

## 감축목표 업종 분류체계에 따른 산업부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석<sup>†</sup>

박년배\* · 심성희\*\*

**요약**: 본 연구는 온실가스 감축목표 업종체계에 따라 산업 부문을 18개 세부 업종으로 구분하여 2004년부터 2011년까지의 에너지 소비량과 온실가스 배출량 변화에 대해 로그평균디비지아지수(Log Mean Divisia Index) 분해분석을 하였다. 산업 부문 에너지 소비량의 증가는 생산 효과와 에너지원단위 효과에 기인한 것으로 나타났으며, 구조 효과는 에너지 소비량 감소에 기여하였다. 온실가스 배출량 변화에 있어서도 구조 효과만이 온실가스 배출 감소에 기여한 것으로 나타났다. 하지만 세부 업종별로는 에너지 소비 및 온실가스 배출량에 미치는 요인별 효과가 서로 달랐다. 특히 본 연구에서는 비금속, 조립금속 등 집계된 업종을 기준으로 분석한 기존 연구들과 달리 이들을 감축목표 업종체계에 따라 세분화하여 분석하였다. 분석 결과 비금속의 세부 업종인 시멘트와 조립금속의 세부 업종인 기계업종은 각각 비금속, 조립금속과 서로 다른 분석 결과를 보였다. 따라서 비금속 및 조립금속에 대한 분해분석 결과를 세부 업종들에게 일률적으로 적용할 경우 정책적 오류에 직면할 가능성이 크므로 세부 업종별로 차별화된 정책 대응이 필요하다.

**주제어**: 산업, 최종에너지, 온실가스, 로그평균디비지아지수, 분해분석

**JEL 분류**: Q2, Q4

접수일(2014년 10월 2일), 수정일(2014년 12월 17일), 게재확정일(2015년 1월 13일)

<sup>†</sup> 본 논문은 에너지경제연구원의 2013년 연구보고서인 「온실가스 배출통계 업종 세분화 방법론 고도화 연구」의 일부 내용을 수정·보완한 글임을 밝힌다.

\* 한국에너지기술연구원 기술정책연구실 선임연구원, 제1저자(e-mail: park2050@kier.re.kr)

\*\* 에너지경제연구원 에너지수요관리연구실 연구위원, 교신저자(e-mail: hsims@keei.re.kr)

# Decomposition Analysis of Energy Consumption and GHG Emissions by Industry Classification for Korea's GHG Reduction Targets

Nyun-Bae Park\* and SungHee Shim\*\*

**ABSTRACT :** To meet sectoral emission target by 2020 and prepare for the emission trading scheme from 2015, decomposition analysis of energy consumption and GHG emission is required by 18 subsectors in industry sector where emission targets are established. Log Mean Divisia Index decomposition method was used to analyze factors' effects on energy and emission in the industry sector and by 18 subsectors from 2004 to 2011. Industrial energy consumption was increased due to the production effect and energy intensity effect. However structure effect contributes to the decrease of energy consumption. In terms of emissions (including indirect emission due to electricity consumption) in the industry sector, only structure effect contributed to the emission reduction. Factors' effects by subsectors were different. Cement industry, which is included at Nonmetal shows different results from those of Nonmetal industry and machinery industry, which is a subsector of Fabricated Metal, was also similar. In this regard, we should not apply the policy implications from decomposition analysis of aggregated industry such as Nonmetal or Fabricated Metal to its subsectors uniformly and develop a differentiated policy for each subsector industry.

**Keywords :** Industry, Final energy, GHG emissions, Log Mean Divisia Index, Decomposition Analysis

---

Received: October 2, 2014, Revised: December 17, 2014, Accepted: January 13, 2015.

\* Senior Researcher, Technology Policy Research Team, Korea Institute of Energy Research, First Author(e-mail: park2050@kier.re.kr)

\*\* Research Fellow, Energy Demand Management Division, Korea Energy Economics Institute, Corresponding Author(e-mail: hsims@keei.re.kr)

## I. 서론

잘 알려진 바와 같이 우리나라 정부는 기후변화대응을 위한 국제사회의 노력에 부응하기 위해 국가 온실가스 배출량을 2020년까지 전망치 대비 30% 감축하기로 선언하였다. 그 일환으로 정부는 지난 2011년 부문별, 업종별, 연도별 온실가스 감축목표를 발표하여 2020년 국가 감축목표의 이행경로를 제시한 바 있다(온실가스종합정보센터 외, 2011). 또한 감축목표를 달성하기 위한 구체적인 이행수단으로 온실가스·에너지 목표관리제를 도입, 시행 중에 있으며 오는 2015년부터는 온실가스 배출권거래제가 본격적으로 시행될 예정이다.

2011년 발표된 부문별, 업종별, 연도별 온실가스 감축목표에서 한 가지 주목해야 할 사항은 산업부문의 업종별 온실가스 감축목표를 총 18개 업종으로 분류하고 있다는 것이다.<sup>1)</sup> 여기서 18개 업종은 음식료품, 건설, 광업, 섬유가죽, 제지목재, 석유화학, 정유, 철강, 비철금속, 시멘트, 유리요업, 기계, 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선, 기타 제조 등이다. 이는 다시 말해 정부가 18개 업종별 온실가스 배출 경로(emissions pathway)에 부합하도록 감축경로(mitigations pathway)를 관리해 나갈 것임을 뜻한다.

사실 18개 업종별 온실가스 배출 및 감축경로를 효과적으로 관리하기 위해서는 이들 업종별 에너지 소비 및 온실가스 배출특성에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다. 우리나라 부문별, 업종별 에너지 소비는 에너지밸런스를 통해 파악 가능하며 연료연소에 의한 온실가스 배출량 또한 에너지밸런스를 활동자료로 이용하여 산정된다. 그런데 문제는 에너지밸런스의 업종분류체계가 정부의 감축목표 체계와 일치하지 않는다는 것이다. 에너지밸런스의 산업부문은 총 14개 업종으로 구성되는데, 특히 시멘트와 유리요업은 비금속으로, 기계, 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선 등은 조립금속업종으로 합쳐져 있어서 감축목표 체계에 따른 세부 업종별 에너지 소비 특성을 알아내기 어렵다. 이 같은 상황은 국가 온실가스 인벤토리에 대해

---

1) 2020년까지 산업부문에서 전망치 대비 18.5%를 감축, 업종별로 전망치 대비 최소 1.7%(기타 제조 업종), 최대 39.5%(디스플레이 업종) 감축하도록 하였다(관계부처합동, 2014; 온실가스종합정보센터 외, 2011).

서도 동일하다.

지금까지 에너지 소비 및 온실가스 배출특성을 파악하기 위한 여러 연구들에서 요인분해분석이 널리 활용되어 왔다. 그러나 요인분해분석에 사용되는 투입자료가 에너지밸런스와 온실가스 인벤토리인 관계로 분석결과 또한 감축목표 업종별로 그 특성을 충분히 설명하지 못하고 있다. 이를테면 김수이·김현석(2011), 임재규·김종익(2014)은 업종별로 원단위의 에너지 소비변화 기여도를 분석하는 경우 비금속, 조립금속으로 집계된(aggreated) 분석결과만 제시하고 있을 뿐, 감축목표에 따른 세부 업종별 분석결과를 제시하고 있지 않다.

이러한 문제의식에 입각하여 본 논문은 현행 에너지밸런스를 부문별, 업종별 온실가스 감축목표 체계에 따라 업종 세분화함으로써 세부 업종별 에너지 소비 및 온실가스 배출특성을 살펴보는데 초점을 두고 있다. 분해 이후 잔차가 남지 않는 로그평균디비지아지수(Log Mean Divisia Index, LMDI) 분석법을 이용하여 감축목표에 따른 업종별 에너지 소비 및 온실가스 배출량 변화 요인을 분별해내고 이를 통해 업종별로 차별화된 온실가스 감축전략 수립을 위한 시사점을 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 요인분해를 위해 사용한 분석방법론과 선행연구와의 차별성에 대해 논의한다. 제Ⅲ장은 에너지밸런스를 감축목표 체계에 부합하도록 세분화하는 방법론을 포함하여 분석에 사용한 자료에 대해 설명한다. 제Ⅳ장은 전체 산업부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출량 변화에 미치는 요인들과 특징에 대해 간략히 살펴본다. 제Ⅴ장에서는 감축목표 업종체계에 따라 세분화된 비금속과 조립금속의 상세 업종별 에너지 소비 및 온실가스 배출 요인분해 분석결과를 제시하고, 제Ⅵ장에서 본 논문을 끝맺기로 한다.

## II. 분석방법론 및 선행연구와의 차별성

본 연구에서는 로그평균디비지아지수(LMDI) 분해분석법을 이용하여 업종별 최종에너지 소비량과 온실가스 배출량 변화를 요인 분석하였다. 분해분석 연구는 국내·외에서 현재까지 활발히 사용되는 방법론이다. Ang and Zhang(2000)은 2000년 이전까지 해외 124편의 분해분석 논문을 표로 정리하고 있으며, 박년배·전의찬

(2013)은 2000년 이후 국내 20편의 연구를 정리하고 추가적으로 산업부문 분해분석을 하였다. IPCC(2014)는 1971~2010년 기간의 화석연료 연소로 인한 전세계 이산화탄소 배출량의 변화 요인에 대한 분해분석 결과를 소개하고 있다.

분해분석 방법론은 대체로 지수 분해분석과 구조 분해분석으로 구분된다. 지수 분해분석은 에너지 소비와 온실가스 배출을 설명하는 지수들의 항등식을 이용하여 분석하는 방식이며, 구조 분해분석은 산업연관분석을 이용하는 방식이다(김성균 외, 2012). 항등식을 이용한 지수 분해분석이 많이 사용되고 있으며, 지수 분해분석은 다시 디비지아지수(Divisia Index) 분해분석과 라스파이레스지수(Laspeyres Index) 분해분석으로 나뉜다. 디비지아지수 분해분석은 가법(additive)과 승법(multiplicative) 접근법이 있으며, 가법과 승법 접근법은 다시 산술평균을 이용한 디비지아지수(Arithmetic Mean Divisia Index, AMDI) 방식과 로그평균을 이용한 디비지아지수(Log Mean Divisia Index, LMDI) 방식으로 나뉜다. 라스파이레스지수 분해분석 또한 가법과 승법이 있으며, 가법에는 Shapley/Sun과 Marshall-Edgeworth 방식이 있으며, 승법에는 Modified Fisher ideal index와 Conventional Fisher ideal index 방식이 있다(Ang, 2004).

여러 가지 분해분석 방법 중에서 이론적 근거, 방법론의 적절성, 사용 편리, 결과 이해 및 표현 용이성 등을 고려하여 적절한 방법론을 선택한다(Ang, 2004; 김화영·김지효, 2008 재인용). 본 연구에서는 결과에 잔차(residuals)가 남지 않고, 계산식이 비교적 단순하며(김수이·김현석, 2011), 국내·외에서 주로 사용되는 분해분석법이라는 점에서 LMDI 분해분석법을 채택하였다.

LMDI 분해분석에서 분석 기간의 산업 부문 에너지 소비량 변화는 산업의 부가가치, 산업구조(업종별 부가가치 비중), 에너지원단위의 세 가지 요인별 효과로 분해된다(Ang, 2005). 산업의 부가가치 변화에 의한 효과는 활동도 효과, 즉 ‘성장 효과’( $\Delta E_{act}$ ,  $D_{act}$ )를 나타낸다. 업종별 산업의 부가가치 구성비 변화에 따른 효과는 ‘구조 효과’( $\Delta E_{str}$ ,  $D_{str}$ )를, 부가가치당 에너지 소비량 변화에 따른 효과는 ‘에너지 원단위 효과’( $\Delta E_{int}$ ,  $D_{int}$ )를 나타낸다. 가법 분해는 분석 기간<sup>2)</sup> 동안의 에너지 소비

2) 분석 기간 동안에 기준년도를 고정하는 방식과 기준년도를 변경하는 방식이 있다(박정욱·김수이, 2013). 기준년도를 고정하는 방식은 기준년도 대비 누적변화를 분석하는 방식이며, 기준년도를 변경하

량 변화(총변화량)를 앞에서 설명한 세 가지 요인들의 효과의 합으로 나타내는 방식이며, 이 때 각 요인들의 효과는 절대량 기여도를 의미한다. 승법 분해는 분석 기간 동안의 에너지 소비량 변화율(총변화율)을 세 요인들의 효과의 곱으로 나타내는 방식이며, 요인별 효과는 총 변화율에 대한 상대적 기여도를 의미한다(김수이·김현석, 2011). 에너지 소비량 변화에 대한 LMDI 분해분석식을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 산업 부문 에너지 소비량 변화에 대한 LMDI 분해분석 식

구분	가법 분해	승법 분해
항등식	$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i QS_i I_i, \quad (i: \text{업종})$	
변화	$\Delta E_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$	$D_{tot} = E^T / E^0 = D_{act} D_{str} D_{int}$
LMDI 식	$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{Q^T}{Q^0} \right)$	$D_{act} = \exp \left( \sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left( \frac{Q^T}{Q^0} \right) \right)$
	$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{S_i^T}{S_i^0} \right)$	$D_{str} = \exp \left( \sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left( \frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right)$
	$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left( \frac{I_i^T}{I_i^0} \right)$	$D_{int} = \exp \left( \sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left( \frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right)$

출처: Ang(2005), p.869.

연료 연소에서의 온실가스 배출량에 대한 분해분석은 에너지 소비량에 대한 분해 분석에서 이용된 세 가지 요인 이외에 에너지원 구성비(에너지믹스), 온실가스 배출 계수의 두 가지 요인이 추가된다(Ang, 2005). 즉 LMDI 분해분석을 통해 산업부문 온실가스 배출량 변화를 성장 효과( $\Delta C_{act}, D_{act}$ ), 구조 효과( $\Delta C_{str}, D_{str}$ ), 에너지원단위 효과( $\Delta C_{int}, D_{int}$ )와 에너지원의 구성비 변화에 따른 효과인 ‘에너지믹스 효과’( $\Delta C_{mix}, D_{mix}$ ), 에너지원별 온실가스 배출계수 변화의 효과인 ‘배출계수 효과’( $\Delta C_{emf}, D_{emf}$ )로 구분할 수 있다. 가법 분해와 승법 분해의 의미는 에너지 소비량 변화에 대한 분해분석과 마찬가지로이다. 온실가스 배출량 변화에 대한 분해분석식은 <표 2>와 같다.

는 방식은 동일 시간 간격 동안 변화를 분석하는 방식이다. 본 연구에서는 기준년도를 분석 기간의 시작년도(본 연구에서는 2004년)로 고정하는 방식을 채택하였다.

〈표 2〉 산업 부문 에너지연소 온실가스 배출량 변화에 대한 LMDI 분해분석 식

구분	가법 분해	승법 분해
항등식	$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} \frac{E_{ij}}{E_i} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{ij} QS_i I_i M_{ij} U_{ij}, (i: \text{업종}, j: \text{연료})$	
변화	$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf}$	$D_{tot} = C^T / C^0 = D_{act} D_{str} D_{int} D_{mix} D_{emf}$
LMDI 식	$\Delta C_{act} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left( \frac{Q^T}{Q^0} \right)$	$D_{act} = \exp \left( \sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left( \frac{Q^T}{Q^0} \right) \right)$
	$\Delta C_{str} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left( \frac{S_i^T}{S_i^0} \right)$	$D_{str} = \exp \left( \sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left( \frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right)$
	$\Delta C_{int} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left( \frac{I_i^T}{I_i^0} \right)$	$D_{int} = \exp \left( \sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left( \frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right)$
	$\Delta C_{mix} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left( \frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0} \right)$	$D_{mix} = \exp \left( \sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left( \frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0} \right) \right)$
	$\Delta C_{emf} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left( \frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right)$	$D_{emf} = \exp \left( \sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left( \frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right) \right)$

출처: Ang(2005), p.870.

산업 부문은 에너지 소비량과 온실가스 배출량의 가장 큰 비중을 차지하고 있어서,<sup>3)</sup> 산업 부문을 포함한 분해분석 연구들이 다수 있다. 특히 2000년 이후 최근에 수행된 국내 산업 부문 에너지 소비 및 온실가스 배출에 대한 LMDI 분해분석 연구 들로는 Oh et al.(2010), 김수이·김현석(2011), 김수이·정경화(2011), 김성균 외 (2012), 박년배·전의찬(2013), 박정욱·김수이(2013), 임재규·김종익(2014) 등이 있다. 국내 산업 부문을 대상으로 한 기존 연구들은 공통적으로 국내 에너지통계연보 또는 IEA의 에너지밸런스 상의 업종 분류에 기반하고 있다. 하지만 연구들마다 발표 시점으로 인해 분석기간이 다르고, 국내 또는 IEA 통계자료 등 이용 자료의 차이로 인해 산업에 대한 업종 구분이 조금씩 다르며, 최종에너지 소비량에 원료용 납사의 포함 유무와 분석 대상 온실가스의 범위(이산화탄소인지, 이산화탄소, 메탄, 아

3) 산업부문의 2011년도 최종에너지 소비량 중 원료용 납사를 제외한 비중은 43%(원료용 납사를 포함할 경우 62%)이었다(김철현·심성희, 2013). 2011년 국가 온실가스 총배출량에서 에너지 연소 부문은 85%를 차지하며(온실가스종합정보센터, 2014), 2011년 에너지 연소 부문 온실가스 배출량에서 산업 부문의 온실가스 직접 및 간접 배출량은 53.8%를 차지하였다.

산화질소를 포함한 온실가스인지, 그리고 전력소비로 인한 간접 온실가스를 포함하는지 등) 등이 다르다. 예를 들면, 산업부문 최종에너지 소비량에 대한 LMDI 분해 분석 연구들 중에서 김수이·김현석(2011)은 1991~2007년 기간 제조업 9개 업종을 대상으로 가법 및 승법 분석을 하였다. 김성균 외(2012)는 2009~2010년 제조업 8개 업종에 대한 가법 분석을 하였다. 박년배·전의찬(2013)는 제조 및 건설 부문 10개 업종의 2000~2010년 기간에 대한 가법 및 승법 분석을 하였다. 박정욱·김수이(2013)는 1990~2009년 기간 한국과 일본의 산업 부문 최종에너지 소비량(원료용 납사 제외)에 대해 가법 및 승법 분석을 하였다. 임재규·김종익(2014)는 1990~2011년 기간 국내 산업부문과 제조업 10개 업종에 대해 최종에너지와 전력 소비량을 가법 및 승법 분석하였다. 산업 부문 연료연소로 인한 온실가스 배출량을 LMDI 분해분석한 연구들 중에서, Oh et al.(2010)은 1990~2005년 기간 국내 12개 부문(제조업종 및 기타 부문) 이산화탄소 직접배출량에 대해 가법 분석을 하였다. 김수이·정정화(2011)는 1991~2007년 기간 제조업 부문의 온실가스 직·간접배출량에 대해 가법 및 승법 분석을 하였다. 김성균 외(2012)는 2009~2010년 제조업 8개 업종의 온실가스 직접배출량에 대한 가법 분석을 하였다. 박년배·전의찬(2013)는 2000~2010년 기간과 2010~2020년 제조 및 건설 부문 10개 업종의 온실가스 직·간접배출량 통계치와 중기 배출량 감축목표에 대해 가법 및 승법 분석을 하였다.

본 연구는 업종별 감축목표가 설정되어 있으며 배출권거래제에 참여하게 될 산업 부문 18개 업종에 대한 최종에너지 소비(원료용 납사 제외)와 온실가스 총배출량(직접 및 간접 배출량)을 LMDI 분해분석하였다는 특징을 지닌다.<sup>4)</sup> 기존 업종 구분처럼 비금속, 조립금속으로 비세분화된 업종을 보다 세분화하여 분석함으로써 배출권이 할당된 업종의 특성을 분석하는데 더욱 효과적이며, 업종별 배출권 할당 및 온실가스 감축 전략 수립에 보다 유용한 시사점을 제공해 줄 수 있다.<sup>5)</sup>

---

4) 박성준·김진수(2014)가 지적한 바와 같이 최종에너지소비에 대한 분해 분석은 전환손실이 발생하는 전력부문을 고려하지 못하므로 분해분석 결과의 해석에 주의를 요한다. 다만, 본 연구는 간접배출을 포함한 온실가스 배출량에 대한 분해분석 결과를 통해 분석상의 한계를 일정 부분 보완하고 있다.

5) 김철현·심성희(2013)는 18개 업종을 대상으로 요인분해 분석을 시도한 최초의 연구이다. 본 연구는 김철현·심성희(2013)에서 제시한 연구결과의 일부 오류를 바로잡고 분석결과에 대한 해석과 시사점에 관한 사항을 대폭 수정·보완한 것임을 밝힌다.



### III. 분석자료

#### 1. 분석대상 업종과 기간

에너지통계연보 각 연호에 수록된 에너지밸런스의 업종분류체계에서 감축목표 상의 업종분류체계와 차이가 나는 부분은 목재나무, 펄프인쇄, 비금속 그리고 조립 금속업종이다. 감축목표 업종체계의 제외목재는 에너지밸런스의 목재나무와 펄프인쇄의 합과 같으므로 에너지밸런스를 단순히 더하면 되므로 세분화의 대상이 되지 않는다. 하지만 비금속과 조립금속은 감축목표 업종체계에 맞게 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 세분화하는 작업이 필요하다.

본 논문에서는 감축목표 업종체계에 부합하도록 비금속업종의 에너지 소비량과 배출량을 시멘트와 유리요업으로 세분화하여 분석한다. 에너지밸런스와 온실가스 인벤토리의 조립금속업종은 기계, 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선으로 세분화하여 분석하였다. 감축목표 상의 업종과 제9차 한국표준산업분류의 업종 간 대응관계도 쟁점이 될 수 있다. 여기서는 온실가스·에너지 목표관리제에서 운영하고 있는 대응관계를 따르기로 하였으며 <표 3>과 같다.

<표 3> 업종세분화의 대상과 분류체계

에너지밸런스	감축목표	한국표준산업분류
비금속	시멘트	시멘트 제조업
		석회, 플라스터 및 그 제품 제조업
	유리요업	기타 비금속 광물제품 제조업
		도자기 및 기타 요업제품 제조업
		유리 및 유리제품 제조업
조립금속	기계	금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외
		기타 기계 및 장비 제조업
		의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업
	전기전자	전기장비 제조업
	반도체	반도체 제조업
디스플레이	평판 디스플레이 및 전자관 제조업	

〈표 3〉 업종세분화의 대상과 분류체계 (계속)

에너지밸런스	감축목표	한국표준산업분류
조립금속	전기전자	반도체, 디스플레이를 제외한 전자부품 제조업
		컴퓨터 및 주변장치 제조업
		통신 및 방송장비 제조업
		영상 및 음향기기 제조업
		마그네틱 및 광학 매체 제조업
	자동차	자동차 및 트레일러 제조업
	조선	기타 운송장비 제조업(선박 및 보트건조업)
	기계	기타 운송장비 제조업(선박 및 보트건조업 제외)

요약하면, 감축목표 상의 업종들의 특성을 살펴보기 위해 에너지밸런스의 산업부문 업종체계를 중심으로 분석하되, 비금속업종과 조립금속업종에 대해서는 감축목표와 동일하게 업종을 세분화하여 총 18개 업종을 대상으로 분석하였다.<sup>6)</sup>

분석 기간은 2004년부터 2011년까지를 대상으로 하였다. 분석기간을 2004년 이후로 설정한 까닭은 다음과 같다. 에너지 소비량의 업종 세분화를 위해서는 일부 에너지원의 경우 부득이하게 에너지총조사 결과에 의존할 수밖에 없다. 그런데 에너지총조사는 산업부문에 대해서는 2004년 이후부터 전국 5인 이상 사업장을 대상으로 전수조사하고 있으므로 업종 세분화의 신뢰성을 확보하기 매우 용이하다. 반면 2003년 이전은 표본조사에 기반하고 있어 오차가 비교적 클 뿐만 아니라 디스플레이와 같은 일부 업종은 초기 시장단계였으므로 분석 자체의 실익도 낮아 제외하였다. 2011년을 마지막 해로 삼은 것은 분석 기점의 국가 온실가스 인벤토리가 2011년까지 발표되었기 때문이다.

6) 단, 에너지밸런스의 산업부문에 속해 있는 ‘기타 에너지’는 온실가스 인벤토리에서는 에너지산업으로 분류되며 감축목표에서도 발전부문에 포함되므로 분석대상에서 제외하였다. 국가 중기 부문별·업종별 감축목표에서 산업부문은 정유를 포함하여 18개 업종이며, 농림어업은 산업부문이 아닌 별도의 부문으로 분류되어 있다(관계부처합동, 2014; 온실가스종합정보센터 외, 2011). 본 연구에서는 정유를 전환 부문으로 간주하여 제외하고, 대신 농림어업 부문을 산업 부문의 업종 구분에 포함시켜 총 18개 업종에 대해 분석하였다.

## 2. 업종세분화 방법론

에너지밸런스의 비금속 및 조립금속업종의 에너지 소비량을 세분화하기 위해서는 우선 에너지밸런스 작성의 기초자료를 제공하는 에너지공급사 원시자료(raw data)를 이용하여 세분화하는 것이 바람직하다. 따라서 에너지공급사의 원시자료를 활용하여 가능한 단계까지 일차적으로 세분화하였다. 그럼에도 불구하고 에너지공급사별로 원시자료를 관리하는 기준이 제각기 다르기 때문에 원시자료만으로 세분화가 불가능한 경우가 있다. 그러한 경우에는 먼저 해당 에너지원의 업종별 소비 비중에 관한 대리변수가 존재하는지 확인하여 적절한 대리변수가 있을 경우엔 해당 변수를 이용하여 세분화하였다. 만일 적절한 대리변수가 없을 경우엔 소비통계인 에너지총조사의 업종별, 에너지원별 소비 비중을 활용하여 세분화하였다. 다만, 에너지총조사는 매 3년 마다 시행되므로 조사가 수행되지 않은 연도에 대해서는 선형추세법에 따라 결측치를 내삽하였다.<sup>7)</sup> 세부 에너지원별 업종 세분화 방법론은 아래와 같다.

### • 석탄 및 도시가스

석탄과 도시가스는 에너지공급사 원시자료의 업종구분체계가 에너지밸런스와 동일하므로 원시자료만으로는 세분화하기 어렵다. 또한 업종 세분화를 위한 적절한 대리변수도 찾기 어려워 「에너지총조사 보고서」(산업자원부, 2006; 지식경제부, 2009, 2012)의 업종별 소비 비중에 따라 세분화하였다. 단, 2007년 이후 조립금속업종의 도시가스 소비량은 수송장비와 전기전자기계로 구분 가능하므로 에너지총조사의 업종별 비중에 따라 세분화하되 수송장비 및 전기전자기계에 해당하는 업종들의 소계가 에너지공급사 원시자료와 일치하도록 하였다. 또한 에너지총조사가 시행되지 않은 결측연도는 선형추세에 따라 내삽하였다.

---

7) 에너지총조사는 2004년, 2007년, 2010년 소비량을 대상으로 시행되었다. 2011년 소비량은 에너지총조사와 동일한 전수조사 방식으로 수행한 「2012 국가 온실가스 배출량 분석 보고서」(지식경제부, 2013)를 참조하였다. 따라서 2005, 2006, 2008, 2009년도는 업종별 소비통계가 존재하지 않는다.

• 석유제품

에너지밸런스 석유제품 소비통계의 자료원(data source)인 「석유류 수급통계」(한국석유공사, 2012)는 소분류 단계까지 원시자료를 관리하고 있다. 따라서 「석유류 수급통계」를 이용하면 결측연도 없이 비금속 및 조립금속업종의 석유제품 원별 소비량을 업종별로 세분화할 수 있다. 다만, 반도체, 디스플레이, 전기전자업종의 소비량은 ‘전기기계기구 제조업’에 집계된 형태로만 존재하므로 에너지총조사를 이용하여 세분화하고 결측연도는 동일한 방법으로 내삽하였다.

• 전력

에너지밸런스의 전력 소비량은 한국전력공사(2012)의 「한국전력통계」를 이용하여 작성된다. 그런데 「한국전력통계」에는 신분류 체계에 따른 업종별 전력 판매량이 수록되어 있어 이를 활용할 경우 일부 업종의 경우 세분화된 데이터를 구할 수 있다. 비금속업종은 신분류 체계가 에너지밸런스와 동일하기 때문에 세분화가 불가능하지만 조립금속업종은 한국전력 신분류 통계를 활용할 경우 일부 업종에 한해 세분화된 통계를 얻을 수 있다. 예를 들어 자동차업종의 경우 별도의 방법론을 적용하지 않더라도 세분화가 가능하며, 기타 운송업종의 소비량에서 선박 및 보트 건조업의 전력 소비량만 분리해내면, 기계업종의 전력 소비량을 정확하게 얻을 수 있다. 더 이상 한국전력 통계만으로는 세분화하기 어려울 경우에는 「광업·제조업조사 보고서」(통계청, 2012)의 업종별 전력비 지출 비중을 이용하여 세분화하였다. 산업용 단위당 전력요금이 대동소이하므로 지출비 비중을 이용하면 업종별 소비량을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 에너지총조사에 의존하는 경우와 달리 결측연도가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 실제로 업종별 전력비 지출비중을 이용하여 에너지밸런스 업종분류에 따라 전력소비량을 구해보면 실제 전력 판매량과 대동소이함을 확인할 수 있다.<sup>8)</sup>

---

8) 철강은 에너지밸런스의 1차금속 소비량과 다소 차이를 보였다. 그러나 이는 에너지밸런스의 1차금속 소비량에 비철금속 소비량이 포함되어 있기 때문이며 철강과 비철금속 소비량을 합치면 에너지밸런스 수치와 거의 일치하였다. 이에 따라 본 논문에서는 철강과 비철금속의 전력비 지출비중에 따라 에너지밸런스의 1차금속 전력 소비량을 세분화한 데이터를 이용하여 분석하였다.

### 3. 기타 특이사항 및 자료원 요약

산업부문 에너지 소비량에서 석유화학업종의 납사 소비량은 순수한 연료 사용량만을 반영한 값을 이용하였다. 석유화학 납사 소비량에서 순 연료 사용량을 추출해 내는 방법론은 국가 온실가스 인벤토리 산정시 사용하는 방법론을 따랐다. 그 과정은 다음과 같다. 먼저 납사 소비량에서 납사 분해 후 석유화학사에서 정유사로 재유입되는 부산물의 양을 제외한다. 이때 정유사 재유입량은 「석유류 수급통계」의 타 산업유입항목에서 구한다. 다음으로 여기에 1996년 개정 IPCC 가이드라인의 탄소 몰입률 75%를 적용한 값을 제외하여 납사 순연료 소비량을 얻는다.<sup>9)</sup>

한편 본 연구는 연료 연소에 의한 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 3개 온실가스) 배출량을 대상으로 하였으며, 탈루성 배출 및 산업공정상 배출은 포함하지 않았다. 산업부문 온실가스 배출량은 직접 배출량뿐만 아니라 간접배출량까지 분석대상에 포함하였다.<sup>10)</sup> 업종별 간접배출량은 당해 연도 국가 온실가스 인벤토리의 발전부문 배출량을 업종별 전력소비 비중에 따라 비례하여 할당하였다. 또한 요인분해분석에서 생산 및 구조효과를 도출하기 위해 필요한 업종별 실질부가가치는 산업연구원 내부자료(2013)를 활용하였다. <표 4>는 본 논문에서 사용한 분석자료의 출처와 사용용도를 요약하여 제시하고 있다.

〈표 4〉 분석자료의 출처 및 용도

자료	출처	용도
에너지 소비량 (비금속, 조립금속 제외)	에너지통계연보 (에너지경제연구원, 2012)	전체 산업부문 에너지 소비량 요인분해분석 업종별 에너지 소비량 요인분해분석
온실가스 배출량 (비금속, 조립금속 제외)	국가 온실가스 인벤토리 (온실가스종합정보센터, 2014)	전체 산업부문 온실가스 배출량 요인분해분석 업종별 온실가스 배출량 요인분해분석

9) 즉, 석유화학용 납사 소비량의 75%는 제품 원료로 사용되고 나머지 25%만 순수한 연료소비량을 뜻한다. 정유사 재유입량이 매년 달라지므로 납사 순연료소비량 비중 또한 매해 차이가 있지만 대체로 에너지밸런스의 석유화학업종 납사소비량의 19~20%가량만이 순 연료 소비량이 된다.

10) 현재 시행중인 목표관리제와 2015년부터 시행될 배출권거래제에서는 직접 배출량뿐만 아니라 간접배출량도 관리대상이다.

〈표 4〉 분석자료의 출처 및 용도 (계속)

자료	출처	용도
세부 업종별 석탄, 석유, 가스 소비량	에너지총조사 보고서 (산업자원부, 2006; 지식경제부 2009, 2012) 국가 온실가스 배출량 분석 보고서 (지식경제부, 2013)	비금속, 조립금속 업종 세분화 ※석유는 반도체/디스플레이/전기전자 세분화
세부 업종별 석유 소비량	석유류 수급통계 (한국석유공사, 2012)	비금속, 조립금속 업종 세분화
세부 업종별 판매 전력량	한국전력통계 (한국전력공사, 2012)	조립금속 업종 세분화
세부 업종별 전력비 지출액	광업·제조업조사 보고서 (통계청, 2012)	비금속, 조립금속 업종 세분화
업종별 실질 부가가치	산업연구원 내부자료(2013)	전체 산업부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출량 요인분해분석 업종별 에너지 소비량 및 온실가스 배출량 요인분해분석

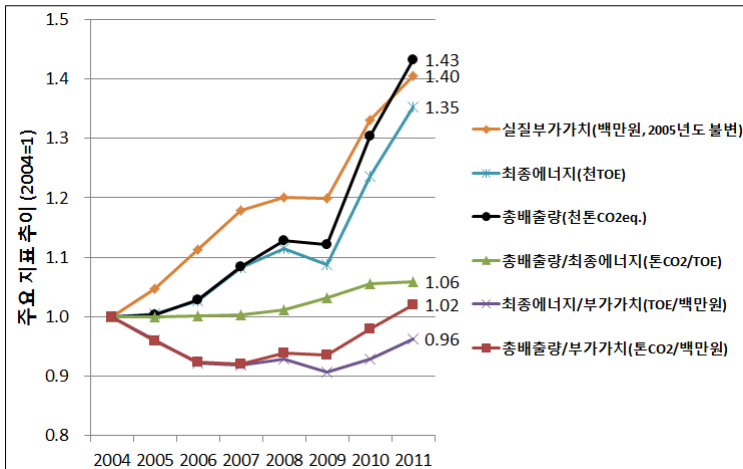
#### IV. 산업부문 분해분석 결과

먼저 2004년부터 2011년까지 전체 산업부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출량의 변화 추이를 주요 지표를 중심으로 살펴보도록 하자. 동 기간 동안 산업 부문의 실질 부가가치는 2004년도 실적치를 기준으로 할 때 2011년도에 1.40을 기록하여 40% 증가하였다. 반면, 같은 기간 동안 산업부문 최종에너지 소비량은 1.35배 증가한 것으로 나타났다.<sup>11)</sup> 이에 따라 최종에너지/부가가치 지표는 2004년 대비 2011년 0.96으로 감소하여 2011년도 에너지원단위는 2004년에 비해 개선된 것으로 나타났

11) 앞 장에서 언급한 바와 같이 산업부문 에너지 소비량은 납사 순연료소비량을 반영한 자료를 이용하였다. 매해마다 다소 차이가 있긴 하지만 2011년 산업부문 최종에너지 소비량은 원료용 납사 소비량을 포함하는 경우의 약 69% 수준이었다. 납사 순연료 소비량만을 반영할 경우 2004~2011년 기간 동안의 산업부문 에너지 소비 연평균 증가율은 4.4%로서 원료용 납사 및 정유사 재유입량 포함 시(에너지밸런스 기준) 산업부문 연 평균 증가율 4.5%보다 약간 낮았다.

다. 한편 산업부문 온실가스 총 배출량은 2004년도 기준 실적치 대비 1.43을 기록하여 실질 부가가치 증가율인 40%를 상회하였다. 이에 따라 에너지원단위와 달리 배출량원단위를 나타내는 총배출량/부가가치는 1.02배를 기록하여 오히려 증가한 것으로 나타났다(<그림 1> 참고).

<그림 1> 산업부문 주요 지표별 추이(2004년~2011년)



<그림 1>에서 보는 바와 같이 동 기간의 산업 부문 주요 지표 변화에서 두 가지 중요한 특징을 찾을 수 있다. 첫째, 일정한 비율로 유지되어 오던 에너지 한 단위당 배출하는 온실가스 배출량이 2008년 이후 점차 증가하고 있다는 것이다. 총배출량/에너지 지표는 (i) 석탄 또는 전환손실이 큰 전력 등의 온실가스 배출집약적인 에너지원 비중이 커지거나, (ii) 에너지원의 단위 당 배출계수가 높아질 경우에 증가한다. 통상적으로 에너지원별 배출계수는 고정되어 있기 때문에, 에너지원의 단위 당 배출계수 변화는 주로 전원 구성 변화에 따른 전력 배출계수 변화에 기인하는 경우가 대부분이다. 그러나 전자나 후자(또는 양자 모두) 중 어떤 요인으로 인해 동 지표가 상승하였는지가 불분명하므로 후술하는 LMDI 분해 분석을 통한 확인이 필요하다.

둘째, 원단위를 의미하는 에너지/부가가치 및 총배출량/부가가치 지표가 U자형 곡선을 보이고 있다는 사실이다. 다시 말해, 에너지 및 배출량 원단위가 2008년 이

후로 악화되는 추세를 보인다는 것이다. 분석 기간 전체로 보면 에너지/부가가치 지표는 연평균 0.5% 감소하였지만 2008년 이후 기간으로 보면 연평균 1.2% 증가하였다. 총배출량/부가가치 지표 역시 전체 분석 기간 동안 연 평균 0.3% 증가하였으나 2008년부터 2011년 기간 동안에는 훨씬 빠른 증가세를 보였다. 원단위 악화의 추세는 배출량 원단위에서 더 크게 나타났는데, 그 이유는 앞에서 언급한 총배출량/에너지 지표가 2008년 이후로 상승하였기 때문이다. 하지만 에너지원단위나 배출량원단위가 악화되고 있다고 해서 에너지 이용 효율성이 악화되고 있다거나 고배출 경제구조로 전환되고 있다고 말하기 어렵다. 에너지원단위의 변화는 에너지 이용 효율성 변화뿐만 아니라 생산활동의 변화나 산업구조의 변화와 같은 여러 요인이 복합적으로 작용하여 나타난 결과이기 때문이다. 배출량원단위 또한 이와 유사하다. 따라서 이들 원단위 지표가 U자형 곡선을 나타낸 이유도 LMDI 분해 분석을 통해 요인별 기여도를 분별해냄으로써 보다 명확해 질 수 있다.

## 1. 에너지 소비량 변화 분해분석

분석 대상 기간 동안 산업 부문 최종에너지 소비는 2004년 6,549만TOE에서 2011년 8,862만TOE로 35% 증가하였으며, 소비량 기준으로 2,313만TOE 증가하였다. 이를 LMDI 가법 분해 분석을 통해 요인별로 분해해 보면 생산효과로 인해 에너지 소비량이 2,584만TOE 증가하였고, 구조효과<sup>12)</sup>에 따라 536만TOE가 감소하였으며, 에너지원단위효과<sup>13)</sup>에 의해 265만TOE가 증가한 것으로 분석되었다(<표 5> 참고). 요인별 기여율을 보면, 생산효과가 에너지 소비량 증가 대비 112%를, 에너지원단위효과가 11%를 차지하였고, 구조 효과가 -23%를 차지하였다.

한편, 승법 분해분석에서는 분석 대상 기간 동안 산업 부문 최종에너지 소비량이 35.3% 증가하였는데, 이 중 생산효과에 의한 증가율은 40.2%, 구조효과로 인한 감

12) 구조효과는 산업 부문을 <표 6, 7>과 같이 12개 업종들의 부가가치 비중 변화를 이용하여 산정하였다.

13) 박희천(2000)은 부가가치에 기반한 에너지원단위 지표의 경우 업종간 상호 합산 및 비교가 가능한 반면, 통합 수준이 높고 부가가치가 시장의 수요공급에 따라 달라지기 때문에 정확한 에너지효율 변화를 파악하는데 한계가 있음을 지적하고 있다. 본 연구에서는 이러한 한계에도 불구하고 업종 간 상호 비교가 가능하며, 업종을 대표하는 단일 물량 에너지원단위 지표를 이용하기 어렵다는 이유로 부가가치 에너지원단위 지표를 이용하였다.



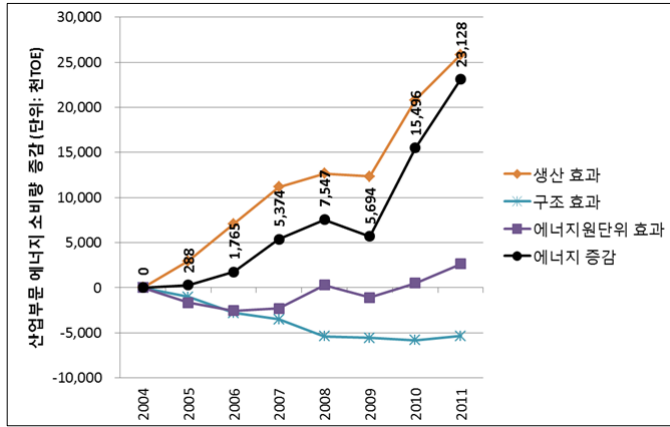
소율은 6.8%, 에너지원단위효과로 인한 증가율은 3.5%를 나타냈다(<표 5>, <그림 2, 3> 참고). 가법 분해분석은 2004년과 비교한 당해연도의 변화량을 각 요인들의 합으로 나타낸 것이고, 승법 분해분석은 2004년과 비교하여 당해연도의 변화율을 각 요인들의 곱으로 나타낸 것이다. 따라서 가법 분해분석과 승법 분해분석 결과는 요인들의 절대량과 비율로 표현하였다는 차이는 있지만, 요인별 기여도와 변화 추이는 동일하다. 이하에서는 가법 분해분석 결과를 중심으로 논의를 진행하기로 한다.

<표 5> 산업 부문 에너지 소비량 가법 및 승법 분해분석 결과

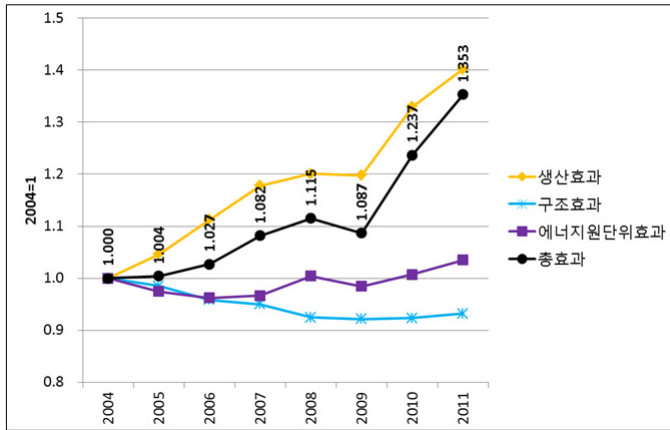
(단위: 천TOE(가법), 2004=1(승법))

접근법	연도	생산효과	구조효과	에너지 원단위효과	소비량 증감
가법	2004년	-	-	-	-
	2005년	2,967	-1,005	-1,675	288
	2006년	7,099	-2,799	-2,536	1,765
	2007년	11,184	-3,504	-2,306	5,374
	2008년	12,659	-5,397	286	7,547
	2009년	12,342	-5,568	-1,080	5,694
	2010년	20,788	-5,807	515	15,496
	2011년	25,842	-5,365	2,651	23,128
승법	2004년	1.000	1.000	1.000	1.000
	2005년	1.046	0.985	0.975	1.004
	2006년	1.113	0.959	0.963	1.027
	2007년	1.178	0.950	0.967	1.082
	2008년	1.201	0.925	1.004	1.115
	2009년	1.198	0.922	0.984	1.087
	2010년	1.330	0.923	1.007	1.237
	2011년	1.402	0.932	1.035	1.353

<그림 2> 에너지 소비량 가법 분해분석



<그림 3> 에너지 소비량 승법 분해분석



<표 5>와 <그림 2, 3>에서 보듯이 동 기간 동안 생산효과와 구조효과는 에너지 소비량 증감에 있어서 일관된 방향으로 작용하고 있었다. 매 해마다 생산효과에 의한 에너지 소비량 증가는 전체 산업부문의 에너지 소비량 증가를 상회한 것으로 나타났다으며, 이로부터 우리나라 에너지 소비량 증가의 대부분이 활발한 생산 활동에서 비롯되고 있다는 사실을 알 수 있다. 반대로 구조효과는 매년 에너지 소비량을 줄이는 방향으로 작용하였고, 효과의 크기 또한 대체로 늘어나는 경향을 보였다. 이

로부터 동 기간 동안 국내 산업구조가 에너지저소비형 구조로 꾸준히 변화해 왔던 것으로 풀이된다. 한편, 순수한 에너지 이용 효율성의 변화를 보여주는 에너지원단위 효과는 2007년까지는 에너지 소비량을 줄이는데 기여하였으나, 2008년 이후부터 오히려 에너지 소비량 증가를 견인한 것으로 분석되었다. 이는 다시 말해 2008년 이후로 산업 부문의 부가가치당 에너지 소비 효율성이 악화되고 있다는 것을 뜻한다.<sup>14)</sup>

이러한 결과를 종합하면 앞서 지적한 에너지원단위(에너지/부가가치) 지표가 분석 기간 동안 U자형 곡선의 양상을 나타낸 이유가 산업 부문의 생산 활동 증가와 함께 에너지 소비 효율성 악화의 영향에 따른 것으로 해석할 수 있다. 하지만 산업 부문 내 어떤 업종이 얼마만큼 에너지 소비 효율성 악화에 기여하고 있는지에 대한 구체적인 분석이 있어야 올바른 정책 방향 수립이 가능하다. 이를 위해 업종별 에너지 소비량에 대한 가법 분해분석 결과를 살펴보도록 하자.<sup>15)</sup>

〈표 6〉 산업 부문 업종별 에너지 소비량 가법 분해분석 결과(2004~2011년)

(단위: 천TOE)

구분	생산 효과	에너지원단위효과	소비량 증감	비율	'04년 대비 '11년 증감률
농림어업	290	-738	-447	-1.9%	-12.7%
광업	-40	125	86	0.4%	49.1%
음식담배	-55	114	59	0.3%	3.6%
섬유의복	-51	-823	-874	-3.8%	-29.8%
제지목재	306	-774	-468	-2.0%	-21.2%
석유화학	4,873	1,591	6,464	27.9%	45.7%

14) 이러한 결과는 김수이·김현석(2011)이 제시한 결과의 연장선에서 해석될 수 있다. 1990년부터 2007년까지를 분석 대상으로 삼은 그들의 연구에서 2004년 이후 구조효과와 원단위효과는 에너지 소비를 감소시키는데 기여하였는데 이는 본 연구의 결과와 일맥상통한다. 그러나 2004년부터 2008년 기간 동안 원단위효과가 에너지 소비를 감소시킨 것으로 나타난 박정욱·김수이(2013)의 결과와 달리 여기서는 동 기간 동안 원단위 효과가 에너지 소비를 증가시킨 것으로 나타났다. 이러한 결과의 차이는 분석 기간(특히 기준년도), 분석 대상 업종의 범위 등에서 비롯된 차이로 판단된다.

15) 업종별 에너지 소비량에 대한 승법 분해분석 결과 또한 그 추이와 방향성이 가법 분해분석 결과와 유사하므로 여기서는 가법 분해분석 결과를 중심으로 서술하기로 한다. 단, 승법 분해분석 결과에 대해서는 <표 7>을 참조하기 바란다.

〈표 6〉 산업 부문 업종별 에너지 소비량 가법 분해분석 결과(2004~2011년) (계속)  
(단위: 천TOE)

구분	생산 효과	에너지원단위효과	소비량 증감	비율	'04년 대비 '11년 증감률
비금속	1,075	-1,331	-256	-1.1%	-4.5%
철강	6,482	6,258	12,740	55.1%	71.9%
비철금속	-29	400	371	1.6%	56.5%
조립금속	5,053	-1,168	3,886	16.8%	66.6%
기타 제조	2,701	-1,225	1,476	6.4%	17.5%
건설업	-129	221	92	0.4%	3.8%
산업 계	20,477	2,651	23,128	100.0%	35.3%

〈표 7〉 산업 부문 업종별 에너지 소비량 승법 분해분석 결과(2004~2011년)  
(단위: 2004=1)

구분	생산효과	에너지원단위효과	소비량 변화
농림어업	1.092	0.800	0.873
광업	0.832	1.793	1.491
음식담배	0.967	1.071	1.036
섬유의복	0.980	0.717	0.702
제지목재	1.169	0.674	0.788
석유화학	1.328	1.097	1.457
비금속	1.211	0.789	0.955
철강	1.317	1.305	1.719
비철금속	0.966	1.620	1.565
조립금속	1.943	0.858	1.666
기타 제조	1.344	0.875	1.175
건설업	0.950	1.092	1.038
산업 계	1.307	1.035	1.353

〈표 6〉은 분석 대상 기간에 대한 업종별 에너지 소비량에 대한 가법 요인 분해분석 결과를 보여준다. 산업부문 전체에 대한 분석에서는 산업 구조변화에 따른 소비량 증감을 구분할 수 있지만 업종별 분석에서는 그러한 구조효과를 분리할 수 없기

때문에 통상적으로 생산효과와 에너지원단위 효과로만 에너지 소비량을 분해한다. 여기서 업종별 분해분석의 생산효과는 해당 업종이 산업부문 전체의 생산효과와 구조효과에 대한 기여도를 의미한다.

분석 결과에 따르면 철강, 석유화학 및 조립금속업종의 에너지 소비량 증가가 산업부문 전체 소비량 증가를 견인한 것으로 나타났다. 철강업종이 전체 에너지 소비량 증가의 55.1%를 차지하여 가장 높았고, 석유화학 27.9%, 조립금속 16.8%의 순이었으며, 이들 업종이 산업 전체 에너지 소비량 증가에 대한 기여도는 99.8%에 달하였다. 그 외 광업, 음식담배, 비철금속, 기타 제조, 건설업 등도 에너지 소비 증가를 견인한 것으로 나타났다. 반면 섬유 의복, 제지목재, 농림어업, 비금속 등은 에너지 소비량 감소에 기여하였는데(에너지경제연구원, 2012), 특히 철강, 석유화학과 함께 대표적인 국내 에너지다소비업종의 하나인 비금속이 에너지 소비 감소에 기여한 것은 특이할 만한데 그러한 비금속의 에너지 소비량 감소의 주 요인은 에너지원단위 효과에 의한 것으로 나타났다.

업종별 에너지 소비 변화를 생산효과와 에너지원단위 효과로 분해하면 생산효과가 전체 소비 증가량의 88.5%, 에너지원단위 효과는 11.5%만큼 기여한 것으로 나타나 에너지 소비량 변화의 대부분이 생산 활동에서 비롯됨을 알 수 있었다. 특히 철강, 석유화학, 조립금속업종에서 생산효과가 두드러지게 나타났다. 하지만 에너지 효율은 개선됨에도 불구하고 생산효과로 인해 에너지 소비량이 증가할 수 있다. 따라서 에너지 소비 증가를 견인하고 있다는 사실만으로 정책 방향을 수립하면 자칫 생산활동을 위축시킬 우려가 있다. 생산활동을 위축시키지 않으면서 에너지 효율성을 제고하는 것이 바람직한 정책 방향이므로 에너지 소비량 증감과 더불어 원단위 효과의 방향성을 살펴볼 필요가 있다.

이러한 관점에서 가장 정책적 관심이 집중되어야 하는 ‘에너지 소비량 증가 및 에너지원단위 악화’에 해당되는 업종은 광업, 음식담배, 석유화학, 철강, 비철금속 및 건설업이었다(<표 8> 참조). 특히 철강 및 석유화학의 에너지원단위 효과는 산업 부문 전체 에너지원단위 효과의 각각 236.0%(철강)와 60.0%(석유화학)를 차지하여, 이들 두 업종의 에너지 효율성 제고 방안 마련이 시급한 것으로 분석된다.<sup>16)</sup> 조립금속과 기타 제조는 에너지 소비량 증가에 기여하였으나 이는 생산효과에 기인한 것

으로서, 에너지원단위는 오히려 개선된 것으로 나타나 고부가가치화 및 에너지 효율향상이 꾸준히 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 한편 농림어업, 섬유·의복 그리고 제지·목재업종의 경우 에너지 소비량이 감소하였을 뿐만 아니라 에너지원단위도 개선된 것으로 나타났다.

〈표 8〉 업종별 에너지 소비량 및 원단위 변화(2004~2011년)

구분	에너지 소비량 감소	에너지 소비량 증가
에너지원단위 개선	농림어업, 섬유·의복, 제지·목재, 비금속	조립금속, 기타 제조
에너지원단위 악화		광업, 음식·담배, 석유·화학, 철강, 비철금속, 건설

## 2. 온실가스 배출량 변화 분해분석

산업부문 온실가스 배출량에 대한 LMDI 분석 결과는 <표 9>와 <그림 4, 5>와 같다. 분석 대상 기간 동안 산업부문 온실가스 총배출량은 2004년 2억2,164만 톤에서 2011년 3억1,758만 톤으로 9,593만 톤 증가하였으며, 이는 2004년 대비 43% 증가한 수준이다. LMDI 가법 분해 분석에 의하면 생산효과로 인해 배출량이 8,926만 톤 증가하였고, 구조효과로 인해 1,370만 톤 감소하였으며, 에너지원단위 효과에 따라 895만 톤 배출량이 증가한 것으로 분석되었다. 생산효과와 구조효과는 분석 기간 동안 일관된 방향으로 작용하였고 에너지원단위 효과는 2007년까지 개선되다가 2008년 이후로 악화되는 추세를 나타냈다. 이 같은 결과는 앞선 에너지 소비량 분해 분석 결과와 맥을 같이 한다.

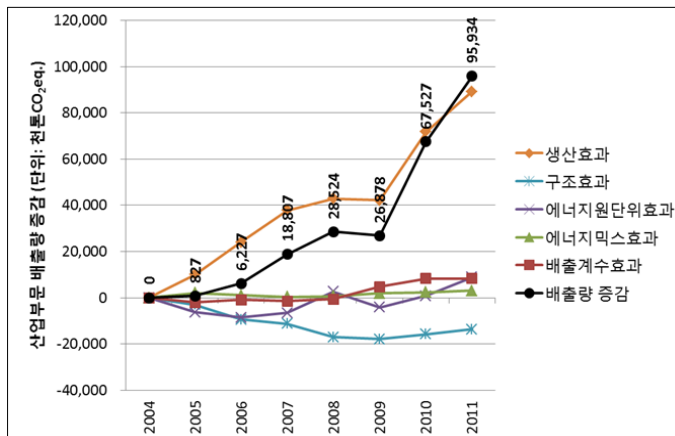
16) LMDI 분석은 개별 업종의 에너지원단위가 악화되는 구체적인 원인(경제적, 기술적 요인을 포함)에 대해서는 분석하기 어렵다. 그러나 에너지 효율성의 관점에서 어떠한 업종들을 눈여겨보아야 하는지에 관한 지침을 준다는 점에서 의의를 가진다.

〈표 9〉 산업 부문 온실가스 배출량 가법 및 승법 분해분석 결과

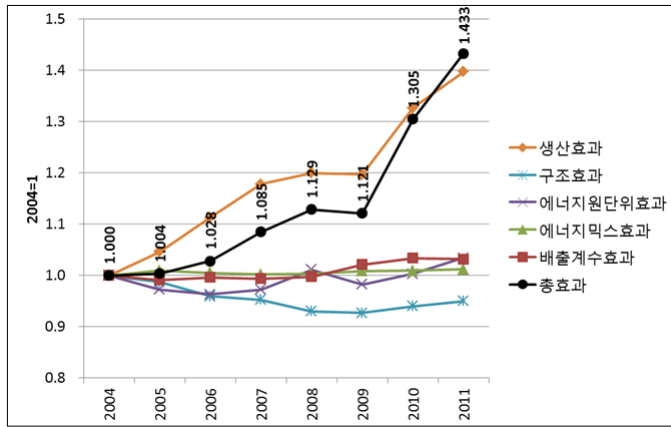
(단위: 천 톤CO<sub>2</sub>eq.(가법), 2004=1(승법))

접근법	연도	생산효과	구조효과	에너지 원단위 효과	에너지믹스 효과	배출계수 효과	배출량 증감
가법	2004년	-	-	-	-	-	-
	2005년	10,037	-2,978	-6,270	2,026	-1,987	827
	2006년	24,014	-9,361	-8,522	1,022	-926	6,227
	2007년	37,805	-11,290	-6,507	327	-1,529	18,807
	2008년	42,930	-17,107	2,644	708	-650	28,524
	2009년	42,180	-17,951	-4,192	2,009	4,832	26,878
	2010년	71,775	-15,750	753	2,390	8,360	67,527
	2011년	89,261	-13,698	8,948	3,139	8,285	95,934
승법	2004년	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	2005년	1.046	0.987	0.972	1.009	0.991	1.004
	2006년	1.113	0.959	0.963	1.005	0.996	1.028
	2007년	1.178	0.952	0.972	1.001	0.993	1.085
	2008년	1.200	0.930	1.011	1.003	0.997	1.129
	2009년	1.197	0.926	0.982	1.009	1.021	1.121
	2010년	1.327	0.940	1.003	1.009	1.033	1.305
	2011년	1.397	0.950	1.034	1.012	1.032	1.433

〈그림 4〉 온실가스 가법 분해분석



〈그림 5〉 온실가스 승법 분해분석



그러나 에너지 소비량에 대한 분해 분석과 달리 온실가스 배출량의 경우 ‘에너지믹스 효과’와 ‘배출계수 효과’로 추가적으로 요인 분해 가능하다. 동일한 에너지 소비량이라도 (1) 석탄이나 전환손실이 큰 전력 같은 에너지원의 비중이 커질 경우 (에너지믹스 효과) 또는 (2) 전원 믹스가 온실가스 다배출구조로 변화할 경우(배출계수 효과) 온실가스 배출량이 늘어나기 때문이다. 분석 결과에 의하면 동 기간 동안 에너지믹스 효과에 의해 314만 톤, 배출계수 효과에 의해 828만 톤 배출량이 증가한 것으로 나타났다. 에너지믹스 효과는 줄곧 배출량을 증가시키는데 기여한 반면, 배출계수 효과는 2008년까지는 배출량 감소에 기여하다가 2009년 이후로 배출량을 늘리는데 기여한 것으로 나타나 대조를 이루었다.

실제로 분석기간 동안 산업부문 석탄 소비 비중(원료용 납사 포함한 에너지밸런스 기준)은 2004년 23%에서 2011년 25.7%로 늘어났고, 전력 소비 비중 역시 2004년 14.6%에서 2011년 16.2%로 증가하였다(에너지경제연구원, 2012). 전원 구성 또한 2004년 38.2%에 달했던 원자력의 비중이 2011년 31.1%로 낮아진데 반해 화력 발전의 비중은 2004년 58.9%에서 2011년 63.3%로 늘어나 온실가스 다배출 중심으로 변모해온 것을 확인할 수 있다(한국전력공사, 2012). 이와 더불어 에너지믹스 효과와 배출계수 효과 모두 앞에서 지적한 최근의 총배출량/에너지 지표 상승에 영향을 준 것으로 해석된다. 하지만 배출계수 효과의 영향은 에너지믹스 효과에 비해 훨씬



썩 컸다.

이로부터 우리는 앞선 에너지 소비량에 대한 분해 분석 결과에 더하여 다음과 같은 시사점을 추가적으로 얻을 수 있다. 먼저 에너지믹스 효과의 개선을 통한 온실가스 감축을 위해 가스, 신재생 등 온실가스 저배출형 에너지원의 비중을 더욱 늘릴 필요가 있다. 전환부문의 전환손실률을 개선하기 위한 정책적 노력 또한 에너지믹스 효과 개선에 도움을 줄 수 있다. 다음으로 전력 생산을 위한 연료 믹스 또한 온실가스 저배출형 구조로 전환시켜 나가야 한다. 사실 최근 급격한 배출계수 효과의 악화는 원자력의 비중이 낮아진데 기인한 바가 크다. 하지만 공급설비의 안전성 등의 이유로 원자력의 비중을 2004년 수준으로 되돌리기 용이치 않을 것으로 보인다. 따라서 배출계수 효과의 개선을 위해서는 전력 생산에 있어서 신재생에너지의 비중을 지속적으로 늘려 가야 할 것으로 판단된다. 끝으로 에너지 절약 및 효율향상 등 에너지 수요관리를 더욱 강화할 필요가 있다. 수요관리 중심의 정책을 통해 전력 소비량을 절감하고 효율을 개선할 경우 에너지원단위를 개선시킬 뿐만 아니라 전력 소비 비중을 낮추어 에너지믹스 효과를 개선시키는 일석이조의 효과를 거둘 수 있기 때문이다. 제2차 에너지기본계획(산업통상자원부, 2014)에서도 에너지 수요관리, 특히 전력 수요관리의 중요성을 강조하고 있다는 사실을 상기할 때, 본 연구의 분석 결과는 제2차 에너지기본계획의 정책 방향을 뒷받침한다고 하겠다.

한편, 승법 분해 분석의 결과 또한 가법 분해 분석과 대동소이하였다. 승법 분해 분석에 따르면 2004년 대비 2011년에 배출량이 43.3% 증가하였다. 이 중에서 생산 효과에 의한 증가율은 39.7%, 에너지원단위 효과에 의한 증가율은 3.4%, 에너지믹스 효과와 배출계수 효과에 의한 증가율은 각각 1.2%, 3.2%이었다. 구조 효과로 인한 감소율은 5.0%이었다(<표 9>, <그림 5> 참고).

다음으로 <표 10>을 통해 업종별 온실가스 배출량에 대한 가법 분해분석 결과를 살펴보자.<sup>17)</sup> 에너지 소비량과 유사하게 철강, 석유화학 및 조립금속의 배출량 증가가 산업부문 에너지 연소에 의한 온실가스 배출량 증가분의 98.7%를 차지하여 이들

17) 앞 절의 에너지 소비량에 대한 분해분석과 유사하게 승법 분해 분석 결과에 대한 해석 또한 가법 분석과 다르지 않기 때문에 여기서는 가법 분해분석을 중심으로 결과를 서술하기로 한다. 업종별 온실가스 배출량에 대한 승법 분해 분석 결과는 <표 11>에 제시되어 있으니 참조하기 바란다.

업종이 산업부문 온실가스 배출량의 대부분을 책임지고 있는 것으로 나타났다. 하지만 배출량 증가의 요인은 업종별로 차이를 보였는데 생산효과는 조립금속에서 가장 높게 나타났고, 다음으로 철강, 석유화학 순이었다. 에너지원단위 효과는 철강업종에서 가장 악화된 것으로 나타났으며 석유화학 또한 에너지원단위 효과로 인해 배출량이 증가하였다. 이에 반해 조립금속은 에너지원단위가 개선되고 있는 것으로 분석되었는데 이 같은 결과는 앞선 에너지 소비량에 대한 분해분석 결과와 일맥상통한다.

에너지 소비량에 관한 분해 분석과 다르게 온실가스 배출량 분해 분석에서는 업종별 에너지믹스 효과와 배출계수 효과가 어떻게 작용하는지 확인할 수 있었다. 에너지믹스 효과는 석유화학, 비철금속, 기타 제조 등의 업종에서 온실가스 배출량 감소에 기여한 것으로 나타났다. 석유화학, 비철금속 등의 업종에서 에너지믹스 효과가 개선된 까닭은 석유 또는 석탄의 소비 비중이 줄어든 대신 가스의 소비 비중이 늘어났기 때문이다. 석유화학의 경우 2004년도 91.7%에 달하던 석유 소비 비중이 2011년 87.9%로 감소한 반면 가스의 비중은 1.1%에서 4.7%로 늘었다. 비철금속 또한 석유의 비중이 100.0%에서 24.0%로 줄고 가스의 비중이 0.0%에서 76.0%로 증가하였다(에너지경제연구원, 2012).

이와는 반대로 농림어업, 조립금속 등을 포함한 나머지 업종은 에너지믹스 효과로 인해 온실가스 배출량이 증가한 것으로 분석되었다. 특히 농림어업과 조립금속의 에너지믹스 효과 악화가 타 업종에 비해 두드러졌다. 이들 두 업종은 에너지밸런스 상 석탄 소비량이 ‘영’이므로 전력 소비 비중 증가로 인한 전환손실 증대가 에너지믹스 효과 악화의 주요 원인이었다. 실제로 농림어업은 전체 에너지 소비량에서 전력이 차지하는 비중이 2004년 15.9%에서 2011년 29.5%로 크게 늘어났으며, 조립금속 또한 2004년 69.1%에서 2011년 76.9%로 높아진 것으로 나타나, 이들 업종의 에너지원의 전력화 현상이 빠르게 진행되고 있는 것으로 보인다(에너지경제연구원, 2012).

여기서 한 가지 주목할 만한 사실은 농림어업의 경우 에너지 소비량 분해분석에서는 에너지 소비량이 감소하면서 에너지원단위가 개선되는 가장 양호한 업종으로 분류되었으나, 온실가스 배출량 분해 분석에서는 오히려 온실가스 배출량이 증가한

것으로 나타났다는 것이다. 그 이유는 에너지원의 전력화가 매우 빠르게 진행되어 에너지믹스 효과로 인한 배출량 증가가 컸기 때문이다. 따라서 농림어업 부문의 전력화 현상을 완화시킬 수 있는 정책적 대안을 마련할 필요가 있을 것이다.

끝으로 앞에서도 언급하였듯이 전원 구성이 온실가스 다배출구조로 변모됨에 따라 배출계수 효과는 거의 대부분의 업종에서 온실가스 배출량을 증가시키는데 기여하였다. 특히 조립금속, 철강, 석유화학 등 전력 소비가 많은 업종들에서 배출계수 효과에 의한 배출량 증가가 크게 나타났다.

〈표 10〉 산업부문 업종별 온실가스 배출량 가법 분해분석 결과(2004~2011년)

(단위: 천 톤CO<sub>2</sub>eq.)

	생산 효과	에너지 원단위 효과	에너지 믹스효과	배출계수 효과	배출량 증감	'04년 대비 '11년 증감률
농림어업	1,015	-2,580	1,384	299	119	1.0%
광업	-191	604	8	66	487	60.1%
음식담배	-215	442	132	315	674	10.5%
섬유의복	-207	-3,364	561	470	-2,539	-21.6%
제지목재	1,272	-3,217	502	407	-1,036	-11.3%
석유화학	14,923	4,872	-260	939	20,474	47.0%
비금속	4,180	-5,177	231	571	-195	-0.9%
철강	24,436	23,592	763	1,611	50,402	76.3%
비철금속	-133	1,859	-278	288	1,736	52.5%
조립금속	25,191	-5,820	1,808	2,631	23,809	86.6%
기타 제조	5,399	-2,450	-1,712	-17	1,220	6.9%
건설업	-108	186	1	704	782	45.1%
산업 계	75,563	8,948	3,139	8,285	95,934	43.3%

〈표 11〉 산업부문 업종별 온실가스 배출량 승법 분해분석 결과(2004~2011년)

(단위: 2004=1)

	생산 효과	에너지 원단위효과	에너지 믹스효과	배출계수 효과	배출량 증감
농림어업	1.092	0.800	1.127	1.026	1.010
광업	0.832	1.793	1.007	1.066	1.601
음식담배	0.967	1.071	1.020	1.050	1.109
섬유의복	0.980	0.717	1.057	1.048	0.778
제지목재	1.169	0.674	1.063	1.051	0.881
석유화학	1.328	1.097	0.995	1.018	1.475
비금속	1.211	0.789	1.011	1.026	0.991
철강	1.317	1.305	1.009	1.018	1.766
비철금속	0.966	1.620	0.930	1.078	1.569
조립금속	1.943	0.858	1.049	1.072	1.873
기타 제조	1.344	0.875	0.911	0.999	1.069
건설업	0.950	1.092	1.000	1.398	1.451
산업 계	1.327	1.034	1.012	1.032	1.433

## V. 미세분화업종의 세분화 분해분석 결과

앞 장에서 2004년부터 2011년까지 산업 부문 전체 그리고 에너지밸런스의 업종 분류체계에 따른 12개 업종별 에너지 소비량 및 온실가스 배출량에 대한 LMDI 분해 분석 결과를 살펴보았다. 그런데 국가 온실가스 감축목표의 업종 분류체계에 따르면 비금속은 유리요업, 시멘트업종으로 세분화되며, 조립금속은 기계, 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선 등 6개 업종으로 세분화된다. 따라서 비금속, 조립금속 같이 여러 세부 업종들로 집계화된(aggreated) 업종 체계에 대한 요인 분해 분석 결과와 이를 구성하는 개별적인 세부 업종들의 분해 분석 결과가 다르게 나타날 가능성이 있다. 그 경우 집계화된 업종에 대한 분석 결과로부터 도출된 시사점을 개별 세부 업종들에 일률적으로 적용할 경우 정책 방향의 오류에 직면하게 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 비금속, 조립금속을 국가 온실가스 감축목표 체계에 맞게 세분화하여 에너지 소비량과 온실가스 배출량에 대한 LMDI 분해 분석을 해보았다.

## 1. 에너지 소비량 변화 분해분석

비금속과 조립금속업종에 대한 에너지 소비량 LMDI 가법 분해분석 결과는 아래의 <표 12>와 같다. 비금속과 조립금속업종의 결과는 산업을 12개 업종으로 구분할 때의 결과이며, 비금속과 조립금속업종의 세분화 업종의 결과는 산업을 18개 업종으로 구분할 때의 결과이다.<sup>18)</sup> 앞에서 언급한 바와 같이 비금속업종은 분석 기간 동안 에너지 소비량이 감소하였는데 이는 생산 효과로 인한 에너지 소비량 증가를 에너지원단위 효과의 개선으로 그 이상 상쇄하였기 때문이다. 하지만 비금속을 구성하는 세부 업종별로 분석해보면 업종별로 양상이 다르게 나타났다.

<표 12> 비세분화 업종의 에너지 소비량 가법 분해분석 결과(2004~2011년)

(단위: 천TOE)

	생산효과	에너지 원단위효과	소비량 증감	비율	'04년 대비 '11년 증감률
비금속	1,075	-1,331	-256	-1.1%	-4.5%
• 유리요업	952	-1,460	-509	-2.2%	-26.3%
• 시멘트	-1,478	1,730	253	1.1%	6.6%
조립금속	5,053	-1,168	3,886	16.8%	66.6%
• 기계	733	349	1,081	4.7%	70.4%
• 반도체	1,142	-377	766	3.3%	105.0%
• 디스플레이	1,024	-290	734	3.2%	168.8%
• 전기전자	606	-518	89	0.4%	7.1%
• 자동차	1,206	-256	951	4.1%	71.9%
• 조선	306	-41	265	1.1%	47.1%

유리요업은 생산효과에 의해 에너지 소비량이 증가한데 반해 에너지원단위는 크게 개선되어 에너지 소비량이 줄었다. 하지만 시멘트의 경우 생산효과에 의해 에너지 소비량이 감소하였으나 에너지원단위가 이를 상쇄할 정도로 악화되어 에너지 소

18) LMDI 분해분석은 변화량이 큰 요인일수록 가중치가 커지는 방식이어서 업종 구성을 다르게 할 경우, 요인별 효과의 크기가 다르게 나타난다. 즉, 비금속과 조립금속을 별도로 세분화하지 않고 12개 업종으로 분해 분석한 결과와 이를 18개 업종으로 세분화하여 분석한 결과는 다소 차이가 난다. 이 점을 지적해준 익명의 심사위원께 감사드린다.

비량이 늘어난 것으로 분석되었다. 유리요업과 시멘트업종이 서로 정 반대의 움직임을 보이고, 시멘트 업종이 비금속 전체의 분석 결과와 반대 방향을 보이고 있었다. 따라서 비금속 전체에 대한 분석 결과만을 토대로 감축정책의 방향을 정하면 정책적 오류에 직면할 수 있으므로 시멘트업종에 대해서는 에너지원단위 개선을 유도하기 위한 별도의 정책 수립이 필요할 것으로 보인다.

조립금속의 경우 동 기간 동안 에너지 소비량이 증가하였는데 이는 주로 양의 생산효과에 기인한 것으로 에너지원단위 효과는 음의 값을 보여 에너지 이용 효율성이 개선되고 있는 것으로 나타났다. <표 12>에서 보듯이 조립금속을 구성하는 세부 업종 중 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선 등 5개 업종은 조립금속 전체의 요인별 효과와 동일한 방향으로의 움직임을 보였다. 그러나 기계업종은 다소 예외적으로 분석 기간 동안 에너지원단위 효과에 의해 에너지 소비가 오히려 증가한 것으로 나타나 여타 조립금속 세부 업종들과 대조를 이루었다. 만일 조립금속의 에너지원단위가 개선되고 있다는 사실만으로 기계업종 또한 에너지원단위가 개선되고 있다고 유추할 경우 정책적 오류를 범할 가능성이 크다. 물론 기계업종의 에너지원단위가 악화되는 근본적인 원인에 대해서는 LMDI 분해 분석만으로는 해답을 얻기 어려우므로 별도의 세부적인 연구가 필요할 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 조립금속 전체에 대한 분석 결과를 개별 세부 업종에 대해 일률적으로 적용해선 안 된다는 것을 보여주고 있다는 점에서 시사하는 바가 크다. 에너지 소비량에 대한 LMDI 승법 분해분석 결과는 <표 13>과 같으며, 가법 분해분석과 동일하게 해석할 수 있다.

<표 13> 비세분화 업종의 에너지 소비량 승법 분해분석 결과(2004~2011년)

(단위: 2004=1)

	생산효과	에너지원단위효과	소비량 증감
비금속	1.211	0.789	0.955
• 유리요업	1.769	0.417	0.737
• 시멘트	0.687	1.551	1.066
조립금속	1.943	0.858	1.666
• 기계	1.405	1.188	1.668
• 반도체	2.917	0.703	2.050
• 디스플레이	3.971	0.677	2.688
• 전기전자	1.600	0.669	1.071
• 자동차	1.988	0.865	1.719
• 조선	1.561	0.942	1.471

## 2. 온실가스 배출량 변화 분해분석

비세분화 업종에 대한 온실가스 배출량에 대한 요인 분해 분석을 하였다(<표 14, 15> 참조). 본 연구의 분석 범위가 산업부문 에너지 연소에 의한 온실가스 배출량이므로 온실가스 배출량에 관한 세부 업종별 요인 분해 분석 결과는 에너지 소비량에 관한 분해 분석 결과와 기본적으로 동일하였다. 다만 배출량 분석에서 추가적으로 확인 가능한 에너지믹스 효과와 배출계수 효과에 대해 살펴보면, 유리요업은 모든 요인에 있어서 비금속업종과 동일한 부호를 가진 것으로 나타났으나 시멘트는 에너지믹스 효과가 음의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 유리요업의 경우 특수 유리 제조 등 유리업종의 고부가가치화가 진행되면서 에너지원 중 전력 소비 의존도가 높아지면서 에너지믹스 효과가 양의 값을 보인 반면, 시멘트는 석탄 소비 비중 감소, 가스 소비 비중 증가로 인해 에너지믹스 효과가 음의 값을 보였다.

조립금속의 세부 업종별 결과에서는 에너지믹스 효과의 경우 자동차를 제외한 나머지 업종이 조립금속 전체에 대한 분석 결과와 유사하게 양의 값을 나타냈으며, 배출계수 효과의 경우엔 모든 업종이 조립금속 전체에 대한 분석 결과와 같이 양의 값을 나타냈다. 조립금속을 구성하는 세부 업종들의 에너지믹스 효과 및 배출계수 효

과의 악화는 주로 에너지원의 전력화 현상으로 인한 전력 소비량 증가, 화력발전 비중 증가 등에 따른 것이다. 다만 자동차업종은 에너지믹스 효과가 여타 업종들과 다르게 나타났는데 이는 자동차업종의 가스 소비의 비중은 늘고 전력 소비의 비중은 줄어들었기 때문이다.

〈표 14〉 비세분화 업종의 온실가스 배출량 가법 분해분석 결과(2004~2011년)  
(단위: 천 톤CO<sub>2</sub>eq.)

	생산 효과	에너지 원단위 효과	에너지 믹스효과	배출계수 효과	배출량 증감	'04년 대비 '11년 증감률
비금속	4,180	-5,177	231	571	-195	-0.9%
• 유리요업	3,187	-4,892	154	196	-1,354	-19.8%
• 시멘트	-5,906	6,915	-177	326	1,159	7.6%
조립금속	25,191	-5,820	1,808	2,631	23,809	86.6%
• 기계	3,710	1,766	589	717	6,783	93.0%
• 반도체	6,265	-2,066	196	453	4,848	127.7%
• 디스플레이	5,457	-1,544	213	298	4,424	205.2%
• 전기전자	3,093	-2,640	702	483	1,638	27.5%
• 자동차	5,566	-1,179	-387	555	4,555	75.2%
• 조선	1,287	-172	322	125	1,561	70.0%

〈표 15〉 비세분화 업종의 온실가스 배출량 승법 분해분석 결과(2004~2011년)  
(단위: 2004=1)

	생산 효과	에너지원단위 효과	에너지믹스효 과	배출계수효과	배출량 증감
비금속	1.211	0.789	1.011	1.026	0.991
• 유리요업	1.769	0.417	1.028	1.036	0.785
• 시멘트	0.687	1.551	0.989	1.021	1.076
조립금속	1.943	0.858	1.049	1.072	1.873
• 기계	1.435	1.188	1.059	1.072	1.936
• 반도체	2.917	0.703	1.034	1.080	2.290
• 디스플레이	3.971	0.677	1.055	1.078	3.059
• 전기전자	1.600	0.669	1.113	1.076	1.283
• 자동차	1.988	0.865	0.953	1.071	1.755
• 조선	1.561	0.942	1.118	1.044	1.717



## VI. 결론

본 연구는 국내 산업 부문 업종별 온실가스 감축목표 분류체계에 따라 에너지 소비 및 온실가스 배출에 대해 분해분석한 최초의 연구이다. 기존의 국내 산업 부문의 에너지 소비 또는 온실가스 배출에 대한 분해분석 연구들은 에너지밸런스의 업종 분류 체계를 따르고 있었다. 하지만 배출권거래제에 따른 업종별 할당 및 중기 업종별 목표를 달성하기 위해서는 감축목표 분류체계에 맞춰 업종별 특성 분석이 전제되어야 한다.

잔차가 남지 않는 로그평균디비지아지수 분해분석법을 적용하여, 상세업종 분류가 가능한 2004년부터 2011년까지를 분석하였다. 산업 전체와 에너지밸런스 분류체계에 따른 업종별 분석을 하였고, 비금속 업종과 조립금속 업종 등 비세분화업종을 감축목표 분류체계에 맞춰 각각 2개와 6개 업종으로 세분화하여 분석한 결과와 비교하였다.

2004~2011년 기간 산업 부문의 실질 부가가치는 2004년 대비 1.40배로 증가한 반면, 납사순연료소비량을 반영한 산업부문 최종에너지 소비량은 1.35배로 증가하였으며, 온실가스 직·간접 배출량은 1.43배로 증가하였다.

동일 기간에 산업 부문 최종에너지 소비량이 35.3% 증가하였는데 요인별 승법 분해분석한 결과, 생산효과로 인해 40.2% 증가, 구조효과로 6.8% 감소, 에너지원단위효과로 인해 3.5% 증가하였다. 동 기간에 생산활동이 에너지 소비량 증가에 가장 크게 기여한 반면, 에너지저소비형 산업구조로의 변화는 에너지 소비량 감소에 기여하였다. 반면 산업 부문의 부가가치당 에너지 소비 효율성은 2008년 이후 악화되면서 에너지 소비량이 증가하는데 기여하였다.

업종별 에너지 소비량은 생산효과와 에너지원단위효과로 분해분석하였는데, 전체 소비 증가량의 88.5%는 생산효과, 그리고 11.5%는 에너지원단위효과에 기인하였다. 산업 부문 에너지 소비량 증가를 견인한 업종은 철강, 석유화학, 조립금속 순이며, 각각 산업 부문 전체 에너지 소비량 증가의 55.1%, 27.9%, 16.8%를 차지하였다. 철강과 석유화학 업종은 에너지원단위효과가 소비량 증가에 기여함에 따라, 두 업종의 에너지 효율성 제고 방안 마련이 시급하다. 반면에 조립금속은 고부가가치화

및 에너지효율 향상을 통해 에너지원단위가 개선되고 있었다.

2004~2011년 기간 산업 부문 온실가스 총배출량은 43.3% 증가하였는데 승법 분해분석 결과, 생산효과로 인해 39.7% 증가하였고, 구조효과로 5.0% 감소, 에너지원단위효과로 3.4% 증가, 에너지믹스효과로 1.2% 증가, 배출계수효과로 3.2% 증가하였다. 온실가스 배출량이 에너지 연소에 기인하기 때문에, 산업 부문 배출량 증가에 대한 생산효과, 구조효과, 에너지원단위효과는 에너지 소비량에 대한 분해분석 결과와 맥을 같이 하고 있었다. 에너지믹스효과는 석탄이나 전환손실이 큰 전력과 같은 에너지원의 비중이 커지면서 배출량 증가에 기여하였고, 배출계수효과 또한 최근에 화력발전의 비중이 늘어나면서 전력배출계수가 악화됨에 따라 배출량 증가에 기여하였다. 따라서 지금까지 최종에너지원 중에서 전환손실이 큰 전력의 비중이 빠르게 증가하는 상황에서, 전력의 저탄소화가 확보되지 않는다면 직·간접 배출량은 증가하게 된다. 산업 부문 온실가스 배출량 저감을 위해서는 수요관리를 강화함으로써 에너지원단위를 개선하고, 가스, 신재생 등 온실가스 저배출형 에너지원의 비중을 확대함으로써 에너지믹스를 개선하고, 전력의 저탄소화, 특히 원전의 비중을 늘리기 쉽지 않은 상황에서 신재생에너지의 비중을 지속적으로 늘려감으로써 배출계수를 개선해야 할 것이다.

업종별 온실가스 배출량은 에너지 소비량과 마찬가지로, 철강, 조립금속, 석유화학이 견인하며, 산업 부문 전체 배출량 증가에서 각각 52.5%, 24.8%, 21.3%를 차지하였다. 조립금속은 산업 부문 에너지 소비량 증가에서 철강, 석유화학 다음으로 세 번째로 기여도가 높았지만 배출량 증가에서는 석유화학을 제치고 두 번째로 기여도가 높았다. 세 업종 중에서 석유화학 업종만 에너지믹스효과가 배출량 감소에 기여하였으며, 배출계수효과는 세 업종 모두 배출량 증가에 기여하였다. 특히 전력 비중이 큰 조립업종은 배출계수효과로 인한 배출량 증가 효과가 가장 크게 나타났다.

업종별 감축목표에서는 비금속은 유리요업과 시멘트로, 조립금속은 기계, 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선으로 세분화되었다. 비금속을 세부 업종별로 분해분석한 결과, 에너지 소비와 온실가스 배출량에 있어서 비금속과 유리요업은 요인별 효과의 방향이 동일한 반면, 시멘트는 비금속과 요인별 효과의 방향이 차이를 보였다. 조립금속의 경우, 에너지 소비에 대한 세부 업종들의 요인별 효과는 기계를

제외한 반도체, 디스플레이, 전기전자, 자동차, 조선이 조립금속과 동일한 방향을 보였다. 온실가스 배출량에서는 기계와 자동차가 나머지 조립금속의 세부 업종들과 요인별 효과의 방향이 차이를 보였다. 따라서 비금속과 조립금속에 대한 분해분석 결과를 세부 업종에 일률적으로 적용할 경우 일부 업종에서는 정책 방향의 오류에 직면하게 된다.

향후 업종별 감축목표의 준수 여부를 평가하고, 업종별 이행 전략을 수정하기 위해서는 무엇보다도 세부업종별 에너지 소비량 및 온실가스 배출량 통계가 지속적으로 작성·공표되고, 요인별 분해분석도 업데이트되는 것이 중요하다.

LMDI 분해분석법으로 산업구조, 에너지원단위, 에너지믹스, 배출계수 등의 변화 원인(가격이나 기술 등)을 직접적으로 파악할 수는 없었지만, 이에 대한 계량경제적 연구들이 수반된다면 정책적으로 더욱 풍부한 함의를 제공할 수 있을 것이다.

## [References]

1. 관계부처합동, 「국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵」, 2014.
2. 김성균·최도영·이경근·윤미령, “산업·에너지부문 온실가스 배출통계 증감요인 분석,” 「산업·에너지부문 온실가스 배출통계 작성 보고서」, 지식경제부·에너지경제연구원, 2012.
3. 김수이·김현석, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석,” 「에너지경제연구」, 제10권, 제1호, 2011, pp. 49~76.
4. 김수이·정경화, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인분해분석,” 「자원·환경경제연구」, 제20권, 제2호, 2011, pp. 229~254.
5. 김철현·심성희, 「온실가스 배출통계 업종 세분화 방법론 고도화 연구」, 산업통상자원부·에너지경제연구원, 2013.
6. 김화영·김지효, “주요 분해분석 방법론을 이용한 에너지유 소비 변화 분석,” 「한국지구시스템공학회지」, 제45권, 제2호, 2008, pp. 91~100.
7. 박년배·전의찬, “국내 산업 부문 에너지 소비와 온실가스 배출에 대한 과거 및 중기 목표 분해분석,” 「환경정책」, 제21권, 제3호, 2013, pp. 103~126.
8. 박성준·김진수, “우리나라 1차 에너지와 최종 에너지 소비 변화요인 분해 비교분석,”

- 「자원·환경경제연구」, 제23권, 제2호, 2014, pp. 305~330.
9. 박정욱·김수이, “한국과 일본의 산업부문 에너지 소비에 대한 LMDI 요인분해 분석,” 「에너지경제연구」, 제12권, 제1호, 2013, pp. 67~103.
  10. 박희천, “한국 제조업의 에너지효율 향상평가,” 「자원·환경경제연구」, 제10권, 제2호, 2001, pp. 135~159.
  11. 산업연구원, 내부자료, 2013.
  12. 산업자원부, 「2005년도 에너지총조사 보고서」, 2006.
  13. 산업통상자원부, 「제2차 에너지기본계획」, 2014.
  14. 에너지경제연구원, 「에너지통계연보」, 2012.
  15. 지식경제부, 「2008년도 에너지총조사 보고서」, 2009.
  16. 지식경제부, 「2011년도 에너지총조사 보고서」, 2012.
  17. 지식경제부, 「2012 국가 온실가스 배출량 분석 보고서」, 2013.
  18. 온실가스종합정보센터, 「2013년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」, 2014.
  19. 온실가스종합정보센터·환경부·지식경제부·국토해양부·농림수산식품부·기획재정부·녹색성장위원회, “2020년 저탄소 녹색사회 구현을 위한 로드맵 : 부문별·업종별·연도별 온실가스 감축목표 확정,” 보도자료(2011.7.12.), 2011.
  20. 임재규·김종익, “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인분해 방법론 활용,” 「에너지경제연구」, 제13권, 제1호, 2014, pp.121~143.
  21. 한국석유공사, 「석유류 수급통계」, 2012.
  22. 한국전력공사, 「한국전력통계」, 2012.
  23. 통계청, 「광업·제조업조사 보고서」, 2012.
  24. Ang, B.W., “Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method?,” *Energy Policy*, Vol. 32, 2004, pp. 1131~1139.
  25. Ang, B.W., “The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide,” *Energy Policy*, Vol. 33, 2005, pp. 867~871.
  26. Ang, B.W., and F.Q. Zhang, “A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies,” *Energy*, Vol. 25, 2000, pp. 1149~1176.
  27. Oh, I., Wehrmeyer, W., and Y. Mulugetta, “Decomposition analysis and mitigation strategies of CO<sub>2</sub> emissions from energy consumption in South Korea,” *Energy Policy*, Vol. 38, 2010, pp. 364~377.
  28. IPCC, *Summary for Policymakers in Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*, Cambridge and New York, Cambridge University Press, 2014.