

에너지원별 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비 변화요인 분해분석

진태영* · 김진수**

요 약

본 연구는 지수분해분석 방법론과 1990년부터 2017년까지의 에너지밸런스 자료를 활용하여 에너지원별 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비량의 분해분석 결과를 비교분석한 연구이다. 14개 생산부문을 바탕으로 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비의 차이 관점에서 여섯 가지 에너지원별 생산 효과, 집약도 효과 및 구조 효과를 살펴보았다. 분석 결과 최종에너지 소비량의 집약도 효과가 에너지 효율을 과대평가하고 있는 것으로 나타났다. 에너지원별 분해분석 결과에서는 전환 부문의 영향으로 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비량이 큰 차이를 보이는 석탄과 천연가스의 분석 결과가 매우 다르게 나타났으며, 전환 부문의 영향이 상대적으로 작은 석유도 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비량 기준에 따라 요인분해 결과의 차이가 큰 것으로 분석되었다. 신재생에너지는 분석 기간 내 꾸준히 소비가 증가하기 때문에 집약도 효과를 효율성 증가 지표로 해석하기에는 어려움이 있지만, 전력 부문 분해분석 결과와는 확연한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 앞으로 1차 에너지 공급을 기준으로 한 분해분석 연구가 지속될 필요가 있다.

주요 단어 : 분해분석, 1차 에너지 공급, 최종에너지 소비

경제학문헌목록 주제분류 : Q40, Q43

* 녹색기술센터 박사후연구원(주저자). jnow123@gtck.re.kr

** 한양대학교 자원환경공학과 부교수(교신저자). jinsookim@hanyang.ac.kr

I. 서 론

기후변화에 대한 세계적 관심이 지속되면서 기후변화의 원인인 온실가스 배출의 대부분을 담당하는 화석연료 소비가 주목받고 있다. 그에 따라 에너지원의 전환과 수요관리가 중점적으로 논의되고 있는 상황이다. IEA(2019a)에 따르면, 에너지 분야의 탄소배출량은 2018년에 이어 2019년 다시 역사상 최고치를 기록했다. 유럽 연합 국가들은 사용 에너지 형태의 전력화(electrification)를 통해 에너지 부문의 탄소배출량 감축을 꾀하고 있으며 (European Commission, 2018), 신재생에너지를 주축으로 한 에너지 전환 역시 전 세계적 노력이 가해지고 있지만 여전히 총 에너지 소비에 있어 화석연료의 비중은 높은 실정이다.

에너지 소비량에 대해 논하고자 할 때 에너지 효율 역시 함께 고려해야 한다. IEA(2013)에서는 이미 에너지 효율을 숨겨진 연료로 분류하여 에너지 효율에 대해 최초로 보고서를 발간하였으며 에너지 효율 정책이 가져다 줄 수 있는 경제와 환경적 효과에 대해 암시하고 있다. 최근 국내에서는 제 3차 에너지기본계획에서 에너지 효율을 향상시키기 위해 에너지 관리체계 설치 의무화를 확대하고 있으며, 에너지공급자 효율향상 의무화 제도를 통해 점진적으로 에너지원단위를 낮추려고 노력하고 있다. 이와 같이 에너지 소비량을 살펴볼 때 에너지 효율을 통한 절감이 필수적인 요소로 자리 잡고 있으며 현재 에너지원단위를 통한 효율파악을 최선의 방법으로 사용하고 있다.

본 연구에서는 기후변화 해결을 위한 에너지 전환과 에너지 효율 이슈가 대두되고 있는 이 시점에서, 현재까지 다수 이루어져 온 에너지 소비의 변화 요인을 분석하기 위한 분해분석에 새로운 관점인 에너지원 구조 변화 즉, 에너지원별 분해분석 결과를 비교하고자 한다. 박성준·김진수(2014)의 연구에서는 최종 에너지를 기준으로 분해분석을 수행할 경우 전력 부문에서의 전환

손실로 인해 정확한 변화 요인의 규명이 어려울 수 있다는 점을 지적하고 있다. 에너지의 전환 손실을 고려하지 못하면 정확한 에너지 효율을 반영하지 못한다고 할 수 있으며, 이는 경제적 에너지 효율 지표로 활용할 수 있는 에너지집약도 효과가 분해분석 시 과소평가 될 수 있음을 의미한다. 또한 전체 에너지 소비량 분석으로는 전환 부문의 변화와 업종별 최종 소비 변화가 각각 1차 에너지 공급에 어떻게 영향을 미쳤는지 파악하기 어렵다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비 기준의 분해분석 결과 차이를 생산부문에서 살펴보고, 에너지원별로 살펴볼 경우 그 차이가 어떻게 달라지는지 집중적으로 살펴보고자 한다. 본 연구에서 분류한 에너지원은 총 여섯 가지로, 석탄, 석유, 가스, 원자력, 수력 및 신재생 에너지원이다. 여기서 원자력, 수력 및 신재생에너지의 경우 전환손실이 존재하지 않기 때문에 화석연료들과는 다르게 전력의 분해분석 결과와 비교하여 그 차이를 살펴보고자 하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 에너지 소비량 분해분석에 관련된 국내, 해외 문헌을 정리한다. 3장에서는 자료, 즉 1차 에너지 공급 자료를 계산한 방법과 본 연구에서 사용된 분해분석 방법론에 대해 설명한다. 4장과 5장에서는 분석 결과를 기술하고 연구를 결론짓는다.

II. 선행연구

지수이론을 활용한 에너지 소비의 요인분해 분석은 오랜 역사를 가지고 있다. 그런데 Sun(1998)의 Refined Laspeyres 방법론과 Ang(1994), Ang and Choi(1997), Ang(2005)의 의해 로그평균디비지아 지수(Log Mean Divisia Index, LMDI)를 활용한 이상적인 요인분해 분석 방법론이 제시된 이후, 지수를 변화시키거나 분석기간, 분석대상 그리고 분석 부문을 다르게 하여 에너지

소비량 혹은 원단위에 대한 분해분석이 다양하게 이루어져 왔다. 특히 에너지가 많이 사용되는 제조업 부문에 대한 분석이 주로 이루어져 왔으며, 산업 부문에 대해 전체적인 분석을 시도하거나 혹은 국가의 전체 에너지 소비량에 대해 분석을 한 경우가 많다. 김진수(2015)에 따르면 분해분석 연구는 분석 대상, 즉 분석 기간이나 사용 자료에 따라 분석 결과가 상이하게 나타난다.

<표 1>에 국내·외 문헌의 분해분석 결과가 정리되어 있다. 먼저 국내 문헌을 살펴보면, 오진규 외(2003), 정한경(2005), 이진식(2010), 김수이·김현석(2011), 한준(2015), 구자열 외(2016)가 제조업 부문에 초점을 맞춰 에너지 소비량 변화요인에 대한 LMDI 분해분석을 시도하였다. 오진규 외(2003)에서는 분해분석을 외환위기 이전(1981-1997)과 이후(1997-2001)로 나누어 두 기간의 분해분석 결과가 어떻게 달라지는지 비교하였다. 정한경(2005)의 경우 국내 제조업의 에너지 소비량을 분해분석하였는데, 원단위효과를 연료대체효과와 연료효율효과로 분리하는 디비지아 계산식을 유도하였다.

이진식(2010)은 1995년부터 2008년까지의 국내 제조업 에너지 소비량 자료를 활용해 단순 요인분해 및 연도별 요인분해를 진행하였다. 김수이·김현석(2011)은 1991년부터 2007년까지의 국내 제조업의 에너지 소비량 자료를 활용하였는데, LMDI 분해분석 시의 두 가지 방법인 가법적 요인 분해와 승법적 요인 분해를 동시에 진행하여 비교하였다.

한준(2015)의 연구에서도 LMDI를 활용하여 1995-2010년의 전력사용량에 대한 분해분석을 시도하였는데, 직접가열용 비중 효과 및 전기 비중 효과를 포함하여 제조업 부문에서 사용되는 에너지의 형태 중 전력비중, 즉 전력화(electrification)에 따라 달라지는 에너지 소비량을 살펴보았다. 구자열 외(2016)는 국내 제조업의 전력소비에 대한 분해를 성장효과, 집약도 효과, 구조 효과, 생산제품 효과와 전력화 효과를 분해하였다.

국내 산업이 제조업뿐만 아니라 서비스 부문에서도 가파르게 성장하며 분해분석을 활용한 에너지 소비 변화요인 분석이 전체 산업부문을 대상으로도 이루어지고 있다. 박정욱·김수이(2013)는 유사한 경제성장 구조를 가졌다는

점에 착안하여 일본과 우리나라의 에너지 소비량에 대해 LMDI 기법을 적용하여 소비 변화요인을 분석하였다. 임재규·김종익(2014)는 1990년부터 2011년까지의 자료를 활용하여 산업부문에 대해 에너지 소비와 전력소비를 분해 분석하여 비교한 결과 집약도 효과의 규모 차이점에 착안하여 전력효율향상의 노력이 필요함을 암시하였다.

김태현 외(2015)는 서비스업을 제외한 산업부문에 대해 에너지 소비의 변화요인을 LMDI 기법을 활용하여 분석하였다. 오진규 외(2003)의 연구와 마찬가지로 이 연구에서도 세계 금융위기 시점 이전과 이후로 나누어 다르게 나타나는 결과를 보였다. 에너지 소비량에 대한 분석 시 세계 금융위기와 같은 경제충격은 원단위 지표를 악화시키기 때문에 중요하게 고려해야 하는 요소로 작용한다. 박년배·심성희(2015)는 2004년부터 2011년까지의 산업부문에 대해 에너지 소비와 온실가스 배출량에 대해 LMDI 기법을 적용하여 지수를 분해하였다. 기존의 분해분석 연구와는 다르게 에너지 밸런스 업종 분류 체계를 아닌 온실가스 감축목표 분류체계에 따라 분해분석을 진행하였다.

나인강·이성근(2010)의 연구에서는 가정부문의 에너지 소비량을 분해하였는데, 박희천(2006)의 연구와는 다르게 인구효과(성장효과), 구조 효과, 효율효과로 나누어 분석하였다. 이 연구에서의 구조 효과는 주거공간의 면적, 주택 수 혹은 전기기기 보급률 세 가지 변수로 도출하였다. 김민주 외(2014)에서는 가정부문 분해분석의 요인 중 구조 효과를 총 세 가지로 분류하여 가정부문의 에너지 지출과 에너지 지출 중 난방, 온수 취사 등이 차지하는 비중을 활용하였다.

에너지경제연구원(2013)에서는 최종 소비부문별로 에너지 소비량의 요인분해를 시도하였는데, 산업부문, 상업·공공기타부문, 가정부문, 그리고 수송부문으로 나누어 각 부문별로 성장효과, 구조 효과 및 원단위효과를 살펴보았다. 에너지경제연구원(2017a)에서는 2011년 이후의 에너지 소비량 자료만을 활용하여 분해분석을 시도하여 국가 전체 에너지 소비가 둔화된 요인을 살펴보는 것에 초점을 맞추었다.

해외 선행 연구들을 살펴보면 Xu et al.(2012)는 중국의 시멘트 산업에 대해 에너지 소비량 변화요인을 분석하였는데, 김진수(2015)에서 제시한 바와 같이 에너지 효율을 정확하게 반영하기 위해 부가가치 기준의 에너지 집약도가 아닌 시멘트 생산량 즉, 물량 기준의 에너지 집약도를 활용하여 분해분석에 활용하였다. Gonzalez et al.(2014)는 유럽의 에너지 소비 정책효과를 측정하기 위해 분해분석 연구로서는 드물게 유럽 연합 27개국에 대해 국가별 에너지 소비 분해분석 비교를 시도하였다. Wang et al.(2014)은 중국의 에너지 소비량 변화요인을 분석하기 위해 콥-더글라스 생산함수에 기반한 LMDI 기법을 사용하여 성장효과를 자본 및 노동력 효과로 분해하였다.

Achour and Belloumi(2016)는 1985년부터 2014년까지의 연간 자료를 활용하여 교통 물량효과, 인구효과를 추가한 다섯 요인 LMDI 기법으로 튀니지의 교통 부문 에너지 소비량을 분해분석하였다. Kim(2017)은 1991년부터 2011년까지 국내 제조업 부문의 에너지 소비량을 LMDI 기법을 활용하여 분해분석을 시도하였으며, 제조업의 세부 부문별 효과를 따로 보고하였다. Wang and Feng(2018)은 2001년부터 2015년까지 중국 비철금속 산업에서의 에너지 소비량을 분해하였는데, 다른 분해식 연장과 마찬가지로 에너지 구조 효과, 산업 크기 효과를 포함한 다섯 가지 요인으로 분석하였다.

〈표 1〉 에너지 소비 관련 분해분석 선행연구

저자	분석대상	분석기간	분해요인
오진규 외(2003)	제조업 (최종에너지)	1981-1997 1997-2001	생산 효과 원단위 효과 구조 효과
정한경(2005)	제조업 (최종에너지)	1975-2004	생산 효과 연료대체 효과 연료효율 효과 구조 효과
이진식(2010)	제조업 (최종에너지)	1995-2008	생산 효과 원단위 효과 구조 효과

에너지원별 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비 변화요인 분해분석

저자	분석대상	분석기간	분해요인
김수이·김현석(2011)	제조업 (최종에너지)	1991-2007	생산 효과 원단위 효과 구조 효과
한준(2015)	제조업 (직접가열용 전기사용량)	1995-2010	전기 비중 효과 직접가열용 비중 효과 에너지집약도 효과 부가가치 효과
구자열 외(2016)	제조업(전력)	2000-2014	성장 효과 집약도 효과 구조 효과 생산제품 효과 전력화 효과
박정욱·김수이(2013)	전체산업부문 (한국, 일본)	1990-2009	생산 효과 집약도 효과 구조 효과
임재규·김종익(2014)	제조업 (최종에너지, 전력)	1990-2011	생산 효과 집약도 효과 구조 효과
김태현 외(2015)	전체산업부문 (최종에너지, 온실가스 배출)	1998-2008 2008-2011	최종에너지: 생산 효과, 원단위 효과, 구조 효과 온실가스: 생산 효과, 단위 효과, 구조 효과, 너지 믹스 효과,
박년배·심성희(2015)	전체 산업부문 (최종에너지, 온실가스 배출)	2004-2011	최종에너지: 생산 효과, 원단위 효과, 구조 효과 온실가스: 생산 효과, 단위 효과, 구조 효과, 너지믹스 효과, 배출계수 효과
나인강·이성근(2010)	가정부문 (최종에너지)	1990-2006	성장 효과(인구) 원단위 효과 구조효과
김민주 외(2014)	가정부문 (최종에너지)	1990-2010	성장 효과(가구수) 원단위 효과 구조 효과 1 (가정부문 에너지 지출/가구수) 구조 효과 2 (에너지 지출 중 난방/온수/취사 /조명/냉방 기타 에너지 비중) 구조 효과 3 (각 에너지 지출 중 면적/주택 수/가전기기 보급률)

저자	분석대상	분석기간	분해요인
에너지경제연구원(2013)	산업부문 상업·공공기타부문 가정부문 수송부문 (최종에너지)	2002-2012	생산 효과 구조 효과 원단위 효과
에너지경제연구원(2017a)	산업부문 서비스부문 가정부문 수송부문 (최종에너지)	2001-2015	생산 효과 원단위 효과 구조 효과
Xu et al.(2012)	중국 시멘트 (물량 기준)	1990-2009	생산 효과(시멘트 생산) 구조 효과 시멘트 클린커 비율 효과 시멘트 가마 효율 효과
Gonzalez et al.(2014)	EU-27 (최종에너지)	2001-2008	생산 효과 구조 효과(지역) 원단위 효과
Wang et al.(2014)	중국 산업부문 (최종에너지)	1991-2011	투자 효과 원단위 효과 구조 효과 에너지 믹스 효과 노동력 효과
Achour and Belloumi(2016)	튀니지 수송부문 (최종에너지)	1985-2014	인구 효과 생산 효과 구조 효과(수송) 원단위 효과 수송 원단위 효과
Kim(2017)	국내 제조업 (최종에너지)	1991-2011	생산 효과 구조 효과 원단위 효과
Wang and Feng(2018)	중국 비철금속 산업 (최종에너지)	2000-2014	에너지 구조 효과 원단위 효과 구조 효과 노동생산성 효과 산업규모 효과

주) 분해요인에 대한 표현은 원문의 표현을 그대로 기술하였다.

<표 1>로 정리한 선행연구들에서 알 수 있듯이, 각 연구의 분석기간은 상이하며 대부분의 경우 기본 분해분석 체계인 생산, 구조 및 원단위 효과의 세

가지 요인분해 체계를 활용하고 있으며, 대부분 제조업 혹은 산업 부문에 대한 연구로 상업부문, 서비스 부문을 모두 포함한 연구는 김태현 외(2015)를 제외하고는 없었다. 또한 박성준·김진수(2014)를 제외한 모든 선행연구에서 에너지 소비량의 부문별 분류가 쉽지 않기 때문에 최종에너지 소비량을 활용한 분석이 주로 이루어져 왔다. 즉 최종에너지를 기준으로 분석하여 전환손실이 고려되지 않아 부문별 에너지 전환효율이 고려되지 않았다. 이에 본 연구에서는 박성준·김진수(2014)의 연구와 마찬가지로 전환손실을 고려하여 부문별 에너지 소비량을 1차 에너지 기준으로 환산한 뒤에 에너지원별로 분류하여 국내 에너지 소비량의 변화요인을 분석하였다. 박성준·김진수(2014)의 연구는 14개 생산부문에 대해 총 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비의 차이를 분석한 연구로, 전환손실의 효과를 분석하면서 지수분해분석의 양대 방법론인 Refined Laspeyres 방법론과 LMDI 방법론의 차이를 함께 살펴보았다. 본 연구에서는 총에너지 관점이 아닌 에너지원별 차이를 분석했다는 점에서 박성준·김진수(2014)의 연구와 차별성을 가지며, 에너지원별로 전환부문이 다르게 구성되어 있기 때문에 그로 인한 차이를 식별해 보는 것은 의미 있는 작업이라고 판단하였다.

에너지원별로 1차 에너지 공급 자료를 구성할 경우 최종에너지 자료를 활용한 분해분석에 비해 원별 전환손실을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 또한 본 연구에서는 과거의 분해분석 연구에서 재생에너지원의 전환손실을 석탄, 석유와 같은 화석연료의 전환손실과 동일하게 상정한 점과 다르게, 재생에너지원은 전환손실 계산에서 제외하고 1차 에너지 공급이 전부 소비된 것으로 상정하였다. 분해분석의 특성상 전체 에너지 소비량 분석으로는 전환 부문의 변화와 업종별 최종 소비 변화가 각각 1차 에너지 공급에 미친 영향을 파악하기 어렵다. 때문에 본 연구에서는 에너지원별 1차 에너지 공급 분해분석을 전 생산부문에 걸쳐 진행하였다.

Ⅲ. 자료 및 분석 방법

1. 생산부문별 1차 에너지 공급 추정

우리나라의 1차 에너지 공급 자료를 구성하여 분해분석을 진행하기 위해 1990년부터 2017년까지의 실질 GDP 자료와 IEA(2019b)의 World Energy Balances 자료를 사용하였다. 실질 GDP 자료는 국가통계포털의 국민계정 자료로부터 얻었다. 본 연구의 목적에 맞게 구조 효과 및 에너지 믹스 효과를 LMDI 기법으로 계산하기 위해서는 생산부문별, 에너지원별 1차 에너지 공급과 실질 GDP 자료가 필요하다. IEA(International Energy Agency)에서 제공하는 에너지 소비량 데이터베이스의 생산부문 분류는 국내 생산부문 분류체계와 상이하게 나타나므로 두 분류체계를 맞춰줄 필요가 있다. 본 연구에서는 에너지 밸런스의 분류체계를 따라 아래 <표 2>와 같이 구성하였다. 생산부문에 포함되지 않는 주거부문과 원료 사용(non-energy use)은 제외하였다.

IEA의 에너지 밸런스 자료는 에너지원별, 국가별, 부문별 에너지 수급에 대한 자료를 연도별로 생산, 수입, 수출과 비축량뿐만 아니라 1차 에너지 공급부터 최종에너지 소비량까지 발전기에 투입되는 원료로서의 에너지에 대한 정보를 담고 있어 전환손실에 대한 자료를 수집할 수 있다. 에너지 밸런스의 최종에너지 소비량은 생산부문별로 이미 분류가 되어있기 때문에, 생산부문별 1차 에너지 공급 자료를 구하기 위해서는 에너지원별로 1차 에너지가 최종에너지로 전환되는 과정에서 손실된 양을 역산하여 각 생산부문별로 분배해 주어야 한다. 즉, 에너지원별로 에너지 밸런스 상 전환손실 부문에 기록된 에너지 소비량을 최종에너지 소비 비율에 따라 각 산업에 할당하여 에너지원별 1차 에너지 공급 자료를 구성하였다.

본 연구에서는 총 여섯 가지의 에너지원에 대해 분류하였다. 석탄, 석유, 가스, 원자력, 수력, 그리고 신재생에너지에 대해 분석을 진행하였는데, 원료와 연료로 전부 사용되거나 원료를 활용해 에너지를 얻는 석탄, 석유, 가스, 원자력과는 다르게 수력과 신재생에너지의 경우 재생에너지원으로 연료를 소비하지 않는다는 특징이 있다. 이를 고려하여 본 연구에서는 석탄, 석유, 가스와 원자력에너지가 전환손실 고려 대상에 포함되었으며, 수력과 신재생에너지는 전환손실을 고려하지 않고 1차 에너지 공급량 전부가 소비되는 것으로 상정하였다.

즉, 석탄, 석유, 가스, 원자력에너지의 경우 생산부문별로 사용된 1차 에너지 공급을 산출하기 위해 전력 및 열에너지 전환에 투입된 각 에너지원의 비율을 사용하여 생산부문, 에너지원별 1차 에너지 공급 자료를 도출하였으며, 수력 및 신재생에너지의 경우 1차 에너지 공급량 자료를 전력과 열에너지의 생산부문별 소비 비중에 따라 분배하였다.

<표 3>에 본 연구에서 사용된 통계자료의 예시로서 2017년 자료를 제시하였다. 각 에너지원별 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량의 차이는 전환 부문에서 투입된 양을 나타낸다. 예를 들어, 2017년 석탄의 경우 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량의 차이는 39,154.71ktoe 인데, 이는 석탄의 전환 부문 투입(전력 생산)을 의미한다. IEA(2019b)의 에너지 밸런스는 각 국가별 에너지 소비량 통계를 취합하는 과정에서 통계적 오류가 생길 수 있어, 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량 사이에 집계되지 않은 차이를 통계 차이(statistical difference)로 표기해 두었는데, 본 연구에서는 이 통계량도 전환 손실로 가정하였다.

1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량의 차이를 통해 총 에너지의 전환 부문 투입량을 파악하고, 해당 투입량을 전력 및 열에너지의 산업 부문별 소비 비중에 따라 분배할 수 있다. 이 과정을 통해 전환된 에너지의 산업 부문별 공급량을 파악할 수 있으며, 각 에너지원별 전환 부문에서의 투입비율에 따라 분배함으로써 산업별·에너지원별 전환 부문에서의 투입량 자료를 작성

한다. 이렇게 계산한 전환부문에서의 투입량을 산업별 최종에너지 소비 부문과 합산하게 되면 본 연구에서 사용한 산업별·에너지원별 1차 에너지 공급량 자료를 도출할 수 있다.

〈표 2〉 분해분석에 사용된 생산부문 분류 체계

국가통계포털	IEA(2019b)
1차금속 제조업	Iron and steel/Non-ferrous metals
금속가공제품 제조업	
코크스 및 석유정제품 제조업	Chemical and petrochemical
화학물질 및 화학제품 제조업	
비금속광물제품 제조업	Non-metallic minerals
운송장비 제조업	Transport equipment
컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업	Machinery
전기장비 제조업	
기계 및 장비 제조업	
광업	Mining and quarrying
음식료품 제조업	Food and tobacco
목재, 종이, 인쇄 및 복제업	Paper, pulp and printing/Wood and wood products
건설업	Construction
섬유 및 가죽제품 제조업	Textile and leather
기타 제조업 및 산업용 장비 수리업	Non-specified (industry)
운수업	Transport
도소매 및 음식숙박업	Commercial and public services
금융 및 보험업	
부동산업	
정보통신업	
사업서비스업	
공공행정, 국방 및 사회보장	
교육서비스업	
의료, 보건업 및 사회복지서비스업	
문화 및 기타서비스업	
농림어업	Agriculture/Forestry/Fishing

자료: 박성준·김진수(2014)의 분류체계 재정리

〈표 3〉 2017년 생산부문별 · 에너지원별 에너지 소비량 (단위: ktoe)

생산부문	에너지원	1차 에너지	최종에너지
산업	석탄	46,745.71	7,591.00
	석유	9,806.76	3,584.00
	가스	18,618.41	7,482.00
	원자력	20,464.20	-
	수력	128.05	-
	신재생	5,031.80	3,225.00
	전력	-	23,597.00
수송	석탄	363.52	0.00
	석유	33,721.77	33,664.00
	가스	1,289.39	1,186.00
	원자력	189.99	-
	수력	1.19	-
	신재생	544.74	528.00
	전력	-	246.00
상업 및 서비스업	석탄	21,212.43	0.00
	석유	5,296.24	1,925.00
	가스	10,132.26	4,099.00
	원자력	11,086.68	-
	수력	69.37	-
	신재생	1,885.68	787.00
	전력	-	14,052.00
농림어업	석탄	2,030.36	0.00
	석유	1,454.68	1,132.00
	가스	580.48	3.00
	원자력	1,061.17	-
	수력	6.64	-
	신재생	191.48	70.00
	전력	-	1,374.00
합계		191,913.02	104,545.00

2. LMDI 분해분석 방법론

Ang et al.(1998)의 LMDI는 디비지아 적분을 바탕으로 로그 평균 가중치를 활용하여 잔차가 남지 않도록 분해하는 방법론이다. 이 방법론은 분해분석의 네 가지 조건인 완결성, 시간 가역성, 요소 가역성, 영 값(zero)에 대한 강건성을 모두 만족한다. 물론 로그를 사용하기 때문에 자료에 영 값이 존재할 경우 문제가 생길 수 있지만 Ang and Liu(2007a, b)에서 제안한 대로 아주 작은 값을 대입한 후 계산하며, 만약 가중치 계산 시 영 값이 도출될 경우 해당 효과를 영으로 처리하면 잔차가 생기지 않고 깔끔하게 분해된다.

본 연구에서는 시계열 방식(time-series manner)을 활용한 LMDI 분해를 활용한다. 시계열 방식은 또 두 가지 방식으로 나눌 수 있는데 바로 기준연도 고정(fixed base year) 방식과 기준연도변경(rolling base year) 방식이다. 기준연도변경 방식은 에너지 소비요인 변화의 단기적인 흐름을 보다 자세히 추정할 수 있다(박정욱·김수이, 2013). 본 연구에서는 1차 에너지와 최종에너지 기준 소비량의 분해분석 결과 차이에 집중하고자 기준연도변경 방식을 사용하였다. 또 다른 분해분석 방식 분류인 가법적 요인분해와 승법적 요인분해는 그 우열이 존재하지 않는데, 본 연구에서는 절대량 차이에 대한 요인별 기여도에 집중하고자 가법적 요인분해를 활용한다(Ang, 2005). 본 연구에서 사분해분석법은 전통적 지수분해분석법으로 성장 효과, 구조 효과, 원단위 효과의 세 가지를 포함하며, 각 에너지원별 분해분석을 시도하였다. LMDI 분해법은 아래 식 (1)~(5)과 같이 정리할 수 있다.

$$E_t = \sum_i \left(Y_t \times \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \times \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \right) \quad (1)$$

$$\Delta E = \Delta E_Y + \Delta E_S + \Delta E_I \quad (2)$$

$$\Delta E_Y = \sum_i \left(\frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln(E_{i,t}/E_{i,t-1})} \right) \times \ln \left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}} \right) \quad (3)$$

$$\Delta E_S = \sum_i \left(\frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln(E_{i,t}/E_{i,t-1})} \right) \times \ln \left(\frac{S_{i,t}}{S_{i,t-1}} \right) \quad (4)$$

$$\Delta E_I = \sum_i \left(\frac{E_{i,t} - E_{i,t-1}}{\ln(E_{i,t}/E_{i,t-1})} \right) \times \ln \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,t-1}} \right) \quad (5)$$

위 식의 E_Y , E_S , E_I 는 각각 생산 효과, 구조 효과 및 집약도 효과를 나타낸다. 각 첨자 i 와 j 는 생산부문과 에너지원을 나타내는 지표이다. 여기서 E 는 1차 에너지 공급을 나타내며, Y 는 해당 부문의 부가가치, S 는 총 부가가치 당 해당 부문의 부가가치로 산업 구조를 나타낸다. I 는 부문별 에너지원 단위를 나타낸다.

IV. 실증분석 결과

1. 총 에너지 소비량 분해분석 결과

본 연구에서는 에너지원별 분해분석 결과를 살펴보기에 앞서, 1차 에너지와 최종에너지 기준의 총 에너지 소비량 분해분석 결과가 상이하게 나타나는지 살펴본다. 총 에너지 소비량을 생산 효과, 구조 효과 및 집약도 효과로 분해한 결과가 <표 4>에 정리되어 있다. 1차 에너지는 최종에너지 소비에 전환 부문을 포함하는 것이므로, 두 기준의 분해분석 결과를 비교할 때 절대적인 에너지 소비량 크기가 다르다는 점을 감안해야 한다. 식 (3)에 따르면 생산 효과는 에너지 소비량을 바탕으로 도출된 LMDI 계수와 GDP 변화의 곱으로 결정되는데, 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비량 분해분석에서 GDP 증감은 동일하게 적용된다. 따라서 각 방식의 생산효과의 크기는 에너지 소비량 변화의 크기에 따라 결정된다. 그런데 전환손실로 인해 1차 에너지 공급은 언

제나 최종에너지 소비보다 큰 값을 가지므로, 생산 효과의 절대적인 크기는 1차 에너지 기준 분해분석이 최종에너지 소비 분석 결과보다 항상 크게 나타난다. 다른 요인도 마찬가지로의 경우가 발생하기 때문에 본 연구에서는 비교분석을 위해 각 효과를 총 변화대비 비율로 표현하였으며, 표 내부에 별도로 총 변화량을 보고하였다. 분해분석 결과가 총 변화대비 비율로 표현되어 있기 때문에 부호 해석 시 유의해야 한다. 즉, 에너지 소비량 감소(음의 변화) 시 음수로 표현된 비율은 에너지 소비량 증가에 기여했음을 의미한다.

〈표 4〉 총 에너지 소비량 분해분석 결과

연도	1차 에너지				최종에너지			
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)
1991	1.14	-0.08	-0.06	5,910.44	0.76	0.30	-0.06	5,980.00
1992	0.66	0.33	0.01	6,830.45	0.57	0.43	0.01	5,554.00
1993	0.49	0.66	-0.15	12,206.32	0.55	0.66	-0.20	7,632.00
1994	1.50	-0.40	-0.10	5,317.85	0.98	0.13	-0.12	5,675.00
1995	0.91	0.19	-0.09	9,220.36	1.00	0.13	-0.13	5,903.00
1996	0.82	0.20	-0.02	10,143.27	1.05	-0.01	-0.04	5,507.00
1997	0.84	0.08	0.08	8,420.29	2.04	-1.26	0.22	2,340.00
1998	0.52	0.34	0.14	-14,963.67	0.41	0.48	0.11	-12,420.00
1999	0.92	-0.30	0.38	11,561.69	0.93	-0.31	0.38	7,337.00
2000	0.63	0.23	0.14	15,021.69	0.76	0.06	0.19	7,881.00
2001	3.79	-1.78	-1.01	1,559.29	3.50	-1.42	-1.07	1,061.00
2002	2.45	-1.07	-0.38	4,032.51	2.40	-0.78	-0.62	2,580.00
2003	2.80	-0.53	-1.27	1,600.01	10.46	-4.09	-5.37	268.00
2004	1.24	-0.33	0.09	5,829.63	2.64	-1.67	0.03	1,679.00
2005	-7.58	7.30	1.29	-816.36	-5.74	5.52	1.22	-657.00
2006	4.20	-2.66	-0.54	1,883.13	30.29	-23.97	-5.32	158.00
2007	1.61	-0.53	-0.09	5,667.74	2.24	-1.11	-0.13	2,445.00
2008	1.59	-0.23	-0.36	3,376.55	-5.07	5.15	0.92	-623.00
2009	0.20	-4.44	5.24	-553.00	0.05	-0.72	1.66	-1,230.00
2010	0.65	0.15	0.20	16,448.54	0.85	-0.16	0.31	7,207.00
2011	0.82	0.20	-0.02	7,737.22	2.09	-1.01	-0.08	1,678.00
2012	-6.92	8.02	-0.10	-593.64	3.19	-2.83	0.64	708.00
2013	10.35	-7.48	-1.88	546.02	1.41	-0.11	-0.30	2,234.00
2014	1.58	-0.52	-0.06	3,355.56	-6.44	6.76	0.68	-459.00
2015	1.45	-0.46	0.01	3,353.52	0.93	0.00	0.08	2,894.00
2016	1.14	0.38	-0.51	4,628.00	1.95	0.05	-1.00	1,486.00
2017	-1.96	2.75	0.21	-2,727.15	3.29	-2.16	-0.13	904.00

집약도 효과의 경우 경제 측면에서의 에너지 효율을 나타내는 지표로 작용할 수 있기 때문에, 전환효율을 고려할 수 있는 1차 에너지와 그렇지 않은 최종에너지 소비의 분해분석 결과 비교 시 중점적으로 살펴보아야 할 효과이다. 구조 효과의 경우 각 생산부문별 부가가치 비중 증감이 영향을 미치므로, 부가가치 비중 증감이 동일한 1차 에너지와 최종에너지 기준의 분해분석 결과 차이는 부문별 에너지 소비량 증감에 따라 다르게 나타나게 된다. 즉 분해분석에서 1차 에너지와 최종에너지 간의 차이는 대부분 집약도 효과에서 크게 나타나며, 생산 효과 및 구조 효과의 경우 부문별 에너지 소비량 증감에 따라 다르게 나타나 대부분의 경우 경향성이 일치하는 것을 관찰할 수 있다.

기준연도 변경 방식을 활용한 분해분석 결과의 집약도 효과를 먼저 살펴보면, 연도별로 그 효과가 상이하게 나타난다. 집약도 효과는 각 부문별 에너지 소비량 증감과 에너지원단위 증감의 조합으로 도출된다. 1차 에너지와 최종에너지 기준에서 집약도 효과의 비중이 차이가 나타나는 것은 생산부문의 에너지 소비량이 1차 에너지로 현실화될 때 전력 다소비 산업 위주로 반영되었기 때문이다. 1차 에너지 공급 기준의 집약도 효과가 증가요인인 반면 최종에너지 기준의 집약도 효과가 감소요인인 경우는 당 해 전력 다소비 산업의 생산성이 상대적으로 낮게 나타났다고 할 수 있으며, 그 반대의 경우 전력 다소비 산업의 생산성이 상대적으로 증가한 경우를 나타낸다.

생산 효과 및 구조 효과를 살펴보면, 총 에너지 변화량에 대한 비중이 상이하게 나타나지 않지만, 1991년부터 2017년까지의 분석 기간 중 2008년, 2009년, 2014년 및 2017년에서 큰 차이를 보이게 된다. 이러한 차이의 이유는 총 에너지 소비량 관점에서 1차 에너지 공급과 최종에너지 소비 기준의 변화량이 달라지기 때문이다. 1차 에너지 공급이 증가한 반면 최종에너지 소비가 감소한 경우는 생산 부문에서의 직접에너지 소비가 감소하고 전력소비가 증가한 경우에 발생할 수 있다.

반대로 1차 에너지 공급이 감소하였지만 최종에너지 소비가 증가한 경우는 전환 부문에서 손실된 에너지가 줄어들었음을 상징함과 동시에 수송 부문에

서의 휘발유와 같이 에너지를 바로 최종에너지 형태로 사용하는 비중이 높아진 경우에도 발생할 수 있다. 이처럼, 에너지원별 에너지 소비량의 분해분석을 시도할 경우 총 에너지 소비량 분해 결과와 종합하여 유의미한 함의를 이끌어낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 총 에너지 소비량 분해분석 결과에 이어 에너지원별 분해분석 결과를 살펴보고자 한다.

2. 에너지원별 소비량 분해분석 결과

에너지원별 분석에서 집약도 효과는 에너지 효율 변화에 의한 효과뿐만 아니라 에너지원 대체에 따른 영향도 포함된다. 예를 들어, 어떠한 기업이 동일한 부가가치 창출을 위해 투입하는 에너지를 석유에서 천연가스로 변경했고, 생산 공정에 에너지원에 관계없이 동일한 열량이 투입된다고 가정해보자. 그러면 총에너지 기준으로는 동일한 부가가치 창출에 같은 열량의 에너지가 투입되었기 때문에 집약도 효과에 변화가 없을 것이다. 그러나 에너지원별로 살펴보면 에너지원 대체에 따라 석유의 집약도 효과는 감소하고, 천연가스의 집약도 효과가 증가하는 것으로 나타난다. 본 연구에서는 이러한 점을 함께 고려하기 위해 에너지원별 분해분석 결과표의 마지막 열에 해당 에너지원의 1차 에너지 공급 기준 믹스 비중을 수록하였다. <표 5>는 석탄 소비량의 분해분석 비교결과를 보여준다. 총 에너지 소비량 분석 결과와 마찬가지로, 경제충격이 가해진 이듬해인 1998년과 2009년의 분석 결과를 살펴보면 1차 에너지 기준 소비량 분해의 중요성을 알 수 있다.

1998년은 경제충격에 따라 생산이 위축된 만큼 생산 효과와 구조 효과가 에너지 소비량을 감소시키는 것으로 나타난 반면, 집약도 효과는 1차 에너지와 최종에너지 기준에서 각각 3,148 ktoe와 604 ktoe로 에너지 소비를 증가시킨 것으로 나타난다. 집약도 효과를 해석할 때는 에너지 효율 변화 및 타 에너지원의 대체를 고려해야 하는데, 1차 에너지 기준 석탄 공급 비중을 살펴보면 1998년의 공급 비중은 24.20%로 전년도 대비 약 3.06%p 상승하였다. 이러

한 공급 비중의 대폭 상승을 고려하면, 집약도 효과 분석 결과가 석탄 소비 효율성 하락에 따른 것이라기보다는 에너지원 대체에 의한 결과라고 볼 수 있으며, 그러한 효과는 1차 에너지 기준에서 보다 분명하게 나타난다.

〈표 5〉 석탄 소비량 분해분석 결과

연도	1차 에너지					최종에너지				
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	소비 비중 변화 (%p)
1991	0.99	0.00	0.01	1,447.48	0.27	0.48	0.52	0.00	676.00	0.52
1992	-0.88	1.85	0.03	-1,016.78	-3.12	-0.66	1.55	0.11	-322.00	-1.32
1993	0.32	0.76	-0.08	3,588.47	1.47	0.30	0.85	-0.15	909.00	0.69
1994	1.08	-0.01	-0.07	1,477.15	0.44	0.42	0.76	-0.18	977.00	0.85
1995	1.15	0.19	-0.35	1,455.01	-0.39	0.65	1.00	-0.65	721.00	0.35
1996	0.71	0.25	0.04	2,340.14	0.28	0.52	0.39	0.09	929.00	0.60
1997	0.50	0.61	-0.11	2,943.53	1.00	3.17	0.69	-2.86	130.00	-0.09
1998	-8.47	15.24	-5.76	206.62	3.06	0.67	-0.90	1.24	-668.00	0.57
1999	1.39	-1.07	0.69	1,831.21	-0.79	2.03	-2.54	1.51	299.00	-0.48
2000	0.31	0.61	0.09	7,530.17	2.94	0.31	0.49	0.20	1,774.00	1.28
2001	0.52	0.69	-0.21	3,102.38	1.95	0.56	1.06	-0.62	665.00	0.65
2002	2.09	-0.96	-0.13	1,339.96	0.14	-15.53	11.22	5.30	-41.00	-0.35
2003	1.09	0.11	-0.20	1,175.02	0.50	-0.44	1.64	-0.20	-624.00	-0.73
2004	1.73	-1.00	0.27	1,197.50	-0.33	-1.39	2.54	-0.15	-294.00	-0.50
2005	-1.73	2.45	0.28	-1,014.22	-0.52	-0.22	1.13	0.09	-1,418.00	-1.50
2006	0.81	0.31	-0.12	2,808.39	1.51	0.43	0.83	-0.26	887.00	0.97
2007	0.99	0.06	-0.05	2,778.56	0.70	-4.11	4.90	0.21	-110.00	-0.34
2008	0.31	0.85	-0.16	5,513.60	2.81	0.30	1.19	-0.49	911.00	1.04
2009	-0.03	1.64	-0.61	1,383.69	0.98	0.00	0.83	0.17	-1,572.00	-1.60
2010	0.50	0.38	0.12	7,473.45	1.06	0.35	0.49	0.16	1,374.00	0.84
2011	0.37	0.65	-0.02	6,236.40	1.92	0.49	0.71	-0.20	614.00	0.47
2012	-0.49	1.35	0.14	-3,061.44	-1.55	-0.33	1.07	0.26	-580.00	-0.64
2013	2.48	-1.10	-0.39	812.36	0.34	0.94	0.27	-0.21	275.00	0.09
2014	0.54	0.42	0.04	3,590.10	1.28	-0.89	2.17	-0.28	-273.00	-0.23
2015	-10.00	11.42	-0.41	-178.65	-0.75	0.18	0.65	0.17	1,280.00	0.99
2016	26.44	-15.31	-10.12	71.59	-0.83	-0.19	1.11	0.07	-1,300.00	-1.34
2017	1.69	-0.51	-0.18	1,144.57	1.10	-0.31	1.47	-0.17	-709.00	-0.72

주) 공급 비중 변화 및 소비 비중 변화는 각각 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량 기준의 전체 에너지 대비 석탄 공급량, 소비량 비중 변화를 의미한다.

석탄의 소비비중은 분석기간 동안 감소하는 경우보다 증가하는 경우가 많았기 때문에 에너지 공급 측면에서 타 에너지원을 대체한 경우가 많았다. 이와 같은 에너지원 대체 효과를 고려하면 석탄 소비의 집약도 효과는 에너지 효율을 다소 과소평가, 즉 에너지 효율에 의한 소비량 감소가 타 에너지원을 대체하여 늘어난 소비량으로 인해 제대로 평가받지 못했다고 할 수 있다. 발전 믹스를 살펴보면 2010년부터 석탄 화력발전의 비중이 점차 낮아지고 있지만 2017년의 석탄 화력발전이 발전 설비용량 급증에 따른 발전용 소비 증가세 확대로 비중이 다시 높아져 1차 에너지와 최종에너지의 증감량에 차이가 큰 것을 볼 수 있다(에너지경제연구원, 2017b). 3차 에너지기본계획 및 8차 전력수급기본계획에 따라 향후 석탄 화력발전소의 설비용량 및 발전량 비중이 점차 줄어들겠지만, 전력화 비중은 계속해서 증가할 것이기 때문에 전환 부문이 중요성이 높아질 것이다. 따라서 향후 분해분석 결과 해석에 있어서 1차 에너지 기준 분석의 중요성이 두드러질 것으로 보인다. 구조 효과를 보더라도 1차 에너지 기준 분석 결과는 대체로 산업구조 변화가 석탄 소비량을 감소시키는 방향으로 나타났으며, 이는 1차 에너지 기준 분석 결과에서 더욱 명확하다.

석유 소비량의 분해분석 결과는 <표 6>에 정리하였다. 석탄 소비량의 비중이 꾸준히 증가해 온 반면, 석유 소비량의 비중은 계속해서 감소해 온 것을 볼 수 있다. 석유는 전력으로 전환하지 않고 직접 최종에너지 형태로 소비하는 수송 부문의 비중이 상당히 크기 때문에 타 에너지원에 비해 상대적으로 전환 부문의 영향이 적다. 석유 소비량은 석탄 및 천연가스에 비해 1차 에너지와 최종에너지의 분해분석 결과 차이가 적으며, 타 에너지원의 경우 꾸준히 증가세인 총 변화량 측면에서도 하락세를 보이고 있다.

1차 에너지와 최종에너지 기준의 집약도 효과가 [그림 1]에 정리되어 있다. 1994년 이후로 대부분의 경우 집약도 효과가 소비 감소요인으로 작용한 것을 볼 수 있다. 전체 에너지 사용량 대비 석유 사용량 비중이 1994년 이후로 계속 하락세인 점과 본 연구에서 원별 분석 시에도 전 생산부문 GDP를 사용한 점을 감안하면 석유 소비가 분석 기간의 대부분에서 음의 집약도 효과를 가진다는 것이 에너지 효율 상승을 직접적으로 나타내지는 않는다. 1차 에너지

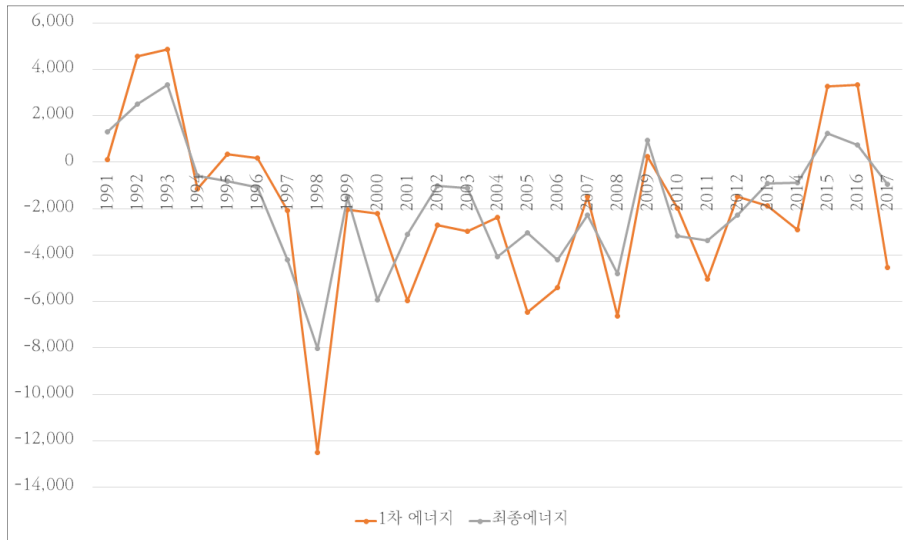
기준으로 총 에너지 소비량 대비 수송 부문의 소비량은 약 1990년부터 2017년까지 약 37%로부터 62%까지 증가하였지만, 집약도 효과는 전환 부문에서 석유 소비량이 줄어드는 점과 동시에 국내 산업의 고부가가치산업화를 통해 상업 및 서비스 부문으로부터의 생산성 향상의 영향이 크게 작용하였다고 판단된다. 2015년 및 2016년에는 2년 연속으로 유가가 하락하여 석유 소비량이 증가하여 타 에너지원의 소비 축소 감소에도 총에너지 소비량 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다(에너지경제연구원, 2016, 2017c).

〈표 6〉 석유 소비량 분해분석 결과

연도	1차 에너지					최종에너지				
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	소비 비중 변화 (%p)
1991	1.06	0.03	-0.10	3,677.92	0.33	0.79	0.29	-0.08	4,417.00	-0.36
1992	0.37	0.61	0.01	7,393.31	4.27	0.48	0.50	0.02	5,040.00	1.42
1993	0.52	0.67	-0.19	7,238.57	-0.45	0.61	0.63	-0.25	5,252.00	-1.10
1994	1.50	-0.35	-0.15	3,314.55	0.00	1.36	-0.18	-0.17	3,126.00	-1.79
1995	0.99	0.07	-0.06	5,244.49	-0.47	1.33	-0.25	-0.08	3,294.00	-1.52
1996	1.03	0.03	-0.06	4,960.23	-1.12	1.49	-0.38	-0.11	2,833.00	-1.51
1997	1.39	-0.68	0.30	3,054.44	-1.64	69.22	-85.79	17.57	49.00	-1.98
1998	0.25	0.73	0.02	-17,148.89	-7.56	0.30	0.69	0.01	-11,570.00	-4.08
1999	1.01	-0.38	0.37	5,448.84	-0.41	0.98	-0.33	0.35	4,580.00	-0.33
2000	1.36	-0.64	0.28	3,429.57	-3.11	-2.47	3.99	-0.52	-1,489.00	-7.78
2001	-0.73	1.60	0.13	-3,738.70	-3.25	-1.53	2.26	0.27	-1,373.00	-2.29
2002	13.79	-8.58	-4.21	316.62	-1.05	3.23	-0.95	-1.27	1,063.00	-0.41
2003	-0.80	1.24	0.56	-2,386.19	-2.15	-1.96	1.43	1.54	-780.00	-1.04
2004	4.95	-4.01	0.06	595.23	-1.22	-1.28	2.25	0.04	-1,816.00	-2.99
2005	-0.52	1.39	0.12	-4,645.39	-2.90	-1.14	1.82	0.31	-1,669.00	-1.47
2006	-0.93	1.75	0.18	-3,070.83	-2.51	-0.95	1.74	0.21	-2,424.00	-2.76
2007	2.19	-1.03	-0.16	1,450.90	-0.34	46.04	-41.33	-3.71	55.00	-1.17
2008	-0.38	1.42	-0.04	-4,648.64	-3.64	-0.45	1.55	-0.10	-3,111.00	-3.06
2009	0.03	-0.22	1.18	-1,087.60	-0.58	0.11	-3.88	4.77	-245.00	0.31
2010	1.18	-0.73	0.55	2,708.77	-1.30	3.51	-4.39	1.88	725.00	-2.41
2011	-0.53	1.55	-0.01	-3,256.09	-3.00	-0.70	1.72	-0.02	-1,962.00	-2.64
2012	2.83	-3.93	2.10	379.85	0.29	-1.43	3.87	-1.44	-590.00	-0.85
2013	-1.67	2.16	0.52	-878.90	-0.56	-6.93	5.46	2.47	-166.00	-0.96
2014	-0.66	1.44	0.22	-2,016.34	-1.54	-3.99	3.31	1.68	-267.00	-0.10
2015	0.28	0.73	-0.01	4,446.25	1.91	0.44	0.56	-0.01	2,218.00	1.11
2016	0.38	0.88	-0.26	3,761.09	1.31	1.09	0.76	-0.84	998.00	0.42
2017	-0.45	1.44	0.02	-3,156.62	-1.25	7.13	-6.15	0.01	156.00	-0.17

주) 공급 비중 변화 및 소비 비중 변화는 각각 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량 기준의 전체 에너지 대비 석유 공급량, 소비량 비중 변화를 의미한다.

[그림 1] 1차 에너지 및 최종에너지 기준의 석유 소비 집약도 효과(단위:ktoe)



분석기간 중 비교적 최근인 2014년에는 총 에너지 소비량 관점에서 1차 에너지는 증가(3,356ktoe)하였지만 최종에너지는 감소(459ktoe)하였는데<표 4>, 2014년의 석유 소비량은 1차 에너지 및 최종에너지 기준 모두에서 감소한 것으로 나타난다<표 6>. 따라서 수송 부문에서의 석유 소비량 증가가 그 원인이 아니며, 오히려 <표 5>의 석탄 소비량으로부터 그 격차가 심화되는 것으로 보인다. 2014년에는 석탄의 원료탄 소비가 약 16.9% 늘어났었기 때문에 이러한 해석은 적절한 것으로 판단된다(에너지경제연구원, 2015). 석유의 경우에도 1997년, 2002년, 2012년 등 1차 에너지 기준과 최종에너지 기준 분석의 차이가 매우 크게 나타나는 경우가 다수 관찰되었다.

천연가스 소비량에 대한 분해분석 결과는 <표 7>에 정리하였다. 석유의 비중이 분석기간 동안 점점 줄어든 반면, 천연가스의 비중은 꾸준히 증가하였다. 1차 에너지 기준으로는 1998년, 2009년, 2014년, 2015년을 제외하고는 전부 증가하는 것으로 나타난다. 천연가스의 구조 효과는 부문별 에너지 소비량의 변화가 해마다 크게 다르지 않기 때문에 소비량에 미치는 영향이 작다. 발

전 믹스 측면에서 천연가스 발전량이 증가하면서 최종에너지 기준의 구조 효과는 에너지 소비량 감소 효과를 과대평가하고 있다.

천연가스 소비량의 집약도 효과는 천연가스 소비비중이 꾸준히 증가하였기 때문에 분석기간 내 소비비중이 감소한 석유 소비량의 집약도 효과와 반대로 해석할 필요가 있다. 높아진 에너지원의 소비비중은 생산부문별 산출량 증가에 비해 소비량이 더 많이 증가함을 의미하며, 이는 양의 집약도 효과로 이어진다. 실제로 분석 결과를 살펴보면 천연가스 소비의 집약도 효과는 2014년과 2015년을 제외하고 대부분 소비 증가요인으로 나타난다. 에너지경제연구원(2016)에 따르면 천연가스 소비는 2014년과 2015년 급감세를 보였는데, 그 이유에는 석유 소비량 증가요인과 마찬가지로 저유가로 인한 연료 대체, 전력 소비 부진 및 기저발전 설비 증가가 있다.

2014년 및 2015년의 요인분해 결과에서 생산 효과 및 구조 효과는 에너지 소비량을 증가시키는 요인으로 나타나지만, 집약도 효과는 감소요인으로 도출되었는데, 이는 천연가스 소비량 축소와 관계없이 전 생산부문의 부가가치 생산이 둔화되지 않았기 때문으로 보인다. 종합하자면, 석유 소비량의 집약도 효과는 타 에너지원으로의 대체로 인해 에너지 효율을 과대평가하고 있으며, 석탄과 천연가스 소비량의 집약도 효과는 타 에너지를 대체함으로써 에너지 효율을 과소평가하게 된다.

〈표 7〉 천연가스 소비량 분해분석 결과

연도	1차 에너지					최종에너지				
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	소비 비중 변화 (%p)
1991	1.10	-0.09	-0.01	170.86	0.01	0.23	0.81	-0.04	110.00	0.16
1992	0.36	0.66	-0.02	366.77	0.22	-3.76	3.13	1.64	-5.00	-0.07
1993	0.23	0.80	-0.03	843.42	0.52	0.06	0.94	0.00	493.00	0.71
1994	0.35	0.63	0.02	888.22	0.72	0.43	0.54	0.04	176.00	0.15
1995	0.64	0.39	-0.03	566.14	0.16	0.28	0.74	-0.02	329.00	0.33

연도	1차 에너지					최종에너지				
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	소비 비중 변화 (%p)
1996	0.28	0.71	0.01	1,434.27	0.85	0.27	0.71	0.02	412.00	0.39
1997	0.27	0.72	0.00	1,470.91	0.82	0.19	0.82	-0.01	618.00	0.69
1998	0.68	0.03	0.29	-701.33	0.19	-0.39	1.66	-0.27	430.00	1.11
1999	0.53	0.25	0.23	1,327.41	0.49	0.42	0.39	0.19	688.00	0.51
2000	0.43	0.48	0.09	1,540.49	0.38	0.24	0.70	0.06	1,239.00	1.04
2001	0.32	0.80	-0.11	1,424.54	0.95	0.46	0.78	-0.24	464.00	0.47
2002	1.03	0.01	-0.04	796.18	0.33	6.85	-5.10	-0.75	53.00	-0.11
2003	1.77	-0.10	-0.68	214.33	0.06	0.52	0.70	-0.21	327.00	0.35
2004	0.19	0.81	0.00	3,579.27	2.06	0.24	0.82	-0.06	1,241.00	1.25
2005	0.52	0.51	-0.03	1,323.89	0.95	0.36	0.64	0.00	828.00	0.97
2006	0.72	0.30	-0.02	1,305.43	0.72	0.99	0.00	0.01	415.00	0.44
2007	0.52	0.49	-0.01	2,236.10	0.99	0.86	0.14	0.00	556.00	0.36
2008	1.15	0.22	-0.37	621.97	0.11	0.40	0.74	-0.14	762.00	0.89
2009	0.17	-3.20	4.03	-84.81	-0.01	-0.01	1.39	-0.38	511.00	0.70
2010	0.28	0.66	0.06	5,542.90	1.91	0.39	0.52	0.10	1,789.00	1.03
2011	0.36	0.65	0.00	2,769.29	0.87	0.42	0.60	-0.01	1,025.00	0.83
2012	0.25	0.80	-0.04	2,796.17	1.58	0.26	0.77	-0.03	1,126.00	1.03
2013	0.40	0.64	-0.05	2,584.86	1.36	0.33	0.70	-0.02	1,360.00	1.02
2014	-0.29	1.30	-0.01	-3,292.59	-2.11	-0.33	1.34	-0.01	-1,258.00	-1.16
2015	-0.24	1.25	-0.01	-3,248.30	-2.01	-0.21	1.26	-0.05	-1,566.00	-1.86
2016	0.75	0.54	-0.29	1,049.54	0.18	0.99	0.39	-0.39	344.00	0.16
2017	0.68	0.42	-0.10	1,219.66	0.85	3.74	-2.45	-0.29	94.00	-0.01

주) 공급 비중 변화 및 소비 비중 변화는 각각 1차 에너지 공급량과 최종에너지 소비량 기준의 전체 에너지 대비 천연가스 공급량, 소비량 비중 변화를 의미한다.

<표 8>과 <표 9>의 결과는 함께 살펴볼 필요가 있다. 신재생에너지의 경우 최종에너지 소비량이 산업별로 따로 존재하지만, 본 연구에서는 1차 에너지와 최종에너지 기준의 분해분석 결과 비교에 초점을 맞추고 있기 때문에 100% 전력으로 전환되는 에너지원인 원자력, 수력발전과 함께 신재생에너지 소비량을 1차 에너지 기준으로 산정하여 전력의 소비 분해분석 결과와 비교

하였다. 원자력과 수력의 경우 본 연구에서 사용한 1차 에너지 산정 방식에 따르면 전력 소비 패턴 변화와 발전 믹스에만 영향을 받아야 한다.

〈표 8〉 원자력 및 수력 분해분석 결과

연도	원자력					수력				
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)
1991	1.49	-0.51	0.02	746.44	-0.33	-0.16	1.16	0.00	-200.07	-0.33
1992	73.44	-73.00	0.56	9.67	-1.39	-0.48	1.49	0.00	-28.32	-0.06
1993	2.30	-0.95	-0.35	368.88	-1.59	0.22	0.81	-0.03	79.35	0.05
1994	-4.50	5.77	-0.27	-228.93	-0.97	-0.14	1.15	-0.01	-135.33	-0.16
1995	0.65	0.37	-0.02	1,636.42	0.46	0.54	0.48	-0.01	26.46	0.01
1996	0.70	0.29	0.00	1,542.73	0.20	-0.61	1.62	0.00	-21.37	-0.03
1997	1.10	-0.16	0.06	836.96	-0.21	0.36	0.62	0.02	29.17	0.01
1998	-0.46	1.58	-0.13	2,515.65	4.04	-0.16	1.20	-0.04	99.16	0.11
1999	0.65	0.08	0.27	2,846.51	0.73	-3.81	6.39	-1.58	-7.03	-0.03
2000	0.71	0.16	0.13	2,263.35	-0.28	9.46	-10.15	1.69	2.18	-0.02
2001	1.42	-0.14	-0.28	728.22	0.33	1.20	0.04	-0.24	10.50	0.01
2002	1.17	-0.20	0.03	1,510.17	0.56	-0.28	1.29	-0.01	-66.21	-0.05
2003	0.38	0.76	-0.13	2,252.23	1.36	0.08	0.95	-0.03	118.99	0.08
2004	5.07	-4.93	0.86	274.62	-0.58	-0.40	1.47	-0.07	-40.40	-0.04
2005	0.36	0.67	-0.04	3,436.46	2.41	-0.25	1.23	0.03	-47.38	-0.03
2006	3.07	-1.89	-0.18	555.08	0.10	-0.97	1.91	0.06	-14.05	-0.01
2007	-1.68	2.60	0.08	-1,132.38	-1.51	1.18	-0.13	-0.06	12.88	0.00
2008	0.67	0.53	-0.19	1,638.93	0.60	-0.20	1.14	0.06	-41.20	-0.03
2009	0.03	0.49	0.48	-849.15	-0.46	0.01	0.86	0.14	-19.41	-0.01
2010	8.50	-9.33	1.83	244.29	-1.75	0.24	0.71	0.05	63.13	0.02
2011	0.76	0.24	0.00	1,542.96	0.06	0.16	0.84	0.00	67.28	0.03
2012	-0.69	1.54	0.15	-1,080.62	-0.53	-0.15	1.12	0.03	-46.46	-0.02
2013	-0.40	1.34	0.06	-2,446.64	-1.39	0.38	0.68	-0.06	24.25	0.01
2014	0.23	0.76	0.01	4,084.32	1.89	-0.07	1.07	0.00	-109.66	-0.06
2015	0.45	0.59	-0.04	2,013.34	0.73	-0.10	1.09	0.01	-44.11	-0.03
2016	-1.22	1.76	0.47	-809.05	-0.87	0.10	0.94	-0.04	50.72	0.02
2017	-0.33	1.27	0.06	-2,885.77	-1.24	-3.02	3.44	0.57	-1.89	0.00

주) 공급 비중 변화는 1차 에너지 공급량 기준의 전체 에너지 대비 공급량 대비 원자력 에너지의 공급량 변화를 의미한다.

〈표 9〉 신재생 에너지 및 전력 소비량 분해분석 결과

연도	신재생에너지					전력			
	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)	공급 비중 변화 (%p)	생산 효과	집약도 효과	구조 효과	총 변화 (ktoe)
1991	0.53	0.47	-0.01	67.82	0.05	0.94	0.05	0.01	711.00
1992	0.26	0.87	-0.12	105.80	0.08	0.62	0.38	0.00	735.00
1993	0.45	0.76	-0.21	87.63	0.01	0.67	0.44	-0.10	892.00
1994	22.92	-15.16	-6.76	2.19	-0.03	0.58	0.38	0.04	1,389.00
1995	0.21	0.87	-0.08	291.85	0.22	0.70	0.32	-0.02	1,289.00
1996	-0.58	1.31	0.26	-105.74	-0.17	0.63	0.36	0.00	1,451.00
1997	0.56	0.57	-0.13	85.28	0.02	0.57	0.40	0.03	1,412.00
1998	-0.91	2.67	-0.76	65.13	0.15	1.41	-0.81	0.40	-663.00
1999	0.79	-0.18	0.38	114.74	0.01	0.82	-0.17	0.34	1,641.00
2000	0.32	0.63	0.05	255.92	0.09	0.31	0.63	0.06	3,988.00
2001	1.75	0.82	-1.58	32.36	0.01	0.62	0.50	-0.12	1,403.00
2002	0.72	0.43	-0.15	135.77	0.07	1.09	-0.12	0.03	1,389.00
2003	0.22	0.85	-0.07	225.62	0.15	0.56	0.59	-0.15	1,289.00
2004	0.40	0.89	-0.28	223.40	0.10	0.87	-0.03	0.15	1,363.00
2005	0.63	0.57	-0.21	130.28	0.09	0.71	0.33	-0.03	1,500.00
2006	0.39	0.64	-0.03	299.11	0.18	1.37	-0.31	-0.06	1,036.00
2007	0.46	0.57	-0.03	321.69	0.15	1.07	-0.06	-0.01	1,563.00
2008	0.33	0.73	-0.06	291.89	0.15	1.82	-0.29	-0.53	548.00
2009	-0.02	1.13	-0.11	104.28	0.07	-0.05	2.03	-0.98	400.00
2010	0.51	0.44	0.06	415.99	0.06	0.59	0.29	0.12	3,442.00
2011	0.34	0.75	-0.09	377.37	0.12	0.68	0.31	0.01	1,778.00
2012	0.22	0.85	-0.07	418.87	0.24	1.05	0.16	-0.20	758.00
2013	0.31	0.68	0.02	450.09	0.24	2.32	-0.97	-0.35	481.00
2014	0.14	0.86	0.01	1,099.72	0.54	16.11	-16.07	0.96	65.00
2015	0.42	0.49	0.09	364.99	0.14	1.45	-0.33	-0.12	655.00
2016	0.35	0.66	-0.01	504.11	0.18	0.71	0.53	-0.24	1,460.00
2017	0.21	0.80	-0.01	952.91	0.55	1.53	-0.24	-0.29	705.00

주) 공급 비중 변화는 1차 에너지 공급량 기준의 전체 에너지 대비 공급량 대비 신재생 에너지의 공급량 변화를 의미한다.

발전 믹스가 달라지기 때문에 원자력, 수력의 연도별 분해분석 결과는 전력 부문 분석 결과와 다르게 나타난다. 신재생에너지의 경우에도 생산부문별 최

중에너지 소비량이 별도로 존재하기 때문에 전력 소비 분석 결과와 다른 양상을 보인다. 원료 및 최종에너지 형태로 소비하는 화석연료와 다르게 원자력 및 수력은 총 변화량이 발전 비중으로부터 직접적인 영향을 받는다. 전력 소비량은 1998년을 제외하고는 꾸준히 증가해 왔지만 원자력과 수력 발전량은 경제급전의 특성상 화석연료 가격에 따라 다르게 나타났다.

반면 신재생에너지 소비량의 경우 1996년을 제외하고는 계속해서 증가하였으며, 이는 친환경 에너지원 확대 정책의 영향과 함께 재생에너지 발전량 증가에 의한 것이다. 이와 같은 영향으로 신재생에너지의 집약도 효과는 꾸준히 에너지 소비 증가요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 따라서 신재생에너지 공급의 집약도 효과를 에너지 효율과 연관 지어 설명하기 위해서는 추가적인 분석이 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 우리나라의 1990년부터 2017년까지 28년간의 자료를 활용하여, 제조업, 서비스업 및 교통 부문을 전부 포함한 생산부문 에너지 소비의 변화 요인에 대해 1차 에너지 공급 자료를 구성하여 분석하였다. 변화요인 분해분석을 위해 LMDI 기법을 사용하였고, 총 에너지 소비량 분해분석과 함께 에너지원별 분해분석을 수행하여 각 에너지원의 소비량 변화 요인을 살펴보고자 하였다. 본 연구의 기여점은 크게 두 가지로, 에너지원별·생산부문별 1차 에너지 공급 자료를 작성했다는 점과, 에너지 소비량 변화요인 분석에 있어 1차 에너지와 최종에너지 기준 분해분석 결과를 에너지원별로 비교했다는 것이다.

본 연구는 비교에 초점을 맞추었기 때문에 기준연도변경 방식으로 분석을 시도하였다. 총 에너지 소비량 및 원별 소비량 분석으로부터 도출할 수 있는 결론은 최종에너지 소비량을 기준으로 분해분석을 수행할 경우 집약도 효과

결과로부터 에너지 효율을 과대평가할 수 있다는 점과, 에너지원별 분석 시에 타 연료로부터의 대체 효과를 고려하여 분해분석 결과를 해석해야 한다는 점이다. 최종에너지를 기준으로 에너지원별 분해분석을 진행하면, 발전에 투입된 에너지원의 전환효율을 고려하지 못하고 원료로 사용되거나 직접 최종에너지 형태로 사용하는 경우만을 포함할 것이기 때문에 집약도 효과와 에너지 효율 향상을 잘못 판단할 수 있다. 따라서 전력화가 가속화되는 시점에서 1차 에너지 기준 분해분석의 중요성은 점점 확대될 것으로 예상된다.

에너지원별 분석을 살펴보면 신재생에너지의 경우 집약도 효과가 꾸준히 에너지 소비 증가요인으로 나타났다. 이는 앞서 설명한 대로 부가가치 증가율에 비해 신재생에너지 보급 및 공급량 확대가 더 빨랐다는 것을 의미한다. 다만, 에너지 믹스 중 재생에너지 비중 확대와 비교하여 집약도 효과가 더 크게 나타난 경우, 이는 신재생에너지 부문의 효율 감소로 볼 수 있다. 하지만 주지의 사실과 같이 법정 신재생에너지원은 11개로 다양하기 때문에, 그와 같은 효율 감소의 원인이 무엇인지는 보다 심층적인 추가 분석을 필요로 한다.

탈원전과 재생에너지 확대 정책은 최근의 변화인 데 반해 에너지 소비 변화요인 분해분석은 과거 자료를 바탕으로 이루어질 수밖에 없으므로, 앞으로 에너지 믹스를 고려한 에너지 소비변화 요인 분석이 꾸준히 이루어져야 할 것이다. 특히 에너지원이 다변화되고 신재생에너지와 같은 친환경 에너지원의 보급이 확대될수록 전력화 비율 역시 높아질 것이기 때문에, 앞으로 전력 부문을 집중적으로 분석하되 전환효율을 고려하여 연구를 진행할 필요가 있다. 그러한 측면에서 본 연구와 같이 1차 에너지 공급으로 변환한 자료를 활용한 분석은 의미 있는 작업이라고 할 수 있다.

본 연구의 한계점은 크게 두 가지를 들 수 있는데, 첫 번째는 1차 에너지 공급을 산정할 때 설비의 관점에서 효율이 떨어지는 태양광 및 풍력과 바이오 및 폐기물 에너지에 대해 전부 동일한 접근 방식을 활용하여 1차 에너지 공급을 산정하였다는 점이다. 두 번째는 사용 에너지원에 따른 부가가치 집계 통계자료가 없기 때문에, 에너지원별 분석에서 집약도 효과는 필연적으로 에

너지원 대체에 의한 효과를 포함한다는 점이다. 이에 본 연구에서는 에너지믹스 비중을 함께 살펴보아 해석의 오류를 최소화하고자 하였으나, 이는 미봉책으로 후속 연구가 필요한 부분이다.

접수일(2020년 2월 26일), 수정일(2020년 6월 25일), 게재확정일(2020년 9월 25일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 구자열, 주희천, 정은호. 2016. “전력소비 변화 요인분석을 통한 국내 제조업의 전력효율성 평가”, 에너지경제연구 15(2), pp. 23-54.
- 국가통계포털, <http://www.kosis.kr>, 통계청, 2019.
- 김민주, 남경목, 홍원화. 2014. “요인 분해분석을 통한 국내 가정부문의 에너지 소비 변화요인 연구”, 대한건축학회 논문집 - 계획계 30(11), pp. 185-193.
- 김수이, 김현석. 2011. “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석”, 에너지경제연구 10(1), pp. 49-76.
- 김철현, 강병욱. 2017. “국내 에너지 소비 변화의 요인 분해 분석”, KEEI 기본연구보고서 17-02.
- 김태현, 임덕오, 김윤경. 2015. “2018-2011년 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 급증에 대한 요인분해연구”, 에너지경제연구 14(3), pp. 203-227.
- 김진수. 2015. “우리나라 에너지소비 분해분석 연구에 대한 고찰”, 에너지경제연구 14(3), pp. 265-291.
- 나인강, 이성근. 2010. “가정부문 에너지 효율 분석”, 자원·환경경제연구 19(1), pp. 129-157.
- 박년배, 심성희. 2015. “감축목표 업종 분류체계에 따른 산업부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석”, 자원·환경경제연구 24(1), pp. 189-224.
- 박성준, 김진수. 2014. “우리나라 1차 에너지와 최종에너지 소비 변화요인 분해 비교분석”. 자원·환경경제연구 23(2), pp. 305-330.
- 박장욱, 김수이. 2013. “한국과 일본의 산업부문 에너지 소비에 대한 LMDI 요인분해 분석”, 에너지경제연구 12(1), pp. 67-103.
- 박희천. 2006. “한국 가정부문 직간접 에너지소비의 증가요인 분석: 1990~2000”, 자원·환경경제연구 15(3), pp. 531-553.
- 에너지경제연구원. 2013. “과거 5년간 에너지 수요증가 요인분석”.
- 에너지경제연구원. 2015. “에너지 수급 브리프 2015.3”. Series No. 2-3.
- 에너지경제연구원. 2016. “에너지 수급 브리프 2016.3”. Series No. 3-3.

- 에너지경제연구원. 2017a. “국내 에너지 소비 변화의 요인 분해 분석”.
- 에너지경제연구원. 2017b. “에너지 수급 브리프 2017.12”. Series No. 4-12.
- 에너지경제연구원. 2017c. “에너지 수급 브리프 2017.4”. Series No. 4-4.
- 에너지경제연구원, 한국에너지공단. 2018. “2017년도 에너지총조사보고서”.
- 에너지경제연구원. 2019. “2019 하반기 KEEI 에너지수요전망”, KEEI 에너지수요전망 21(2).
- 오진규, 김종덕, 권태규, 신정수. 2003. “지속가능발전을 위한 에너지부문 전략 연구, 제조업부문 에너지소비 요인분해 연구”, 에너지경제연구원 연구보고서.
- 이진식. 2010. “제조업부문 에너지효율 추이 분석”, GRI 연구논총 12(3), pp. 249-267.
- 임재규, 김종익. 2014. “국내 산업부문의 전력에너지 소비효율 비교분석: LMDI 요인분해 방법론 활용”, 에너지경제연구 13(1), pp. 121-143.
- 정한경. 2005. “산업부문 에너지소비 변화요인 분석”, 에너지경제연구원 연구보고서
- 한준. 2015. “LMDI 요인 분해분석을 이용한 우리나라 제조업 전력화 현상에 관한 연구”, 에너지공학 24(1), pp. 137-148.
- Achour, H., Belloumi, M. 2016. “Decomposing the influencing factors of energy consumption in Tunisian transportation sector using the LMDI method,” *Transport Policy* 52, pp. 64-71.
- Ang, B. W. 1994. “Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach,” *Energy Economics* 16(3), pp. 163-174.
- Ang, B. W. 2005. “The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide,” *Energy Policy* 33, pp. 867-871.
- Ang, B. W., Choi, K. H. 1997. “Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method,” *Energy Journal* 18(3), pp. 59-73.
- Ang, B. W., Liu, N. 2007a. “Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach,” *Energy Policy* 35(1), pp. 238-246.
- Ang, B. W., Liu, N. 2007b. “Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach,” *Energy Policy* 35(1), pp. 739-742.

- Ang, B. W., Zhang, F. Q., Choi, K. H. 1998. "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition," *Energy* 23(6), pp. 489-495.
- European Commission. 2018. "A Clean Planet for all: A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy," Brussels, Belgium.
- Gonzalez, P. F., Landajo, M., Presno, M. J. 2014. "Multilevel LMDI decomposition of changes in aggregate energy consumption. A cross country analysis in the EU-27," *Energy Policy* 68. pp. 576-584.
- IEA. 2013. "Energy Efficiency Market Report 2013," Paris, France.
- IEA. 2019a. "World Energy Outlook 2019," Paris, France.
- IEA. 2019b. "World Energy Balances 2019," Paris, France.
- Kim, S. 2017. "LMDI Decomposition Analysis of Energy Consumption in the Korean Manufacturing Sector," *Sustainability* 9. 202.
- Sun, J. W. 1998. "Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model," *Energy Economics* 20(1), pp. 85-100.
- Wang, M., Feng, C. 2018. "Decomposing the change in energy consumption in China's nonferrous metal industry: An empirical analysis based on the LMDI method," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, pp. 2652-2663.
- Wang, W., Liu, X., Zhang, M., Song, X. 2014. "Using a new generalized LMDI (logarithmic mean Divisia index) method to analyze China's energy consumption," *Energy* 67. pp. 617-622.
- Xu, J., Fleiter, T., Eichhammer, W., Fan, Y. 2012. "Energy consumption and CO2 emissions in China's cement industry: A perspective from LMDI decomposition analysis," *Energy Policy* 50. pp. 821-832.

ABSTRACT

A decomposition analysis of primary energy supply and final energy consumption by source

Taeyoung Jin* · Jinsoo Kim**

This study focuses on the comparison of the decomposition results of Korean energy consumption between total primary energy supply data and final energy consumption data for the period of 1990 to 2017. We conduct LMDI decomposition analysis for production effect, intensity effect, and structure effect with the constructed dataset that consists of 14 production sectors and six energy sources. The energy efficiency from the intensity effect may be overestimated by the decomposition analysis with final energy consumption data. We derived that a different interpretation should be applied for each energy source from the results of decomposition analysis. The decomposition results of coal and natural gas indicate significant differences by methods because of the effect of conversion sectors. The results of oil, which has a small share of power generation, were also mostly different by methods. We also confirmed different patterns among the decomposition factors between renewable and electricity consumption although the intensity effect cannot be translated into efficiency because of constant increase in renewable energy consumption.

Key Words : Decomposition analysis, Total primary energy supply, Final energy consumption

* Postdoctoral Researcher, Division of Climate Technology Cooperation, Green Technology Center(main author), jnow123@gtck.re.kr

** Associate Professor, Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University(corresponding author), jinsookim@hanyang.ac.kr

