 결과를 해석하는데 어떤 방법이 유용한가이다.”

을 추진함에 있어서 어떤 부문에 더 중점을 두어 추진하는 것이 유익한지 살펴보고자 한다. 또한 본 연구에서는 각 산업별로도 생산효과와 집약도 효과로 나누어 분석함으로써 각 산업에서의 요인변화가 전체 제조업의 구조효과에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다.

본 연구에서는 제조업의 총에너지소비량의 변화를 세 가지 요소로 분해하였다. 첫 번째 요소는 생산효과이다. 이는 생산활동(Q)이 증가함에 따라서 에너지 소비가 증가하는 것을 말한다. 두 번째 요소는 산업구조효과이다. 이는 각 산업이 총생산에서 차지하는 비중(Q_i/Q)이 변화함에 따라서 제조업의 총에너지소비량에 일으키는 변화를 의미한다. 이 효과는 에너지다소비업종의 증감여부에 따라서 제조업의 에너지소비가 변할 수 있다는 것이다. 세 번째 요소는 집약도 효과이다. 이는 i산업에서 사용하는 에너지소비량 비중(E_i/Q_i)의 개선여부에 따른 효과를 의미한다.

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q S_i I_i, \quad (1)$$

E: 제조업의 에너지 소비량
E_i: i산업의 에너지 소비량
Q: 제조업 생산액
Q_i: i산업의 생산액
S_i: i산업이 제조업 총생산에서 차지하는 비중
I_i: i산업의 에너지 집약도

본 연구에서 사용한 LMDI 승법적 요인분해 분석 구조식은 Ang(2005)에서 준용하기로 한다. 구체적인 구조식은 식 (2)와 같다. 승법적 요인분해는 0기에서 T기까지의 에너지 소비량 증가율을 활동효과(D_{act}), 구조효과(D_{str}), 집약도효과(D_{ins}) 등 세 가지 요인으로 분해가 가능하다. D_{act}는 활동효과에 의한 에너지소비 증가율이고, D_{str}은 구조효과에 의한 에너지소비 증가율이고,

D_{ins}는 집약도 효과에 의한 에너지소비 증가율이다. 따라서 각 효과에 의한 소비 증가율을 모두 곱하면 전체 에너지 소비 증가율이 된다.

$$
\begin{aligned}
D_{tot} &= E^T/E^O = D_{act}D_{str}D_{ins}, \\
D_{act} &= \exp\left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^O)/(\ln E_i^T - \ln E_i^O)}{(E^T - E^O)/(\ln E^T - \ln E^O)} ln\left(\frac{Q^T}{Q^O}\right)\right) \\
D_{str} &= \exp\left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^O)/(\ln E_i^T - \ln E_i^O)}{(E^T - E^O)/(\ln E^T - \ln E^O)} ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^O}\right)\right) \\
D_{ins} &= \exp\left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^O)/(\ln E_i^T - \ln E_i^O)}{(E^T - E^O)/(\ln E^T - \ln E^O)} ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^O}\right)\right)
\end{aligned}
\tag{2}
$$

한편 본 연구에서 사용한 LMDI 가법적 요인분해 분석 구조식은 식(3)과 같다. 가법적 요인분해는 0기에서 T기까지의 에너지 소비량 증가량을 생산효과(E_{act}), 구조효과(E_{str}), 집약도 효과(E_{ins}) 등 세 가지 요인으로 분해가 가능하다. E_{act}는 활동효과에 의한 에너지소비량이고, E_{str}은 구조효과에 의한 에너지소비량이고, E_{ins}는 집약도 효과에 의한 온실가스 증가량이다. 따라서 각 효과에 의한 에너지소비량을 모두 더하면 전체 에너지 소비량 변화량이 된다.

$$
\begin{aligned}
\triangle E_{tot} &= E^T - E^O = \triangle E_{act} + \triangle E_{str} + \triangle E_{ins} \\
\triangle E_{act} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} ln\left(\frac{Q^T}{Q^O}\right) \\
\triangle E_{str} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^O}\right) \\
\triangle E_{ins} &= \sum_i \frac{E_i^T - E_i^O}{\ln E_i^T - \ln E_i^O} ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^O}\right)
\end{aligned}
\tag{3}
$$

이상에서 보는 바와 같이, 승법적 요인분해 구조식과 가법적 요인분해 구조식은 다음과 같은 단순하지만 매우 유용한 이론적인 관계를 가지고 있다.

$$\frac{\triangle E_{tot}}{\ln D_{tot}} = \frac{\triangle E_{act}}{\ln D_{act}} = \frac{\triangle E_{str}}{\ln D_{str}} = \frac{\triangle E_{ins}}{\triangle D_{ins}} \quad (4)$$

그러나 승법적 요인분해와 가법적 요인분해는 해석상에서는 매우 유용하게 달리 활용될 수 있다. 가법적 요인분해는 요인에 따른 절대량을 추정할 수 있으며, 승법적 요인분해는 요인에 따른 상대적인 기여도를 추정할 수 있다.

2.2 분석자료

본 연구의 연구범위는 국내 제조업으로 한정한다. 이는 제조업부문의 경우 분석하고자 하는 에너지 사용량에 대한 자료가 일관성 있게 구축되어 있기 때문이다. 본 분석에 사용된 자료는 제조업 내 산업별 에너지사용량, 산업별 생산액, 산업별 생산자 물가 등이다. 제조업의 업종은『에너지통계연보』에 제시되어 있는 바와 같이 9개 산업으로 분류하였다. 음식담배, 섬유의복, 목재나무, 펄프인쇄, 석유화학, 비금속, 1차 금속, 비철금속, 조립금속, 기타제조 등으로 분류하였다(<표 1>참조).

산업별 에너지사용량은 에너지경제연구원의 『에너지통계연보』 각 연호를 사용하였으며 산업별 생산액은『광공업통계조사보고서』를 사용하였다. 1991년에서 1998년까지는 제8차 개정에 의거하였으며, 1999년 이후 데이터는 제9차 개정에 의거하였다. 산업별 생산액 데이터는 산업별 생산자물가를 반영하여 2005년 불변가격으로 다시 작성되었다.

〈표 1〉 LMDI 분해분석에 사용된 자료

자료목록	자료원	비고
산업별 에너지사용량	에너지경제연구원, 에너지통계연보	1000TOE
산업별 생산액	통계청 국가통계포털	2005년 불변가격
산업별 생산자물가	통계청	생산자 가격

Ⅲ. 국내 제조업의 에너지소비 현황

국내 제조업의 요소별 요인 변화를 살펴보면 <표 2>와 같다. 국내 제조업의 에너지 소비 요인분해분석과 관련된 요소는 크게 생산효과, 구조효과, 집약도 효과로 분해가 가능하다. 따라서 여기에서는 이러한 효과분석과 직접적으로 관련되어 있는 국내 제조업의 산업별 에너지소비, 제조업의 산업별 생산액, 에너지집약도 등을 중심으로 살펴보기로 한다.

우선 제조업 전체의 에너지소비량은 연평균 5.35%로 증가하였다. 1991년에서 2007년까지의 총변화율은 130.24% 증가하였다. 연평균 증가율을 업종별로 살펴보면 석유화학이 8.46%로 가장 높은 증가율을 보이고 있으며, 그 다음으로 조립금속이 7.50% 증가하였다. 그 외 기타제조가 5.56%, 1차 금속 및 비철금속이 3.15% 증가하였다. 이러한 연평균 증가율은 총변화율을 업종별로 다음과 같이 변화시켰다. 석유화학의 경우에는 2007년에 2001년 대비 무려 266.70% 증가하였으며, 조립금속은 218.21%, 기타산업은 137.57% 증가하였다. 그러나 섬유의복의 경우에는 연평균 0.58% 감소하여 2007년 에너지소비가 1991년 대비 8.88% 감소하였다.

한편 산업생산의 증가율은 제조업 전체적으로 연평균 7.84% 증가하였으며, 총변화율은 2007년에 1991년 대비 무려 234.48% 증가하였다. 따라서 제조업의 생산증가는 에너지소비 증가에 많은 영향을 미쳤음을 미루어 짐작할 수

있다. 산업생산의 증가율을 업종별로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 조립금속은 연평균 14.29% 증가하여 2007년 총변화율이 1991년 대비 무려 747.27%를 나타내고 있다. 그 다음으로 1차 금속·비철금속이 연평균 8.21% 증가하여 2007년에는 1991년 대비 무려 253.51% 증가하였다. 그리고 석유화학은 연평균 5.95% 증가하여 2007년 총변화율이 1991년 대비 152.23% 증가하였다.

에너지 집약도를 보면 제조업 전체적으로 에너지집약도가 31.16% 줄어들었다. 조립금속이 가장 에너지집약도가 감소하였으며, 그 외에도 비금속, 1차 금속·비철금속, 비금속, 섬유의복 등의 에너지집약도가 감소하였다. 하지만 음식담배, 목재나무, 펄프인쇄, 석유화학, 기타제조 등은 에너지집약도가 증가하였다.

〈표 2〉 국내 제조업의 산업별 · 요소별 변화(1991~2007, % 변화율)

구분	에너지소비량		산업생산량		에너지 집약도
	연평균변화율	총변화율	연평균변화율	총변화율	
음식담배	1.06	18.29	0.99	17.06	1.05
섬유의복	-0.58	-8.88	0.28	4.61	-12.89
목재나무	1.54	27.73	0.87	14.83	11.24
펄프인쇄	1.79	32.84	0.88	14.99	15.53
석유화학	8.46	266.70	5.95	152.23	45.38
비금속	0.72	12.09	4.43	100.06	-43.97
1차금속·비철금속	3.15	64.19	8.21	253.51	-53.55
조립금속	7.50	218.21	14.29	747.27	-62.44
기타제조	5.56	137.57	2.39	45.97	62.75
제조업전체	5.35	130.24	7.84	234.48	-31.16

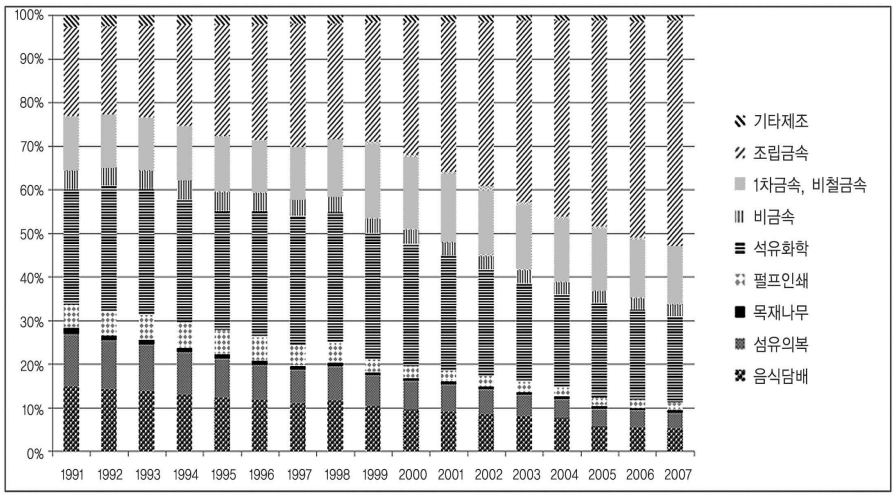
자료: 에너지통계연보 각 연호, 광공업통계조사보고서 각 연호
주: 산업생산은 2005년 기준 불변가격

국내 제조업의 산업구조를 살펴보면 [그림 2]와 같다. 우선 가장 두드러진 변화는 조립금속산업의 비중이 급격히 증가하였다는 것이다. 이는 우리나라 전자산업, 자동차산업 등의 급속한 성장에 기인하는 바이다. 두 번째 변화는 국내 석유화학산업의 비중이 감소하였다는 것이다. 이는 경제전반적으로 에너

지원의 다변화에 기인하는 바가 크다. 석유에 대한 의존도가 감소함과 동시에 원자력, 신재생 등 비화석연료 에너지원의 비중이 증가하였기 때문이다. 그 다음으로 눈에 띄는 부문은 국내 섬유의복산업의 비중이 급격히 감소하였다. 이는 1990년대 이후, 인건비 상승, 중국의 개방개혁정책, 동남아시아의 경제성장 등으로 우리나라의 섬유산업의 경쟁력이 급격히 감소하였기 때문이다. 그 외에도 펄프인쇄, 음식담배의 산업비중도 줄어들었다. 한편 대표적인 에너지 다소비 산업인 1차 금속·비철금속의 비중은 소폭 증가하였다. 그리고 시멘트 산업이 주산업인 비금속의 경우에는 그 비중이 소폭 감소하였다. 이상에서와 같이 지난 20여 년 동안 국내 산업은 산업구조조정이 서서히 진행되어 오고 있다.

[그림 2] 국내 제조업의 산업별 비중 추이 (1991년~2007년)

(단위: %)



Ⅳ. LMDI 분해 분석 결과

1991년부터 2007년까지의 국내 제조업의 가법적 요인분해 결과는 <표 3>과 [그림 4]에 나타나 있다. 각 연도별 결과는 1991년부터 해당 연도까지의 에너지사용량 증가에 대한 요인분해 결과이다. 예를 들면 2007년의 경우에는 1991년에 비해 에너지사용량이 50,866천 TOE 증가하였는데 이중 생산효과에 의해서는 72,239천 TOE가 증가하였으며, 구조효과에 의해서 14,027 천TOE가 감소하였으며, 집약도 효과에 의하여 7,345천 TOE가 감소하였다([그림 4] 참조). 그러나 생산효과와 집약도 효과는 산업별로 상이하게 나타나고 있다.

<표 4>에서는 국내 제조업을 산업별로 요인분해를 하였다. 산업별로는 생산효과와 집약도 효과로 분해할 수 있다. 이 경우 생산효과와 집약도 효과는 산업별로 상이하게 나타나는데 우선 생산효과는 석유화학, 1차금속·비금속, 조립금속 등에서 크게 나타나고 있다. 집약도 효과는 1차금속·비철금속, 조립금속, 비금속, 섬유의복 등에서 나타나고 있다. 즉 대표적인 에너지다소비업종인 석유화학과 1차금속·비금속 산업은 생산효과는 에너지소비를 증가하는데 기여한 반면 집약도 효과로 인하여 에너지소비가 감소하는 성과를 보이고 있다. 이러한 산업별 차이는 전체 제조업의 구조효과를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 즉 에너지다소비업종인 석유화학과 1차금속·비철금속 등의 생산증가효과는 국내 제조업의 요인분해분석 중 산업구조효과를 악화시키는 요인으로 작용하였다는 것을 나타내고 있다.

<표 2>에서 나타난 에너지집약도와 <표 4>의 결과를 비교해 보면, <표 2>에서는 과거 17년 동안 조립금속, 1차금속·비철금속, 비금속, 섬유의복 등의 순으로 에너지집약도가 개선된 반면, <표 4>에서는 집약도 효과에 의한 에너지절약이 1차금속·비철금속, 조립금속, 비금속, 섬유의복 등의 순으로 개선되었다. 따라서 에너지집약도 개선이 에너지절약과 반드시 일치하지는 않는

다는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 에너지절약정책은 에너지집약도만을 목표로 삼을 것이 아니라 요인분해 결과를 바탕으로 성과를 측정해야 할 것이다.

일반적으로 요인분해 결과는 기준 연도와 종료 연도의 지표값을 사용하는데 이 경우에는 많은 자료를 필요로 하지 않는다면 장점이 있는 반면에, 지표값의 불연속성이 큰 경우에는 해석상의 오류가 존재할 수 있다는 단점도 있다. 따라서 시계열(time series)로 분석할 경우에는 연도별 정보를 제공할 뿐 아니라 불연속성이 클 경우 해석상의 오류를 줄여줄 수 있다는 측면에서 장점이 있다. 따라서 본 보고서에서는 기준연도(1991년)와 종료연도(2007년)의 분해분석 결과뿐만 아니라 그 사이 연도에 대한 분해분석결과를 같이 제시함으로써 일반적으로 분해분석 결과가 가지는 해석상의 오류를 줄이고 있다.

1992년 이후, 시계열로 우리나라 제조업의 에너지소비를 요인분해 해본 결과 몇 가지 특징을 발견할 수 있다. 첫째, 우리나라 제조업의 에너지소비 증가는 생산효과에 의해 기인하는 바가 크다. 그리고 구조효과와 집약도 효과에 의해서 에너지소비량이 전반적으로 감소하고 있다. 둘째, 시기적으로 다소 차이를 보이고 있다. 구조효과의 경우, 1997년까지는 구조효과에 의해 에너지소비가 감소하다가 1998년 1999년에는 구조효과에 의해 에너지소비량이 증가하였다. 이 시기는 우리나라 경제가 IMF관리체제에 있던 시기로서 국내 제조업의 구조조정이 진행되고 있던 시기였기 때문이다. 특히 철강기업, 자동차기업 등 대규모 기업의 인수합병이 급진전되고 국내 생산 활동이 비정상적으로 이루어지던 시기였다. 집약도 효과의 경우에는 1997년부터 2003년까지는 에너지집약도 효과에 의하여 오히려 에너지소비가 증가하였다. 하지만 2004년 이후에는 구조효과 집약도 효과 모두에 의해서 온실가스가 감소하였다.

시계열로 산업별로 가법적으로 분해분석한 결과, 생산효과는 [부그림 1]에, 집약도 효과는 [부그림 2]에 제시되어 있다. 생산효과는 석유화학, 1차금속·비금속, 조립금속의 에너지소비증가가 가장 두드러진 반면 에너지집약도에 의한 에너지절약은 1차금속·비철금속, 조립금속, 비금속 등의 순으로 에너지소비가 감소하였다. 특히 1차금속·비철금속, 조립금속, 비금속 등은 IMF를 거치면서 에너지집약도 효과가 더욱 두드러지고 있다.

〈표 3〉 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과(가법적 요인분해)

(단위: 천TOE)

구분	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
1992	3,904	311	3,029	7,244
1993	8,348	660	2,836	11,843
1994	14,128	372	1,333	15,834
1995	20,215	-338	-1,306	18,572
1996	25,453	-269	-2,273	22,911
1997	31,378	-894	1,852	32,336
1998	22,711	154	8,532	31,397
1999	29,844	1,328	3,662	34,834
2000	37,893	-202	837	38,528
2001	41,826	-2,920	466	39,373
2002	48,499	-5,148	123	43,473
2003	52,471	-8,047	1,124	45,548
2004	58,710	-10,899	-37	47,775
2005	62,055	-11,013	-1,613	49,429
2006	66,756	-12,909	-1,759	52,088
2007	72,239	-14,027	-7,345	50,866

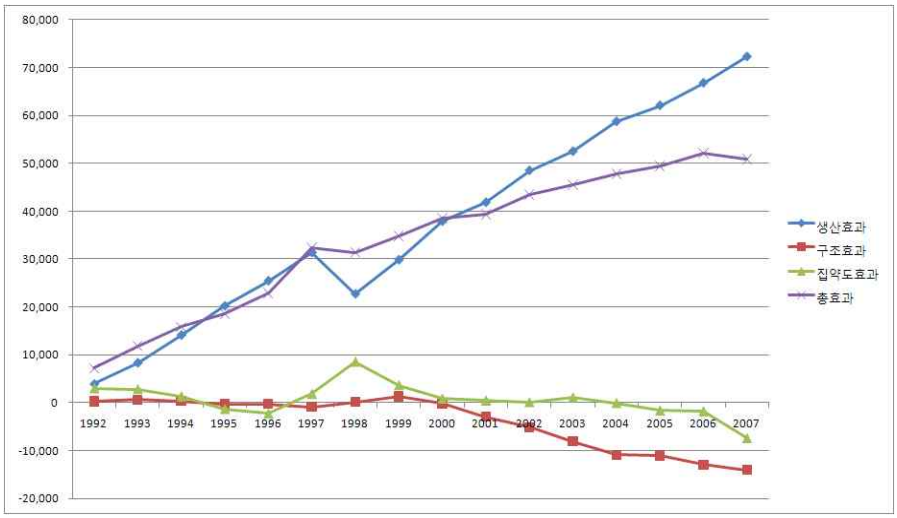
〈표 4〉 산업별 요인분해 분석(1991~2007, 가법적 요인분해)

(단위: 천TOE)

구분	생산효과	집약도효과	총효과
음식담배	246	16	262
섬유의복	106	-325	-219
목재나무	26	20	47
펄프인쇄	210	217	428
석유화학	25,076	10,143	35,219
비금속	3,777	-3,155	622
1차금속, 비철금속	18,728	-11,373	7,354
조립금속	9,061	-4,153	4,908
기타제조	981	1,264	2,245

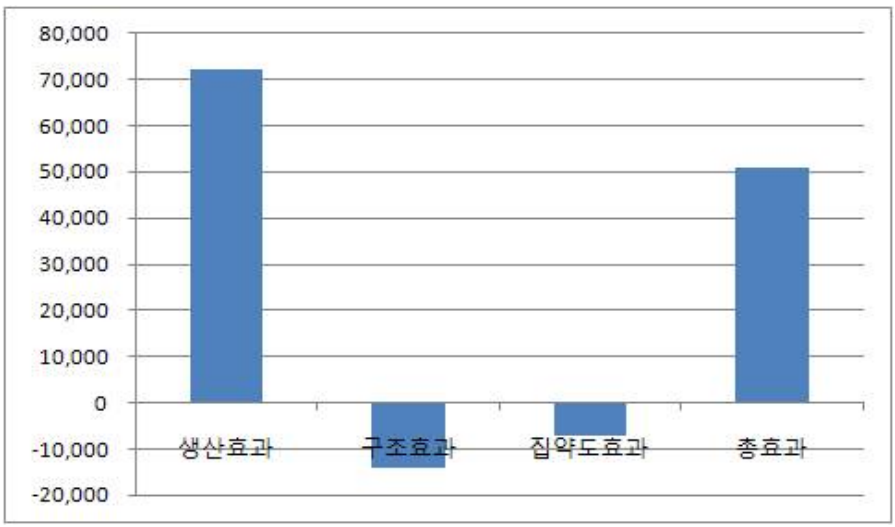
[그림 3] 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과
(가법적 요인분해)

(단위: 천TOE)



[그림 4] 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과
(1991~2007, 가법적 요인분해)

(단위: 천TOE)



가법적 요인분해 결과를 통해서는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 절대적인 증감에 대해서 분석할 수 있다. 하지만 상대적으로 각 요인이 얼마만큼 기여했는지를 평가하기란 쉽지 않다. 물론 [그림 4]에서 상대적인 크기를 가늠하고 이를 통해서 해석할 수 있지만 보다 명확한 수치적 제시가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 승법적 요인분해 결과를 함께 제시한다. 승법적 요인분해 결과도 가법적 요인분해 결과와 일맥상통하고 있다. 가법적 요인분해가 에너지 소비 증가에 대한 절대량에 대한 요인분해라면 승법적 요인분해는 상대적인 기여도에 대한 요인분해라고 해석할 수 있다.

한편 1991년부터 2007년까지의 승법적 요인분해 결과는 <표 5>와 [그림 5]에 나타나 있다. 각 연도별 결과는 1991년부터 에너지증가율에 대한 요인분해 결과이다. 예를 들면 2007년의 승법적 요인분해 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 1991년부터 2007년까지의 에너지소비는 130.24% 증가하였는데 이 중 생산효과에 의한 증가율이 226.86%, 구조효과에 의한 감소율이 20.55%, 집약도 효과에 의한 감소율이 11.35%이다. 따라서 생산효과, 구조효과, 집약도 효과를 모두 곱하면 총효과가 도출된다.

<표 5>에서는 국내 제조업 산업별로 승법적으로 분해하였다. 산업별 분석은 생산효과와 집약도 효과로 분해하였다. 이에 의하면 국내 산업별로 상이한 기여도를 볼 수 있다. 생산효과 기여도가 가장 큰 산업은 조립금속이며 그 뒤를 1차금속·비철금속, 석유화학, 비금속 등이 잇고 있다. 집약도 효과 기여도가 가장 큰 산업은 조립금속, 1차금속·비철금속, 비금속, 섬유의복 등이 그 뒤를 잇고 있다.

[그림 5]를 보면 상대적인 기여도가 일목요연하게 파악할 수 있다. 우리나라의 에너지소비는 집약도 효과와 구조효과에 비해 생산효과가 가장 큰 역할을 하고 있다는 것을 알 수 있다. Ang(2005)에서 제시한 캐나다의 요인분해 결과와 비교해 보면 우리나라의 에너지소비에서 구조효과가 캐나다에 비해 매우 적다는 것을 알 수 있다. 이러한 승법적 요인분해 결과는 특히 다른 국가와 비교하여 분석하는데 유용할 수 있다.

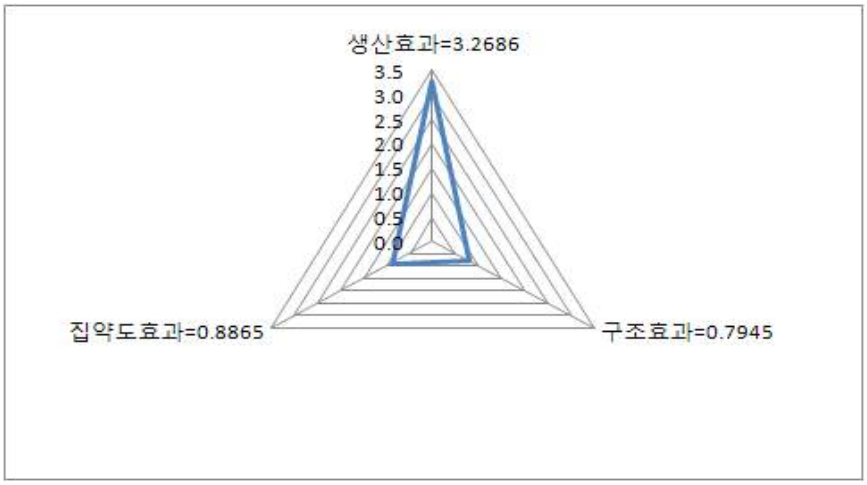
〈표 5〉 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과(승법적 요인분해)

구분	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
1992	1.0960	1.0073	1.0737	1.1855
1993	1.2052	1.0149	1.0655	1.3032
1994	1.3548	1.0080	1.0291	1.4054
1995	1.5272	0.9929	0.9730	1.4755
1996	1.6700	0.9946	0.9552	1.5866
1997	1.7956	0.9835	1.0351	1.8279
1998	1.5323	1.0029	1.1739	1.8039
1999	1.7268	1.0246	1.0693	1.8919
2000	1.9642	0.9964	1.0150	1.9865
2001	2.0973	0.9496	1.0083	2.0081
2002	2.3040	0.9152	1.0021	2.1131
2003	2.4363	0.8723	1.0193	2.1662
2004	2.6694	0.8334	0.9994	2.2233
2005	2.7920	0.8334	0.9737	2.2656
2006	2.9627	0.8106	0.9718	2.3337
2007	3.2686	0.7945	0.8865	2.3024

〈표 6〉 산업별 요인분해 분석(1991~2007, 승법적 요인분해)

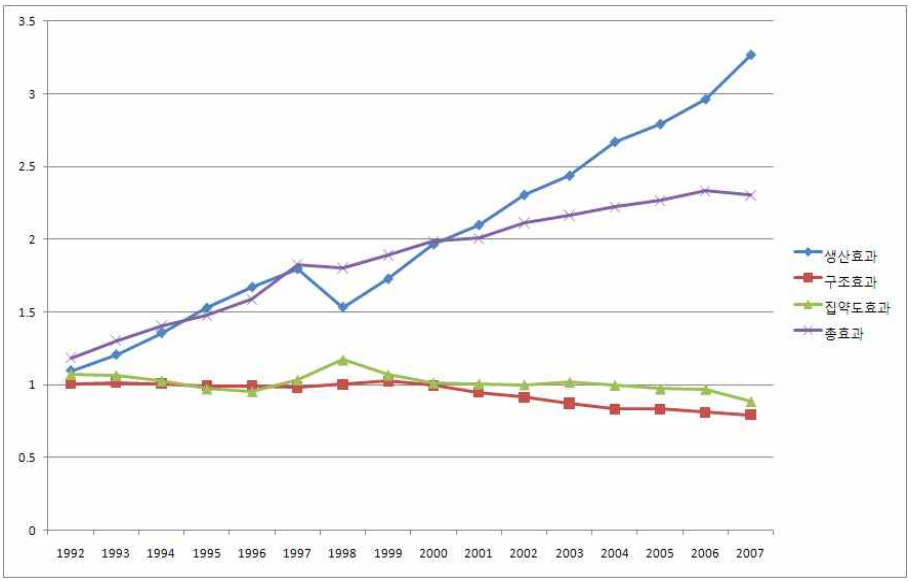
구분	생산효과	집약도효과	총효과
음식담배	1.1706	1.0105	1.1829
섬유의복	1.0461	0.8711	0.9112
목재나무	1.1483	1.1124	1.2773
펄프인쇄	1.1499	1.1553	1.3284
석유화학	2.5223	1.4538	3.6670
비금속	2.0006	0.5603	1.1209
1차금속, 비철금속	3.5351	0.4645	1.6419
조립금속	8.4727	0.3756	3.1821
기타제조	1.4597	1.6275	2.3757

[그림 5] 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과
(1991~2007, 승법적 요인분해)



주: 총효과(2.3024)=생산효과(3.2685)×구조효과(0.7945)×집약도효과(0.8865)

[그림 6] 제조업의 에너지 소비 변화요인 분해분석 결과(승법적 요인분해)



Ⅴ. 결　　론

본 논문은 우리나라의 과거 17년간(1991년~2007년)간의 제조업 부문의 요인분해를 시도하였다. 특히 LMDI 요인분해 방법 중 가법적 요인분해 분석과 승법적 요인분해 분석을 모두 시도하였다는 점에서 의의가 있다.

우리나라 제조업의 에너지 소비를 요인 분해한 결과 다음과 같은 에너지 소비 특성을 확인할 수 있었다. 첫째, 우리나라 제조업의 에너지 소비 증가는 생산효과에 의해 기인하는 바가 가장 크게 나타났다. 그 다음으로 구조효과가 큰 영향을 미쳤으며, 그 다음으로 에너지 집약도 효과가 높게 나타났다. 둘째, IMF를 전후하여 에너지소비에 영향을 미치는 요인들이 상호 다른 패턴을 보이고 있다. IMF 이전에는 구조효과에 의한 에너지 소비 감소보다 집약도 효과에 의한 에너지 소비 감소가 더 크게 나타난 반면 IMF 이후에는 집약도 효과에 의한 에너지 소비 감소보다 구조효과에 의한 에너지소비 감소가 더 크게 나타났다. 이는 IMF체제를 거치면서 한국 제조업의 산업구조가 저탄소 산업구조로 보다 빠르게 이행되고 있다는 것을 의미한다. 셋째, 산업부문별로 요인분해해본 결과, 집약도 효과에 의한 에너지 절약이 1차금속·비철금속, 조립금속, 비금속, 섬유의복 등의 순으로 높게 나타났다. 즉 전통적인 에너지다소비업종인 1차금속・비철금속은 과거 17년 동안 에너지절감이 가장 효과적으로 이루어진 업종중의 하나로 나타났다. 그리고 석유화학은 에너지집약도가 과거 17년 동안 도로 악화된 경우로 나타났다. 따라서 에너지다소비 업종이라 하더라도 업종에 따라서는 그 명암을 달리하고 있어 향후 업종별 대응책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 본 연구결과는 향후 제조업 부문의 산업의 저탄소화와 기후변화 대응과 관련해서 다음과 같은 정책적 함의를 제공해 줄 수 있을 것이다.

산업의 저탄소화와 기후변화 대응과 관련해서는 기본적으로 에너지 소비를 줄임으로써 해결될 수 있다. 다른 선진국들과 비교해 보더라도 산업부문의 에너지소비 비중이 큰 우리나라로서는 에너지 절약이 중요한 당면과제이다. 따라서 에너지 소비를 줄이기 위해서는 생산액(생산효과)을 줄이지 않는 한 산업구조조정과 에너지효율 개선만이 해답이다.

우선 산업부문의 온실가스 감축을 위해서는 에너지 저소비형 산업구조로의 전환을 고려해 볼 필요가 있다. 즉 에너지 소비량이 많은 산업 대신 첨단 제조업이나 정보통신산업 중심으로 전환해 나갈 경우 경제성장을 유지하면서도 에너지 소비를 줄일 수 있다. 또 다른 방법은 동일한 철강산업이라 하더라도 부가가치가 높은 제품의 비중을 늘리는 것도 원단위 개선에 도움이 될 것이다. 전자의 경우에는 산업구조조정의 기간이 많이 걸리는 반면에 후자의 경우에는 제품구조조정을 통해서 비교적 단기간에 에너지 원단위를 개선할 수 있는 장점이 있다.

한편 에너지 집약도를 개선함으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다. 현재 산업부문의 에너지절감을 위해서는 ESCO사업, 자발적 협약 등 다양한 대책이 시행되고 있다. 그리고 보다 엄격한 에너지절감을 위한 목표관리제가 현재 도입 결정되었으며, 올해부터 본격적인 목표설정이 시작된다. 이러한 정책 도입은 국내 에너지집약도 개선에 획기적인 정책으로 평가되고 있다. 장기적인 에너지 집약도 개선을 위해서는 새로운 에너지절감 설비기술이나 공정기술 등이 도입되어야 할 것이며, 이와 관련한 정부의 체계적인 지원도 지속되어야 할 것이다.

접수일(2011년 1월 27일), 수정일(2010년 3월 1일), 게재확정일(2010년 3월 11일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

나인강 · 이성근. 2008. “산업부문 에너지 효율 변화요인 분석.” 자원 · 환경경제연구 17(2) : 255 - 286.

이유아 · 허은녕. 2009. “에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량 변화의 상향식지수분해 분석.” 2009 경제학공동학술대회 자료집.

에너지경제연구원. 2009. 에너지통계연보. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.

에너지경제연구원. 2009. 국가온실가스인벤토리. 경기 의왕 : 에너지경제연구원.

진상현 · 황인창. 2009a. “지수분해분석을 이용한 지자체의 에너지 소비특성에 관한 연구.” 자원 · 환경경제연구 18(4) : 557-586.

_____. 2009b. “지자체의 온실가스 배출특성에 관한 지수분해분석: 에너지부문을 중심으로.” 환경정책 17(3) : 101-128.

통계청. 광공업통계조사보고서. 각 연호. 통계청.

황인창. 2008. “기후변화 대응전략에 따른 이산화탄소 배출량 변화요인 분석: 생태적 근대화 전략을 중심으로.” ECO 12(2) : 153-184.

Ang, B. W.. 1994. “Decomposition of industrial energy consumption :the energy intensity approach.” *Energy Economics* 16(3) : 163-174.

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.. 2005. “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide.” *Energy Policy* 33 : 867-871.

Ang, B. W. and Liu, F. L.. 2001. “A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation.” *Energy Policy* 26 : 537-548.

Ang, B. W., Liu, F.L. and Chung, H. S.. 2002. Index numbers and the Fisher ideal index approach in energy decomposition analysis. Research Report 38/2002. Department of Industrial and Systems Engineering, National University of Singapore.

Ang, B. W., Zhang, F. L. and Choi, K.. 1998. "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition." *Energy Policy* 23 : 489-495.

Bacon, R. and Bhattacharya, S.. 2007. Growth and CO_2 Emission. Washington : World Bank Environmental Department.

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.

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.

Han, T. and Shin, W.. 2007. "Decomposition of CO_2 Emissions in the Manufacturing Sector." *Environmental & Resource Economics Review* 16(3) : 723-738.

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.

Jenne, J. and Cattell, R.. 1983. "Structural change and energy efficiency in industry." *Energy Economics* 5(2) : 114-123.

Kaivo-oja, J. and Luukkanen, J.. 2004. "The EU Balancing Between CO_2 Reduction Commitments and Growth Policies.", *Energy Policy* 32 : 1511-1530.

Kwon, T.. 2005. "Decomposition of Factors Determining the Trend of CO_2

Emissions from Car Travel in Great Britain." *Ecological Economics* 53 : 261-275.

Lee, K. and Oh, W.. 2006. "Analysis of CO_2 Emission in APEC Countries." *Energy Policy* 34 : 2779-2787.

Liu, L., Y. Fang, G. Wu and Wei, Y. M.. 2007, "Using LMDI Method to Analyze the Change of China's Industrial CO_2 Emissions from Final Fuel Use." *Energy Policy* 35 : 5892-5900.

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.

Marlay, R.. 1984. "Trends in industrial use of energy." *Science* 226 : 1277-1283.

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

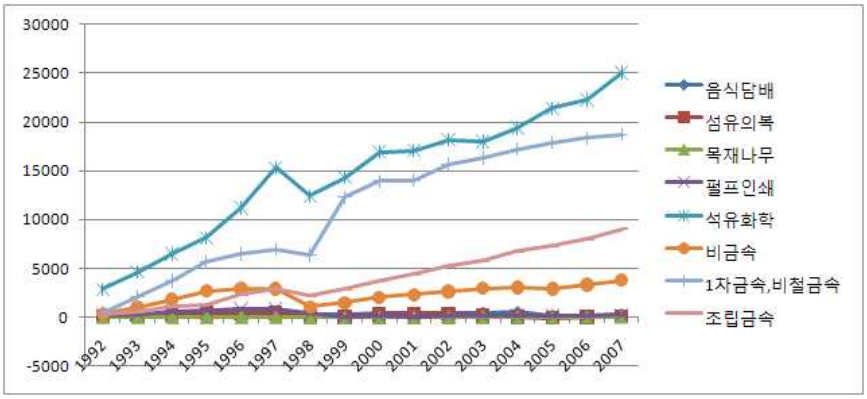
Park, S. H.. 1992. "Decomposition of industrial energy consumption－an alternative method." *Energy Economics* 14(4) : 265-270.

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.

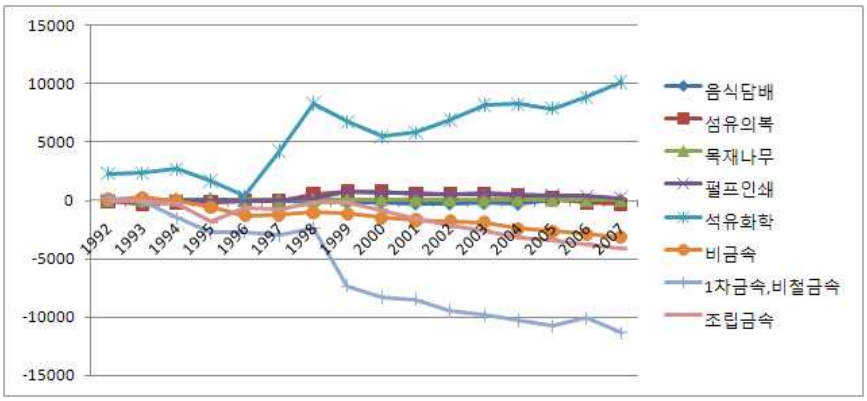
Sun, J. W.. 1998. "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model." *Energy Economics* 20(1) : 85-100.

〈부　　록〉

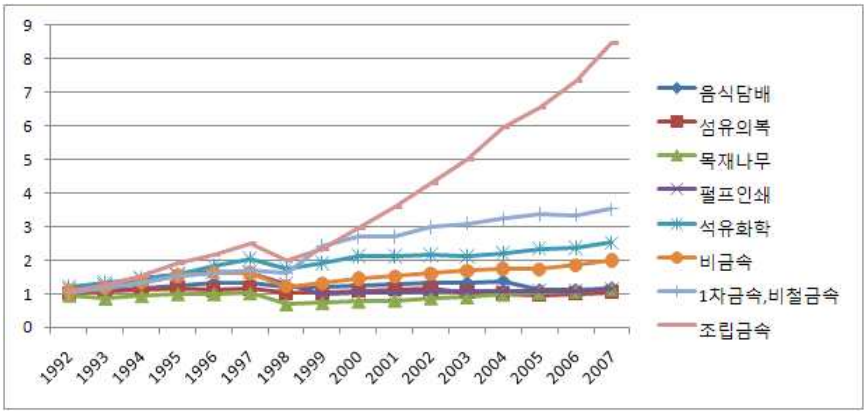
[부그림 1] 산업별 요인분해(생산효과, 가법적)



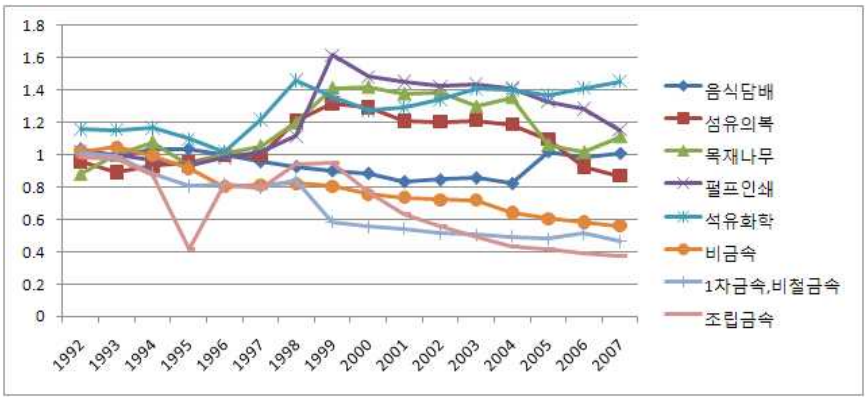
[부그림 2] 산업별 요인분해(집약도효과, 가법적)



[부그림 3] 산업별 요인분해(생산효과, 승법적)



[부그림 4] 산업별 요인분해(집약도효과, 승법적)



ABSTRACT

LMDI Decomposition Analysis for Energy Consumption of Korea's Manufacturing Industry

Suyi Kim* and Hyun S. Kim **

In this paper, we decomposed energy consumption of Korea's manufacturing industry using LMDI(Log Mean Divisia Index) method. Changes in energy consumption from 1991 to 2007 studied in 3 different factors, industrial production(production effect), industry production mix(structure effect), sectoral energy intensity(intensity effect). By results, the production effect is the main factor of increasing of energy consumption in manufacturing. The structure effect has a role of reducing energy consumption since 2000 after IMF. The intensity effect has a role of reducing energy consumption since 2005. According to decomposition analysis by industry, the industries which intensity effect has a big role of reducing energy consumption are Iron & Steel, Fabricated Metal, Non Metallic and Textile & Apprael.

Key Words : Decomposition Analysis, LMDI, Energy Intensity, Industrial Structure

* Assistant Professor, Division of International Trade, Wonkwang University (Main Author). suyikim@wku.ac.kr
** Assistant Researcher, Korea Energy Economics Institute(Corresponding Author). hyun.kim@keei.re.kr