

우리나라 에너지소비 분해분석 연구에 대한 고찰

김진수*

요 약

에너지소비에 대한 분해분석은 국가수준에서의 에너지소비 변화에 대한 동인을 에너지 집약도, 산업 구조 변화, 생산 수준 변화로 나누어 살펴볼 수 있기 때문에 정책적 유용성이 높다. 특히, 이상적인 분해분석 조건을 만족하는 가중치 계산을 위한 개선된 Laspeyres 지수와 로그평균디비지아 지수 방법론이 발표된 이후 한국을 비롯한 여러 나라에서 많은 연구가 시도되었다. 그러나 분석기간의 선택이나 사용 자료, 방법론 적용 방식에 따라 분석 결과가 다르게 나타나 결과의 안정성에 의문점이 제기되어 왔다. 이에 본 연구에서는 그 동안 한국을 대상으로 이루어진 에너지소비 분해분석 연구를 검토하여 정리하고, 에너지소비 분해분석에 있어서 고려해야 할 방법론 선정과 모형 구성, 자료 선택 문제를 고찰해 보았다. 검토 결과를 바탕으로 구조분해분석과 지수분해분석, 로그평균과 산술평균, 분해 요인, 1차 에너지와 최종 에너지, 분해 수준을 기준으로 분해분석 연구 시 고려해야 할 요인들을 제시하였다.

주요 단어 : 에너지, 분해분석, 한국
경제학문헌목록 주제분류 : Q43, Q48

* 한양대학교 자원환경공학과 조교수(주저자, 교신저자). jinsookim@hanyang.ac.kr

I. 서 론

에너지소비에 대한 분해분석(decomposition analysis)은 국가수준에서의 에너지소비 변화에 대한 동인을 파악하여 에너지 집약도 및 산업 구조 변화에 따른 에너지소비 변화를 분석할 수 있기 때문에 정책적 유용성이 높아 그 동안 꾸준히 연구가 이루어져 왔다. 특히 분해식의 가중치 계산에 있어서 이상적인 조건을 만족하는 개선된(refined) Laspeyres(이하 RL) 지수(Sun, 1998)와 로그평균디비지아 지수(Log Mean Divisia Index, LMDI)를 사용하는 방법론(Ang, 1997; Ang et al., 1998)이 발표된 이후 여러 나라에서 많은 연구가 수행되었다. 그런데 분해분석 연구는 분석 기간의 선택이나 사용 자료, 방법론 적용 방식에 따라 분석 결과가 다르게 나타나 결과의 안정성에 의문점이 제기되어 온 것이 사실이다. 이에 본 연구에서는 그 동안 한국을 대상으로 이루어진 에너지소비 분해분석 연구를 검토하여 정리하고, 에너지소비 분해분석에 있어서 고려해야 할 분해 방법론과 모형 구성, 통계 자료 선택에 대하여 논의해 보았다.

에너지소비 분해분석 연구는 에너지소비 변화 요인의 동인을 찾는 연구이기 때문에 에너지 수요 측면의 연구라고 할 수 있다. 주지의 사실과 같이 석유 파동(oil shock) 이전의 에너지 관련 연구는 외생적(exogenous)으로 주어진 수요를 충족시키기 위한 공급 중심의 연구였다(Bhattacharyya, 2011). 즉, 에너지 수요에 대한 분석은 1970년대의 석유 파동 이후 크게 증가하였는데, 분해분석 연구는 전통적인 수요·공급 이론을 보완하는 대안적인(alternative) 연구로 에너지 수요의 동인을 알아보기 위한 연구이다.¹⁾ 그 동안 수행된 연

1) 분해분석 이외에 에너지 집약도, 에너지 탄력성 등 여러 지표(indicator)를 사용한 기술적 분석(descriptive analysis)이나 계량경제(econometric analysis) 방법론을 사용할 수도 있다(Bhattacharyya, 2011).

구의 수가 많았던 만큼, Ang and Zhang(2000), Ang(2015) 등과 같이 이미 몇 차례 분해식의 가중치 계산을 위한 지수 선택이나 적용 사례를 검토한 논평(review) 논문이 발표된 바 있다. 앞선 논평 논문이 분해식과 사례를 중심으로 검토가 이루어졌기 때문에, 본 논문에서는 구조분해분석을 포함하여 분해분석 연구에서 고려해야 하는 요인을 종합적으로 살펴보고자 한다. 특히, 한국을 대상으로 한 분해분석 연구를 중점적으로 검토하여 연구 결과의 안정성 또한 살펴보겠다.

분해분석 연구는 일반적으로 지수분해분석(Index Decomposition Analysis, IDA)과 구조분해분석(Structural Decomposition Analysis, SDA)으로 나누어 볼 수 있다. 지수분해분석은 변화 요인의 분해에 있어 지수 이론을 기반으로 하고 있으며 구조분해분석은 산업연관분석 이론을 기반으로 한다. 따라서 두 방법론은 유사해 보이지만 분해요인의 의미에는 차이가 존재하며 이에 대해 3장 1절에서 보다 상세히 논의할 것이다. IDA는 전력소비 예측을 위하여 산업 부문 전력소비에 대한 분해분석을 시도한 Hankinson and Rhys(1983)의 연구²⁾가 본격적인 출발점이라고 볼 수 있다. SDA는 Leontief(1941; 1953)가 개념을 제시한 이후 Chenery et al.(1962)과 Chenery and Syrquin(1975)의 선구적인 연구가 있었으며, 일반적으로 이야기하는 “3요인 분해식”은 Leontief and Ford(1972)가 최초로 제안하였다. IDA와 SDA는 각각 장·단점을 가지고 있기에 본 논문에서는 우리나라 에너지소비를 대상으로 수행한 IDA와 SDA를 모두 살펴보고자 하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 분해분석 연구의 기본이론을 간략하게 정리한 다음, 한국의 에너지소비 분해분석 연구에 대해 정리하였다. 제Ⅲ장에서는 구조분해분석과 지수분해분석, 1차 에너지와 최종에너지, 로그평균과 산술평균, 분해 수준, 분해 요인을 중심으로 분해분석 방법론에 대해 고찰하고, 마지막 제Ⅳ장에서는 논문의 전체 내용을 정리하고 결론을 내린다.

2) 전력소비를 총 생산 수준의 변화(total output), 구조 변화(industrial structure), 개별 산업의 전력 집약도 변화(electricity intensity)로 분해하였다.

II. 한국의 에너지소비 분해분석 연구

1. 기본 이론

서론에서 언급한대로 IDA는 Sun(1998)과 Ang et al.(1998)이 완결성, 시간 가역성, 요소 가역성, 영(zero) 값에 대한 강건성이라는 이상적인 분해분석의 조건(Hoekstra and van den Bergh, 2003)을 만족하는 방법론을 제안한 이후 이를 활용한 많은 사례 연구가 수행되었다. 여기서 완결성(completeness)은 분해 후 잔차(residual)가 남지 않음을 의미하고 시간 가역성(time reversal)은 기준연도와 비교연도를 바꾸어 분석했을 경우 분해요인 분석 값의 절대 값이 동일하게 나오는 것³⁾을, 요소 가역성(factor reversal)은 각 요인의 분해 순서를 바꾸어도 분석 값이 달라지지 않는 것을 의미한다. 영 값에 대한 강건성(zero value robustness)은 분석 자료에 영 값이 존재하더라도 문제없이 분석 값이 도출되어야 한다는 조건이다.

분해분석 연구에서 에너지소비의 변화 요인은 일반적으로 생산효과(production effect), 집약도 효과(intensity effect), 구조 효과(structure effect)의 세 가지로 분해한다. 이 세 가지로 분해하는 이유는 분해식의 구조적 특성에 기인하는데, t 기의 에너지소비량(E_t)을 연쇄 법칙(chain rule)을 사용하여 식(1)과 같이 분해할 경우 각각 생산량, 집약도, 산업 i 의 점유율을 의미하게 되기 때문이다.

3) 이는 가법(additive) 분해에 해당하며 승법(multiplicative) 분해의 경우 역수가 나오면 된다.

$$E_t = \sum_i E_{i,t} = \sum_i \frac{E_{i,t}}{Y_{i,t}} \frac{Y_{i,t}}{Y_t} Y_t = Y_t \sum_i I_{i,t} S_{i,t} \quad (1)$$

여기서, Y_t 는 총 GDP, $Y_{i,t}$ 는 산업 i 부분의 GDP, $E_{i,t}$ 는 산업 i 부분의 에너지소비량, $I_{i,t}$ 는 산업 i 부분의 에너지 원단위($I_{i,t} = E_{i,t} / Y_{i,t}$), $S_{i,t}$ 는 산업 i 부분의 GDP 비중($S_{i,t} = Y_{i,t} / Y_t$)을 의미한다. 에너지소비량 변화 이전을 기준연도(0기), 변화된 후를 비교연도(t기)라고 했을 때, Sun(1998)의 RL은 기준연도 중심의 Laspeyres 지수를 바탕으로 산술평균을 이용하여 잔차를 각 요인에 분배하는 방식을 제안하였다. 예를 들어 RL 방법론에서 집약도 효과는 다음의 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Delta E_{int} = & Y_0 \sum_i S_{i,0} \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i (Y_0 \Delta S_i + S_{i,0} \Delta Y) \\ & + \frac{1}{3} \Delta Y \sum_i \Delta S_i \Delta I_i \end{aligned} \quad (2)$$

LMDI는 순간변화율 정리와 Divisia 적분을 바탕으로 도출한 로그 평균 가중치(logarithmic mean weight)를 사용하여 잔차가 남지 않도록 분배하는 방법론이다(Ang and Choi, 1997). 사실 LMDI는 로그를 사용하기 때문에 “영의 값” 문제에서 자유롭지 못하다. 그러나 “0” 대신에 매우 작은 수⁵⁾를 대입하거나 수리적 극한(analytic limit)을 계산하여 대입하는 방식을 사용하면 영의 값 문제를 비교적 간단하게 처리할 수 있어 이상적인 분해분석의 조건을 만족시킬 수 있다(Ang and Liu, 2007a, 2007b). 앞서 소개한 집약도 효과는 LMDI 방법론의 경우 다음의 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

4) 공리적(axiomatic) 접근에 기반 한 Laspeyres 지수와 Paasche 지수는 지수가 탄생한 이론적인 배경 상 분해분석 과정에서 수리적으로 잔차가 남을 수밖에 없다.

5) Ang and Liu(2007a)는 10^{-20} 을 제안하였으며 이를 “small value strategy”로 명명하였다.

$$\Delta E_{int} = \sum_i \left(\frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln(E_{i,t}/E_{i,0})} \right) \cdot \ln \left(\frac{I_{i,t}}{I_{i,0}} \right) \quad (3)$$

SDA의 출발점은 다음의 식(4)와 같은 산업연관분석 이론의 산출액에 대한 균형식이다.

$$E_t = B_t \cdot X_t = B_t \cdot [(I - A_t)^{-1} \cdot F_t] \quad (4)$$

여기서, B_t 는 단위 산출액 당 에너지 소비량, 즉 에너지 집약도의 역수 행렬이며, X_t 는 t 기의 산출액 행렬, A_t 는 투입계수 행렬, F_t 는 최종수요 행렬을 의미⁶⁾한다. SDA에서는 식(4)를 바탕으로 행렬 B_t 의 변화를 집약도 효과, 행렬 $(I - A_t)^{-1}$ 의 변화를 구조 효과(또는 Leontief 기술 효과), F_t 의 변화를 최종수요 효과로 분해한다.

2. 한국의 에너지 분해분석 연구 고찰

본 절에서는 우리나라의 에너지소비를 대상으로 수행된 분해분석 연구를 정리⁷⁾해 보았다. 한국의 에너지소비를 대상으로 수행된 분해분석 연구는 신정식(1988)의 연구가 출발점이라고 할 수 있다. 사실 신정식(1988)의 연구는 분해분석이 주목적이 아니라 KLEM 계량경제모형을 바탕으로 산업구조변화가 제조업 부문의 전력소비에 미치는 영향을 분석한 논문이다. 그러나 IDA에

6) 수입의 내생화 여부에 따라 행렬을 보다 상세하게 분해할 수 있다(자세한 내용은 Kim(2010) 참조).

7) 분해분석 방법론이나 분석 대상과 같은 기준을 설정하여 선행 연구를 정리하는 것이 논문의 문제의식을 보다 잘 드러낼 수 있다. 그러나 III장에서 검토한 기준이 다섯 가지로 특정 기준을 중심으로 선행 연구를 나누기 어렵고, 한국에서 발표된 연구의 연대기(chronology)를 살펴본다는 의미로 시간 순으로 기존 연구를 정리하였다.

서 사용하는 세 가지 요인(집약도, 산업구조, 부가가치)의 분해식을 제시하였다는 의의가 있으며, 수식으로 미루어 볼 때 Fisher(1927) 방식의 가중치를 사용하여 분석을 수행하였다.

이후 신의순·민영상(1992)의 연구에서 본격적으로 IDA 방식의 분해분석 연구가 이루어졌다. 신의순·민영상(1992)은 Boyd et al.(1987)과 Howarth et al.(1991)의 논의를 바탕으로 Laspeyres 지수와 Divisia 지수를 사용하여 제조업의 총 에너지사용량 변화를 분해하였으며, 특히 1, 2차 석유파동의 영향을 점검하고 다른 나라의 분석 결과와 비교하였다. 정태용 외(1994)는 신의순·민영상(1992)의 연구에 이어 우리나라 제조업의 에너지효율을 분석하였는데, 동일한 방법론을 적용하였으나 부가가치 대신 생산액 자료를 사용하여 분해분석을 수행하였다. 또한 연도별 분석을 수행한 것과 전력과 비전력 원단위를 나누어 분석한 것이 이 연구의 특징이다. 많은 분해분석 연구에서 사용하는 부가가치 대신 생산액 자료를 사용한 이유는 결론에서 밝히고 있듯이 에너지 효율을 정확하게 포착하기 위해서는 물량원단위를 분석해야 하나, 자료의 한계로 인하여 금액기준 분석을 수행할 수밖에 없고 이 경우 부가가치 기준 보다는 생산액 기준이 보다 적절하기 때문이다.

이러한 물량 원단위에 대한 논의는 박희천(2001a)에서 본격적으로 이루어졌다. 박희천(2001a)은 에너지절약 노력에도 불구하고 에너지 원단위가 증가하는 원인을 보다 명확하게 분석하기 위하여 부가가치 대신 물량 에너지효율 지표를 개발하여 분해분석을 수행하였다. 또한 전력 부문의 에너지 소비량을 정확하게 반영하기 위하여 1차 에너지를 기준으로 분석하였으며, 분해식의 가중치는 Ang(1995)이 제안한 simple average parametric Divisia method 2(AVE-PDM 2)를 사용하였다. 분석 결과 에너지 다소비 업종의 물량 에너지 원단위는 감소하였으나, 철강산업을 제외한 다른 업종에서는 부가가치 생산 증가가 물량 증가보다 낮아 제조업의 에너지효율이 악화된 것으로 나타났다. 이어 에너지 다소비 업종을 중심으로 추가 연구를 수행, 부가가치 원단위를 기준으로 분석한 기존 연구 결과와 상당한 차이가 있음을 밝혔다(박희천, 2001b).

송중은(2001)의 연구는 우리나라 에너지소비에 대한 본격적인 SDA 연구의 출발점이라고 할 수 있다. 송중은(2001)은 Rose and Chen(1991)의 논의를 바탕으로 two-tier KLEM 모형을 사용하는 SDA를 적용, 국내 에너지 최종수요의 구조적 변화요인을 12개 요인으로 분해하여 분석하였다. 1985년~1995년 접속불변산업연관표를 사용하였으며, 분석 결과 에너지소비량 증가는 소득증가로 인한 최종수요의 증가가 가장 큰 원인이었고 동 기간 동안 산업부문의 에너지소비 효율성 역시 증가한 것으로 나타났다. 김진수·허은영(2005)은 송중은(2001)의 연구를 발전시켜 분해 요인을 총 17개로 나누어 살펴보았으며, SDA의 장점을 활용하여 산업 별로 에너지소비 변화요인을 분석하였다. 송중은(2001)과 김진수·허은영(2005)의 연구 모두 분해 가중치를 별도로 고민하지 않고 SDA 분해식을 순차적으로 배열하는 이른바 극값(polar) 분해를 사용하였다.

오진규(2003)는 “지속가능발전을 위한 에너지부문 전략”을 도출하기 위한 연구를 진행하면서 제조업을 대상으로 IDA를 수행하였다. 본격적으로 LMDI를 적용한 연구로, 외환위기의 영향을 분석하기 위하여 기간을 3개(1981~1990년, 1990~1997년, 1997~2001년)로 나누어 분석하였다. 분석 결과 산업구조 효과는 80년대와 90년대 모두 양(+의 효과로 나타났다. 반면 집약도 효과는 80년대에는 음수로, 90년대에는 양수로 나타나 90년대의 저유가가 에너지 효율에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 또한 외환위기 이후의 결과는 그 이전의 결과와는 다르게 산업구조 효과가 음수, 집약도 효과가 양수인 것으로 나타났다.

정한경(2005)은 기존의 IDA 분해 방식을 보다 세분화하여 5개의 요소로 분해하는 분석 틀을 제안하였으며, 분해요인을 활용할 수 있는 에너지 수요 분석모형(계량경제모형) 개념을 제시하였다. 기존의 원단위 효과를 생산성 효과와 에너지 기술효과의 2가지로 분리하고 연료대체효과를 추가로 분리한 뒤, 산업구조 효과를 수출과 내수로 구분하는 총 5개의 분해 요소를 제안하고 이에 상응하는 Divisia 지수 계산법을 제시하였다.

박희천(2006b)은 산업연관표를 이용하여 가정부문의 직·간접 에너지소비량을 도출하고 IDA를 활용하여 변화요인을 분석하였다. 이 연구의 특징 중 하나는 산업연관표와 에너지 통계 자료를 바탕으로 에너지 부문이 물량으로 표시되는 물리(physical) 산업연관표 중 하나인 에너지 산업연관표를 작성했다는 것이다. 작성한 에너지 산업연관표를 바탕으로 물량생산지수(physical production index)를 활용하여 가정부문의 에너지소비량에 대한 IDA를 수행하였다. 분석 결과 가정부문은 직접 에너지소비보다는 간접 에너지소비가 에너지절약 정책의 주요 대상이 되어야 함을 밝혔고, 구조효과와 효율효과 모두 에너지소비량을 감소시켰던 것을 확인하였다. Park and Heo(2007)에서는 박희천(2006b)의 논의에 대해 분석 기간을 확장하고 에너지원 별 분석과 정책적 함의를 추가하였다.

김화영·김지효(2008)는 기존의 IDA에서 제시된 일곱 가지⁸⁾ 가중치 계산 방식을 비교분석하였다. 분석 대상은 국내 산업부문의 에너지유(油) 사용량이며, 기준년도 변경(rolling base year) 방식과 고정(fixed base year) 방식을 모두 사용하였다. 분석 결과 다소 놀랍게도 잔차가 많이 발생하는 Laspeyres와 Paasche 방법론을 사용한 결과가 다른 다섯 가지 개량 지수를 사용하는 방법론의 분석 결과와 차이가 크지 않은 것으로 나타났으며, 외환위기 기간 이외에 산업구조 효과는 크지 않았던 것으로 분석되었다.

나인강·이성근(2008)은 IDA와 계량경제분석 방법론을 결합하였다. IDA가 원단위 효과의 선행요인에 대한 직접적인 탐색이나, 원단위 분석에 있어서 생산과 구조 효과만을 고려하고 있다는 점, 원단위 효과의 변동폭 또한 크게 나타난다는 한계를 지적하고, 이를 극복하기 위한 하나의 방법으로 분해한 세 가지 요인(효과)에 대해 유가, 부가가치, 시간추세, 외환위기 더미를 설명변수로 계량분석(seemingly unrelated regression)을 수행하였다.

이성근·이성인(2008)은 가정·상업부문의 에너지효율을 평가하면서 가정부문과 상업·공공부문의 에너지소비량을 분해분석하였다. 박희천(2006b)과는 다르

8) Laspeyres, Paasche, Fisher, Marshall-Edgeworth, LMDI I, LMDI II, AMDI

게 IEA(2007)의 기준에 따라 활동은 인구를 사용하고, 구조 효과와 집약도 효과는 각각 면적이나 거주 주택수, 전기기기 보급률 등을 사용하였다. 분석 결과 가정용 에너지소비는 원단위 효과를 제외하고는 모두 에너지소비를 증가시키는 것으로, 상업용은 모든 효과가 에너지소비를 증가시키는 것으로 나타났다.

Kim(2010)은 한국의 에너지소비 변화요인을 분석하기 위하여 IDA와 SDA를 모두 활용하였으며, 상대적으로 연구가 적었던 “SDA에서 이상적인 분해조건을 만족시키기 위한 가중치”에 대해 분석하였다. Park and Heo(2007)의 논의에 따라 에너지 산업연관표를 작성하여 IDA와 SDA를 수행하였으며 접속불변산업연관표를 바탕으로 1985년~2005년 기간의 변화요인을 분석하였다. Kim(2010)의 논의는 3장에서 보다 자세히 살펴본다.

김수이·김현석(2011)은 LMDI를 사용하여 1991년~2007년 제조업의 에너지소비 변화요인을 분석하였다. 이 연구의 특징은 부가가치가 아니라 정태용 외(1994)의 논의와 마찬가지로 산업 별 생산액 자료를 사용했다는 것이다. 기준연도 고정 방식을 사용하여 분석한 결과 구조 효과와 집약도 효과 모두 제조업의 에너지소비를 크게 감소시킨 것으로 나타났다. 김수이·김현석(2011)에서는 생산 효과와 집약도 효과에 대한 산업 별 분석 결과 또한 제시하였다.

김윤경·장운정(2011)은 SDA를 바탕으로 2000년~2008년 기간의 산업 별 에너지소비 변화 요인을 분석하였다. 심상렬(2005)의 논의를 바탕으로 접속불변 에너지 산업연관표를 작성하여 SDA 분석을 수행하였으며, 기존의 SDA 연구와는 다르게 Ghosh 역행렬을 이용하는 공급유도형 모형을 기준으로 분해식을 구성하였다. 가중치는 Dietzenbacher and Los(1998, D&L)의 논의를 적용하여 잔차가 남지 않도록 하였다. 분석 결과 2000~2005년 기간에는 집약도 효과로 매우 큰 에너지소비량 감소가 나타났으나 2005~2008년 기간에는 오히려 집약도 효과가 에너지소비량을 증가시키고 대신 부가가치 비중변화 효과와 산출구조 변화 효과에 의해 에너지소비가 감소한 것으로 분석되었다. 김윤경·장운정(2011)의 연구에서는 SDA의 장점을 활용하여 산업 별 분해분석 결과도 제공하고 있다.

Kim and Heo(2012)에서는 나인강·이성근(2008)의 연구에서와 같이 분해한 결과를 추가적인 분석에 활용하였다. LMDI를 통하여 전 산업의 에너지소비를 분해한 뒤에, 기존의 에너지소비와 경제성장 사이의 인과관계를 살펴보는 이른바 에너지-성장 관계(energy-growth nexus)를 분석하였다. 분해분석에는 LMDI 방법론을 사용하였으며, International Energy Agency(IEA)의 에너지 밸런스 자료를 사용했다는 점이 기존 연구와는 다르다.

임재규·김종익(2013)은 LMDI를 이용하여 전 산업과 제조업의 에너지소비와 전력소비 변화요인을 분석하였다. 분석 결과 산업부문의 전력소비 효율이 다소 향상되고는 있지만 생산 효과와 전력 다소비업종으로의 산업구조 변화로 인하여 전력소비가 증가하였으며, 이와는 대조적으로 제조업에서는 전력소비가 감소하는 구조로 변화하고 집약도 효과는 오히려 전력소비를 증가시키는 것으로 나타났다. 임재규·김종익(2013)은 이러한 결과를 바탕으로 전력수급문제를 해결하기 위해 가격 정책을 사용하여 산업 부문에서 에너지 절감을 유도해야 한다고 주장하였다.

박성준·김진수(2014)는 그 동안 많은 분해분석 연구가 최종 에너지를 기준으로 수행되어 온 점에 착안, 1차 에너지를 기준으로 분석했을 경우와 최종 에너지를 기준으로 분석했을 경우의 차이를 살펴보았다. 분석을 위하여 IEA에서 발행한 1981년~2011년 에너지 밸런스 자료를 바탕으로 전환 부문을 고려하여 최종 에너지소비를 1차 에너지소비로 전환하였으며, 가법 분해 방식의 RL과 LMDI를 모두 사용하였다. 분석 결과 2011년 최종 에너지의 집약도 효과는 1981년 대비 0.171배 감소한 반면 1차 에너지는 오히려 0.192배 증가하는 것으로 나타나 전환 부문을 고려하지 않을 경우 분석 결과에 상당한 차이가 나타날 수 있음을 보였다. 박년배·심성희(2015)는 전 산업의 에너지소비 및 온실가스 배출 요인을 분해하였다. 이 연구의 초점은 에너지소비 보다는 온실가스 배출 요인의 분해로, 산업 분류를 감축목표 업종 분류체계에 맞추어 18개 업종으로 세분하였다는 것이 특징이다. 이상의 연구를 정리하면 다음의 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 한국의 에너지소비 분해분석 연구 비교

연도	저자	분석대상	분석기간	자료 출처	방법론	분해요인	집약도 효과	구조 효과
1988	신정식	전력(제조업)	1970-1987	KEEI	Fisher	생산, 집약도, 구조	(-)	(+)
1992	신의순·민영상	최종에너지(제조업)	1971-1991	KEEI	Laspeyres, Divisia	생산, 집약도, 구조	(-)	(+)
1994	정태용 외	최종에너지(제조업)	1981-1992	KEEI	Divisia	생산, 집약도, 구조 (집약도/연료대체)	(-)	(-)
2001a	박희천	1차에너지(제조업)	1992-1997	KEEI	AVE-PDM 2	생산, 집약도, 구조	(+)	(-)
2001b	박희천	1차에너지(에너지다소비 산업)	1992-2000	KEEI	AVE-PDM 2	생산, 집약도, 구조	(-)	(-)
2001	송종은	최종에너지(전 산업)	1985-1995	KEEI	SDA(polar)	수요, 생산성, 대체	(-)	(+)
2003	오진규 외	최종에너지(제조업)	1981-2001	KEEI	LMDI	생산, 집약도, 구조	(-)	(-)
2005	김진수·허은녕	최종에너지(전산업)	1980-2000	KEEI	SDA(polar)	수요, 집약도, 생산성, 대체	(-)	(-)
2005	정한경	최종에너지(전 산업)	1975-2004	KEEI	LMDI	연료대체, 연료효율, 생산성, 수요구조, 수출구조	(-)	(-)
2006b	박희천	1차에너지(가정)	1990-2000	KEEI	AVE-PDM 2	생산, 효율, 구조	(-)	(-)
2007	Park and Heo	1차에너지(가정)	1980-2000	KEEI	AVE-PDM 2	생산, 효율, 구조	(-)	(-)
2008	김화영·김지효	에너지유(전 산업)	1981-2006	KEEI	7개 IDA 방법론	생산, 집약도, 구조	(-)	혼재
2008	나인강·이성근	최종에너지(전 산업)	1990-2005	KEEI	LMDI	생산, 집약도, 구조	(-)	(-)
2008	이성근·이성인	최종에너지(가정상업)	1990-2006	KEEI	LMDI	성장, 집약도, 구조	(-)	(+)
2010	Kim	1차에너지(전 산업)	1985-2005	KEEI	RL, LMDI, SDA(ideal)	생산/최종수요, 집약도, 구조	(-)	(-)
2011	김수이·김현석	최종에너지(제조업)	1991-2007	KEEI	LMDI	생산, 집약도, 구조	(-)	(-)
2011	김윤경·장운정	1차에너지(전 산업)	2000-2008	KEEI	SDA(D&L)	부가가치액, 비중, 집약도, 구조	(-)	(-)
2012	Kim and Heo	1차에너지(전 산업)	1980-2007	IEA	LMDI	생산, 집약도, 구조	(-)	(-)
2013	임재규·김종익	최종에너지, 전력(전 산업, 제조업)	1990-2011	KEEI	LMDI	생산, 집약도, 구조	(-)	(+)
2014	박성준·김진수	1차, 최종에너지(전 산업, 제조업)	1981-2011	IEA	RL, LMDI	생산, 집약도, 구조	RL: (-) LMDI: (+)	(+)
2015	박년배·심성희	최종에너지(전 산업)	2004-2011	KEEI	LMDI	생산, 집약도, 구조	(+)	(-)

주: KEEI는 에너지경제연구원의 에너지통계연보에 수록된 에너지 밸런스, IEA는 국제에너지기구의 에너지 밸런스 자료를 사용했음을 의미

Ⅲ. 분해분석 방법론 고찰

1. 분석 방법론과 모형 구성

1) 구조분해분석과 지수분해분석

구조분해분석과 지수분해분석에 대한 비교는 일찍이 김진수(2009)에서 논의한 바 있다. 그 동안 SDA는 산업연관분석 이론의 균형식을 변형하여 분해요인을 나누는 것에 집중하여 연구가 이루어져, 상대적으로 이상적인 분해분석 조건의 만족이나 가중치에 대한 논의가 적었다. 그러나 Dietzenbacher and Los(1998, 2000), Hoekstra and van der Bergh(2003), de Boer(2008) 등의 노력으로 최근에는 이상적인 분해분석 방법론에 대한 많은 발전이 이루어졌다.⁹⁾ 특히 de Boer(2008)가 제안한 Montgomery 가중치는 로그평균 가중치를 이용하는 방법으로 IDA의 LMDI 방법론과 궤를 같이 하고 있다. 따라서 산업연관표를 이용하기 때문에 계산 수식이 다소 복잡한 점을 제외하면 LMDI가 가지는 이상적인 조건을 SDA에서도 모두 만족시킬 수 있다(Kim, 2010). Hoekstra and van der Bergh(2003), 김진수(2005), Kim(2010)의 논의를 정리해 보면 IDA와 SDA의 장·단점은 다음의 표와 같다.

9) Dietzenbacher and Los(2000, D&L II)와 de Boer(2008, Montgomery)의 방식은 각각 산술평균과 로그평균을 사용하는 방식으로 IDA의 RL과 LDMI에 대응하며 이상적인 분해분석의 조건을 만족한다.

〈표 2〉 구조분해분석과 지수분해분석의 비교

	SDA	IDA
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 변화 요인을 보다 세밀하게 나누는 것이 가능함. • 산업연관표의 투입 구조를 사용하므로 IDA에 비해 세밀한 산업 구조(기술 구조)의 변화를 반영할 수 있음. • 산업 별 분석이나 에너지원 별 분석이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • SDA에 비해 분석기간이 자유로움. • 적은 자료 요구량(산업 별 에너지 소비량 및 GDP) • 승법 분해 및 각 지표(절댓값, 집약도, 탄력성 등)에 대한 분해 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 분석 기간이 산업연관표 공표 시점으로 한정됨. • IDA에 비해 상대적으로 많은 자료를 사용하며, 그에 따라 복잡한 계산을 수행해야 함. • 현재까지는 가법 분해에 한정됨. 	<ul style="list-style-type: none"> • 분해 요인 설정에 제약 존재 • 다소 축약적인 자료를 사용하므로 SDA에 비해 결과 해석의 한계 존재

IDA와 SDA는 배경 이론의 차이로 인하여 분해 요인(효과)의 의미가 다르다. 앞서 II장에서 소개한 일반식을 기준으로, 먼저 집약도 효과의 경우 IDA는 산업 별 집약도를 의미하는 반면, SDA는 에너지원 별 집약도를 의미한다. 또한 IDA의 생산 효과는 총 산출액이나 부가가치의 변화를 의미하는 반면 SDA는 최종수요(고정자본형성이나 소비지출, 수출, 수입)의 변화를 의미한다. 마지막으로 구조 효과의 경우 IDA는 산업 별 산출이나 부가가치 비율의 변화로 인한 효과를 의미하는 반면 SDA는 Leontief 역행렬의 변화를 의미한다. Leontief 역행렬은 최종수요 1단위의 생산을 위해 필요한 투입요소를 의미하므로 산업의 산출 비율과는 다른 투입 기술 구조의 의미를 가지며, 직접적인 생산뿐만 아니라 간접투입요소 또한 고려하게 된다.

이상적으로는 분해분석을 통해 에너지소비 변화요인을 살펴보고자 할 때, IDA와 SDA를 모두 적용하여 비교하는 것이 가장 바람직하다. 다음의 표에서 제시하고 있는 Kim(2010)의 결과에서 확인할 수 있듯이, IDA와 SDA를 모두

활용할 경우 보다 풍부한 정책적 함의를 도출할 수 있다. 즉, IDA 결과인 구조 효과로는 산업의 GDP 비중(share)이 에너지소비를 3.7백만TOE 만큼 증가시키는 것으로 나타났지만, 각 산업의 에너지 수요 구조는 오히려 에너지소비를 감소시키는 방향으로 변화하여 5.5백만TOE의 에너지소비를 감소시켰으며, 산업의 기술 구조(Leontief 역행렬)는 IDA 결과와 마찬가지로 에너지소비를 3.1백만TOE 정도 증가시키는 방향으로 변화했다는 결과를 도출할 수 있다.

〈표 3〉 1995~2000년 구조 효과 비교

IDA	SDA	
구조 효과	구조 효과	Leontief 기술 효과
3,740 kTOE	-5,533 kTOE	3,118 kTOE

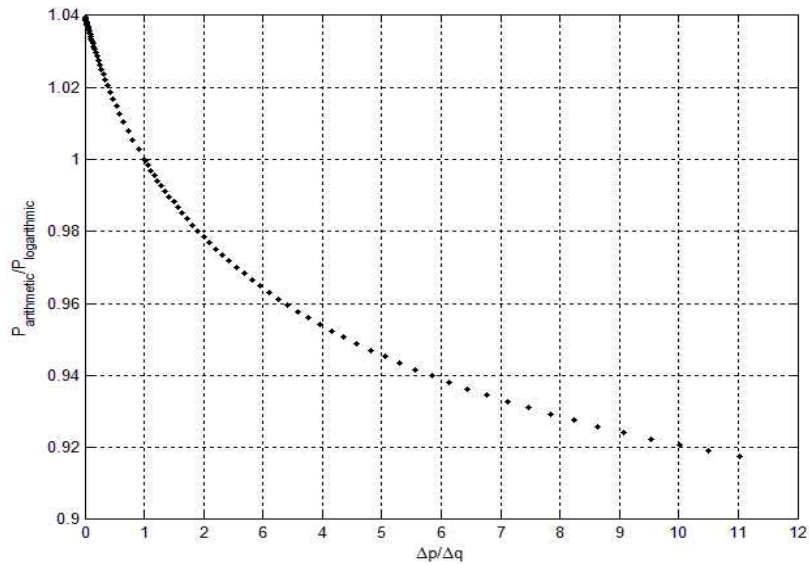
자료: Kim(2010)의 결과 재정리

그러나 현실적으로 IDA와 SDA를 동시에 수행하는 것은 매우 많은 노력을 필요로 하는 작업이다. 따라서 설정한 연구의 목적에 맞는 방법론을 취해 분해분석을 수행하되, 분석 결과의 의미를 해석하는 데 있어 IDA와 SDA의 차이를 유념하여 결론을 도출하는 것이 차선책이라고 판단된다.

2) 로그평균과 산술평균

이상적인 분해분석의 조건을 만족하는 RL와 LMDI(SDA의 경우 D&L II와 Montgomery)가 개발된 이후 많은 연구에서 두 방법론을 사용해 왔으나 정작 두 방식의 차이에 대한 논의는 적은 편이었다. Kim(2010)의 실험 결과에 따르면 로그평균의 경우 분해요인 중 더 큰 값을 가지는 요인에 보다 큰 가중치를 부여하게 된다([그림 1]).

[그림 1] 로그평균과 산술평균 비교



자료: Kim(2010), p. 204.

사실상 로그평균과 산술평균의 이론적인 우월성은 가리기 어렵기 때문에 위와 같은 차이를 감안하여 연구자의 판단에 따라 방법론을 선택해도 된다. 다만, 산술평균의 경우 SDA에서 분해요인의 수가 늘어날수록 계산 부담 크게 증가¹⁰⁾한다는 점과 로그평균의 경우 0이나 음수를 처리하기 위한 별도의 계산식을 사용해야 한다는 점은 미리 확인할 필요가 있다. 로그평균 방식의 0값과 음수 값의 문제는 Leontief 역행렬을 사용하는 SDA에서 특히 중요한 문제이며 Wood and Lenzen(2006)은 “small value strategy”도 문제가 발생할 수 있음을 보였다. SDA에서 0값과 음수 값의 문제에 대한 처리 방법은 Kim(2010)에서 자세히 설명하며 Ang and Liu(2007b)의 수리적 극한 방식을 권장한 바 있다.

10) 요인수가 n이라고 할 때, n!개의 경우의 수가 발생하고 각 경우의 수를 모두 계산하여 평균해야 한다.

3) 분해 요인

에너지소비에 대한 분해분석에서 분해 요인은 분해식의 수리적인 제약으로 인하여 일반적으로 “생산(또는 수요)”, “구조”, “집약도(또는 원단위)”의 세 가지로 정해져있다. II장에서 검토한 선행연구 중 분해 요인의 확대를 시도한 연구가 있으며, 김진수·허은영(2005)은 SDA의 특성을 이용하여 17개까지 요인을 확대한 바 있지만 다음과 같은 이유로 분해 요인의 확대는 신중해야 한다.

먼저 생각해 보아야 할 점은 분해 요인의 의미이다. 분해분석을 수행하는 목적은 다양할 수 있겠지만 앞서 언급한 바와 같이 근본적으로는 수요 분석이 그 근간인만큼, 분해 요인의 확대는 정책적인 필요를 바탕으로 해야 할 것이다. 특히 산업연관표를 사용하는 SDA의 경우 산업연관분석 이론을 바탕으로 보다 명확하게 분해 요인의 의미를 설명할 필요가 있다. 예를 들어, Leontief 역행렬의 변화는 산업 별 중간투입물의 변동에 승수효과가 포함된 “생산 기술 구조”의 변화를 의미하므로 산업 별 산출액이나 부가가치 비율 변화로 인한 구조 효과와는 의미가 다르다.

아울러 분해분석은 “*ceteris paribus*” 가정을 바탕으로 해석하는 것이 일반적이므로 분해 요인을 추가로 나눌 경우 나뉜 요인 사이에 독립성이 확보되었는가를 확인할 필요가 있다. 다시 말해, 추가적으로 분해한 요인이 다른 한 요인에 종속적일 경우 분석 결과의 해석에 제약이 발생하여 분해분석의 의미가 사라지게 된다. 본 연구에서는 다루지 않았지만 최근 이산화탄소 배출량에 대한 분해분석 사례가 꾸준히 발표되고 있는데, 이러한 연구에서 분해 요인의 확대가 많이 시도되고 있으나 상대적으로 요인의 해석과 독립성에 대한 논의는 적은 편이다. 그러나 독립성이 의심되는 요인으로 분해한 연구 사례가 관찰되고 있어 분석 결과의 해석에 유의해야 할 것이다.

마지막으로 계산량도 분해 요인을 확대할 경우 고려해야 하는 점 중 하나이다. 이는 특히 SDA에 해당하는 문제인데, 컴퓨터 계산 능력(computing power)의 지속적인 발달로 인하여 분해 요인을 확대해도 계산 시간 자체는

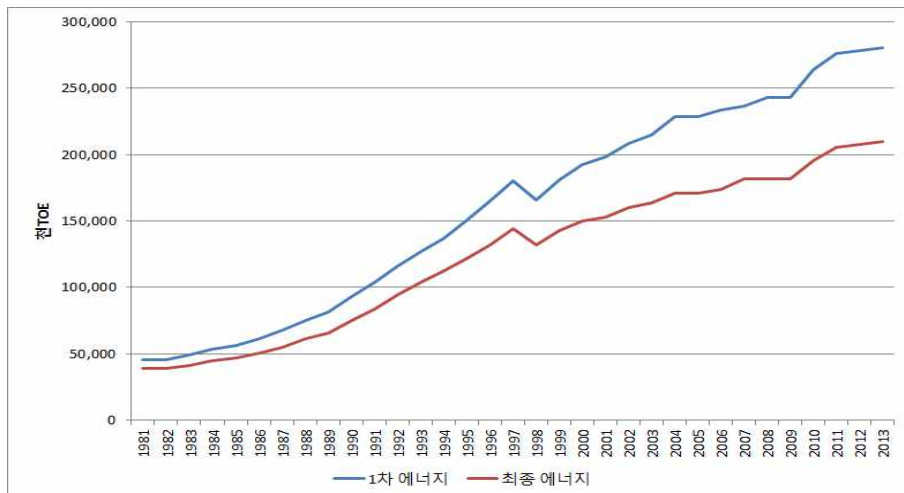
오래 걸리지 않을 것으로 예상되나, 경우의 수가 급격히 증가하여 수식의 유도와 직관적인 이해는 매우 어려워질 것이다. 이러한 이유로 과거의 많은 연구에서 비교적 간단한 극값 분해나 2개 극값의 평균값을 적용하는 방식을 사용하였는데, 이 두 가지 방식은 이상적인 분해분석의 조건을 만족하지 못한다. 따라서 분해 요인의 확대는 SDA의 큰 장점일 수 있겠으나 그에 따른 복잡성과 계산량의 증가를 감안해야 한다.

2. 분석 자료와 산업 분류

1) 1차 에너지와 최종 에너지

아래 그림에서 확인할 수 있듯이 우리나라의 1차 에너지와 최종 에너지 소비량 사이의 간격은 점진적으로 확대되고 있으며, 이는 에너지의 최종 소비 형태 중에서 전력 소비의 증가와 맞물려 있다.

[그림 2] 우리나라의 1차 에너지소비와 최종 에너지소비



자료: 국가에너지통계종합정보시스템

따라서 분해분석 연구에 있어서도 분석 목적에 따라 대상 에너지원을 신중하게 선택해야 한다. 박희천(2001a), 박성준·김진수(2014)에서 언급하였듯이 1차 에너지를 기준으로 분석했을 경우와 최종 에너지를 기준으로 분석했을 경우 결과의 차이가 상당한 것으로 나타났다. 수요 분석을 위한 에너지소비 분해분석일 경우 보다 정확한 요인 분석을 위하여 1차 에너지를 기준¹¹⁾으로 분석하는 것이 바람직하며, 전력소비에 대한 분석이나 특정 산업에 대한 분석은 최종 에너지를 기준으로 분석해도 무방하다.

아울러 에너지소비 통계자료의 선택도 신중해야 한다. 공인된 통계로 에너지경제연구원에서 작성하는 에너지통계를 사용하는 것이 일반적이나 박희천(2006a)이나 에너지경제연구원(2006)에서 논의하였듯이 현재 우리나라의 에너지 밸런스 작성 방식과 IEA의 집계 방식에는 다소 차이가 존재한다. 특히, SDA를 수행할 경우 에너지 산업연관표를 별도로 작성해야 하므로, 에너지소비 물량 자료를 금액 기준으로 변환하는 것에 많은 주의를 기울여야 한다.

2) 분해 수준

IDA는 일반적으로 에너지 밸런스나 GDP, 생산액 통계에서 제공하는 산업 분류를 사용하기 때문에 산업의 분해 수준이 10개 내외로 정해져 있다. 그러나 산업연관표를 사용하는 SDA는 산업의 통합 여부에 따라 다양한 분해 수준(degree of aggregation in decomposition)을 설정할 수 있다. 이 경우 산업을 자세히 나누어 볼수록¹²⁾ 보다 정확한 분해분석 결과를 도출할 수 있다(Dietzenbacher and Los, 1998). Kim(2010)은 각각 155개, 77개, 34개 산업 분류를 사용한 분해분

11) 이 경우 에너지 밸런스의 산업 별 에너지 소비량 자료는 최종 에너지를 기준으로 작성되어 있기 때문에 각 에너지원을 전환 손실을 고려하여 1차 에너지로 변환하는 과정이 필요하다.

12) Dietzenbacher and Los(1998)는 잡음(noise)이 없을 경우라는 단서를 달았다. 소분류 수준의 자료를 사용할 경우 산업연관표 내에 잡음이 존재한다고 보기는 어렵다고 판단된다.

석 결과를 제시하면서, 산업 분류의 분해 수준에 따라 최대 29.7%까지 분석 결과의 차이가 존재할 수 있음을 밝혔다. 따라서 분해분석 연구를 수행할 때에는 특정한 목적이나 근거가 있는 경우가 아니라면 가용한 자료 중 가장 상세한 분류를 사용하는 것이 바람직하다.

IV. 결 언

본 연구에서는 그 동안 한국의 에너지소비량을 대상으로 수행된 분해분석 연구를 고찰하고 에너지소비 분해분석 연구에서 고려해야 할 이론적인 검토 사항과 모형 선정, 통계 선택 방안을 논의해 보았다. <표 1>의 정리 결과에서 확인할 수 있듯이 그 동안 꾸준히 에너지소비 분해분석 연구 결과가 발표되어 왔지만 그 결과는 분석 대상, 기간, 방법론, 요인 선택에 따라 다양하게 나타나 다소 일관적이지 못하다. 이에 본 연구에서는 앞으로의 에너지소비와 관련 분해분석 연구에 도움을 제공하기 위하여 구조분해분석과 지수분해분석, 로그평균과 산술평균, 분해 요인, 1차 에너지와 최종 에너지 그리고 분해 수준에 대해 고찰해 보았다.

방법론의 검토와 비교에 있어서 정량적인 수치로 비교 우위를 제시하는 것은 중요한 일이다. 그러나 분해분석 방법론은 결정론적 분석(deterministic approach)이기 때문에 확률에 기반을 둔 통계량을 제시할 수 없고, 과거의 변화를 설명하는 방법론이기 때문에 오차를 계산할 수도 없어 정량적으로 비교 우위를 판단하기는 매우 어렵다. 이에 다른 선행 논평 논문에서도 후속 연구를 위한 안내(guide)를 제시하는 것으로 논평을 마무리하고 있다. 분해분석 연구는 이론적인 정립이 끝나 더 이상 연구할 부분이 없는 연구 분야가 아니다. 주지의 사실과 같이 부가가치 기준 에너지 집약도는 에너지효율을 정확하게 반영하지 못하기 때문에 물량 기준의 분해분석에 대한 연구가 지속될 필

우리나라 에너지소비 분해분석 연구에 대한 고찰

요가 있으며, 최근 새롭게 제시된 산업연관표를 사용한 구조경로분해(structural path decomposition)분석이나 분해한 요인을 계량경제모형이나 수요예측모형과 연계하는 연구도 꾸준히 시도할 가치가 있다. 본 연구의 고찰 결과를 바탕으로 이러한 분해분석 연구가 계속되기를 희망한다.

접수일(2015년 8월 31일), 게재확정일(2015년 11월 17일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김수이·김현석. 2011. “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석.” 「에너지경제연구」, 제10권, 제1호, pp49-76.
- 김윤경·장운정. 2011. “접속불변에너지산업연관표 00-05-08을 이용한 산업별 에너지소비 변화량의 구조분해분석.” 「자원·환경경제연구」, 제20권, 제2호, pp255-289.
- 김진수. 2005. 「1980~2000년 기간의 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 구조분해분석」, 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- _____. 2009. “구조분해분석과 지수분해분석 방법론에 대한 이론적 고찰.” 한국지구시스템공학회 제93회 추계학술발표회, 2009. 9. 23, 강원랜드.
- 김진수·허은영. 2005. “구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구.” 「자원·환경경제연구」, 제14권, 제2호, pp257-290.
- 김화영·김지효. 2008. “주요 분해분석 방법론을 이용한 에너지유 소비변화 분석.” 「한국지구시스템공학회지」, 제45권, 제2호, pp91-100.
- 나인강·이성근. 2008. “산업부분 에너지 효율 변화요인 분석.” 「자원·환경경제연구」, 제17권, 제2호, pp255-288.
- 박년배·심성희. 2015. “감축목표 업종 분류체계에 따른 산업부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석.” 「자원·환경경제연구」, 제24권, 제1호, pp189-224.
- 박성준·김진수. 2014. “우리나라 1차 에너지와 최종 에너지 소비 변화요인 분해 비교분석.” 「자원·환경경제연구」, 제23권, 제2호, pp305-330.
- 박희천. 2001a. “한국 제조업의 에너지효율 향상평가.” 「자원·환경경제연구」, 제10권, 제2호, pp135-159.
- _____. 2001b. “에너지 다소비 업종의 에너지효율 향상 평가.” 「경상논총」, 제24권, pp63-86.
- _____. 2006a. “한국 석유통계의 개선방안에 관한 연구.” 「에너지경제연구」, 제5권, 제1호, pp123-143.

- _____. 2006b. “한국 가정부문 직간접 에너지소비의 증가요인 분석: 1990~2000.” 「자원·환경경제연구」, 제15권, 제3호, pp531-553.
- 송중은. 2001. 「구조분해분석을 통한 국내 에너지 소비구조 변화요인에 관한 연구」, 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- 신정식. 1988. “제조업부문 전력소비에서의 산업구조변화효과.” 「경제논집」, 제27권, 제3호, pp359-372.
- 신의순·민영상. 1992. “외부충격에 따른 에너지수요 변화의 요인별 분석.” 「자원·환경경제연구」, 제2권, 제2호, pp1-23.
- 심상렬. 2005. 「에너지 산업연관표 작성」, 에너지경제연구원, 의왕.
- 오진규·김종덕·권태규·신정수. 2003. 「지속가능발전을 위한 에너지부문 전략 연구 -제조업부문 에너지소비 요인분해 연구-」, 에너지경제연구원, 의왕.
- 에너지경제연구원. 2006. 「국가 에너지통계 개편방안 연구(에너지밸런스 개편 및 조사 체계 정비)」, 에너지경제연구원, 의왕.
- 이성근·이성인. 2008. 「국가 에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구 -가정·산업부문의 에너지효율 평가-」, 에너지경제연구원, 의왕.
- 임재규·김종익. 2014 “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석: LMDI 요인 분해 방법론 활용.” 「에너지경제연구」, 제13권, 제1호, pp121-143.
- 정태용·최기홍·정규재. 1994. 「에너지효율 추정방법에 관한 연구: 제조업부문을 중심으로」, 에너지경제연구원, 의왕.
- 정한경. 2005. 「산업부문 에너지소비 변화요인 분석 -지수분석법과 계량경제분석 기법의 결합-」, 에너지경제연구원, 의왕.
- Ang, B.W. 1995. “Decomposition methodology in industrial energy demand analysis.” Energy 20(11): pp1081-1095.
- _____. 1997. “Decomposition of aggregate energy intensity of industry with application to China, Korea and Taiwan.” Energy and Environment 8(1): pp1-12.
- _____. 2015. “LMDI decomposition approach: A guide for implementation.” Energy Policy 86: pp233-238.

- Ang, B.W. and Choi, K.H. 1997. "Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method." *The Energy Journal* 18(3): pp59-73.
- Ang, B.W. and Liu, N. 2007a. "Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach." *Energy Policy* 35(1): pp238-246.
- _____. 2007b. "Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach." *Energy Policy* 35(1): pp739-742.
- Ang, B.W. and Zhang, F.Q. 2000. "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies." *Energy* 25(12): pp1149-1176.
- Ang, B.W., Zhang, F.Q. and Choi, K.H. 1998. "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition." *Energy* 23(6): pp489-495.
- Bhattacharyya, S.C. 2011. *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer, London.
- Boyd, G., McDonald, J.F., Ross, M. and Hanson, D.A. 1997. "Separating the changing composition of U.S. manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach," *The Energy Journal* 8(2): pp77-96.
- Chenery, H.B., Shishido, S. and Watanabe, T. 1962. "The pattern of Japanese growth, 1914-1954." *Econometrica* 30(1): pp98-139.
- Chenery, H.B. and Syrquin, M. 1975. *Patterns of Development, 1950-1970*. Oxford University Press, Oxford.
- Choi, K.H., Ang, B.W. and Ro, K.K. 1995. "Decomposition of the energy-intensity index with application for the Korean manufacturing industry." *Energy* 20(9): pp835-842.
- Choi, K.H. and Ang, B.W. 2003. "Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: Ratio and difference." *Energy Economics* 25(6): pp615-624.
- de Boer, P. 2008. "Additive structural decomposition analysis and index number

- theory: An empirical application of the Montgomery decomposition.”
Economic Systems Research 20(1): pp97-109.
- Dietzenbacher, E. and Los, B. 1998. “Structural decomposition techniques: Sense and sensitivity.” Economic Systems Research 10(4): pp307-324.
- _____. 2000. “Structural decomposition analyses with dependent determinants.” Economic Systems Research 12(4): pp497-514.
- Fisher, I. 1927. The Making of Index Numbers : A Study of Their Varieties, Tests, and Reliability. 3rd ed. Houghton Mifflin, Boston.
- Hankinson, G.A. and Rhys, J.M.W. 1983. “Electricity consumption, electricity intensity and industrial structure,” Energy Economics 5(3): pp146-152.
- Hoekstra, R. and van den Bergh, J.C.J.M. 2003. “Comparing structural and index decomposition analysis.” Energy Economics 25(1): pp39-64.
- Howarth, R.B., Schipper, L., Duerr, P.A. and Strøm, S. 1991. “Manufacturing energy use in eight OECD countries: Decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity.” Energy Economics 13(2): pp135-142.
- IEA. 2007. Energy Use in the New Millennium: Trends in IEA Countries. International Energy Agency, Paris.
- Kim, J. 2010. The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth: Theoretical and Empirical Issues. Ph. D. Dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Kim, J. and Heo, E. 2012. “Energy and economic growth: causality analysis using decomposed energy consumption.” Geosystem Engineering 15(3): pp171-178.
- Leontief, W. 1941. Structure of the american economy. Oxford University Press, New York.
- _____. 1953. Studies in the Structure of the American Economy. Oxford University Press, New York.

- Leontief, W. and Ford, D. 1972. "Air pollution and economic structure: Empirical results of input-output computations." In: Brody, A. and Carter, A.P. eds. *Input-Output Techniques*. Elsevier, New York: pp9-30.
- Park, H.-C. and Heo, E. 2007. "The direct and indirect household energy requirements in the Republic of Korea from 1980 to 2000-An input-output analysis." *Energy Policy* 35: pp2839-2851.
- Rose, A. and Chen, C.Y. 1991. "Sources of change in energy use in the U.S. economy, 1972-1982 : A structural decomposition analysis," *Resources and Energy* 13(1): pp1-21.
- Su, B. and Ang, B.W. 2012. "Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments." *Energy Economics* 34: pp177-188.
- Sun, J.W. 1998. "Changes in energy consumption and energy intensity : A complete decomposition model." *Energy Economics* 20(1): pp85-100.
- Wood, R. and Lenzen, M. 2006. "Zero-value problems of the logarithmic mean divisia index decomposition method." *Energy Policy* 34: pp1326-1331.

ABSTRACT

A Review on Energy Decomposition Analysis in Korea

Jinsoo Kim*

A decomposition analysis for energy consumption is useful for a demand analysis and energy policy since it can capture the causes of the changes in energy use by industrial structure and energy intensity. After introducing the Refined Laspeyres and log-mean Divisia index methods which satisfy the ideal decomposition conditions, there have been numerous studies using those methods including Korea. However, there is a doubt about the consistency in the decomposition analysis because the analysis results varied by study periods, data, and methods. In this perspective, this paper thoroughly reviews the decomposition studies for energy consumption in Korea and then discusses theoretical and empirical issues of an energy decomposition analysis. As results, a guide by index and structural decomposition, log-mean and arithmetic-mean, decomposition factors, primary and final energy, and degree of aggregation is proposed.

Key Words : Energy, Decomposition analysis, Korea

* Assistant Professor, Hanyang University. jinsookim@hanyang.ac.kr