

농림수산업 에너지 소비변화 요인 분석*

김한호** 김재경***

Keywords

에너지 산업연관표(energy input-output table), 구조분해분석(structural decomposition analysis), 에너지 소비변화(change in energy use)

Abstract

The aims of this study are to analyze the patterns of energy consumptions in agriculture, forestry and fishery sectors (AFF sectors hereafter) and to identify the deterministic factors underlying the changes in the patterns during the last two decades, particularly since 1995. The analysis includes indirect energy consumptions in other sectors induced by the production of AFF sectors as well as direct energy consumptions in the sectors, which differentiates this study from previous ones. In addition, we attempt to make energy input-output tables and decompose structurally the changes in total energy consumptions (encompassing both direct and indirect consumptions) of AFF sectors based on the tables. It turned out that total energy consumptions in the sectors had increased until around 2000 and have been gradually decreasing afterward, and that this fluctuation has been mainly led by the structural change in the composition of energy consumptions in AFF sectors and improved efficiencies of energy consumptions in livestock sector.

* 본 연구는 한국농촌경제연구원의 “농업부문 에너지 수급 전망 및 청정에너지 농업시스템 구축 방안 연구(1/2차연도)”과제의 일환으로 이루어졌다.

** 서울대학교 농경제사회학부 교수 및 북한·해외농업연구소 소장

*** 서울대학교 대학원 농경제사회학부 연구조교

차례

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. 서론 | 4. 농림수산업 에너지 소비변화
구조분해분석 |
| 2. 에너지 산업연관표 기반
구조분해분석법 | 5. 결론 |
| 3. 농림수산업 중심의 에너지
산업연관표 작성 | |

1. 서론

지구 온난화에 대한 우려가 전 지구적으로 확산되어가면서, ‘효율적인 에너지 소비’는 국제적으로 뿐만 아니라 이미 국내적으로도 중요한 정책적 화두가 되었다. 특히 지난 2008년 8·15 경축 기념사에서 ‘녹색성장’이 향후 60년간의 새로운 국가발전 패러다임으로 제시된 이후 중앙정부 차원에서 에너지 자원 확보 등과 함께 에너지 소비 효율화를 포함한 미래지향적 에너지 정책 마련을 최우선 국정과제의 하나로 다루게 되었다. 이런 상황을 볼 때, 사실상 에너지의 효율적인 소비에 대한 관심이 단순한 정책적인 차원을 넘어 사회전반에 확대되고 있다고 할 수 있다.

한편 농림수산업의 에너지 소비는 국민경제 전체 에너지 소비의 약 2.1%(2007년 기준)인 3백 79만 TOE 정도이지만, 최근 유가상승 압박으로 인한 생산비 증가가 농림수산업의 경쟁력 강화에 주요한 걸림돌이 되고 있다는 인식이 팽배해지면서 관심의 대상으로 부상하고 있다. 더욱이 시설원예 확대, 기계화 진전 등에 따라 에너지 투입도 더욱 증가하고 있으며, 투입구조에도 변화가 진행되어 가고 있는 가운데, 지구온난화에 따른 기후협약 이행과 에너지 및 자원의 부족에 대응하기 위해 농림수산업에서의 에너지 소비를 효율적으로 관리하기 위한 정책적 관심이 높아지고 있다.

이처럼 정책적 관심이 고조되고 있는 가운데, 농림수산부문에 대한 적절한 에너지 정책을 입안하기 위해서는 농림수산업의 에너지 소비 패턴을 분석하고, 에너지 소비패턴 결정에 있어 그 기저에서 작용하고 있는 요인을 식별하는 것이 선행될 필요가 있다. 이러한 정책적 필요를 충족시키기 위해 농림수산업의 에너지 소비에 대한 다양한 분석이 김충실(1980), 김충실(1981), 김충실·이현근(2009) 등을 통해 시도되었으며, 이중 특히 김충실·이현근(2009)은 농림수산업 중 농업부문(경종·축산)을 대상으로 CO₂ 배출량 추정을 시도, 이 과정에서 2003년도 산업연관표를 바탕으로 각 부문 및 작물 등의 에너

지소비량을 추정, 그 구조를 분석한 바 있다. 그러나 이 연구는 농업부문이 직접적으로 소비한 에너지만을 대상으로 함으로써, 산업연관관계를 통해 간접적으로 소비된 에너지는 전혀 고려하지 않았다는 한계도 내포하고 있다.¹

본 연구는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하는 차원에서 전통적인 산업연관표와 에너지통계를 결합한 혼합단위 산업연관표 곧 소위 ‘에너지 산업연관표’를 농림수산업을 중심으로 작성하였다. 또한 농림수산업의 생산 활동에 직접적으로 투입된 에너지와 함께, 간접적으로 투입된 에너지를 파악하는 한편, 이를 통해 농림수산업의 세부부문별·유형별 에너지 소비구조를 분석하고자 하였다. 이와 함께 지난 1995년~2007년의 기간 동안 국내 농림수산부문의 에너지 소비의 변화 요인을 식별하기 위해 에너지 산업연관표를 바탕으로 하는 구조분해분석법(Structural Decomposition Analysis)을 활용한 분석을 시도하였다.

2. 에너지 산업연관표 기반 구조분해분석법

본 연구에서는 농림수산업의 에너지 소비(또는 투입)를 분석하기 위해 ‘산업연관표’를 활용하게 된다. 그러나 기존의 전통적인 산업연관표가 주로 실물단위가 아닌 화폐단위로 평가되어 있어 ‘실물’이 주된 분석대상인 ‘에너지’ 소비에 대한 분석에서는 한계를 지닐 수밖에 없다. 이로 인해 에너지 부문만을 실물단위로 나타낸 하이브리드 단위 또는 혼합단위 산업연관표(이하 에너지 산업연관표)를 전통적인 산업연관표 대신 에너지소비(또는 투입)구조를 분석하는 데 활용하는 것이 바람직 할 수 있다(Miller and Blair 1985). 본 연구에서는 이러한 에너지 산업연관표를 직접 작성하되 농업 중심으로 작성하고자 하며, 이를 기반으로 1995~2007년의 기간 동안 국내 농림수산부문의

1 김충실·이현근.(2009)은 농업부문(경종·축산)의 CO₂ 배출량을 구하기 위해 해당부문의 직접 에너지 소비량을 2003년도 산업연관표를 활용하여 추정한 후, 추정된 에너지 소비량에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 배출계수를 곱하여 산출하였다. 이렇게 산업의 직접 에너지 사용량만을 기준으로 CO₂ 배출량을 추정하여 분석할 경우, 이를 바탕으로 한 에너지 효율화, CO₂ 배출량 감소 정책은 실효성이 떨어질 수 있는데, 이는 추정된 소비량 내지는 배출량에 해당 부문활동에 간접적으로 필요한 에너지의 소비량이 제외되어 있기 때문이다. 사실 산업에 따라서는 어떤 제품의 생산에 직접 필요한 에너지의 양보다 제품의 원재료 생산에 소요된 에너지의 양이 더 많은 경우도 많기 때문에 이를 반드시 고려해야 할 필요가 있다. 예를 들어, 자동차 산업의 제조공정에서 소비된 에너지만 고려한다면, 원재료인 강판을 만들기 위해 투입된 에너지를 줄이려는 노력이 소홀해질 수 있다(최한주 외. 2006).

에너지 소비의 변화 요인분석을 시도하고자 한다.

2.1. 농림수산업 중심의 에너지 산업연관표 작성 및 에너지유발계수 추정

에너지 산업연관표란 일정기간 동안에 국민경제 내에서 재화와 서비스의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록하되, 에너지 거래를 공통된 물리적 단위로 표시하는 종합적인 통계표로 정의할 수 있다(이인규·박미숙 2009). 그러므로 에너지 산업연관표는 산업연관표의 기록 원칙 및 형식에 부합해야 하는 한편, 에너지의 물리적 수급 시스템을 반영할 수 있어야 하기 때문에, <그림 1>에서와 같이 에너지의 거래를 물리적 단위로 표현한 것을 제외하면 일반적인 산업연관표와 동일한 형태를 취하게 된다.

그림 1. 에너지 산업연관표의 기본구조

		중간수요		최종수요 (F)	총수요 (A+F)	수입(공제) (M)	총산출 (X)
		에너지부문	에너지 외 부문				
중간 투입	에너지부문	TOE	TOE	TOE	TOE	TOE	TOE
	에너지 외 부문	백만원	백만원	백만원	백만원	백만원	백만원
부가가치(V)		백만원	백만원	(외생부문)			
총투입(X)		백만원	백만원				

한편 통상적으로 산업연관표를 활용하여 산업연관분석을 시행하는 것과 같이 이러한 에너지 산업연관표는 에너지 산업연관분석에 직접적으로 활용될 수 있게 되며, 주로 산업연관분석이 ‘(생산)유발계수’를 추정·분석하는 것과 같이 에너지 산업연관분석에서는 ‘에너지 유발계수’²를 추정·분석하게 된다.

에너지유발계수 추정의 구체적인 추정방법은 다음과 같다. 우선 에너지 산업연관표를 이용한 에너지 산업연관의 수학적 구조도 일반적인 산업연관분석과 같이 대부분 전통적 레온티에프 모형을 근간으로 이루어지게 된다.

2 에너지 산업연관분석에서는 에너지투입계수로부터 최종수요를 충족하기 위한 직·간접 에너지 필요량 곧 에너지유발계수를 계산하게 된다. 일반적인 산업연관분석에서와 같이 최종수요 공급에 필요한 에너지의 물리적 요구량을 ‘에너지 유발량’이라고 한다면, 최종수요 단위당 에너지의 물리적 요구량 곧, 최종수요 1단위 공급에 필요한 에너지의 물리적 요구량이 ‘에너지유발계수’라 할 수 있다.

먼저 전체 n 개의 부문 중 m 개 부문이 에너지부문이라고 가정하면, 부문 간 에너지 흐름행렬(중간수요) Z_e 을 $m \times n$ 행렬로 나타낼 수 있으며, y_e 와 x_e 을 각각 에너지 최종수요량과 산출량이라 한다면, 에너지 수급 균형식은 식 (1)과 같이 표현할 수 있게 되며,

$$(1) \quad x_e = Z_e + y_e^3$$

식(1)을 좀 더 구체적으로 나타내어 에너지와 비에너지부문을 종합한 혼합단위 수급 균형식으로 표현한 것이 식(2)라 할 수 있다.

$$(2) \quad x = \begin{pmatrix} x_e \\ x_{ne} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{ee} & Z_{ene} \\ Z_{nee} & Z_{nne} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_e \\ y_{ne} \end{pmatrix} = Z + y$$

여기서 e 는 에너지부문, ne 는 비에너지부문을 의미한다. 이와 함께 국산(d)과 수입(m)을 구분한 에너지 산업연관표에서, 국산투입계수행렬을 $A^d (= Z^d (\hat{x})^{-1})^4$, 수입투입계수행렬을 $A^m (= Z^m (\hat{x})^{-1})$, 국산품에 대한 최종수요가 주어졌을 때 이를 충족하기 위해 필요한 생산 및 수입 유발계수는 다음과 같이 식(3)과 식(4)와 같아진다.

$$(3) \quad L^d = (I - A^d)^{-1}$$

$$(4) \quad L^m = A^m (I - A^d)^{-1}$$

여기서 실물-화폐 혼합단위의 에너지투입계수 행렬 및 에너지 유발계수 행렬로부터 직접적인 에너지투입계수 행렬(또는 직접 에너지유발계수 행렬)과 총 에너지유발계수 행렬을 계산하기 위해서는 실물단위로 표시된 계수행렬에서 에너지부문을 추출하기 위한 에너지 집계 행렬⁵을 이용해야 하며, 이를 적용한 결과는 식(5)와 식(6)과 같아지게 된다.

$$(5) \quad EA^d$$

$$(6) \quad E[(I - A^d)^{-1} + A^m (I - A^d)^{-1}]$$

식(5)은 직접 에너지투입계수 행렬을, 식(6)은 총 에너지유발계수 행렬을 의미하며, 두 식에서 E 은 에너지부문의 원소가 1, 비에너지부문은 0인 $m \times n$ 행렬을 의미한다.

3 여기서 x_e 은 에너지산출량을, Z_e 은 에너지중간수요량, y_e 은 에너지최종수요량을 의미한다.

4 \hat{x} 는 벡터 x 를 대각원소로 하는 대각행렬을 의미한다.

5 각 계수행렬에서 에너지에 해당하는 부문을 추출하기 위한 것으로 필요에 따라 특정 에너지 부문(예를 들어 석유제품 또는 1차 에너지)만을 추출하려면 에너지 집계 행렬에서 해당 에너지부문의 대각원소는 1, 나머지 원소는 0으로 조정함으로써 간단히 수행할 수 있다.

여기서 식 (6)의 총 에너지유발계수는 최종수요 한 단위를 충족하기 위해 직·간접적으로 필요한 에너지총량⁶으로 해석하게 되는 것이다.⁷

2.2. 구조분해분석

한편 특정 사회경제적 지표가 시간에 따라 변화할 경우 그 요인을 분해하여 분석하는 방법 중 요인별뿐만 아니라 산업별 분석이 가능하며, 무엇보다도 변화 요인을 상대적으로 세분화하기 용이한 구조분해분석법(Structural Decomposition Analysis)이 특히 에너지 소비 분석에 자주 활용되고 있다(김진수·허은녕 2005, 이인규·박미숙 2009). 그동안 구조분해분석을 활용하여 에너지 소비구조 변화의 요인을 파악하려는 시도들은 국내외적으로 있어왔으며, 대표적으로는 Kagawa and Inamura(2001)와 Hasegawa (2005) 등과 최충규(1993), 송종은(2001), 박준영·허은녕(2002) 등이 있지만, 이들 연구는 국가 경제 전체적인 관점에서 대분류 기준 산업별로 에너지 소비패턴을 분석했다는 점에서 농림수산업을 중심으로 분석을 시도한 본 연구와는 차별성을 지닌다고 할 수 있다. 한편 상기 기존 연구들이 요인분해 시 가중치 기준시점이나 비교시점 가운데 임

6 현재 한국은행에서 제공하고 있는 국산과 수입을 구분하는 비경쟁수입형 산업연관표에 기반한 산업연관분석의 경우 최종수요가 발생했을 때 국내 생산에 파급되는 정도를 계측하는 것이 주된 관심이기 때문에 생산유발계수를 중심으로 논의가 진행되는 것이 일반적이지만, 이와 달리 에너지 관련 연구에서는 최종수요가 발생했을 때 이를 충족하기 위해 필요한 에너지 총량을 계측하는 것이 더 중요한 의미를 갖기 때문에 국내 생산으로 공급되는 에너지뿐 아니라 수입으로 충당되는 에너지도 함께 고려할 필요가 있다. 이로 인해 식 (6)의 총에너지 유발계수는 에너지부문의 생산유발계수와 수입유발계수를 합한 값으로 계산해야 한다.

7 여기서 한 가지 더 고려해야 할 사항은 에너지 전환과정에 사용되는 전환용 에너지라 할 수 있으며 이에 대한 적절한 처리가 요구된다는 것이다. 에너지 산업연관표의 구조상 에너지 전환과정에 사용되는 에너지도 중간투입재로 처리하기 때문에 총에너지유발계수에 의해 총에너지 필요량을 집계할 경우 에너지 전환과정에 투입된 에너지양이 중복되어 계산된다. 예를 들어 1차 에너지인 원유를 중유로 전환하고, 중유를 다시 전력으로 전환하여 최종적으로 소비하였을 때 원유정제, 화력발전, 송배전 등 전환 과정에서 발생하는 전환손실이 존재하며, 에너지 소비량 산정 시 이에 대한 적절한 고려가 필요하다(이인규·박미숙 2009). 그러나 전환용 에너지는 단순히 에너지의 형태를 전환하는 데 사용된 것이지 생산과정에 필요한 에너지 원으로 사용된 것은 아니기 때문에 에너지 필요량 분석에서는 최종에너지 소비량만을 집계하거나 또는 최종에너지로 전환하는데 필요한 1차 에너지 수요량을 집계하여 에너지 전환과정에서 사용된 에너지 투입량을 제외하여야 한다. 본 연구에서는 최종에너지의 형태와 관계없이 궁극적으로 필요한 에너지양을 나타내는 1차 에너지 수요량이 분석의 목적에 더 부합하다고 판단하여 에너지 유발 효과를 측정할 때 1차 에너지 수요량을 대상으로 집계하여 분석하였다.

의의 시점을 사용하였으며, 이때 완전분해는 될 수 있으나 요인별 기여도가 확장 혹은 축소된다는 한계가 있음이 지적되어 왔다(최한주·이기훈 2006). 본 연구에서는 이에 대한 대안으로 Sun(1998), 최한주·이기훈(2002), 최한주·이기훈(2006) 등을 통해 제시된 두 시점의 평균값을 가중치로 써서 분해하는 방법을 활용하고자 한다. 이 방법은 완전 분해이면서 가중치 선정의 자의성을 없애고, 두 요인의 결합에 의한 혼합효과(joint effect)를 양쪽에 균등하게 배분하는 장점이 있는 것으로 알려져 있다.⁸

본 연구에서 구조분해분석을 위해 채택한 보다 구체적인 방법론은 다음과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 구조분해분석은 산업연관분석(본 연구에서는 에너지 산업연관분석)에 기반하며, 이로 인해 앞서 제시한 에너지 산업연관분석 도구들을 그대로 활용하게 된다. 우선 식(5)에서 제시한 바와 같이 에너지 부문 중 i 부문의 에너지 투입계수 벡터를 $\alpha(=EA^d$ 의 i 행; $i=1, \dots, m$)라고 한다면, α 는 비에너지 산업 j ($j=1, \dots, n$)상품 각 한 단위씩을 생산하기 위해 전 산업에 직접적으로 야기되는 i 부문의 에너지의 유발계수(벡터)로 해석될 수 있다. 한편 식(6)에서 제시된 바와 같이 에너지 부문 중 i 부문의 에너지의 유발계수 벡터를 $\delta(=E[(I-A^d)^{-1}+A^m(I-A^d)^{-1}]$ 의 i 행; $i=1, \dots, m$)라고 한다면, δ 는 비에너지 산업 j ($j=1, \dots, n$)상품 각 한 단위씩을 생산하기 위해 전 산업에 유발되는 i 부문의 에너지의 소비규모 벡터로서 총 에너지유발계수 벡터라 할 수 있다. 또한 i 부문의 에너지의 간접 유발계수⁹ 벡터를 β 라고 하면, β 는 총 에너지유발계수 벡터 δ 에서 직접 에너지투입계수 벡터 α 을 제한 잔여분(곧 $\beta = \delta - \alpha$)으로서 정의할 경우, 총 에너지 유발계수(벡터)를 직접 에너지 유발(투입)계수(벡터)와 간접 에너지 유발계수(벡터)로 구분하여 분리할 수 있게 된다.

한편 에너지 부문 중 i 부문에서의 총 에너지유발계수 벡터 δ 에 최종수요 \hat{F} 10을 곱하면 최종수요를 충족시키기 위해 직간접적으로 필요한 산업별 i 부문의 에너지 소비(유발)량 벡터 P 는 다음과 같다.

$$(7) P = \delta \hat{F}$$

이제 기준 시점 (0)기와 비교시점 (1)기의 에너지 소비(유발)량 변화 ΔP 는 식(7)을 활용하여 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

8 이와 관련된 연구로는 조병도(2001), 임정란(2004), 김정민(2004), 김진수·허은녕(2006) 등이 있다.

9 이는 비에너지 산업 j 상품 한 단위를 생산하는 데 산업 전체에 간접적으로 요구되는 에너지 소비량으로 해석할 수 있다.

10 \hat{F} 는 n 개 부문의 최종수요 벡터를 대각화한 행렬을 의미한다.

$$(8) \Delta P = P^1 - P^0 = \delta^1 \widehat{F}^1 - \delta^0 \widehat{F}^0$$

이 변화량은 다시 두 구성요소 가운데 δ 변화에 의한 효과와 \widehat{F} 변화에 의한 효과로 분해할 수 있는데, 이때 본 연구에서는 Sun(1998), 최한주·이기훈(2002), 최한주·이기훈(2006) 등을 통해 제시된 두 시점의 평균값을 가중치로 분해하는 방법을 활용하여 다음과 같이 분해하게 된다.¹¹⁾

$$(9) \Delta P = (\delta^1 - \delta^0) \frac{(\widehat{F}^1 + \widehat{F}^0)}{2} + \frac{(\delta^1 + \delta^0)}{2} (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^0) = \Delta \delta \widehat{F}^* + \delta^* \Delta \widehat{F} \quad 12$$

이 같은 방식으로 분해할 경우, 완전분해가 되는 동시에 가중치 선정의 자의성을 없애고 균등하게 배분된다는 장점이 있으므로, 본 연구에서도 이 방식을 적용하려고 한다. 한편 총 유발계수 δ 변화 효과는 다음 식(10)과 같이 추가로 분해가 가능하다.

$$(10) \Delta \delta \widehat{F}^* = \Delta \alpha \widehat{F}^* + \Delta \beta \widehat{F}^*$$

이는 결국 총 에너지유발계수 변화에 의한 에너지 소비(유발)량 변화효과, 즉 $\Delta \delta \widehat{F}^*$ 는 직접 에너지투입계수 변화의 효과 $\Delta \alpha \widehat{F}^*$ 와 간접 에너지 유발계수 변화의 효과 $\Delta \beta \widehat{F}^*$ 로 나눌 수 있게 됨을 의미한다. 또한 최종수요 변화 $\Delta \widehat{F}$ 도 다시 식 (11)과 같이 바꿀 수 있으며,¹³⁾

$$(11) \Delta \widehat{F} = \widehat{F}^1 - \widehat{F}^0 = (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^{**}) + (\widehat{F}^{**} - \widehat{F}^0) \quad (\text{단, } F^{**} = (\sum F_1 / \sum F_0) F_0)$$

여기서 $(\widehat{F}^{**} - \widehat{F}^0)$ 는 성장의 정도, $(\widehat{F}^1 - \widehat{F}^{**})$ 는 구성의 변화 정도¹⁴⁾을 나타낸다. 이를 활용하면, 최종수요 변화 효과 $\delta^* \Delta \widehat{F}$ 는 성장에 의한 효과 $\delta^* (\widehat{F}^{**} - \widehat{F}^0)$ 와 구성의 변화에 의한 효과 $\delta^* (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^{**})$ 로 다음과 같이 추가 분해가 가능하다.

11 이러한 분해는 지금까지

$$\Delta P = (\delta^1 - \delta^0) \widehat{F}^1 + \delta^0 (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^0) = \Delta \delta \widehat{F}^1 + \delta^0 \Delta \widehat{F} \quad \text{또는} \quad \Delta P = (\delta^1 - \delta^0) \widehat{F}^0 + \delta^1 (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^0) = \Delta \delta \widehat{F}^0 + \delta^1 \Delta \widehat{F}$$

과 같은 형태로 많이 행해져 왔다. 이런 방식으로 최충규(1993), 송중은(2001), 박준영·허은영(2002) 등에 의해 지금까지 자주 활용되어 왔지만, 비록 완전분해가 가능하나 가중치가 자의적이라는 지적을 받아왔다. 여기에 대한 대안으로 Sun(1998), 조병도(2001), 최한주·이기훈(2002), 임정관(2004), 김정민(2004), 김진수(2005), 최한주·이기훈(2006) 등은 두 시점의 평균값을 가중치로 활용하여 분해하는 것을 시도하였다.

12 여기서 $F^* = \frac{1}{2} (F^1 + F^0)$, $\delta^* = \frac{1}{2} (\delta^1 + \delta^0)$ 을 의미한다.

13 여기서 \widehat{F}^{**} 은 경제성장 정도와 같은 비율로 증가시킨 각 산업의 최종수요를 의미한다.

14 $\widehat{F}^1 = \widehat{F}^{**}$ 면 최종수요의 구성에 변화가 없는 것으로 해석할 수 있다.

$$(12) \Delta \delta^* \widehat{F} = \delta^* (\widehat{F}^{**} - \widehat{F}^0) + \delta^* (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^{**})$$

한편 최종수요는 민간소비지출, 정부소비지출, 민간고정자본형성, 정부고정자본형성, 재고증가, 순수출(수출-수입) 등으로 구성되어 있기 때문에, \widehat{F} (대각행렬)는 각 구성요소들의 대각행렬들¹⁵로 다음과 같이 분해하여 나타낼 수 있게 된다.

$$(13) \widehat{F} = \widehat{C} + \widehat{G} + \widehat{K}_C + \widehat{K}_G + \widehat{I} + \widehat{NE}_X$$

이로 인해 성장 효과 $\delta^* (\widehat{F}^{**} - \widehat{F}^0)$ 와 구성변화 효과 $\delta^* (\widehat{F}^1 - \widehat{F}^{**})$ 을 최종수요의 구성요소들로 다시 분해할 수 있게 되며, 이를 종합하면 다음 식 (14)와 같이 분해할 수 있다.

$$(14) \Delta P = \Delta \delta \widehat{F}^* + \delta^* \Delta \widehat{F}$$

$$= \Delta \alpha \widehat{F}^* + \Delta \beta \widehat{F}^* \text{ (유발계수 변화효과(직접+간접효과))}$$

$$+ \delta^* (\widehat{C}^{**} - \widehat{C}^0) + \delta^* (\widehat{G}^{**} - \widehat{G}^0) + \delta^* (\widehat{K}_C^{**} - \widehat{K}_C^0) + \delta^* (\widehat{K}_G^{**} - \widehat{K}_G^0)$$

$$+ \delta^* (\widehat{I}^{**} - \widehat{I}^0) + \delta^* (\widehat{NE}_X^{**} - \widehat{NE}_X^0)$$

(성장효과: 민간소비+정부소비+민간자본+정부자본+재고+순수출)

$$+ \delta^* (\widehat{C}^1 - \widehat{C}^{**}) + \delta^* (\widehat{G}^1 - \widehat{G}^{**}) + \delta^* (\widehat{K}_C^1 - \widehat{K}_C^{**}) + \delta^* (\widehat{K}_G^1 - \widehat{K}_G^{**})$$

$$+ \delta^* (\widehat{I}^1 - \widehat{I}^{**}) + \delta^* (\widehat{NE}_X^1 - \widehat{NE}_X^{**})$$

(구성변화 효과: 민간소비+정부소비+민간자본+정부자본+재고+순수출)

3. 농림수산업 중심의 에너지 산업연관표 작성

3.1. 농림수산업 중심의 에너지 산업연관표 작성방법

본 연구에서 농림수산업을 중심으로 한 에너지 산업연관표 작성 작업은 지금까지 국내에서 시행된 에너지 산업연관표 작성과 관련된 기존연구들¹⁶을 참조하여 이루어졌

15 여기서 \widehat{C} 는 민간소비지출의 대각행렬, \widehat{G} 는 정부소비지출 대각행렬, \widehat{K}_C 는 민간고정자본형성 대각행렬, \widehat{K}_G 는 정부고정자본형성 대각행렬, \widehat{I} 는 재고증가분의 대각행렬, 그리고 \widehat{NE}_X 은 순수출의 대각행렬을 의미한다.

16 에너지 산업연관표를 작성한 대표적인 연구들로는 심상렬(2005), 최한주 외(2006), 김윤경(2006), 이인규·박미숙(2009) 등이 있다

다. 에너지 산업연관표는 모든 재화의 단위를 금액으로 나타낸 전통적인 산업연관표에서 에너지 투입부문만을 실물단위(석유환산톤(TOE))으로 변환해 주는 방법으로 작성되는 것이 일반적이다. 이로 인해 2005년 가격기준으로 평가한 1995-2000-2005년 접속 불변산업연관표를 선정, 이를 바탕으로 에너지 산업연관표를 작성하였다. 이에 덧붙여 비록 실측표는 아니지만, 근래의 경제현실을 반영하여 비교하기 위해 접속 불변산업연관표에 맞추어 조정된 2007년 연장표도 함께 사용하였다.¹⁷ 또한 한국은행에서 공표하는 불변가격 산업연관표는 품목분류를 350개로 하고 있는데 비해, 여타 에너지관련 통계는 산업별로 통합하여 작성하고 있기 때문에 가용자료의 세분화 정도를 감안하여 부문을 통합 재조정하는 것이 불가피하였다.¹⁸ 우선 에너지부문은 무연탄, 유연탄, 원유, 천연가스, 석탄제품, 나프타, 휘발유 및 제트유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 윤활유 및 기타 석유제품, 수력, 화력, 원자력, 기타 발전, 도시가스, 증기 및 온수 공급으로 총 18개 부문으로 구분하였다. 에너지 부문 이외 부문은 본 연구의 주 관심 대상인 농림수산업을 중심으로 재배치하여 농림수산업을 28개 세부 부문으로 세분화하는 한편, 이외의 나머지 부문들은 크게 광업, 제조업, 서비스 부문으로 통합하였다. 부문 조정한 결과는 <표 1>과 같다.

한편 에너지산업연관표 작성과정에는 에너지의 물리적 수요량 및 공급량을 파악하는 것이 요구되는데, 사실 2000년까지의 산업연관표는 부속표인 ‘공급액표’에 부문별 총공급액과 함께 국내생산 및 수입물량을 함께 작성·공표하고 있어, 이를 기초로 하여 에너지 부문별 단가를 계산, 화폐단위의 에너지 수요·공급량을 실물단위로 추정·전환할 수 있었다. 그러나 2005년 이후에는 기초자료의 한계로 인해 ‘공급액표’에 물량자료를 작성·공표하지 않고 있어, 2005년 및 2007년 에너지 수요·공급물량은 따로 에너지 관련 통계자료를 활용하여 추계해야 하였다.¹⁹이에 덧붙여 에너지 거래물량 추계가 필요

17 1995-2000-2005년 접속 불변산업연관표에 맞추어 조정된 2007년 연장표는 현재 공개적으로 발표되어 있지 않다. 다만 이인규·박미숙(2009) 등 연구를 목적으로 작성된 것으로서 본연구진이 이를 입수하여 활용하였다.

18 산업연관표의 기본 부문은 에너지를 상당히 세분화하고 있어서 에너지 부문을 분류하는 데 큰 어려움은 없지만 원유 및 천연 가스의 경우 대부분을 수입에 의존하고 있고 용도(배분)가 유사하여 한 부문으로 통합하여 처리하고 있다. 이로 인해 원유와 천연가스는 1차에너지로서 비중이 크고 특히 에너지 관련 연구에서 매우 중요하게 다루어지는 부문이기 때문에 각각 분리할 필요가 있다. 원유와 천연가스의 분할은 각 연도 경상가격 산업연관표의 거래비율을 이용하여 분리하고 비중이 미미한 석탄과 기타 석탄 제품을 통합하며 윤활유제품과 기타 석유정제품을 하나의 부문으로 통합하여 에너지 부문을 총 18개 부문으로 구분하였다. 이와 함께 농업 생산과는 밀접한 연관성을 가진 비료 및 농약, 사료, 음식료 제조업 부문도 각각 하나의 독립된 부문으로 설정하였다.

한데, 이를 위해서는 에너지 종류별로 산업·부문 간 물리적 배분비율을 추정하여야 한다. 본 연구에서는 각 에너지통계에서 제공하는 거래량(소비량) 정보를 최대한 반영하기 위해 수출 및 가정용 등 최종수요의 실물기준 비율은 그대로 사용하였으며, 실물

표 1. 농림수산업 중심 에너지 산업연관표 작성을 위한 부문 배분표

부문명		부문분류 코드	부문명		부문분류 코드
농림수산업 부문	벼	기본분류 1	에너지 부문	무연탄	기본분류 29
	보리	기본분류 2		유연탄	기본분류 30
	밀	기본분류 3		원유	기본분류 31
	잡곡	기본분류 4		천연가스	기본분류 31
	채소	기본분류 5		석탄제품	기본분류 116
	과실	기본분류 6		나프타	기본분류 117
	콩류	기본분류 7		휘발유 및제트유	기본분류 118
	감자류	기본분류 8		등유	기본분류 119
	유지작물	기본분류 9		경유	기본분류 120
	약용작물	기본분류 10		중유	기본분류 121
	기타 식용작물·일담배	기본분류 11		액화석유가스	기본분류 122
	섬유작물	기본분류 12		윤활유·기타 석유제품	기본분류 123~124
	화훼작물	기본분류 13		수력	기본분류 262
	천연 고무	기본분류 14		화력	기본분류 263
	종자및묘목	기본분류 15		원자력	기본분류 264
	기타 비식용작물	기본분류 16		기타 발전	기본분류 265
	낙농	기본분류 17		도시가스	기본분류 266
	육우	기본분류 18		증기 및 온수공급업	기본분류 267
	양돈	기본분류 19	음식료	음식료품 제조업	기본분류 42~72, 74
	가금	기본분류 20	광산품	광산품	중분류 7~8
	기타 축산	기본분류 21	제조업	제조업	대분류 4~6, 8~16
	영립	기본분류 22	수도업	수도업	기본분류 268
	원목	기본분류 23	건설업	건설업	대분류 18
	식용임산물	기본분류 24	서비스	서비스업	대분류 20~27
	기타임산물	기본분류 25	기타	기타	대분류 28
	수산업어획	기본분류 26		비료 및 농약	기본분류 135~136
	수산업양식	기본분류 27		사료	기본분류 73
	농림어업 서비스	기본분류 28			

19 에너지 공급물량은 주로 『에너지 통계연보』, 『에너지 총 조사보고서』, 『전력통계연보』, 『도시가스사업통계』, 『석유수급통계』 등 관련 기초통계를 이용하여 추계하였으며, 에너지 소비 물량도 『에너지 통계연보』, 『지역에너지통계연보』, 『석탄산업통계』 등을 통해서 추정하는 전략을 택하게 되었다. 이에 덧붙여 전력 판매단가의 경우 한국전력의 『전력통계』, 도시가스의 판매단가는 『에너지통계연보』, 열 공급량은 『지역에너지통계연보』, 도시가스는 『도시가스사업통계』 자료를 활용하였다.

기준 비율이 가용하지 않을 경우, 대분류 산업별 실물 배분비율을 먼저 추정한 후, 하위 부문 내에서는 금액기준 배분비율을 이용하여 부문별 거래량(소비량)을 추정하였다.²⁰

3.2. 농림수산업 중심의 에너지 산업연관표 작성결과

앞서 상술한 방식으로 작성된 농림수산업 중심의 에너지 산업연관표를 바탕으로 앞서 설명한 구조분해분석이 이루어지는데, 본격적인 분석에 앞서 에너지 산업연관표를 통해 확인된 1995년에서 2007년까지의 농림수산업에서의 에너지 소비패턴을 개략적으로 살펴보고자 한다.

3.2.1. 농림수산업의 에너지 투입구조

우선 국내 농림수산업은 2007년 기준으로 3백 79만 TOE의 에너지를 소비함으로써, 3백 54만 TOE이었던 1995년 이후 12년 간 평균적으로 약 0.4% 정도만 증가한 것으로 나타나 그동안 매우 안정적으로 큰 변동 없이 완만한 성장 국면에 있는 것으로 나타났다. 그러나 에너지 소비 추이를 기간별로 나누어 살펴볼 경우, 실제로는 1995년에서 2000년까지 5년 동안 78만 TOE 정도 급격하게 증가하였다가 이후 5년 동안에는 점진적으로 58만 TOE가 감소하였으며, 이후 다시 소비가 팽창하는 국면에 있다는 사실을 확인할 수 있다. 이와 함께 농림수산 부문에서 가장 큰 비중(2007년 기준 32.7%, 2000년 기준으로는 44.4%)을 차지하고 있어 전체적인 추세를 주도하고 있는 수산어획 부문에서 에너지 소비가 감소되고 있다. 이것을 위와 같은 추세를 유발한 보다 직접적인

20 각 에너지통계와 에너지수지표 등은 산업부문별 에너지 소비량 자료를 포함하고 있지만 각 통계마다 부문 통합 정도가 상이한데다 에너지 산업연관표의 부문분류 수준으로 세분화되지 않아 사용이 제한적일 수밖에 없다. 한편 물리적 배분비율의 대안으로 산업연관표의 금액기준 배분비율을 고려할 수 있지만 특별소비세와 부가가치세 등 생산물세로 인하여 용도별 또는 수요처별로 에너지 거래가격이 다른 경우 금액기준의 배분비율은 물량기준의 배분비율을 크게 왜곡시킬 가능성이 있다. 특히 석유제품과 같이 수출물량이 적지 않은 에너지의 경우 수출단가는 생산물세가 제외될 뿐만 아니라 국제 거래가격과 환율 등의 영향을 크게 받기 때문에 국내에서 소비되는 에너지 가격과는 큰 차이가 나타낼 수 있다. 이러한 문제점들을 우회하는 방법을 본 연구에서는 채택했다고 할 수 있다. 이와 같은 방법은 같은 산업 군(群)에 속해있는 부문들은 에너지 거래가격(단가)에 큰 차이가 없기 때문에 금액기준 배분비율을 대안으로 물리적 배분비율을 추정하여도 오차가 크지 않다는 판단에 따른 것이다.

요인으로 고려해 볼 필요가 있다(<표 2> 참조).²¹

표 2. 농림수산업 부문별 에너지 투입량

단위: TOE

	1995	2000	2005	2007	연평균증가율(%)
경종	734,337	1,092,439	1,756,101	1,594,648	4.6
벼	268,770	424,428	322,541	242,780	-0.6
보리	92,445	48,276	19,690	10,774	-12.6
밀	2,426	529	1,256	1,133	-4.5
잡곡	16,021	14,051	907	846	-17.3
채소	121,682	249,702	589,667	572,809	9.1
과실	117,306	161,183	246,719	211,044	3.5
콩류	7,276	10,825	10,393	5,413	-1.7
감자류	8,725	8,891	4,628	4,857	-3.4
유지작물	1,179	987	1,232	1,067	-0.6
약용작물	6,765	6,826	13,643	15,428	4.8
기타 식용작물 및 잎담배	15,217	14,700	11,685	8,166	-3.7
섬유작물	0	89	8	12	14.5
화훼작물	67,424	135,266	527,602	513,714	11.9
천연고무	0	0	0	0	0
종자및묘목	9,075	16,651	6,081	6,560	-1.9
기타 비식용작물	26	36	49	45	3.2
축산	714,026	905,442	373,862	277,868	-5.6
낙농	153,844	261,419	68,293	61,514	-5.4
육우	419,457	392,666	74,079	68,006	-10.7
양돈	70,728	131,399	85,327	76,311	0.4
가금	60,397	115,225	139,544	58,234	-0.2
기타 축산	9,600	4,734	6,618	13,803	2.1
임수산물	1,987,793	2,150,067	1,279,208	1,516,727	-1.6
영림	2,978	13,513	8,834	12,143	8.3
원목	239	3,139	2,809	5,480	18.4
식용임산물	5,852	7,093	7,902	6,430	0.6
기타 임산물	17,802	49,023	26,715	24,411	1.9
수산어획	1,873,663	1,913,464	1,064,825	1,237,091	-2.4
수산양식	87,259	163,835	168,123	231,173	5.7
농림어업 서비스	105,394	170,778	326,986	396,429	7.8
농림수산업	3,541,550	4,318,726	3,736,158	3,785,672	0.4

21 비록 직접적으로 회귀모형을 통해 검증한 것은 아니지만 전반적으로 비슷한 추세를 보이고 있으며 또한 전체 소비량을 주도할 만큼의 비중을 차지하고 있다.

수산업 부문에서의 에너지 소비감소는 유류품 의존도가 높은 반면, 유가가 높아졌다는 점과 함께 전반적으로 수산분야의 규모 자체가 축소되고 있기 때문인 것으로 보인다.

보다 세부적으로는 경종 부문에서의 소비가 확대되고 있는 반면, 축산 및 임수산 부문은 전반적으로 소비규모가 축소되고 있으며, 이로 인해 전체 농림수산업에서의 경종 부문의 점유율이 증가하고 있는 것으로 나타났다. 경종부문에서의 에너지 소비규모는 2007년 기준 1백 59만 TOE로서, 1995년 이후 연평균 4.6% 이상의 성장세를 보였으며, 전체 농림수산 부문에서의 비중도 1995년 20.7%에서 2007년에는 42.1%로 확대되었다. 반면 축산 부문의 경우 2007년 2백 77만 TOE로서 1995년 7백 14만 TOE에 비해 1/3 정도로 감소했으며 또한 임수산 부문도 2007년 1백 52만 TOE로서 1995년 1백 99만 TOE에 비해 감소하였으며, 특히 수산업 부문에서의 에너지 소비 감소가 두드러졌다. 한편 경종 부문에서는 채소와 화훼의 에너지 사용이 두드러지며, 이것이 앞서 언급한 경종부문 에너지 소비의 확대를 주도하고 있는 것으로 나타났다. 채소의 경우 2007년 57만 TOE로, 1995년 12만 TOE에서 연평균 9% 이상으로 소비규모가 증가하였다. 이로 인해 1995년 농림수산업 전체로 단지 3.4%에 그치던 것이 12년 후인 2007년에는 15.1%로 11.7%p의 성장세를 보였다. 화훼의 경우에도 역시 2007년 51만 TOE로, 1995년 7만 TOE에서 연평균 11% 이상으로 소비규모가 증가하였으며, 이로 인해 1995년 농림수산업 전체에서 단지 1.9%에 그치던 것이 2007년에는 13.6%로 11.7%p의 성장세를 보였다. 이들 부문은 주로 시설재배가 보편화되고 있어 농업에서는 대표적인 에너지 소비처로 분류되고 있는 부문들로 최근 소득수준 향상과 함께 도시근교에서 재배지역이 확대되고 있는 것에 기인한 것으로 풀이된다. 정리하자면 1995~2007년 동안 주된 에너지 소비처라고 할 수 있었던 수산업이나 축산부문에서의 에너지 소비가 줄어든 대신, 시설채소·원예의 확대에 이들 부문의 소비가 큰 폭으로 증가하여 전체적인 농림수산업의 에너지 소비구조를 변화시켜 왔다고 할 수 있다.

3.2.2. 농림수산업의 에너지 투입계수 및 총 에너지 유발계수

한편 에너지 투입계수(또는 직접 에너지 유발계수)와 총 에너지 유발계수 산정 결과는 각 <표 3>과 <표 4>와 같다.

우선 에너지 투입계수의 경우, 농림수산업이 백만 원 상당의 산출물을 생산하기 위해서는 2007년 기준으로 0.0180 TOE의 에너지가 요구되는 것으로 나타났는데, 이는 1995년(0.0228 TOE/백만원) 대비 약 30% 이상 감소한 것으로 나타나 전반적으로는 생

산의 에너지 의존도가 낮아지고 있음을 확인할 수 있다. 보다 세부적으로 볼 경우 경종 부문에서는 원예, 채소 등이, 임수산물 부문에서 수산어획이 상대적으로 투입계수 값이 큰 것으로 나타났다. 이 산업들이 에너지의 절대 소비량뿐만 아니라 동일한 산출량을 생산하는 데 보다 많은 양의 에너지가 요구되는 에너지 의존적 산업 또는 에너지를 집약적으로 사용하는 부문이라는 사실이 드러났다.

표 3. 농림수산업의 에너지 투입계수(직접 유발계수) 단위: TOE/백만 원

	1995	2000	2005	2007	증감('07-'95)
경종	0.0060	0.0056	0.0084	0.0074	0.0017
벼	0.0023	0.0021	0.0016	0.0012	-0.0009
보리	0.0002	0.0006	0.0001	0.0000	-0.0006
밀	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
잡곡	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	-0.0001
채소	0.0013	0.0009	0.0027	0.0025	0.0016
과실	0.0010	0.0010	0.0013	0.0011	0.0001
콩류	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
감자류	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
유지작물	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
약용작물	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
기타 식용작물 및 잎담배	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	-0.0001
섬유작물	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
화훼작물	0.0007	0.0005	0.0024	0.0023	0.0017
천연고무	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
종자및묘목	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
기타 비식용작물	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
축산	0.0050	0.0056	0.0023	0.0017	-0.0038
낙농	0.0015	0.0012	0.0005	0.0004	-0.0008
육우	0.0020	0.0031	0.0005	0.0004	-0.0027
양돈	0.0008	0.0006	0.0005	0.0005	-0.0001
가금	0.0007	0.0006	0.0008	0.0004	-0.0002
기타 축산	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
임수산물	0.0108	0.0136	0.0060	0.0068	-0.0068
영림	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
원목	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
식용임산물	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
기타 임산물	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000
수산어획	0.0095	0.0127	0.0048	0.0052	-0.0075
수산양식	0.0009	0.0007	0.0009	0.0013	0.0006
농림어업 서비스	0.0010	0.0010	0.0017	0.0021	0.0012
농림수산업	0.0228	0.0258	0.0185	0.0180	-0.0078

한편 농림수산업의 총 에너지 유발계수는 2007년 기준으로 0.177 TOE/백만 원으로 서, 이는 농림수산업에서 백만 원 어치의 수요증대 효과가 있을 경우, 자체적으로 0.018 TOE의 에너지의 소비(투입)가 요구되는 것을 포함하여 경제 전체적으로 0.177 TOE 만큼의 에너지 소비를 유발하게 됨을 의미한다. 농림수산업의 에너지 유발계수는 앞서 제시한 바 있는 에너지투입량 추이와 유사하게 2000년을 기점으로 의존도의 감소 추세로 전환, 연평균 8% 정도로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

표 4. 농림수산업의 총 에너지 유발계수

단위: TOE/백만 원

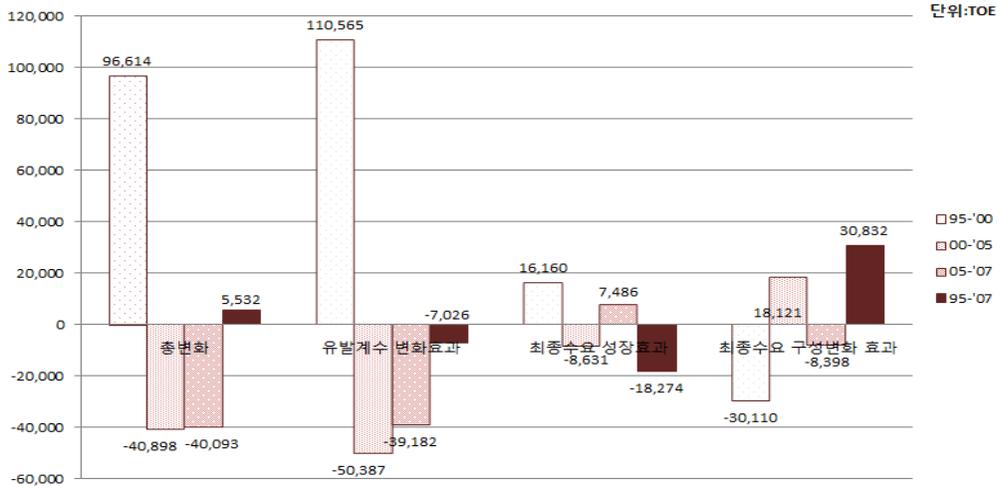
	1995	2000	2005	2007	증감('07-'95)
경종	0.166	0.152	0.127	0.141	-0.025
벼	0.086	0.106	0.104	0.102	0.016
보리	0.338	0.340	0.152	0.119	-0.219
밀	0.540	0.396	0.271	0.300	-0.240
잡곡	0.327	0.340	0.052	0.054	-0.273
채소	0.106	0.113	0.149	0.160	0.054
과실	0.246	0.209	0.203	0.186	-0.060
콩류	0.105	0.118	0.062	0.059	-0.046
감자류	0.122	0.071	0.068	0.096	-0.026
유지작물	0.055	0.033	0.033	0.037	-0.018
약용작물	0.040	0.058	0.042	0.038	-0.002
기타 식용작물 및 잎담배	0.120	0.090	0.105	0.104	-0.016
섬유작물	0.054	0.037	0.018	0.043	-0.012
화훼작물	0.277	0.188	0.368	0.478	0.201
천연고무	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
종자및묘목	0.114	0.268	0.269	0.304	0.189
기타 비식용작물	0.120	0.062	0.131	0.177	0.057
축산	0.191	0.170	0.126	0.117	-0.074
낙농	0.300	0.316	0.150	0.149	-0.151
육우	0.246	0.209	0.115	0.115	-0.131
양돈	0.149	0.120	0.120	0.111	-0.037
가금	0.172	0.143	0.167	0.093	-0.079
기타 축산	0.087	0.060	0.076	0.116	0.029
임수산물	0.122	0.237	0.196	0.215	0.093
영림	0.075	0.132	0.102	0.119	0.044
원목	0.023	0.117	0.081	0.120	0.097
식용임산물	0.036	0.038	0.055	0.046	0.011
기타 임산물	0.117	0.294	0.320	0.366	0.249
수산어획	0.297	0.491	0.366	0.339	0.041
수산양식	0.182	0.351	0.252	0.300	0.119
농림어업 서비스	0.205	0.304	0.519	0.692	0.487
농림수산업	0.186	0.196	0.178	0.177	-0.008

세부적으로 경종부문의 경우 직접적인 소비 유발효과(에너지 투입계수 기준 0.0023 TOE/백만 원)가 높은 화훼 부문이 역시 0.478 TOE/백만 원으로 가장 높은 직·간접적인 유발효과를 보이고 있는 반면, 비슷한 직접 유발효과를 보인 채소의 경우에는 총 유발효과(0.160 TOE/백만 원)가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 화훼 부문에 대한 에너지 절감 정책이 실효성을 가질 가능성이 높음을 의미한다. 한편 직접적인 에너지 투입 정도(또는 소비 유발효과)가 높지 않았던 보리나 종자 및 묘목 등도 총유발계수가 0.3 TOE/백만 원 이상으로 직·간접적인 총 유발효과 측면에서는 의미있는 에너지 소비유발 부문임을 확인할 수 있었다. 임수산물의 경우 역시 직접 투입 수준이 높았던(0.0052 TOE/백만 원) 수산어획 부문이 총 유발효과 정도에서도 높게 (0.339 TOE/백만 원) 나타나 역시 이 부문에 대한 정책적 관심이 요구됨을 확인할 수 있었다. 이와 함께 수산양식 등도 직접적인 투입에 비해 높은 직·간접적인 유발효과를 지닌 부문으로 확인되었다.

4. 농림수산업 에너지 소비변화 구조분해분석

지금까지 본 연구에서 작성한 에너지 산업연관표를 이용하여 1995~2007년 사이 농림수산 부문에 투입된 에너지 규모 및 구성 그리고 해당 기간 동안의 변화양상 등에 대해 개략적으로 살펴보았다. 본 장에서는 특히 동태적인 관점에서 해당 기간 동안 농림수산업으로 말미암아 국민경제 전체적으로 소요된 에너지 규모를 결정한 요인이 무엇이었는지를 파악하기 위해, 해당기간 동안 에너지 수요(또는 투입)의 변동에 대한 구조분해 분석을 실시하였다.

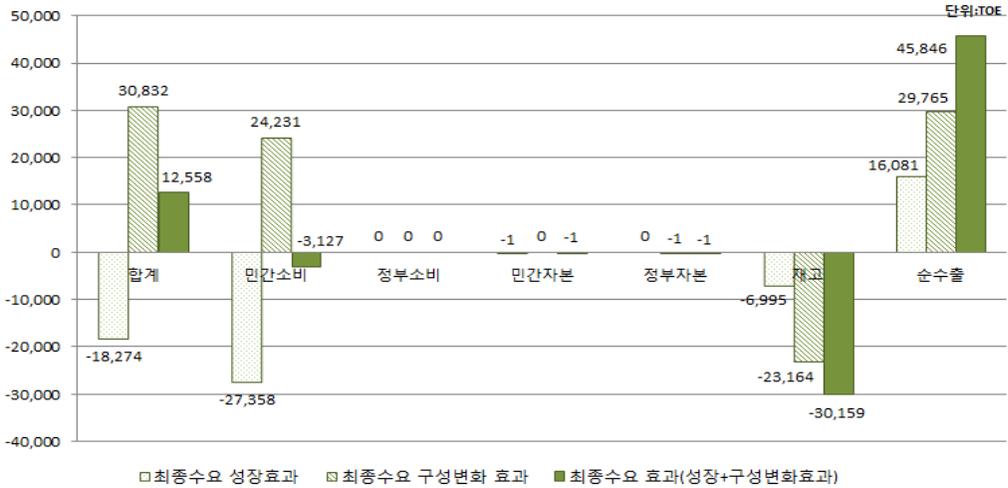
그림 2. 기간별 농림수산업 에너지 소비변화 구조분해분석 결과



<그림 2>는 1995~2007년 사이 농림수산업으로 말미암아 유발된 국민경제 전체적인 에너지(1차 에너지 기준) 소비량을 구조 분해한 결과로서 보다 광의의 효과(유발계수 변화효과 및 최종수요 변화효과 등)로 분해하여 나타내었다. 비교를 위해 해당 기간을 1995~2000년, 2000~2005년, 2005~2007년 등 3기간으로 구분·세분화한 후 동일한 분해를 한 결과와 함께 제시하였다.

우선 농림수산업으로 유발된 총 에너지 소비량은 1995년에서 2007년까지 12년 사이에 5,532 TOE 정도 증가한 것으로 나타났으며, 이중 유발계수의 변화로 7,026 TOE가 감소한 반면, 최종수요의 변화(최종수요의 성장효과+구성변화 효과)로 인해서는 12,558 TOE 정도 증가하여, 이들의 상충작용으로 총 에너지 소비량 변동이 결정되었음을 확인할 수 있다. 한편 최종수요의 변화는 각 부문에 대한 지출이 동일한 비율로 성장했을 때를 상정한 성장효과와 부문 간 상대적 구성의 변동에 의한 효과의 상호작용에 의해 결정되게 되는데, 전자 곧 성장효과로 인해서는 18,274 TOE 정도 에너지 소비가 감소했으나, 구성변화로 인해 에너지 소비가 30,832 TOE 정도 증가하여 이를 상쇄하였다. 이러한 최종수요의 변화에 기인해서 12,558 TOE 정도 소비를 증가시킨 효과가 있었던 것으로 풀이된다.

그림 3. 에너지 소비변화에 대한 최종수요의 효과 세부분해 결과(1995~2007년)



더욱이 <그림 3>에서 확인할 수 있듯이, 이러한 최종수요의 성장 및 구성변화 간의 상충작용은 특히 최종수요 항목 중 민간소비에서 두드러졌던 것으로 확인되었다. 모든 부문에 대한 민간소비지출의 동반성장을 상정했을 경우, 오히려 전체적으로는 지출이 감소하여 농림수산업의 직·간접적인 에너지 소비량의 감소(27,358 TOE)로 나타났다. 반면, 민간소비 지출의 부문 간 포트폴리오의 변화로 인한 민간소비지출의 증가는 24,231 TOE의 에너지 소비 증가로 이어져, 결국 민간소비로 인해 발생하게 된 에너지 소비유발 효과는 -3,127 TOE로 상대적으로 미미하게 나타났다.²² 반면 수출실적에서 수입실적으로 제외된 순수출의 경우 규모성장이나 구성변화로 인해 모두 에너지를 확대시켜 사실상 전체적인 농림수산업의 직·간접적인 에너지 소비증가를 주도한 반면, 이를 충족시키기 위한 직접적인 생산 활동의 일부를 그동안 축적한 재고 감소로 일정부분 충당함으로써 에너지 소비감소를 유도하였던 것으로 나타났다. 결국 최소한 이상의 결과들만을 볼 경우, 1995년 이후 2007년까지 지난 12년간 농림수산업에서 직·간접적으로 소비된 에너지 총량의 변동은 상대적으로 안정적이었으며, 특히 그동안 우리 경제 전체적인 수출성장 및 수출 포트폴리오의 변동이 농림수산업의 생산 활동과 관련

22 민간소비지출을 구성하는 부문들 중 특정 부문의 성장이 두드러진 반면, 감소한 부문들도 그 정도가 현저할 경우, 이들의 평균적인 성장은 오히려 마이너스 성장일 수 있어 전체적으로 농림수산업의 에너지 소비를 감소시킬 수 있다. 하지만 성장이 두드러진 부문의 농림수산업 에너지 유발계수의 크기가 크고, 감소한 부문의 유발계수가 작을 경우, 오히려 에너지 소비를 증가시킬 수 있어 이러한 상충관계를 나타낼 수 있게 된다.

하여 직·간접적인 에너지 소비를 주도했던 것으로 보인다. 그러나 여기서 주목해야 할 점은 만일 분석 대상기간을 보다 세분화할 경우, <그림 2>에서 다시 확인할 수 있듯이, 앞서 언급한 결과는 매우 다른 양상으로 나타나기 때문에 설불리 속단하여 결론에 이를 수 없다는 것이다.

다시 <그림 2>에서, 농림수산업의 에너지 소비 총 유발효과는 1995~2000년 사이 96,614 TOE로 큰 폭의 증가가 있는 반면, 2000년 이후 부터는 상대적으로 급격한 감소 추세로 돌아서, 2000~2005년 사이에는 40,898 TOE, 2005~2007년 사이에는 40,093 TOE로 지속적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 급격한 증감추세의 변동은 앞서 변동의 요인으로 지목했던 최종수요의 변화보다 오히려 유발계수의 변화양상과 그 맥을 같이 한다는 사실을 쉽게 확인할 수 있다.²³ 다시 말해 1995년 이후 12년간의 농림수산업의 직·간접적인 에너지 소비에는 급격한 변동이 있었으며, 그 방향은 2000년까지의 급격한 증가 이후 감소추세로 돌아선 것이라 할 수 있고, 그 기저에는 유발계수의 변화라는 원인이 작용했다고 할 수 있다. 이를 보다 구체적으로 알아보기 위해 유발계수의 변동효과를 직접 농림수산업에 투입하는 단위생산당 에너지 투입정도 곧 ‘직접 에너지 투입계수’의 변동효과와 농림수산업 생산을 위한 타 부문의 생산에 요구되는 단위생산당 에너지의 소비정도 곧 ‘간접 에너지 유발계수’의 변동효과로 세분화하여 <그림 4>와 같이 제시하였다.

<그림 4>에서 에너지 소비의 총변화의 양상은 1995~2000년 사이 96,614 TOE로 증가하였는데, 유발계수 변화로 인해 에너지 소비도 역시 비슷하게 110,565 TOE 정도 증가하였다. 이 중 직접투입계수의 변화로 인해서는 91,577 TOE 증가함으로서 전체적인 유발계수의 변동의 약 82.6%를 담당하였던 것으로 나타났다. 이후 기간에서도 이와 비슷한 양상이 이어졌는데, 2000~2005년 사이 총 변화는 40,898 TOE의 감소였다면, 이에 50,387 TOE 정도 유발계수로 인한 감소효과가 있었다. 이는 역시 직접투입계수 변동으로 인해 약 81% 정도 설명되고 있다. 역시 또한 2005~2007년 사이에도 유발계수의 변화효과 -39,182 TOE의 약 86.7%를 직접 투입계수의 변동으로 인한 효과가 차지함으로써, 직접 투입계수의 변화효과가 유발계수 변동으로 인한 에너지 소비변동을 주도할 뿐만 아니라 농림수산업의 전체적인 에너지 소비의 변화도 주도했음을 확인할 수 있다.

23 최종수요의 성장 및 구성변화 효과의 상쇄작용을 감안한다면, 적어도 각 세부기간별 최종수요 변화로 인한 효과의 크기(또는 변동폭)는 유발계수 변화 효과의 크기(또는 변동폭)에 비한다면 총 변화 정도에 미치는 효과가 미미하다고 할 수 있다.

그림 4. 기간별 유발계수 변화효과 세부분해 결과

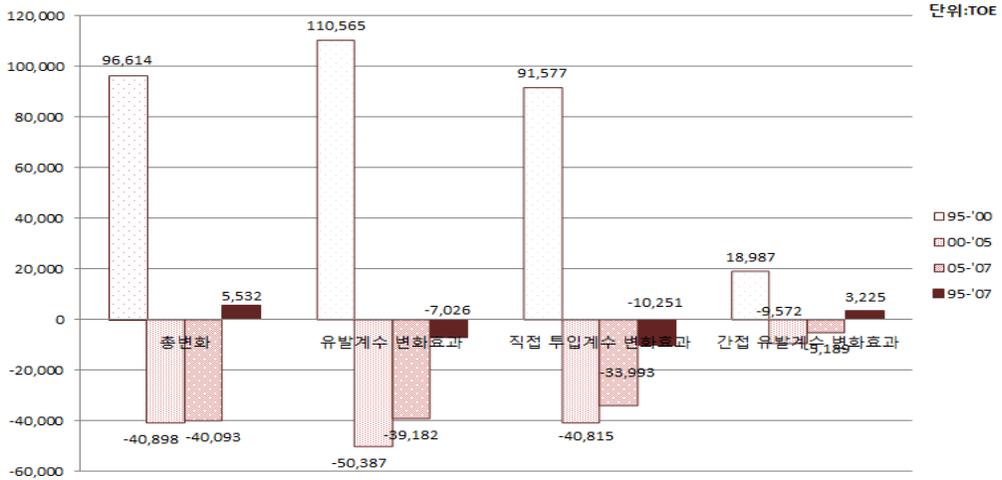
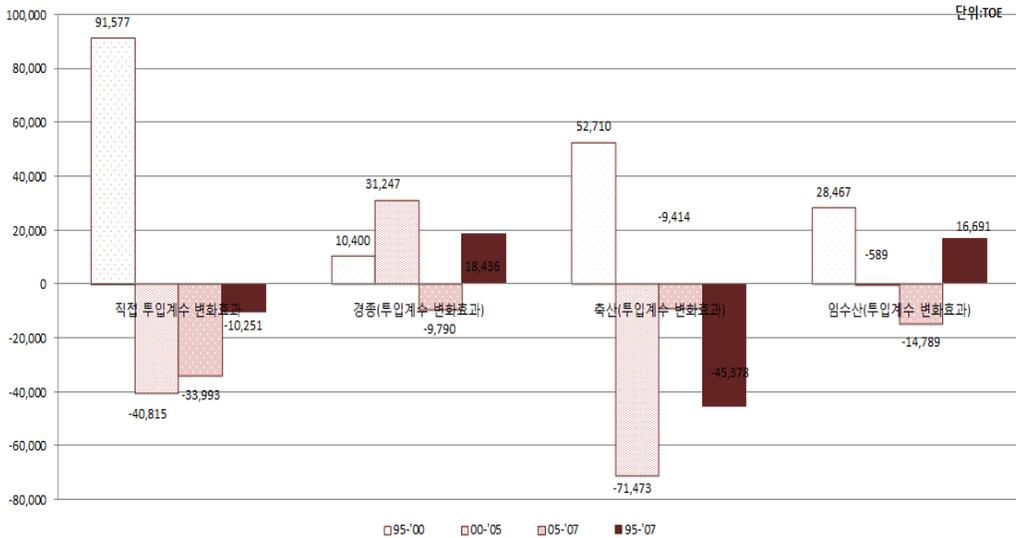


그림 5. 농림수산 세부부문별 직접 투입계수 변화효과



그리고 이러한 직접 투입계수 변동으로 인한 에너지 소비 변화의 이면에는 축산부문에서의 변동, 그 중에서도 가금 부문에서의 직접적인 에너지 투입계수의 변동이 큰 역할을 하고 있는 것으로 나타났다. <그림 5>에서 확인할 수 있듯이 직접 투입계수의 변화로 인한 에너지 소비 중 1995~2000년 사이 축산 부문에서의 변동은 52,710 TOE 증가함으로써 약 57%의 변동을 담당했다. 2000년 이후의 감소추세 속에서는 특히

2000~2005년에 71,473 TOE가 감소하여 직접 투입계수 변화로 인한 변동의 약 1.75배의 변동을 보임으로써 전체 변동을 주도했다고 해도 과언이 아니다.

에너지 유발계수 중에서도 직접적인 에너지 투입계수는 농림수산업 생산기술²⁴을 기술하는 중요한 파라미터이다. 또한 동시에 본 연구의 구조분해분석과 같이 최종수요 등 외생적인 요인들의 효과를 제어해 주었을 경우, 에너지 투입계수의 변동효과를 에너지 사용의 효율성 내지는 투입의 (평균)생산성으로 해석이 가능하다.²⁵ 1995년 이후 농림수산업의 직·간접적인 에너지 소비의 변동을 결정하는 가장 결정적인 요인이 바로 농림수산업 자체의 에너지 투입의 평균생산성이며, 이를 다른 표현으로 옳기자면 에너지 사용의 효율성의 변화라 할 수 있다. 이는 또한 <표 2>에서 확인된 농림수산업의 에너지 소비 패턴 변화 즉 1995~2000년까지의 에너지 투입이 증가하다 2000년 이후 감소추세로 돌아서게 된 패턴의 변화 원인이다. 앞서 제시한 바와 같이 주된 에너지 소비처라고 할 수 있었던 수산업이나 축산부문의 에너지 소비가 줄어든 대신, 시설채소·원에 부문의 소비가 큰 폭으로 증가하는 에너지 소비에서의 구성상의 변화, 그리고 특히 축산 부문에서의 에너지 소비의 효율성 변화가 있었음을 시사해준다고 할 수 있다. 다시 말해 농림수산업 내에서 주된 에너지 소비의 무게중심이 이동한 것과 함께 축산 부문 특히 전통적인 에너지 소비처인 낙농이나 육우 등에서 에너지 사용의 효율성의 개선 여부가 농림수산업 전체적인 에너지 소비 패턴을 주도하는 요인이 밝혀졌다고 할 수 있다.²⁶

5. 결론

비록 국민경제 전체적인 에너지 소비의 약 2.1%(2007년 기준) 정도밖에 되지 않지만, 지구온난화에 따른 기후협약 이행 대응 등을 위한 에너지의 효율적 관리의 필요성

24 산업연관표 및 산업연관분석의 기저에는 Leontief생산함수형태의 생산기술이 상정되어 있다.

25 에너지 투입계수는 TOE/백만 원이기 때문에, 이의 역수는 백만 원/TOE가 된다. 다시 말해 투입계수의 역수는 단위 에너지당 생산액이 되어, 에너지 투입의 (평균)생산성 내지는 효율성 등으로도 해석이 가능하다.

26 이로 인해 축산부문에서 에너지 사용 효율성의 변화에 대해서도 보다 구체적이면서도 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 다만 본 연구의 주된 목적이 농림수산업의 에너지 소비구조의 변화를 주도한 것이 요인 무엇인지를 개괄적으로 파악하는 것이라는 점에서, 이를 후속연구 과제로서 남기고자 한다.

에 있어서는 농림수산업도 예외가 될 수 없다. 이로 인해 농림수산업에서도 에너지의 효율적 관리를 위한 정책마련이 시급하며, 이를 위해서는 그동안 농림수산업에서의 에너지 소비 패턴을 분석하고, 작용하는 요인을 식별하는 것이 선행되어야 한다.

이를 위해 본 연구는 전통적인 산업연관표와 에너지 통계를 결합한 ‘에너지 산업연관표’를 농림수산업을 중심으로 작성하여, 농림수산업의 생산 활동에 직간접적으로 투입된 에너지 소비구조를 분석하고자 하였다. 우선 농림수산업에서의 직접적인 에너지 소비는 1995~2000년까지 78만 TOE 정도 급증하였다가 이후 점진적으로 감소하는 추세에 있으며, 이러한 추세이면에는 주된 에너지 소비처라고 할 수 있었던 수산어획이나 축산부문에서의 에너지 소비가 줄어든 대신, 시설채소·원예의 확대에 의해 이들 부문의 소비가 큰 폭으로 증가하여 전체적인 농림수산업의 에너지 소비구조 변화가 있었음을 확인할 수 있었다.

여기에 덧붙여 특히 동태적인 관점에서 해당 기간 동안 농림수산업으로 말미암아 국민경제 전체적으로 소비된 에너지 규모와 그 결정요인이 무엇이었는지를 파악하기 위해, 직접적인 에너지 소비와 함께 간접적으로 유발된 소비를 합산하여 해당기간 동안 에너지 수요(또는 투입)의 변동을 구조분해분석(Structural Decomposition Analysis)하였다.

농림수산업의 생산 활동으로 인해, 국민경제 전체적으로 소비된 에너지도 직접적으로 소비된 에너지와 유사한 패턴을 보여 1995~2000년 사이 96,614TOE로 큰 폭의 증가가 있었지만 2000년 이후부터는 상대적으로 급격한 감소추세로 돌아선 것으로 나타났다. 그리고 이러한 급격한 증감추세 변동의 기저에는 단위생산당 에너지 투입 정도의 변화 곧 에너지 사용의 효율성에서의 변화가 있었으며, 특히 축산 부문에서 변화양상이 두드러졌다는 사실을 확인했다. 결국 지난 12년간 농림수산업의 생산 활동으로 인해 직간접적으로 소비된 에너지의 증감양상은 농림수산업 내 주된 에너지 소비의 무게 중심이 이동한 것과 함께 축산 부문 특히 전통적인 에너지 소비처인 낙농이나 육우 등에서 에너지 사용의 효율성이 개선된 것에 의한 것이라 할 수 있다.

결국 그동안 농림수산업에서의 에너지 소비 양태는 지속적으로 변화해 왔으며, 그 변화의 기저에는 구조적인 측면에서 또는 기술적 측면에서의 변화가 있었다. 이러한 사실은 지속적으로 효율적 에너지 관리 정책에 있어, 효율적인 에너지 소비를 달성하기 위해 산업 구조적 차원의 개선 노력과 함께 에너지 절감을 위한 기술개발에 과감한 투자가 있어야 함을 암시해 준다고 할 수 있다.

참고 문헌

- 김윤경. 2006. “환경산업연관표 2000을 이용한 산업부문의 이산화탄소(CO₂) 발생 분석.” 「자원·환경·경제연구」 15(3).
- 김정민. 2004. “산업연관분석론을 통한 우리나라 이산화탄소 배출현황에 대한 분석.” 서울대학교 석사학위논문.
- 김진수, 허은녕. 2006. “구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구.” 「자원·환경·경제연구」 14(2): 257-290.
- 김충실. 1980. “농업용 에너지 소비구조의 변화.” 「농촌경제」 3(4): 127-133.
- 김충실. 1981. “농업생산의 에너지 집약도 분석.” 「농촌경제」 4(3): 99-115.
- 김충실, 이현근. 2009. “농업부문 에너지 소비의 CO₂배출량 분석.” 「농촌경제」 32(1): 41-61.
- 박준영, 허은녕. 2002. “구조분해분석을 이용한 CO₂배출량 변화요인분석에 관한 연구.” 「한국자원공학회지」 39(4).
- 송중은. 2001. “구조분해분석을 통한 국내 에너지 소비구조변화요인에 관한 연구.” 서울대학교 석사학위논문.
- 심상렬. 2005. 「에너지 산업연관표 작성」, 에너지경제연구원.
- 이인규, 박미숙. 2009. “에너지산업연관표를 이용한 에너지 수요구조 및 효율성 분석.” 「계간국민계정」 39:54-94.
- 임정란. 2004. “구조분해분석을 이용한 국내에너지 소비변화 요인에 관한 연구.” 충남대학교 석사학위 논문.
- 조병도. 2001. “산업연관모형을 이용한 수입증가요인 분석.” 「경제분석」 7(4).
- 최충규. 1993. “산업부문별 CO₂배출량에 대한 비교정태분석.” 「월간산업동향」 11(6), 산업연구원.
- 최한주, 이기훈. 2002. “산업연관분석을 이용한 우리나라 산업의 CO₂ 배출변화 요인 분석.” 2002년 경제학공동학술대회 발표논문.
- 최한주, 이기훈. 2006. “환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화요인 분석.” 「자원·환경·경제연구」 15(1): 27-50.
- Chenery, H. S. Shishido and T. Watanabe. “The Pattern of Japanese Growth: 1914~1954.” *Econometrica* 30(1): 98-139.
- Chenery, H., M. Syrquin. “Patterns of Development 1950~1970.” *Journal of Development Economics* 3(3): 300-311.
- Kagawa, S., H. Inamura. 2001. “A Structural Decomposition of Energy Consumption based on Hybrid Rectangular Input-Output Framework: Japan’s Case.” *Economic Systems Research*, 13(4).
- Hasegawa. 2005. “Regional Comparison and Decomposition Analyses of CO₂ Emissions in Japan.” *15th International Conference on Input-Output Techniques*, International Input-Output Associations.
- Miller, R., P. Blair. 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. New Jersey, prince-Hal.

Sun, J.1998. "Change in Energy Consumption and Energy Intensity: A Complete Decomposition Models." *Energy Economics* 20.

Syrquin, M.1976. "Source of Individual Growth and Change: An Alternative Measure." World Bank.

원고 접수일: 2012년 1월 31일

원고 심사일: 2012년 2월 13일

심사 완료일: 2012년 4월 14일