

# 韓國 製造業의 에너지需要 變化要因에 관한 研究\*

李 達 錫\*\*

**논문초록**    본 논문은 한국 제조업의 생산구조를 실증적으로 분석함으로써 산업용 에너지 수요의 변화를 가져오는 요인을 규명하고자 하였다. 이를 위해 초월대수비용함수에서 추정된 파라미터를 이용하여 에너지 - 비에너지요소 간의 대체성과 기술변화의 영향을 분석하였다. 또한 산업용 에너지수요의 실제적인 변화에 기여한 요인들에 대한 정량적인 분해분석을 시도하였다. 본 논문의 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 에너지와 비에너지요소 간의 알렌편대체탄력성을 계측한 결과, 에너지 - 자본, 에너지 - 원재료는 대체관계로 나타났으며 에너지 - 노동은 보완관계로 나타났다. 기술변화는 어느 특정 요소에 심하게 편익된 유형을 취하지는 않고 있으나 여타 요소에 비해 상대적으로 에너지 사용적인 기술변화가 진행되고 있음을 발견하였다. 에너지수요 변화요인을 규모효과, 대체효과, 기술변화효과로 분해분석한 결과는, 산출규모의 증가에서 비롯되는 에너지수요의 증가요인이 주로 비에너지 요소에 의한 대체로 억제되며, 기술변화는 에너지수요 변화에 큰 영향을 미치지 못하고 있었다.

**핵심주제어:** 에너지수요, 요소간 대체, 기술변화

**경제학문헌목록 주제분류:** Q4

\* 유익한 논평을 주신 본 학회지의 익명의 심사위원들께 감사드린다.

\*\* 에너지경제연구원 연구위원

## I. 序 論

에너지수요는 에너지를 투입요소로 포함하는 재화와 용역에 대한 수요로부터 파급되는 파생수요(derived demand)이다. 산출수준에 대한 에너지소비의 비율, 이른바 에너지집약도(energy intensity)의 변동은 산업부문을 비롯한 여타 수요부문에서 에너지수요를 분석하는 지표로서 자주 활용되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 에너지수요를 분석하기 위해 에너지집약도를 이용하는 것은 지나치게 단순한 접근방법이라고 할 수 있는데, 그것은 산출수준의 변화 외에도 에너지수요의 변화를 가져오는 다양한 요인들을 파악할 필요가 있기 때문이다.

산업부문에서 생산활동을 위한 에너지수요(또는 에너지투입)는 여타 생산요소인 자본·노동·원재료 등과의 최적 결합을 바탕으로 결정될 것이다. 그러므로 에너지수요는 에너지와 비에너지요소간의 상대가격 변화에 따른 대체성(substitutability), 요소수요의 편의(bias)를 가져오는 기술변화(technological change) 등 생산함수 또는 이와 연관된 비용함수에 의한 산업의 생산구조 특성을 반영하고 있을 수 있다. 따라서 에너지수요의 변화를 가져오는 이와 같은 다양한 요인들이 구체적으로 식별될 필요가 있으며, 이를 통해 관련 정책수립에 요구되는 보다 정확한 정책적 함의를 도출할 수 있을 것이다.

본 논문은 에너지와 비에너지요소 간의 대체성과 기술변화의 유형 등 한국 제조업의 생산기술구조를 실증적으로 분석함으로써, 산업용 에너지수요의 변화를 가져오는 요인을 규명하는 데 그 목적을 두고 있다. 이를 위해 초월대수비용함수(translog cost function)를 추정하여, 에너지 - 비에너지요소 간의 대체탄력성(elasticity of substitution)과 에너지수요의 자기 및 교차가격탄력성(own and cross price elasticity of demand)을 계측·분석하며, 기술변화에 따른 요소수요의 편의 정도를 계측·분석한다. 또한 이러한 계측치에 기초하여 산업용 에너지수요의 실제적인 변화에 기여한 요인들에 대한 정량적인 분해분석(decomposition analysis)을 시도한다.

한국 제조업의 생산구조와 요소수요를 초월대수비용함수를 통해 분석한 기존의 연구에서는 에너지를 생산요소로 구분하지 않았거나, 에너지가 구분된 경우에도 추정된 함수형태에 사전적인 제약을 가함으로써 요소간 대체성 분석에 머물고 있

1) 에너지집약도는 에너지 - 산출계수(energy-output coefficient)라고도 하며, 국내에서는 에너지원단위라는 용어가 보다 일반적으로 사용되고 있다.

다.<sup>2)</sup> 본 논문이 갖는 기존 연구와의 차별성은 에너지를 생산요소의 하나로 포함시키고 에너지 - 비에너지요소 간 대체성은 물론 에너지수요에 대한 기술변화의 영향을 분석하였다는 것이다. 여기에 더해 본 논문은 비용함수 추정을 통해 얻은 파라미터를 이용하여 에너지수요의 변화요인을 규모효과(scale effect), 대체효과(substitution effect), 기술변화효과(technological change effect)로 분해하였다.

## II. 分析模型

### 1. 超越代數函數와 生産構造 分析 方法

본 연구는 우선 한국 제조업의 생산기술구조를 다음과 같은 초월대수비용함수로 나타낼 수 있는 것으로 가정한다.

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \beta_{QQ} (\ln Q)^2 \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i \beta_{iQ} \ln Q \ln P_i \\ & + \alpha_T T + \beta_{QT} \ln Q T + \sum_i \beta_{iT} \ln P_i T \\ & + \frac{1}{2} \beta_{TT} T^2 \end{aligned}$$

(1)

$i, j = E, K, L, M$

여기서 C는 최적 총생산비, Q는 총산출량,  $P_E$ 는 에너지가격,  $P_K$ 는 자본가격,  $P_L$ 은 노동가격,  $P_M$ 은 원재료가격, 그리고 T는 기술수준을 나타낸다.

식 (1)을 생산요소의 가격  $P_i (i=E, K, L, M)$ 로 대수편미분하고 셰파드 렘마 (Shephard's lemma)를 적용하면, 다음과 같이 i 요소의 비용점유율로 나타낸 i 요소의 수요방정식이 된다.

$$S_i = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{P_i X_i}{C} = \alpha_i + \beta_{iQ} \ln Q + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iT} T$$

(2)

$i, j = E, K, L, M$

2) 주요 연구로는 서광조(1982), 신의순(1983), 최정표(1987), 남성일(1990), 한광호·김상호(1996) 등이 있다.

식 (1)의 비용함수가 잘 정의된(well defined) 생산기술을 반영하기 위해서는 다음의 합계조건과 대칭성조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned}
 \sum_i \alpha_i &= 1 \\
 \sum_i \beta_{ij} &= \sum_j \beta_{ij} = 0 \\
 \sum_i \beta_{iQ} &= 0 \\
 \sum_i \beta_{i\pi} &= 0 \\
 \beta_{ij} &= \beta_{ji}, \quad i \neq j \\
 i, j &= E, K, L, M
 \end{aligned} \tag{3}$$

그리고 식 (1)의 비용함수가 규모에 대한 수확불변(constant return to scale)인 동조적(homothetic)인 생산기술을 반영하기 위해서는  $\alpha_Q = 1$ ,  $\beta_{QQ} = 0$ ,  $\beta_{QT} = 0$ ,  $\beta_{iQ} = 0$  ( $i = E, K, L, M$ )의 제약조건이 부과되어야 한다. 또한 Hicks중립적(Hicks-neutral)인 기술변화를 반영하기 위해서는  $\beta_{QT} = 0$ 과  $\beta_{i\pi} = 0$  ( $i = E, K, L, M$ )이라는 추가적인 제약조건이 부과되어야 한다.

초월대수비용함수의 틀에서 알렌편대체탄력성(Allen partial elasticity of substitution)과 수요의 가격탄력성(price elasticity of demand)은 식 (1)의 비용함수 또는 식 (2)의 비용점유율방정식에 나타난 파라미터들에 의해 다음과 같이 도출된다.<sup>3)</sup>

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ij} &= (\beta_{ij} + S_i S_j) / S_i S_j, & \eta_{ij} &= \sigma_{ij} S_j = (\beta_{ij} + S_i S_j) / S_i \\
 \sigma_{ii} &= (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) / S_i^2, & \eta_{ii} &= \sigma_{ii} S_i = (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) / S_i \\
 i, j &= E, K, L, M
 \end{aligned} \tag{4}$$

위 식을 이용하여 측정된 대체탄력성 부호가 플러스(+)이면 두 요소는 대체재(substitutes)라고 하고 마이너스(-)이면 보완재(complements)라고 한다. 대체탄력성은  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ 의 관계가 성립한다. 수요의 가격탄력성에서도 교차가격탄력성의 부호가 플러스(+)이면 대체관계를, 마이너스(-)이면 보완관계를 나타내나,  $\eta_{ij} \neq \eta_{ji}$ 로 대칭성이 성립하지는 않는다. 그리고  $S_i$ 가 비용점유율이므로 알렌편대체탄력성

3) 초월대수비용함수에서 알렌편대체탄력성과 수요의 가격탄력성의 유도과정은 Binswanger (1974)를 참고.

이나 가격탄력성은 일정한 것이 아니라 비용점유율의 변화에 따라 변화하게 된다.

한편, Hicks중립적 기술변화 가설이 기각된다면 요소사용에 대한 기술변화의 영향은 편의된 것이다. 기술변화의 특성은 비용점유율을 기준으로 정의할 수도 있는데, 요소가격이 일정한 상태에서 어느 요소의 비용점유율이 증가한다는 것은 그 요소의 상대적 사용량이 증가함을 의미한다. 따라서 초월대수비용함수의 틀에서 기술변화의 편의( $B_i$ )는  $B_i = \partial \ln S_i / \partial T$ 의 형태가 되며, 이를 비용점유율방정식 (2)의 파라미터 관점에서 다시 정리하면 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$B_i = \beta_{iT} / S_i \quad (5)$$

이에 따라 기술변화의 특성은  $B_i > 0$ 이면  $i$  요소사용적 기술변화,  $B_i = 0$ 이면 중립적 기술변화,  $B_i < 0$ 이면  $i$  요소절약적 기술변화로 분류할 수 있다.

다음으로 비용점유율에 대한 산출량 변화의 효과는 생산구조의 비동조성(nonhomotheticity)을 측정하는데 사용될 수 있다.<sup>4)</sup> 초월대수비용함수의 틀에서 비동조성( $N_i$ )의 측정은  $N_i = \partial \ln S_i / \partial \ln Q$ 의 형태가 되며, 이를 비용점유율방정식 (2)의 파라미터 관점에서 다시 정리하면 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$N_i = \beta_{iQ} / S_i \quad (6)$$

이에 따라 산출수준의 변화에 의한 편의는  $N_i > 0$ ,  $N_i = 0$ ,  $N_i < 0$ 에 의해, 각각 비동조적으로  $i$  요소사용적, 중립적,  $i$  요소절약적인 것으로 정의된다.

## 2. 要素需要 變化의 要因別 分解分析 方法

앞에서 논의한 알렌편대체탄력성( $\sigma_{ij}$ )과 가격탄력성( $\eta_{ij}$ )은 투입요소간의 대체가능성과 그 크기를 분석할 수 있으며, 기술변화의 편의에 대한 측정치( $B_i$ )와 비동조성에 대한 측정치( $N_i$ )는 생산과정에서 각 요소의 상대적 사용에 대한 방향과 크기를 분석할 수 있다. 그러나 이 측정치를 통해서 생산요소 사용의 실제적인 변화에 기여한 요인들을 식별하여 정량적으로 파악하는데 있어서는 적합하지 않다. 따라서

4) Kuroda (1987), p. 330.

그러한 기여도를 측정하기 위해서는 아래와 같은 방법을 통한 요인별 분해분석 (decomposition analysis)이 이루어져야 한다.

우선 비용을 최소화하는  $i$  요소의 수요함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X_i^* = X_i^*(Q, P_E, P_K, P_L, P_M, T) \quad (7)$$

여기서  $X_i^*$ 는  $i$  요소의 균형수요,  $Q$ 는 산출수준,  $T$ 는 기술수준을 나타내는 시간 변수이며,  $P_E, P_K, P_L, P_M$ 은 각각 에너지, 자본, 노동, 원재료의 가격이다. 식 (7)을 시간에 대하여 전미분하고 양변을  $X_i^*$ 로 나눈 후 증가율을  $G(\cdot)$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} G(X_i^*) &= \frac{\partial \ln X_i^*}{\partial \ln Q} G(Q) \\ &+ \sum_j \frac{\partial \ln X_i^*}{\partial \ln P_j} G(P_j) + \frac{\partial \ln X_i^*}{\partial T} \end{aligned}$$

(8)

식 (8)은 다시 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$G(X_i^*) = \varepsilon_{iQ} G(Q) + \sum_j \eta_{ij} G(P_j) + \frac{\partial \ln X_i^*}{\partial T}$$

(9)

여기서  $\varepsilon_{iQ}$ 는 요소수요의 산출탄력성,  $\eta_{ij}$ 는 요소수요의 가격탄력성이다. 위의 식 (9)를 이용하면 각 요소의 수요(투입수준) 변화율을 요인별로 분해할 수 있다. 즉, 우변 첫째 항은 산출변화율에 기인하는 규모효과(scale effect), 우변 둘째 항은 상대적인 요소가격변화율에 기인하는 총대체효과(total substitution effect), 우변 셋째 항은 기술변화에 기인하는 기술변화효과(technological change effect)를 나타낸다는 것이다.

산출변화율에 따른 각 요소수요의 변화율인 규모효과는 생산함수가 일차동차의

동조적 생산함수라면 식 (9)에서  $\epsilon_{iQ}$ 가 1이 되어, 각 요소수요의 변화율은 모두 산출변화율과 동일하게 된다.<sup>5)</sup> 그러나 생산함수가 비동조적인 경우에는  $\epsilon_{iQ}$ 를 식 (2)의 비용점유율방정식과 식 (1)의 총비용함수의 파라미터를 이용하여 다음과 같이 계측한 후 산출증가율에 곱하여야 한다.<sup>6)</sup>

$$\epsilon_{iQ} = \frac{\beta_{iQ}}{S_i} + \alpha_Q + \beta_{QQ}\ln Q + \sum_i \beta_{iQ}\ln P_i + \beta_{QT}T$$

$i = E, K, L, M$  (10)

생산요소의 상대가격 변화율에 따른 총대체효과는  $i$  요소의 자기가격탄력성과  $i$  요소와 타 요소간의 교차가격탄력성에 각각의 가격변화율을 곱하여 합한 수치이다. 자기 및 교차가격탄력성은 앞에서 이미 그 계측방법을 설명한 바 있다. 총대체효과에 의한  $i$  요소의 수요변화는  $i$  요소의 가격변화와  $i$  요소 이외의 여타 요소들의 가격변화 효과로 다시 분해될 수 있다.

비중립적 기술변화에 따른  $i$  생산요소의 수요변화를 나타내는 식 (9)의 우변 세 번째 항은 첫 번째 항의 계측방식과 유사하게 식 (2)의 비용점유율방정식과 식 (1)의 총비용함수의 파라미터를 이용하여 다음과 같이 계측한다.<sup>7)</sup>

$$\frac{\partial \ln X_i^*}{\partial T} = \frac{\beta_{iT}}{S_i} + \alpha_T + \beta_{QT}\ln Q + \sum_i \beta_{iT}\ln P_i + \beta_{TT}T$$

$i = E, K, L, M$  (11)

식 (11)에서  $i$  요소의 양이 상대적으로 적게 사용되도록 기술변화가 일어나면  $\partial \ln X_i^* / \partial T < 0$ 이고, 이와 반대로  $i$  요소의 양이 상대적으로 많이 사용되도록 기술변

5) KaKo(1978), p. 632.

6) 생산요소  $i$ 의 비용점유율은  $S_i = P_i \cdot X_i^* / C$ 로 정의되므로  $\partial \ln S_i = \partial \ln P_i + \partial \ln X_i^* - \partial \ln C$ 이다. 그러므로 요소가격이 일정할 경우 요소수요의 산출탄력성  $\epsilon_{iQ} (\partial \ln X_i^* / \partial \ln Q) = \partial \ln S_i / \partial \ln Q + \partial \ln C / \partial \ln Q$ 와 같이 쓸 수 있다.

7) 생산요소  $i$ 의 비용점유율은  $S_i = P_i \cdot X_i^* / C$ 로 정의되므로 가격이 일정할 경우 이를 시간에 대하여 전미분하면  $\partial \ln X_i^* / \partial T = \partial \ln S_i / \partial T + \partial \ln C / \partial T$ 와 같이 쓸 수 있다.

화가 일어나면  $\partial \ln X_i^* / \partial T > 0$ 이다.<sup>8)</sup>

### Ⅲ. 模型의 推定과 檢定

#### 1. 推定方法

초월대수비용함수와 비용점유율방정식의 계량경제적인 추정을 위해 우선 식 (1) 과 식 (2)의 각 방정식에 오차항(error term)  $\mu$ 를 추가하였는데, 이는 비용최소화 행태에 있어서의 임의성을 허용하도록 하는 것이다. 여기에 비용함수가 잘 정의된 생산기술을 반영하도록 하기 위해 요소가격에 대하여 단조 증가하는 일차동차의 오목한 함수라는 조건, 즉 식 (3)의 합계조건(adding up condition)과 대칭성조건(symmetry condition)을 부과하였다. 또한 본 연구에서는 자유도(degree of freedom)의 제약을 감안하여 규모에 대한 보수불변과 동조성(homotheticity)을 가정하였다. 그러나 중립적 기술진보(neutral technological change)에 대해서는 사전적인 제약을 가하지 않은 상태에서 비용함수를 추정한 후, 검정과정을 거치도록 한다.

한편, 각 생산요소의 비용점유율 합( $\sum_i S_i$ )은 1이 되어야 하므로, 하나의 비용점유율방정식은 여타 비용점유율방정식의 선형함수이고 연립방정식체계 내 오차항의 공분산행렬이 특이행렬(singular matrix)이 되어, 계량기법에 의한 연립방정식의 추정이 불가능하다. 따라서 오차항 공분산행렬의 비특이성(nonsingularity)을 보장하기 위해서는 요소가격들을 임의로 선택된 특정 요소의 가격으로 나누어주어야 하며, 선택된 요소의 비용점유율방정식과 선택된 요소를 포함하는 여타 요소의 비용점유율방정식의 항(term)들은 생략하고 추정하여야 한다. 이러한 방식으로 총비용함수와 함께 4개의 비용점유율방정식중 3개의 방정식에서 파라미터가 추정되면 나머지 방정식의 파라미터는 식 (3)의 합계조건과 대칭성조건을 통해 계산할 수 있다. 여기에서는 원재료의 비용점유율방정식( $S_M$ )을 임의로 제외하고 에너지·자본·노동의 비용점유율방정식을 추정하였다. 이에 따라 총비용함수와 비용점유율

8) 기술변화에 따른 특정 요소사용의 상대적 편익은 산출수준 변화에 대한 총요소투입의 변화가 그 기준이 된다.

방정식을 결합하여 추정하기 위한 최종적인 연립방정식체계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \ln(C/P_m) &= \alpha + \alpha_E \ln(P_E/P_m) + \alpha_K \ln(P_K/P_m) + \alpha_L \ln(P_L/P_m) \\
 &\quad + \frac{1}{2} \beta_{EE} [\ln(P_E/P_m)]^2 + \frac{1}{2} \beta_{KK} [\ln(P_K/P_m)]^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} [\ln(P_L/P_m)]^2 \\
 &\quad + \frac{1}{2} \beta_{EK} \ln(P_E/P_m) \cdot \ln(P_K/P_m) + \frac{1}{2} \beta_{EL} \ln(P_E/P_m) \cdot \ln(P_L/P_m) \\
 &\quad + \frac{1}{2} \beta_{KL} \ln(P_K/P_m) \cdot \ln(P_L/P_m) + \alpha_T T \\
 &\quad + \beta_{ET} \ln(P_E/P_m) \cdot T + \beta_{KT} \ln(P_K/P_m) \cdot T + \beta_{LT} \ln(P_L/P_m) \cdot T \\
 &\quad + \frac{1}{2} \beta_{TT} T^2 + \mu \\
 S_E &= \alpha_E + \beta_{EE} \ln(P_E/P_m) + \beta_{EK} \ln(P_K/P_m) + \beta_{EL} \ln(P_L/P_m) + \beta_{ET} T + \mu_E \\
 S_K &= \alpha_K + \beta_{KE} \ln(P_E/P_m) + \beta_{KK} \ln(P_K/P_m) + \beta_{KL} \ln(P_L/P_m) + \beta_{KT} T + \mu_K \\
 S_L &= \alpha_L + \beta_{LE} \ln(P_E/P_m) + \beta_{LK} \ln(P_K/P_m) + \beta_{LL} \ln(P_L/P_m) + \beta_{LT} T + \mu_L
 \end{aligned} \tag{12}$$

이와 같이 구성된 연립방정식에서 파라미터가 추정되면 원재료의 비용점유율방정식 ( $S_M$ ) 이 제외됨에 따라 추정하지 못한 6개의 파라미터, 즉  $\alpha_M$ ,  $\beta_{EM}$ ,  $\beta_{KM}$ ,  $\beta_{LM}$ ,  $\beta_{MM}$ ,  $\beta_{MT}$ 는 합계조건과 대칭성조건에 의해 계산된다. 그런데 4개의 비용점유율 방정식 중 3개의 방정식을 임의로 선택하여 추정하면 파라미터 추정치가 어느 방정식을 선택했는가에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 연립방정식체계의 추정방법은 이와 같은 문제를 피하고 파라미터 추정치의 일관성이 유지되도록 하는 ITSUR (Iterative Seemingly Unrelated Regression) 을 사용하였다.

## 2. 資料의 構成

초월대수비용함수와 여기에서 유도된 비용점유율방정식의 모든 파라미터들을 추정하기 위해서는 각 생산요소의 가격지수( $P_i$ ,  $i=E, K, L, M$ ), 총비용( $C$ ) 및 각 생산요소의 비용점유율( $S_i$ ,  $i=E, K, L, M$ )에 대한 자료가 필요하다. 또한 요소수요의 변화요인을 분해하기 위해서는 생산량( $Q$ )과 각 생산요소의 투입량지수( $X_i$ ,  $i=E, K, L, M$ )에 대한 자료가 필요하다. 본 연구에서 사용한 자료는 곽승영(1997)이 한국은행의 『국민계정』을 근간으로 하여 작성한 자료를 주로 이용하였으나, 여기에서 제공되지 않는 에너지와 관련된 자료는 직접 수집·정리하였다. 자료의 형태

〈표 1〉 분석대상 제조업 업종의 분류

구 분	제조업 업종	표준산업분류	
		1984년 코드	1992년 코드
①	제조업 전업종	3	D
②	섬유, 의류, 가죽	32	17, 18, 19
③	화학, 석유, 석탄, 고무, 플라스틱	35	23, 24, 25

는 1971년에서 1993년까지 23개년에 걸친 연간 시계열 자료이다.

곽승영의 자료에서 한국 제조업의 산업분류는 9개 산업으로 분류되는 한국표준산업분류(1984) 2자리 수준과 유사하다. 본 연구에서는 에너지수요분석에 초점을 두고 '전제 제조업'과 더불어 하위수준의 산업으로서 경공업이며 에너지저소비업종인 '섬유·의류·가죽업'과 중화학공업이며 에너지고소비업종인 '화학·석유·석탄·고무·플라스틱업'을 분석대상 업종으로 선정하였다(〈표 1〉 참조).<sup>9)</sup>

먼저 에너지와 관련된 자료의 구성방법은 다음과 같다. 에너지비용( $C_E$ )은 통계청이 발간하는 『광공업통계조사보고서』에 나타난 매년도의 전력비용과 연료비용을 합산한 것으로 하였다. 에너지소비량( $X_E$ )은 한국동력자원연구소(1982)가 『투입산출표』를 이용해 작성한 소비량과 에너지경제연구원이 작성한 '에너지밸런스'에 나타난 소비량을 이용하였다.<sup>10)</sup> 이렇게 구해진 에너지소비량을 토대로 에너지가격( $P_E$ )의 작성은 두 단계를 거쳐 이루어졌다. 첫 번째 단계에서는 전력비용을 전력소비량으로 나누어 전력단가를 구하고 연료비용을 석유·가스·석탄의 소비량으로 나누어 연료단가를 구하였다. 두 번째 단계에서는 이렇게 구해진 전력가격지수와 연료가격지수를 디비지아지수(Divisia index) 방법을 이용하여 집계 가격지수(aggregated price index)를 구성하였는데, 이는 각 에너지원의 가격을 상대적 가치비중(비용점유율;  $S_i$ )에 의해 가중평균한 것이다.<sup>11)</sup> 또한 에너지의 집계 물량지수(aggregated

9) 이하의 논의에서 특별한 언급 없이 '섬유의류업'이라 하면 '섬유·의류·가죽업'을 칭하는 것이며, '석유화학업'이라 하면 '화학·석유·석탄·고무·플라스틱업'을 칭한다.

10) 제조업에서 소비되는 석유제품 중 '납사(naphtha)'는 석유화학공업의 원료임을 감안하여 석유 소비량에서 제외하였다.

11) 각 에너지원의 소비량(열량기준)으로 단순히 가중평균한 집계가격지수도 각 에너지원의 열량당 가격이 같을 경우 동일한 가격지수를 제공한다. 그러나 이와 같은 집계방법은 연료와 전력이 완전한 대체재(perfect substitutes)라는 불합리한 암묵적 가정을 내포하고 있으므로 가치비중에 의해 가중평균한 디비지아 방법에 의한 집계 가격지수를 사용하는 것이 바람직하다(Nguyen(1986), p. 211).

quantity index)도 동일한 방법을 이용하여 구성하였다.

다음으로 자본비용( $C_K$ )은 『국민계정』의 GDP에서 간접세를 제외한 순부가가치에서 피용자보수를 차감한 것이다. 그리고 자본투입량( $X_E$ )은 자본비용( $C_K$ )을 아래에서 설명할 자본서비스가격( $P_K$ )으로 나누어 구하였다. 박승영(1997)은 자본서비스가격( $P_K$ )을 식 (13)에 의해 추정하고 있다.<sup>12)</sup>

$$P_{Kt} = q_t \cdot (r_t + \delta_t) \quad (13)$$

위 식에서  $q$ 는 자본재 가격,  $r$ 은 차입금이자율,  $\delta$ 는 감가상각률로서,  $q \cdot r$ 은 자본에 묶여져 있는 자금에 대한 기회비용을 의미하고  $q \cdot \delta$ 는 감가상각에 대한 보상을 의미한다. 자본재 가격은 『국민계정』에 나타난 총고정투자에 대한 경상가격 자료를 불변가격 자료로 나누어 구하였다. 감가상각률은 통계청이 발간한 『한국국부조사』에서 얻은 두 개의 벤치마크 자본스톡과 연도별 총투자액을 기초로 하여 추계하였다.

노동비용( $C_L$ )은 한국은행의 『국민계정』에서 제공하는 피고용자에 대한 임금액 및 사회보장비와 기타 보조금을 더한 피고용자 노동임금보상액이다. 노동투입량( $X_L$ )에 대한 자료는 근로자 수에 연간 일인당 근로시간을 곱하여 작성하였다. 노동가격( $P_L$ )은 근로자의 총임금보상액을 근로자의 노동시간으로 나눈 근로시간당 임금을 이용하였다.

원재료비용( $C_M$ )은 『국민계정』의 중간투입액에서 앞서 산출한 에너지비용( $C_E$ )을 차감한 것으로 하였다. 원재료투입량( $X_M$ )은 실질중간투입액에서 실질에너지투입액을 차감한 자료를 이용하였다. 실질중간투입액은 『국민계정』에 나타나있지 않으므로 경상중간투입액을 중간투입가격지수로 나누어 구하였으며, 실질에너지투입액은 연료비용과 전력비용을 각각의 가격지수로 나눈 후 합산하여 구하였다. 원재료가격( $P_M$ )이 되는 중간투입가격지수는 원재료의 생산자가격지수와 중간재의 생산자가격지수를 가중평균한 것으로 정의하였다. 생산자가격지수의 자료출처는 통계청의 『물가통계요람』과 한국은행의 『경제통계연보』이다.

산출량( $Q$ )은 Norsworthy & Harper(1981)의 방법을 따라 총비용을 가격지수로

12) 이는 Kohli(1991)가 제시한 자본의 사용자비용 추계방법과 동일하다.

나는 실질총산출액을 사용하였는데, 이는 실질부가가치와 실질중간투입상품 및 중간투입물의 합으로 정의된다. 총비용(C)은 위에서 구한 생산요소들의 비용을 합산하여 사용하였고, 각 생산요소들의 비용점유율( $S_i$ ;  $i=E, K, L, M$ )은 총비용에서 각 생산요소의 비용이 차지하는 비중이다. 그리고 기술변수(T)는 시간변수로 대신하였다. 모형의 추정에 사용된 모든 변수들의 변량은 1990년을 1로 하여 지수화하였다.

### 3. 模型의 檢定 및 파라미터 推定

초월대수함수는 함수의 형태에 사전적인 제약을 가하지 않으므로 비용함수의 가격에 대한 단조성(monotonicity)과 오목성(concavity)을 실제자료를 가지고 검정할 수 있으며, 대칭성조건(symmetry condition)에 대한 타당성도 검정할 수 있다.<sup>13)</sup>

비용함수의 가격에 대한 단조성은 가격이 상승하면 비용이 감소할 수 없다는 것으로  $\partial C / \partial P_i > 0$ 의 조건이 모든 자료시점(data point)에서 성립하는가를 살펴보면 된다. 그런데 식 (2)에서와 같이 비용점유율  $S_i = (\partial C / \partial P_i) \cdot (P_i / C)$ 이고  $P_i$ 와  $C$ 가 항상 플러스(+)의 값을 가지므로 추정비용점유율(fitted cost share)이 플러스(+) 값을 가지고 0과 1 사이에 있으면 단조성은 확인된다. 추정된 비용점유율은 전체 제조업과 섬유유류업, 석유화학업 각각의 92개의 자료시점에서 모두 플러스(+)의 값을 가지고 있어서 단조성이 모두 만족되고 있음을 확인하였다.

비용함수의 요소가격에 대한 오목성은 생산측면에서 보면 한계기술대체율(marginal rate of technical substitution)의 체감을 의미한다. 초월대수비용함수에서 이 조건이 만족되려면 비용함수의 요소가격에 대한 2차 편미분치로 구성된 헤시안행렬(Hessian matrix)이 각 관찰치에 대하여 부의 정형행렬(negative definite matrix)이면 된다. 즉 순차적 주소행렬식(principle minor) 부호가  $(-1)^k$ ,  $k=1, \dots, n$ 의 형태로 순서가 바뀌면 된다. 그러나 이러한 엄격한 검정을 대신하여 자기가격탄력성이 플러스(+)의 값을 나타내는가를 봄으로써 검증할 수 있다.<sup>14)</sup> 다시 말하면, 자기가격탄력성이 모든 자료시점에서 마이너스(-)의 부호를 가지면 이 조건은 만족된

13) 비용함수의 단조성과 오목성은 생산기술구조와는 무관한 것이며, 단순히 생산자의 비용최소화 행동에 대한 가정임에 유의할 필요가 있다.

14) Hunt(1984), p. 785

〈표 2〉 대칭성조건(symmetry condition) 검정

검정내용	검정통계량	전체제조업	섬유의류업	석유화학업
귀무가설	$\chi^2(3)$ 통계량	17.015	4.098	12.860
$\beta_{ij} = \beta_{ji}$	검정결과	기각	채택	기각

주: 1) 섬유의류업; 섬유·의류·가죽업, 석유화학업; 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업

2) 검정의 유의수준( $\alpha$ )은 0.01( $\chi^2(3)$ 의 임계치 11.3449)

〈표 3〉 기술변화의 Hicks중립성(Hicks neutrality) 가설 검정

검정내용	검정통계량	전체제조업	섬유의류업	석유화학업
귀무가설	$\chi^2(3)$ 통계량	1.016	63.445	2.027
$\beta_{\pi}=0$	검정결과	채택	기각	채택

주: 1) 섬유의류업; 섬유·의류·가죽업, 석유화학업; 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업

2) 검정의 유의수준( $\alpha$ )은 0.01( $\chi^2(3)$ 의 임계치 11.3449)

다. 오목성 검정결과, 각 92개의 자료시점 중 오목성을 훼손하고 있는 자료시점은 전체 제조업 6개, 섬유의류업 5개였다. 석유화학업은 92개 자료시점 모두가 마이너스(-) 부호를 보여 기대했던 부호와 일치하였다.

다음으로 비용함수에 부과된 대칭성조건이 타당한가를 분석하기 위해서,  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ 라는 귀무가설(null hypothesis)을  $\chi^2$ 통계량을 이용하여 검정하였다(〈표 2〉 참조). 대칭성조건은 전체 제조업과 섬유의류업의 경우 유의수준(significance level) 1%에서 대칭성조건은 기각된다.

이상의 검정을 통하여 오목성조건을 만족시키지 못하는 관찰치가 일부 존재하고 대칭성조건이 기각되는 경우를 발견하였다. 그러나 현실자료를 사용하는 실증분석에서, 생산자들의 비용최소화 행동에 입각한 비용함수의 이상적인 조건이 완전하게 만족되기를 기대하기는 곤란하므로, 여기에서는 이를 크게 문제삼지 않기로 하였다.

이어서 합계조건과 대칭성조건 등 비용최소화 행태의 타당성을 전제로 중립적 기술변화(neutral technological change) 가설을 검정하였다. 제조업의 기술변화 형태가 Hicks중립적( $\beta_{\pi} = 0$ )이라는 귀무가설에 대한  $\chi^2$ 통계량은 전체 제조업 1.0, 섬유의류업 63.4, 석유화학업 2.0으로 나타났다(〈표 3〉 참조).

이에 따라 전체 제조업과 석유화학업에서는 기술변화가 중립적이라는 귀무가설이 채택되었다. 반면에 섬유의류업에서는 기술변화가 중립적이라는 귀무가설이 매

우 높은 유의수준에서 기각되어 특정 생산요소에 편익된 기술변화가 이루어졌음을 보여주고 있다. 이러한 검정결과에도 불구하고 제조업 업종간의 생산구조와 에너지 수요 특성의 비교를 용이하게 하기 위하여 비중립적 기술변화 모형을 전체 제조업과 섬유류업, 석유화학업 등 3개의 분석대상에 공히 적용하였다. <표 4>는 식 (12)의 연립방정식체계로 구성된 총비용함수와 비용점유율방정식을 결합하여 추정된 파라미터들의 값이다.

〈표 4〉 초월대수비용함수의 파라미터 추정결과

파라미터	전체제조업		섬유류업		석유화학업	
	추정치	표준오차	추정치	표준오차	추정치	표준오차
$\alpha$	12.01262	0.03039	10.04050	0.04468	10.30363	0.03984
$\alpha_E$	0.02245	0.00140	0.02261	0.00123	0.02784	0.00123
$\alpha_K$	0.11773	0.00280	0.10226	0.00306	0.13918	0.00883
$\alpha_L$	0.12336	0.00181	0.13826	0.00283	0.09048	0.00390
$\alpha_M$	0.73646	-	0.73687	-	0.74250	-
$\alpha_T$	0.08985	0.00657	0.03596	0.01057	0.08633	0.00887
$\beta_{EE}$	0.02323	0.00443	0.02329	0.00297	0.00438	0.00251
$\beta_{KK}$	-0.02545	0.00923	-0.02399	0.00904	-0.02604	0.03617
$\beta_{LL}$	0.02005	0.01430	-0.01513	0.00757	0.02350	0.00983
$\beta_{MM}$	0.02491	-	0.04073	-	-0.01170	-
$\beta_{EK}$	0.00557	0.00383	0.00692	0.00262	0.00722	0.00612
$\beta_{EL}$	-0.01012	0.00735	-0.01452	0.00292	-0.00867	0.00349
$\beta_{EM}$	-0.01868	-	-0.01569	-	-0.00293	-
$\beta_{KL}$	0.00809	0.00551	0.03588	0.00625	-0.00532	0.01404
$\beta_{KM}$	0.01179	-	-0.01881	-	0.02414	-
$\beta_{LM}$	-0.01802	-	-0.00623	-	-0.00951	-
$\beta_{ET}$	0.00014	0.00059	0.00043	0.00019	0.00024	0.00039
$\beta_{KT}$	0.00032	0.00054	-0.00384	0.00048	0.00054	0.00151
$\beta_{LT}$	0.00017	0.00114	0.00130	0.00047	-0.00078	0.00099
$\beta_{MT}$	-0.00063	-	0.00211	-	0.00000	-
$\beta_{TT}$	-0.00085	0.00041	-0.00232	0.00068	-0.00230	0.00055

주: 섬유류업; 섬유·의류·가죽업, 석유화학업; 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업

## IV. 實證分析 結果

## 1. 에너지 - 非에너지要素間 代替性

초월대수비용함수에서 추정된 파라미터와 비용점유율의 평균치에서 계측한 알렌 편대체탄력성 (Allen partial elasticity of substitution;  $\sigma_{ij}$ ) 이 <표 5>에 제시되었다.

&lt;표 5&gt; 알렌편대체탄력성과 가격탄력성

구 분	전체제조업	섬유의류업	석유화학업
$\sigma_{EK}$	2.6301	3.1639	2.6459
$\sigma_{EL}$	-2.4121	-3.2796	-2.3537
$\sigma_{EM}$	0.1407	0.2336	0.8797
$\sigma_{KL}$	1.6829	3.5763	0.4945
$\sigma_{KM}$	1.1342	0.7687	1.2378
$\sigma_{LM}$	0.7618	0.9306	0.8387
$\eta_{EE}$	-0.1697	-0.1378	-0.8315
$\eta_{KK}$	-1.0995	-1.1011	-1.0578
$\eta_{LL}$	-0.6982	-0.9986	-0.6199
$\eta_{MM}$	-0.2180	-0.2141	-0.2634
$\eta_{EK}$	0.3094	0.3614	0.3577
$\eta_{EL}$	-0.2454	-0.3936	-0.1880
$\eta_{EM}$	0.1057	0.1699	0.6618
$\eta_{KE}$	0.0783	0.0934	0.0867
$\eta_{KL}$	0.1720	0.4466	0.0400
$\eta_{KM}$	0.8491	0.5611	0.9311
$\eta_{LE}$	-0.0696	-0.0869	-0.0778
$\eta_{LK}$	0.1978	0.4061	0.0670
$\eta_{LM}$	0.5700	0.6794	0.6370
$\eta_{ME}$	0.0058	0.0097	0.0293
$\eta_{MK}$	0.1333	0.0885	0.1673
$\eta_{ML}$	0.0789	0.1160	0.0668

주: 1) 섬유의류업; 섬유·의류·가죽업, 석유화학업; 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업

2) E:에너지, K:자본, L:노동, M:원재료

3)  $\eta_{ij} = \partial \ln X_i / \partial \ln P_j$

전체 제조업을 대상으로 계측한 에너지와 비에너지요소 간의 알렌편대체탄력성을 살펴보면, 에너지와 자본, 에너지와 원재료간의 대체탄력성은 플러스(+)의 값을 가짐으로써 대체관계에 있음을 보여주고 있으나, 에너지와 노동간의 대체탄력성은 마이너스(-)의 값을 가져 보완관계에 있음을 보여주고 있다. 그 외에 자본과 노동, 자본과 원재료, 노동과 원재료는 모두 대체관계에 있는 것으로 나타났다. 따라서 에너지와 노동의 보완관계를 제외하면 생산요소 상호간에는 모두 대체성이 입증되었다. 이러한 생산요소간의 관계는 전체 제조업은 물론 섬유 의류업과 석유화학업에서도 대체탄력성 계측치의 부호가 일치하고 있어, 생산요소간 대체·보완성은 업종의 차이에도 불구하고 매우 안정적임을 알 수 있다.<sup>15)</sup>

에너지와 노동을 제외한 여타 요소간 대체성의 정도는 대체탄력성 계측치의 크기를 통해 알 수 있다. 전반적으로 한국제조업의 생산요소간 대체성은 에너지와 자본의 대체성이 상대적으로 높고 원재료와 여타 요소의 대체성이 상대적으로 낮다고 할 수 있다.

비용점유율의 평균치에서 계측된 요소수요의 자기 및 교차가격탄력성(own and cross price elasticity of factor demand ;  $\eta_{ij}$ )은 다음과 같다. 전체 제조업의 경우, 에너지수요의 자기가격탄력성은 -0.17로 매우 비탄력적이며 여타 생산요소와 비교해 보아도 가장 낮은 수준에 있다. 반면 자본의 자기가격탄력성은 거의 단위탄력성에 근접하여 여타 생산요소에 비해 상대적으로 높은 탄력성을 보이고 있다. 노동과 원재료의 자기가격탄력성은 각각 -0.70, -0.22이다. 이에 따라 한국 제조업에서 요소수요의 가격에 대한 반응도는 자본과 노동이 상대적으로 높고 에너지와 원재료가 상대적으로 낮다는 사실을 알 수 있다.

에너지수요의 자기가격탄력성은 업종별로 상당한 차이를 보여, 섬유 의류업이 -0.14인 데 비해 석유화학업은 -0.83으로 석유화학업의 가격반응도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 자본의 자기가격탄력성은 두 업종 모두 전체 제조업과 비슷한 수준인 단위탄력성에 근접해 있으며, 원재료의 자기가격탄력성도 섬유 의류업 -0.21과 석유화학업 -0.26으로 전체 제조업과 비슷한 수준이다. 노동의 자기가격탄력성은 노동집약적인 섬유 의류업이 석유화학업에 비해 상대적으로 높게 나타나고

15) 1970년대 중반, Berndt & Wood(1975)와 Griffin & Gregory(1976)에 의해 '에너지 - 자본 간 대체·보완성 논쟁'이 촉발되어 이와 관련한 많은 연구가 진행되었다. 논쟁의 개요에 관해서는 신의순(1983)을 참고.

〈표 6〉 기술변화에 따른 요소수요의 편의( $B_i$ )

구 분	에너지	자 본	노 동	원재료
전체제조업	0.00453	0.00273	0.00175	-0.00085
섬유의류업	0.01378	-0.03360	0.01044	0.00289
석유화학업	0.00723	0.00400	-0.00981	0.00000

주: 1) 섬유의류업; 섬유·의류·가죽업, 석유화학업; 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업

$$2) B_i = \partial \ln S_i / \partial T = \beta_{\pi} / S_i$$

있다.

에너지수요의 교차가격탄력성, 즉 여타 요소의 가격변화율에 대한 에너지수요의 변화율은 전체 제조업의 경우 자본에 대해 0.31, 노동에 대해 -0.25, 원재료에 대해 0.11로 나타났다. 이미 대체탄력성 계측치를 통해 확인한 것처럼, 에너지는 자본과 원재료에 대해서는 대체관계에 있으나 노동에 대해서는 보완관계에 있으므로, 에너지수요는 자본 및 원재료의 가격이 상승할 때는 증가하지만 노동가격이 상승할 때는 감소한다.

## 2. 技術變化의 偏倚와 에너지需要

기술변화(technological change)에 의해 야기되는 요소수요의 편의(bias)를 측정 한 값이 〈표 6〉에 제시되었다. 전체 제조업에 대한 초월대수비용함수의 파라미터 추정치인  $\beta_{\pi}$  ( $i = E, K, L, M$ )가 부호에 관계없이 0에 근접하여, 기술변화가 특정 생산요소에 크게 편의를 보이지 않는 비교적 중립적인 기술변화의 형태로 나타나고 있다. 다만 부호를 통해 살펴본 기술변화의 편의는 에너지·자본·노동 사용적이고 원재료 절약적인 형태라고 할 수 있다.

하위 산업수준인 제조업 업종별로 보았을 때, 기술변화의 편의는 전체 제조업과는 서로 다른 양상을 보이고 있다. 섬유의류업의 경우, 기술변화의 편의는 에너지·노동·원재료 사용적이고 자본 절약적인 형태를 취하고 있다. 이와 비교해 석유화학업의 경우, 기술변화의 편의가 섬유의류업에 비해 심하지는 않지만 에너지·자본 사용적이고 노동 절약적이며, 원재료 중립적인 형태를 취하고 있다.

전반적으로 한국 제조업의 기술변화는 어느 특정 요소에 심하게 편의된 형태를 취하지는 않고 있으나, 전체 제조업을 물론 섬유의류업과 석유화학업 모두에서 에

너지 사용적(energy using)인 기술변화가 진행되고 있음을 발견하였다. 그러므로 모든 요소가격이 일정하다면 기술변화는 에너지의 비용점유율을 증가시키는 형태로 발생하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 에너지需要의 變化要因 分解

전체 제조업과 섬유의류업, 석유화학업에서 에너지를 비롯한 여타 요소수요 변화 요인을 규모효과, 대체효과, 기술변화효과로 분해한 결과가 <표 7>과 <표 8>, <표 9>에 각각 제시되어 있다.

전체 제조업의 에너지수요는 1971~93년 기간 중 연평균 11.0% 증가하였다. 산출수준의 증가에 따른 규모효과가 요소간 상대가격 변화에 따른 총대체효과와 기술변화효과에 의해 각각 1.4%와 1.5% 억제되고 있다(<표 7> 참조). 에너지의 총대체효과는 마이너스 부호를 보여 에너지수요를 감소시키는 요인으로 작용했으나, 여타 요소와 비교할 때 총대체효과가 플러스로 나타난 원재료를 제외하면 자본의 총대체효과와 노동의 총대체효과에 비해서는 낮은 수준이다. 이는 에너지에 비해 자본과 노동이 가격상승률이 높았고 수요의 가격탄력성도 상대적으로 크기 때문이다. 전체 제조업에서 에너지수요의 기술변화효과는 기술변화가 어느 특정 요소에 심하게 편익된 형태를 취하지 않으므로 여타 비에너지요소와 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 기술변화효과에 의한 요소수요 감소율은 원재료, 노동, 자본에 이어 에너지가 가장 낮은 수준에 머물고 있다.

섬유의류업의 에너지투입은 연평균 9.0% 증가하였다. 산출수준의 증가에 따른 규모효과(8.0%)가 총대체효과(-1.0%)에 의해 억제되고 있으나, 기술변화효과(0.6%)는 에너지사용적인 기술변화의 편익에 의해 에너지수요를 오히려 증가시키는 요인으로 작용하였다(<표 8> 참조). 이는 섬유의류업에서 요소간 상대가격 변화가 없다면 시간의 흐름에 따라 에너지집약도는 상승한다는 의미를 내포하고 있다. 섬유의류업에서 총대체효과는 노동수요를 크게 감소시키고 있으며, 기술변화효과는 자본수요를 크게 감소시키고 있다.

석유화학업에서 에너지수요의 변화요인을 분해분석한 결과는 섬유의류업의 그것과는 많은 차이를 보이고 있다. 석유화학업의 에너지수요 증가율은 연평균 10.2%이다. 이를 요인별로 분해하면 규모효과가 14.7%, 총대체효과가 -4.8%, 기술변

화효과가 -0.2%이다(〈표 9〉 참조). 산출효과에 따른 에너지수요의 증가요인이 총 대체효과에 의해 크게 완화시키고 있으나 기술변화효과는 에너지수요의 변화에 큰 영향을 미치지 못하였다. 석유화학업에서 총대체효과가 에너지수요의 감소에 크게 기여한 것은 에너지가격 상승률이 섬유의류업과 비슷한 수준임에도 불구하고 에너지수요의 가격탄력성이 섬유의류업에 비해 탄력적이기 때문이다.

〈표 7〉 요소수요 변화요인의 분해분석(전체 제조업)

(단위: 연평균 %)

구 분		에너지	자 본	노 동	원재료
수요증가율		11.01	8.81	5.63	11.95
규모효과		12.16	12.16	12.16	12.16
대 체 효 과	에너지	-1.89	0.87	-0.78	0.07
	자본	3.98	-14.14	2.54	1.71
	노동	-4.44	3.11	-12.63	1.43
	원재료	0.97	7.76	5.21	-1.99
	총대체효과	-1.38	-2.40	-5.65	1.21
기술변화효과		-1.48	-1.68	-1.78	-2.04
잔여		1.72	0.73	0.89	0.61

주: 1) 1971~93년 기간평균

2) 잔여는 요소수요 증가율의 실적치와 추정치 차이

〈표 8〉 요소수요 변화요인의 분해(섬유의류업)

(단위: 연평균 %)

구 분		에너지	자 본	노 동	원재료
수요증가율		9.00	2.65	4.27	8.13
규모효과		7.96	7.96	7.96	7.96
대 체 효 과	에너지	-1.58	1.07	-0.99	0.11
	자본	4.64	-14.14	5.21	1.14
	노동	-5.63	6.39	-14.28	1.66
	원재료	1.55	5.12	6.20	-1.95
	총대체효과	-1.02	-1.56	-3.87	0.95
기술변화효과		0.63	-4.11	0.30	-0.47
잔여		1.41	0.36	-0.13	-0.32

주: 1) 섬유·의류·가죽업에 대한 1971~93년 기간평균

2) 잔여는 요소수요 증가율의 실적치와 추정치 차이

〈표 9〉 요소수요 변화요인의 분해(석유화학업)

(단위: 연평균 %)

구 분		에너지	자 본	노 동	원재료
수요증가율		10.18	14.86	4.22	14.81
규모효과		14.68	14.68	14.68	14.68
대 체 효 과	에너지	-9.79	1.02	-0.92	0.35
	자본	2.92	-8.63	0.55	1.37
	노동	-3.92	0.83	-12.93	1.39
	원재료	5.97	8.40	5.69	-2.38
	총대체효과	-4.82	-1.62	-7.61	0.73
기술변화효과		-0.23	-0.57	-1.95	-0.97
잔여		0.55	-0.87	0.90	0.38

주: 1) 화학·석유·석탄·고무·플라스틱업에 대한 1971~93년 기간평균

2) 잔여는 요소수요 증가율의 실적치와 추정치 차이

이상에서 논의한 에너지수요 변화요인의 분해분석 결과를 종합해 보면, 산출증가에서 비롯되는 에너지수요의 증가요인이 주로 비에너지요소에 의한 대체로 억제되며, 기술변화는 에너지수요의 변화에 큰 영향을 미치지 못하였다는 것이다. 그리고 그 대체효과는 상대적으로 에너지를 많이 사용하는 석유화학업이 섬유유류업에 비해 크게 나타났다. 결국, 한국 제조업에서 에너지집약도가 감소된 것은<sup>16)</sup> 기술진보에 의한 에너지 이용효율의 향상보다는 에너지와 비에너지요소 간의 상대가격 변화에 의한 생산요소간 대체가 더 큰 요인으로 작용하였다. 이를 통해 에너지집약도는 유용하고 간편한 통계치이지만, 그 자체로서는 요소가격이 에너지수요에 영향을 미친 정도에 관해서 아무런 정보도 제공할 수 없다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 에너지집약도, 즉 산출수준에 대한 에너지소비의 비율이 결정되고 변화되는 환경을 파악하기 위해서는 산업의 생산구조 특성을 반영할 수 있는 보다 복잡한 경제모형이 요구되는 것이다.

16) 분석대상 기간 중 연평균 에너지수요 증가율에서 연평균 산출 증가율을 차감한 연평균 에너지 집약도 감소율은 전체 제조업 1.2%, 섬유유류업 1.0%, 석유화학업 3.9%이다.

## VI. 結 論

본 논문은 한국 제조업의 생산구조를 실증적으로 분석함으로써 산업용 에너지 수요의 변화를 가져오는 요인을 규명하고자 하였다. 본 논문의 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 에너지와 비에너지요소 간의 알렌편대체탄력성을 계측한 결과, 에너지 - 자본, 에너지 - 원재료는 대체관계로 나타났으며 에너지 - 노동은 보완관계로 나타났다. 그러므로 에너지와 노동의 보완관계를 제외하면 생산요소 상호간에는 모두 대체성이 입증되었다. 에너지수요의 자기가격탄력성은 전체 제조업의 경우  $-0.17$ 로 매우 비탄력적이며 여타 생산요소와 비교해 보아도 가장 낮은 수준에 있다. 에너지수요의 자기가격탄력성은 업종간 차이가 심하여, 섬유류업이  $-0.14$ 인 데 비해 석유화학업은  $-0.83$ 이다. 전반적으로 한국 제조업에서 요소수요의 가격에 대한 반응도는 자본과 노동이 상대적으로 높고 에너지와 원재료가 상대적으로 낮게 나타났다. 기술변화는 어느 특정 요소에 심하게 편의된 유형을 취하지는 않고 있으나 여타 요소에 비해 상대적으로 에너지 사용적인 기술변화가 진행되고 있음을 발견하였다. 에너지수요 변화요인을 규모효과, 대체효과, 기술변화효과로 분해분석한 결과는, 산출규모의 증가에서 비롯되는 에너지수요의 증가요인이 주로 비에너지 요소에 의한 대체로 억제되며, 기술변화는 에너지수요 변화에 큰 영향을 미치지 못하고 있었다.

이와 같은 주요 분석결과를 토대로 다음과 같은 정책적 시사점을 제시할 수 있다. 첫째, 한국 제조업의 요소투입구조 특성상 에너지와 자본간에 대체관계가 존재하는 것으로 나타났으므로, 에너지가격 인상을 통한 에너지소비절약의 유도라는 정책목표가 자본축적을 통한 산업의 생산능력 확충이라는 정책목표와 상충되는 것은 아니다. 즉, 에너지가격의 상승은 전반적인 산출수준을 억제하게 되고 이에 따라 모든 생산요소의 수요를 감소시키겠지만, 에너지와 자본간의 대체효과로 자본축적을 억제하는 효과가 부분적으로 상쇄될 수 있다는 것이다. 반면에 에너지와 노동은 상호 보완관계에 있는 것으로 나타났으며, 이는 에너지가격 상승기에 노동력을 흡수할 수 있는 산업의 능력이 감소함을 의미한다. 따라서 정책당국은 에너지가격 상승기에 노동수요의 감소로 인해 가중되는 산출수준의 저하를 방지하기 위해 고용문제에 주의를 기울여야 함을 시사한다.

둘째, 한국 제조업에서 에너지수요의 가격탄력성이 전반적으로 비탄력적이라는

것은 에너지가격의 변화에 대응한 신축적인 에너지투입량의 조절이 곤란하여 급격한 가격상승의 충격을 흡수할 수 있는 산업의 능력이 작다는 것을 의미한다. 종래 우리나라 에너지정책은 공급안정성을 정책의 최우선 목표로 삼고 각종 정책수단을 강구하여 왔다. 향후에도 에너지를 적정가격에 안정적으로 공급하는 것은 에너지정책의 기저가 되어야 할 것이다.

셋째, 한국 제조업은 상대적으로 에너지 사용적인 기술변화의 유형을 취하고 있어서, 기술진보에 따른 에너지투입의 감소율이 여타 생산요소의 투입감소율에 비해 낮게 나타나고 있다. 이처럼 기술진보에 의한 에너지수요의 감소효과가 크지 않으므로, 에너지절약을 촉진하기 위해서는 가격을 정책수단으로 활용할 필요가 있다. 다만, 에너지수요의 가격반응도가 낮고 에너지와 노동이 보완관계에 있어, 에너지절약을 가격정책에만 의존하는 것은 한계가 있으므로 가격정책과 더불어 에너지이용 기기의 효율향상을 위한 기술개발 등 비가격정책을 병행하여야 할 것이다.

## ■ 참고 문헌

1. 광승영, 「한국 제조업부문 생산성의 성장기여도 및 결정요인 분석」, 산업연구원 연구총서 제 11호, 1997.
2. 남성일, “한국 제조업의 대체탄력성과 노동수요탄력성: Translog함수에 의한 추정,” 『경제학연구』, 제38집 제2호, 1990, pp. 359~384.
3. 서광조, 「우리나라 에너지수급의 국제비교분석」, 한국산업경제기술연구원 연구총서 2, 1982.
4. 신의순, “한국 제조업의 에너지, 자본, 노동요소간 대체성에 관한 연구,” 『연세논총』, 제20집, 1983, pp. 129~147.
5. 최정표, “한국과 대만의 제조업부문 생산구조 비교: 요소의 생산성, 수요탄력성 및 요소간의 대체성을 중심으로,” 『한국경제연구』, 창간호, 1987, pp. 73~92.
6. 한광호·김상호, “한국 제조업의 생산요소 수요구조: 생산기술, 요소의 수요탄력성 및 대체탄력성 추정,” 『경제학연구』, 제44집 제3호, 한국경제학회, 1996, pp. 137~161.
7. 한국동력자원연구소, 「에너지수급계획에 관한 연구」, 연구보고서 KE-82P-40, 1982.
8. Adenikinju, A. F., “Productivity Growth and Energy Consumption in the Nigerian Manufacturing Sector: A Pannel Data Analysis,” *Energy Policy*, Vol. 26, No. 3, 1998, pp. 199~205.
9. Berndt, E. R. and D. O. Wood, “Technology, Prices, and the Derived Demand for

- Energy," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, No. 3, 1975, pp. 259~268.
10. Binswanger, H., "A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 56, No. 2, 1974, pp. 377~386.
11. Caloghirou, Y. D., Alex G. M. and H. Thompson, "Industrial Energy Substitution during the 1980s in the Greek Economy," *Energy Economics*, Vol. 19, No. 4, 1997, pp. 1483~1492.
12. Casler, S. D., "Applied Production Theory: Explicit, Flexible, and General Functional Form," *Applied Economics*, Vol. 29, No. 11, 1997, pp. 476~491.
13. Christensen, L. R., D. W. Jorgenson and L. J. Lau, "Transcendental Logarithmic Production Frontiers," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, No. 1, 1973, pp. 28~45.
14. Dahl, C. and M. Erdogan, "Energy and Interfactor Substitution in Turkey," *OPEC Review*, Vol. 24, No. 1, 2000, pp. 1~22.
15. Griffin, J. M and P. R. Gregory, "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses," *American Economic Review*, Vol. 66, No. 5, 1976, pp. 845~857.
16. Hunt, L. C., "Energy and Capital: Substitutes or Complements? Some Results for the UK Industrial Sector," *Applied Economics*, Vol. 16, No. 5, 1984, pp. 783~789.
17. Hurten, C. R., "Divisia Index Numbers," *Econometrica*, Vol. 41, No. 6, 1973, pp. 1017~1025.
18. Kako, T., "Decomposition Analysis of Derived Demand for Factor Inputs: The Rice Production in Japan," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 60, No. 4, 1978, pp. 628~635.
19. Kohli, U., *Technology, Duality and Foreign Trade: The GNP Function Approach to Modeling Imports and Exports*, The University of Michigan Press, 1991.
20. Kuroda, Y., "The Production Structure and Demand for Labor in Postwar Japanese Agriculture, 1952~1982," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 69, No. 2, 1987, pp. 328~337.
21. Morrison, C., "Energy and Capital: Further Exploration of E-K Interactions and Economic Performance," *Energy Journal*, Vol. 14, No. 1, 1993, pp. 217~243.
22. Nguyen, H. V., "Energy Elasticities under Divisia and Btu Aggregation," *Energy Economics*, Vol. 9, No. 4, 1987, pp. 210~214.
23. Northworthy, J. R. and M. J. Harper, "Dynamic Models of Energy Substitution in U.S. Manufacturing," *Modelling and Measuring Natural Resource Substitution*, (E.) R. Berndt and (B.) C. Field eds., MIT Press, 1981, pp. 177~208.
24. Shepard, R. A., *Cost and Production Function*, Princeton Univ. Press, 1953.
25. Terrel, D., "Incorporating Monotonicity and Concavity Conditions in Flexible Functional Forms," *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 11, No. 2, 1996, pp. 179~

194.

26. Uzawa, H., "Duality Principals in the Theory of Cost and Production," *International Economic Review*, Vol. 5, 1964, pp. 291~299.
27. Watkins, G. C. and E. R. Berndt, "Energy-Output Coefficient: Complex Realities Behind Simple Ratio," *Energy Journal*, Vol. 4, No. 2, 1983, pp. 105~120.
28. Zellner, A., "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression and Tests for Aggregation Bias," *Journal of American Statistics Association*, Vol. 57, 1962, pp. 348~368.