

정규성 개선에 중점을 둔 제조업 에너지 수요구조 모형 연구: 오목성 조건을 만족하는 Translog 비용함수 모형*

김지효** · 허은녕***

〈차 례〉

I. 서 론	IV. 실증분석 결과
II. 연구방법론	V. 결 론
III. 분석자료	

I. 서 론

본 연구는 1970년~2005년의 기간 동안 한국 제조업 부문의 에너지 수요 변화 요인을 알아보고자 Translog 비용함수를 분석하였다. Translog 비용함수 분석은 제조업의 생산요소간 대체관계를 분석하여 각 생산요소가 에너지 소비량

* 본 논문은 지식경제부가 주최하는 「에너지주간 2009」 기념 에너지논문대상을 수상한 김지효의 논문을 바탕으로 하였음을 밝혀둔다.

** 서울대학교 에너지시스템공학부 박사과정(제1저자).

*** 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수(교신저자).

변화에 어떻게 기여하고 있는지 알아볼 수 있는 방법론이다.

Translog 비용함수를 사용하여 우리나라 제조업의 에너지 수요구조를 분석한 선행연구로는 신의순(1983), 최정표(1987), Kim and Labys(1988), Yuhn(1991), 이달석(1999, 2001), Cho *et al.*(2004), 김지효 · 허은녕(2009) 등을 들 수 있다. 이 중 신의순(1983), 최정표(1987), Kim and Labys(1988), Yuhn(1991), Cho *et al.*(2004)의 연구에서는 비용함수의 정규성 조건을 검정하지 않고 Translog 함수를 추정하여, 그 결과가 비용최소화 생산기술의 대표성을 보장할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 이달석(2001), 김지효 · 허은녕(2009)의 경우 비용함수의 정규성을 검정하였으나, 일부 자료 구간에서 요소가격에 대한 오목성(concavity)을 만족시키지 못하는 한계를 노정하였다. 한편, 에너지 요소를 연료와 전력으로 나누어 추정한 Ilmaknuunas and Torma(1989)와 Sterner(1989)의 연구에서 볼 수 있듯이 생산요소-에너지 간 대체관계는 에너지원의 성질에 따라 달라질 수 있는데 상기의 연구들은 모두 에너지를 분리하지 않고 비용함수를 추정한 결과, 에너지와 타 요소 간의 대체관계에 대한 단편적 설명을 제공하는 데에만 국한되고 있다.

이에 본 연구에서는 한국 제조업의 Translog 비용함수를 추정함에 있어, 아무런 제약을 가하지 않은 모형과 사전적으로 오목성의 제약을 부과한 모형을 추정하여 그 결과를 비교하였다. 생산요소는 자본(K), 노동(L), 재료(M), 연료(F), 전력(E)의 다섯 요소로 가정하였다. 또한 에너지 가격의 상승과 하락, IMF 경제위기 상황을 모두 반영하기 위하여 1970년~2005년까지의 시계열자료를 구성하였다. 이를 통해 다음의 질문에 대해 부분적으로나마 해답을 구하려고 하였다.

첫째, Translog 함수의 분석에 있어 정규성 조건의 만족 여부가 분석 결과에 유의미한 차이를 가져오는가? 본 연구에서는 대표적으로 위반되는 정규성 중 하나인 요소가격에 대한 오목성을 사전적으로 부과한 모형과 그렇지 않은 모형을 추정하였다. 이 때 오목성의 부과 여부가 정규성 만족도의 개선에 영향을 미치는지, 그리고 추정된 결과가 경제학적으로 의미가 있는지의 여부에 따라 적합한 모형을 선정하였다.

둘째, 한국 제조업 부문 생산요소간 대체가 어떻게 이루어지고 있는가? 특히 에너지를 연료와 전력으로 나누어 연료-타 생산요소 및 전력-타 생산요소의 대체관계가 어떻게 달라지는지 분석하였다.

논문의 순서는 다음과 같다. 제II장에서는 본 연구에서 사용한 Translog 함수 및 사전적으로 오목성을 부과하는 방법론에 대하여 설명하였다. 그리고 두 함수의 계수를 추정하기 위한 방정식 및 각각의 함수 추정 결과를 적용하였을 때의 자기 및 교차 가격탄력성을 도출하였다. 제III장에서는 본 연구에서 사용된 자료의 출처와 구성에 대해 설명하였다. 제IV장에서는 Translog 함수의 제약을 가하지 않은 모형과 사전적으로 오목성의 제약을 가한 모형 중 한국 제조업의 에너지 수요구조 분석에 적합한 함수를 선정하였다. 그리고 함수 추정 결과를 토대로 계측된 자기 및 교차 가격탄력성을 제시하여 선행연구 결과와 비교하였다. 제V장에서는 연구의 결과와 의의를 정리하고 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 연구방법론

생산기술에 관한 정보는 비용함수의 분석으로부터 도출할 수 있다(Fuss and McFadden, 1978). 이윤극대화를 목적으로 하는 기업은 생산해야 할 산출량이 주어진 경우, 이의 생산을 위해 비용을 최소화하도록 생산요소를 결합할 것이다. 따라서 이윤극대화(비용최소화) 기업의 비용함수는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다. 여기에서 X 는 요소투입벡터 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, W 는 요소가격벡터 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 그리고 Y 는 산출량을 각각 의미한다.

$$C(W, Y) = \text{Min}\{W \cdot X \mid f(x) \geq Y\} \quad (1)$$

비용함수의 추정은 신축적 함수형태(flexible functional form)를 통해 가능하다. 본 연구에서는 여러 신축적 함수형태 중에서 가장 일반적이고 잘 알려져 있

는 함수인(Berndt and Khaled, 1979; Guilkey *et al.*, 1983; Diewert and Wales, 1987; Feng and Serletis, 2008) Translog 비용함수를 사용하여 한국 제조업의 생산기술을 분석하였다. 분석에 사용한 Translog 비용함수는 식 (2)와 같다.¹⁾ 이 때, 생산요소는 자본(K), 노동(L), 재료(M), 연료(F), 전력(E)을 가정하였다.

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln w_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j \quad (2)$$

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

비용최소화(이윤극대화) 비용함수가 잘 정의된(well-defined) 생산기술을 대표하기 위해서는 비용함수의 요소가격에 대한 1차동차성 조건과 Slutsky 대칭성²⁾ 조건을 만족해야 한다. 이에 본 연구에서는 식 (3)과 식 (4)의 가정을 식 (2)에 부과하여 요소가격에 대한 1차동차성 및 Slutsky 대칭성을 만족하는 비용함수를 설정하였다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad \sum_{j=1}^m \beta_{ij} = 0, \quad i, j = K, L, M, F, E \quad (3)$$

$$\beta_{ij} = \beta_{ji}, \quad i, j = K, L, M, F, E \quad (4)$$

식 (2)의 비용함수를 직접 추정할 수도 있지만 설명변수간 공선성 문제를 최소화하고 자유도 손실을 줄이기 위하여, 대부분의 연구에서는 비용함수에 Shephard's 정리를 적용한 비용점유율 방정식($S_i, i = K, L, M, F, E$)을 추정

1) 기술변화와 규모의 경제가 고려된 Translog 비용함수의 여러 형태를 추정한 결과 식 (2)의 형태가 가장 적절함을 확인하였다.

2) Hurwicz and Uzawa(1971)는 비용함수의 Hessian 행렬이 대칭관계에 있으면 요소수요방정식이 적분가능(integrable)하다고 하였다. 또한 Lopez(1980)는 비용함수가 대칭성 조건을 만족하지 않을 경우, 이는 주어진 투입요소의 조건 하에 집계비용함수(aggregate cost function)가 존재하지 않음을 의미한다고 하였다. 따라서 비용함수의 실증분석에 있어 대칭성 조건을 가정해야 한다.

한다(Feng and Serletis, 2008). 즉, 비용점유율 방정식 (5)를 통해 식 (2)의 Translog 비용함수의 계수를 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_K &= \alpha_K + \beta_{KK} \ln w_K + \beta_{KL} \ln w_L + \beta_{KM} \ln w_M + \beta_{KF} \ln w_F + \beta_{KE} \ln w_E \\
 S_L &= \alpha_L + \beta_{KL} \ln w_K + \beta_{LL} \ln w_L + \beta_{LM} \ln w_M + \beta_{LF} \ln w_F + \beta_{LE} \ln w_E \\
 S_M &= \alpha_M + \beta_{KM} \ln w_K + \beta_{LM} \ln w_L + \beta_{MM} \ln w_M + \beta_{MF} \ln w_F + \beta_{ME} \ln w_E \\
 S_F &= \alpha_F + \beta_{KF} \ln w_K + \beta_{LF} \ln w_L + \beta_{MF} \ln w_M + \beta_{FF} \ln w_F + \beta_{FE} \ln w_E \\
 S_E &= \alpha_E + \beta_{KE} \ln w_K + \beta_{LE} \ln w_L + \beta_{ME} \ln w_M + \beta_{FE} \ln w_F + \beta_{EE} \ln w_E
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

이 때 비용함수가 비용최소화(이윤극대화) 생산기술을 대표하는 쌍대성(duality) 조건을 만족하기 위해서는 다음의 세 가지 정규성(regularity conditions) 조건들을 만족해야 한다. 첫 번째 정규성은 양(+의 값을 갖는 성질(positivity)이며, 추정된 비용함수가 양(+의 값을 가지면 만족된다. 두 번째 정규성은 요소가격에 대한 단조증가성(monotonicity)이며, 추정된 비용점유율이 양(+의 값을 가지면 만족된다. 마지막으로 세 번째 정규성은 요소가격에 대한 오목성(concavity)이며, 추정된 비용함수의 요소가격에 대한 2차 편미분치로 구성된 Hessian 행렬이 음반정부호(negative semi definiteness)를 가지면 만족된다. 비용함수의 Hessian 행렬은 식 (6)과 같이 표현될 수 있으며, 음반정부호를 갖는 Hessian 행렬은 식 (7)의 조건을 만족한다.

$$\overline{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nn} \end{bmatrix}
 \tag{6}$$

$$|\overline{C}_1| = C_{11} \leq 0, \quad |\overline{C}_2| = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{vmatrix} \geq 0,$$

$$|\overline{C}_3| = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{vmatrix} \leq 0, \quad \dots
 \tag{7}$$

여러 종류의 신축적 함수형태를 비교하는 선행연구(Berndt and Khaled, 1979; Caves and Christensen, 1980; Barnett and Lee, 1985; Diewert and Wales, 1987; Feng and Serletis, 2008 등)에서는 함수간 비교의 척도로 비용 함수의 정규성을 만족하는 정도를 사용하고 있다. 이에 대해 Barnett(2002)는 상기의 세 가지 정규성 조건을 만족시키지 못할 경우, 추정된 비용함수가 생산 주체의 비용최소화 행동에서 비롯되었다고 볼 수 없으므로 생산기술에 대한 대표성이 확보되지 않는다고 논하였다. 일반적으로 Translog 비용함수는 양의 값을 갖는 성질과 단조증가성은 잘 만족하나 오목성은 잘 만족하지 못하는 것으로 알려져 있다. 이에 Translog 비용함수의 추정에 있어 오목성을 사전적으로 부과하는 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다(Diewert and Wales, 1987; Ryan and Wales, 1998, 2000). 이러한 선행연구들은 사전적으로 오목성을 부과하였을 때와 그렇지 않았을 때의 비용함수 추정 결과가 달라지며, 이에 따라 대체탄력성이나 가격탄력성 등의 해석 또한 달라질 수 있음을 공통적으로 지적하고 있다. 본 연구에서는 Ryan and Wales(2000)의 방법론을 따라 Translog 함수에 오목성을 사전적으로 부과하였다. 이는 Translog 함수의 유연성(flexibility)³⁾의 손실 없이 분석자료 내에 한하여 국지적으로 오목성을 부과하는 방법이다.⁴⁾

비용함수가 양(+)⁵⁾의 값을 갖는 한(양의 값을 갖는 성질을 만족하는 한), 식 (8)의 행렬 G 가 음반정부호를 가지면 Translog 비용함수의 Hessian 행렬도 음반정부호를 가진다. 이 때 α_j 는 참조시점(reference point)의 비용점유율(S_j)과 동일하다.

3) 여기에서 유연성(flexibility)이란 비용함수의 1계 미분치와 2계 미분치가 임의의 비용함수 형태가 되는 것을 의미한다(Diewert, 1971).

4) 국지적으로(locally) 오목성을 부과하면 분석자료 구간 내에서 오목성을 만족하게 되고, 전 영역에 대하여(globally) 오목성을 부과하면 분석자료 기간 이외의 모든 기간에 대해서도 오목성을 만족하게 된다(Diewert and Wales, 1987). 이 때, translog 함수에 전 영역에 대한 오목성을 부과하면 비용함수의 유연성을 손실하게 되므로, 이에 대한 대안으로 본 연구에서는 국지적으로 오목성을 부과하는 방법을 택하였다.

$$G = [g_{ij}] \quad s. t. \quad g_{ij} = \beta_{ij} - \alpha_i \delta_{ij} + \alpha_i \alpha_j \quad (8)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad i, j = K, L, M, F, E$$

행렬 G 가 음반정부호를 가지기 위해 행렬 G 를 식 (9)과 같이 출레스키 분해(Cholesky decomposition)한다.

$$G = -DD' \quad s. t. \quad D = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ d_{21} & d_{22} & 0 & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} & 0 \\ d_{51} & d_{52} & d_{53} & d_{54} & d_{55} \end{bmatrix} \quad (9)$$

이제 비용점유율 방정식 (5)의 β_{ij} 를 식 (8)과 식 (9)를 조합하여 정리한 식 (10)으로 치환하여 d_{ij} 를 추정할 후, 역으로 β_{ij} 를 계산하면 국지적으로 오목성을 부과한 Translog 비용함수의 계수를 구할 수 있다.⁵⁾ 이 때 추정해야 하는 계수의 수는 동일하므로 비용함수의 유연성은 손실되지 않는다.

$$\begin{aligned} \beta_{KK} &= -d_{11}^2 + \alpha_K - \alpha_K^2 & (10) \\ \beta_{KL} &= -d_{11} d_{21} - \alpha_K \alpha_L \\ \beta_{KM} &= -d_{11} d_{31} - \alpha_K \alpha_M \\ \beta_{KF} &= -d_{11} d_{41} - \alpha_K \alpha_F \\ \beta_{LL} &= -d_{21}^2 - d_{22}^2 + \alpha_L - \alpha_L^2 \\ \beta_{LM} &= -d_{21} d_{31} - d_{22} d_{32} - \alpha_L \alpha_M \\ \beta_{LF} &= -d_{21} d_{41} - d_{22} d_{42} - \alpha_L \alpha_F \\ \beta_{MM} &= -d_{31}^2 - d_{32}^2 - d_{33}^2 + \alpha_M - \alpha_M^2 \\ \beta_{MF} &= -d_{31} d_{41} - d_{32} d_{42} - d_{33} d_{43} - \alpha_M \alpha_F \\ \beta_{FF} &= -d_{41}^2 - d_{42}^2 - d_{43}^2 - d_{44}^2 + \alpha_F - \alpha_F^2 \end{aligned}$$

5) $\beta_{\bar{ij}}$, $i = 1, \dots, 5$ 는 요소가격에 대한 1차동차성 조건 (3)을 이용해 구할 수 있다.

비용점유율 방정식 (5)의 추정 결과를 이용하여 도출한 생산요소들의 가격탄력성(n_{ij})은 식 (11)과 같이 도출될 수 있다(Binswanger, 1974).

$$n_{ij} = \sigma_{ij}^A S_j = \frac{\beta_{ij}}{S_i} + S_j, \quad i \neq j \quad (11)$$

$$n_{ii} = \sigma_{ii}^A S_i = \frac{\beta_{ii}}{S_i} + S_i - 1$$

본 연구에서는 Translog 비용함수의 비용점유율 방정식을 추정하기 위해 Zellner(1962)에 의해 제안된 SUR(Seemingly unrelated regression model) 방법론을 사용하였다. 이 방법론은 외견과는 달리 실제로는 횡단면 단위간에 존재하는 오차항들의 상관관계를 고려하기 위해 창안된 방법이다(이종원, 2007). SUR 방법론은 Parks(1971), Berndt and Wood(1975), Nakamura(1990), 이달석(1999, 2001) 등의 연구에서 비용점유율 방정식과 요소투입 방정식을 추정하기 위해 널리 사용되고 있다. 추정에는 TSP 4.5 통계 패키지를 사용하였다.

Ⅲ. 분석자료

본 연구에서는 자본(K), 노동(L), 재료(M), 연료(F), 전력(E) 5가지 생산요소에 대한 한국 제조업 부문의 1970년~2005년까지의 36개년에 걸친 연간 시계열자료를 사용하여 Translog 비용함수 계수를 추정하였다. 본 연구에서 사용한 Translog 비용함수의 계수를 추정하기 위해서는 각 생산요소의 가격지수(w_i), 각 생산요소의 비용점유율(S_i)에 대한 자료가 필요하다. 자료 구성 방법은 Berndt and Wood(1975), 이달석(1999, 2001)을 참조하였으며, 김지효(2009)의 연구와 동일한 자료를 사용하되 에너지 부문을 연료와 전력으로 분리하였다.⁶⁾

6) 분석에 사용한 자료는 김지효(2009, pp. 107~110)에 수록되어 있음을 밝힌다.

자본 비용(C_K)은 국민계정 중 '경제활동별 국내 총부가가치와 요소소득'의 총부가가치에서 간접세와 피용자보수를 제한 자료를 사용하였다. 자본 가격(w_K)은 자본 비용(C_K)을 자본 투입량(x_K)으로 나눈 자료를 사용하였다. 이 때, 자본 투입량(x_K)은 한국생산성본부⁷⁾에서 작성한 KIP Database 2007의 '실질자본스톡(2000년 기준)'을 사용하였다.

노동 비용(C_L)은 「광공업통계조사보고서」의 '생산직 연간급여액'과 '사무직 및 기타 연간급여액'을 합산한 자료를 사용하였다. 노동 가격(w_L)은 노동 비용(C_L)을 노동 투입량(x_L)으로 나눈 자료를 사용하는데, 노동 투입량(x_L) 자료는 「광공업통계조사보고서」의 '생산직 종사자 수'와 '사무직 및 기타 종사자 수' 자료를 수집하여 식 (12)의 Divisia 지수를 적용하여 작성하였다.⁸⁾

$$X_L(t)/X_L(t-1) = \sum_i [X_{Li}(t)/X_{Li}(t-1)]^{\bar{S}_i} \quad (12)$$

$$\bar{S}_{Li} = \frac{S_{Li}(t) + S_{Li}(t-1)}{2}, \quad i = \text{생산직, 사무직 및 기타}$$

재료 비용(C_M)은 「광공업통계조사보고서」의 '원재료비'⁹⁾ 자료를 사용하였다. 재료 가격(w_M)은 재료 비용(C_M)을 KIP Database 200의 재료 투입량(x_M)으로 나누어 구성하였다.

연료 비용(C_F)과 전력 비용(C_E)은 「광공업통계조사보고서」의 '연료 비용' 자

7) 한국생산성본부, <http://www.kpc.or.kr>.

8) Berndt and Christensen (1974)은 교육 획득 지수(educational attainment index)를 적용한 노동의 질적 변화를 가중치로 사용하여 생산직(blue collar)과 비생산직(white collar)의 노동 서비스를 Divisia 지수로 가중평균한 노동 투입과 가격지수를 사용하였다. 그러나 본 연구에서는 교육 획득 지수를 적용한 노동의 질적 변화를 가중치로 사용하는 대신 생산직과 비생산직의 노동 비용 점유율이 노동의 질적 변화와 동일한 의미를 가진다고 가정하여 위와 같이 노동 투입과 가격지수를 구성하였다.

9) '원재료비'는 제품의 생산 또는 수리가공을 위하여 1년간 실제로 사용한 원재료, 부분품, 부속품, 용기 등과 화학약품, 포장재료와 같은 보조재료의 사용금액을 말하며 자기 원재료를 공급하고 위탁제조를 시킨 경우의 원재료비를 포함한다.

〈표 1〉 생산요소별 가격, 투입량, 비용, 비용점유율

구	분	평	균	연평균 증가율(%)
가	격 (w_i)	자본 (w_K)	19.1720	11.70
		노동 (w_L)	43.2257	16.36
		재료 (w_M)	14.0586	11.21
		연료 (w_F)	11.2028	10.98
		전력 (w_E)	6.6707	7.67
투	입	자본 (x_K)	4.3720	6.80
		노동 (x_L)	3.3548	4.80
		재료 (x_M)	8.7936	9.37
		연료 (x_F)	8.9520	9.37
		전력 (x_E)	13.0582	10.85
비	용 (C_i)	자본 (C_K)	30077.0250	19.31
		노동 (C_L)	22224.7216	20.53
		재료 (C_M)	123020.0231	21.41
		연료 (C_F)	2479.7480	21.37
		전력 (C_E)	2985.9666	19.54
비	용	자본 (S_K)	0.1672	-0.83
		노동 (S_L)	0.1197	-0.04
		재료 (S_M)	0.6741	0.43
		연료 (S_F)	0.0190	-0.24
		전력 (S_E)	0.0200	-1.05

주: 1) 가격과 투입량은 1970년을 기준연도로 지수화함.

2) 비용의 단위는 십억 원임.

료와 ‘전력 비용’ 자료를 사용하였다. 이를 각각 연료 소비량(x_F)과 전력 소비량(x_E) 자료로 나누어 연료 가격(w_F)과 전력 가격(w_E) 자료를 작성하였다. 연료 소비량(x_F)과 전력 소비량(x_E) 자료는 자료의 제약으로 인해 기간별로 상이한 자료를 사용하였다. 1970년~1978년까지는 한국 동력자원연구소의 「에너지수급 계획에 관한 연구」 중 ‘제조업 부문 에너지원별 수요 구조’에 나타난 소비량을 사용하였고, 1981년~2005년까지는 에너지경제연구원의 「에너지통계연보」에 나타난 ‘에너지수급발란스’와 에너지관리공단의 「에너지통계」에 나타난 ‘제조업부문 에너지소비실적’ 자료를 비교하여 작성한 소비량을 사용하였다. 1979년과 1980년의 자료는 이달석(1999)이 작성한 자료를 사용하였다.¹⁰⁾

각 생산요소의 비용은 모두 명목비용이므로 총비용(C)은 위에서 구한 생산요소들의 비용을 합산하여 구했으며, 각 생산요소들의 비용점유율(S_i)은 총비용에서 각 생산요소의 비용이 차지하는 비율로 구하였다. 요소투입과 요소가격 자료는 1970년도를 기준연도로 지수화하였다.¹¹⁾ <표 1>에 1970년~2005년까지 요소가격, 요소투입, 요소비용, 요소별 비용점유율의 평균 및 평균증가율을 정리하였다.

IV. 실증분석 결과

1. 비용함수의 추정

Translog 비용함수의 비용점유율 방정식 (5)를 추정함에 있어 오목성을 부과하지 않은 모형(이하 비제약 모형)의 추정 결과와 식 (10)에 의해 오목성을 사

10) 이달석(1999)은 한국전력공사의 「주요 전력통계」, 한국석유공사의 「석유류수급통계」 등을 이용하여 1979년과 1980년의 에너지 투입량 자료를 작성하였다.

11) 생산요소의 가격지수 자료는 각 생산요소의 명목비용을 투입으로 나누어 산출하였으므로, 별도의 디플레이션(deflation) 없이 기준연도인 1970년도 자료로 지수화하였다.

〈표 2〉 Translog 비용함수의 추정 결과

계 수	비계약 모형		계약 모형	
	추정치	표준오차	추정치	표준오차
β_K	0.1665*	0.0019	0.2235*	0.0061
β_L	0.1142*	0.0017	0.1210*	0.0017
β_M	0.6752*	0.0021	0.6131*	0.0066
β_F	0.0192*	0.0006	0.0183*	0.0007
β_E	0.0249*	0.0004	0.0241*	0.0003
β_{KK}	0.0648*	0.0077	-0.1075*	0.0255
β_{KL}	-0.0311*	0.0061	-0.0107	0.0201
β_{KM}	-0.0160***	0.0087	0.1212*	0.0287
β_{KF}	-0.0061	0.0067	0.0036	0.0221
β_{KE}	-0.0116	0.0081	-0.0066	0.0269
β_{LL}	0.0231*	0.0057	0.0126**	0.0057
β_{LM}	0.0056	0.0082	-0.0042	0.0081
β_{LF}	-0.0017	0.0063	-0.0015	0.0062
β_{LE}	0.0041	0.0077	0.0037	0.0076
β_{MM}	0.0129	0.0098	-0.0984*	0.0308
β_{MF}	-0.0057	0.0076	-0.0077	0.0237
β_{ME}	0.0032	0.0092	-0.0108	0.0289
β_{FF}	0.0185*	0.0021	0.0031	0.0024
β_{FE}	-0.0050***	0.0025	0.0024	0.0029
β_{EE}	0.0093*	0.0017	0.0113*	0.0013
Log likelihood	558.376		515.396	

주: 1) K 는 자본, L 은 노동, M 은 재료, F 는 연료, E 는 전력임.

2) 비계약 모형은 식 (5)의 계수 추정치를 정리하였고, 계약 모형은 식 (10)의 가정을 부과하여 추정된 식 (5)의 계수 추정치를 정리하였음.

3) *, **, ***은 각각 계수가 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 의미함.

전적으로 부과한 모형(이하 제약 모형)의 추정 결과를 <표 2>에 정리하였다. 비제약 모형의 로그우도값(Log likelihood)은 558.376이고, 제약 모형의 로그우도값은 515.396으로 나타났다. 이에 대한 LR 검정(Likelihood Ratio test) 결과, 두 모형이 통계적으로 동일하다는 귀무가설을 5% 유의수준에서 기각하여 두 모형이 통계적으로 같지 않음을 확인할 수 있었다. 비제약 모형은 전체 20개의 계수 중 12개의 추정치가, 제약 모형은 10개 계수의 추정치가 10% 수준에서 통계적으로 유의하다고 분석되었다.

Translog 비용함수에서 β_{ij} 는 j 요소의 가격 변화에 따른 i 요소의 비용점유율 변화를 나타내므로, β_{ij} 의 부호를 통해 j 요소의 가격 변화가 i 요소의 비용점유율 변화에 미치는 방향성을 알 수 있다. 이 때, 동일한 자료를 사용하였음에도 불구하고 오목성의 부과 여부에 따라 방향성이 달라짐을 확인할 수 있다. 먼저 비제약 모형에서는 모든 β_{ii} 는 양(+)¹⁾의 값을 가지므로 특정 요소의 가격이 상승하면 그 요소의 비용점유율은 상승한다는 사실을 알 수 있다. 그리고 $\beta_{ij}(i \neq j)$ 를 살펴보면 노동-재료, 노동-전력, 재료-전력을 제외한 모든 요소 간에는 어느 한 요소의 가격이 상승하면 다른 요소의 비용점유율이 감소하는 관계가 관찰되었다. 그러나 제약 모형에서는 다른 결과가 도출되었다. β_{ii} 를 살펴보면, 자본, 재료에 대해서는 비제약 모형과 달리 자기 가격 상승에 대해 비용점유율이 음(-)²⁾의 방향으로 반응함을 확인할 수 있었다. $\beta_{ij}(i \neq j)$ 에 대해서는 자본-재료, 자본-연료, 노동-전력, 연료-전력을 제외한 모든 요소간에는 어느 한 요소의 가격이 상승하면 다른 요소의 비용점유율이 감소하는 관계가 존재하였다. 즉, 비제약 모형과 제약 모형 추정 결과, 자본-재료, 자본-연료, 노동-재료, 재료-전력, 연료-전력 간 요소가격 변화와 비용점유율 변화의 방향성이 각기 다름을 확인할 수 있었다.

<표 2>에서 제시된 비제약 모형과 제약 모형의 추정 결과 차이는 오목성의 사전적 부과에 기인한다. 전술한 세 가지 정규성 조건을 위반한 자료의 수를 정리한 <표 3>에서 볼 수 있듯이 비제약 모형은 전 구간에 대해 양(+)³⁾의 값을

〈표 3〉 정규성 검정 결과

	비제약 모형	제약 모형
양(+)의 값을 갖는 성질 (Positivity)	0	0
단조증가성 (Monotonicity)	0	0
오목성 (Concavity)	36	0

주: 각 조건을 위반한 자료의 수를 정리함.

갖는 성질과 단조증가성을 만족하고 있으나 전 자료시점에 걸쳐 오목성을 위반하고 있다. 반면 제약 모형은 전 구간에 대해 양(+)의 값을 갖는 성질, 단조증가성, 오목성의 세 가지 정규성 조건을 모두 만족하고 있다. 전술한 바와 같이, 추정된 비용함수가 정규성 조건들을 만족하지 못하면 비용최소화(이윤극대화) 생산기술을 대표한다고 볼 수 없으므로, 추정 결과를 신뢰하기 어렵다는 문제가 있다. <표 2>와 <표 3>의 결과는 오목성을 만족하는 정도에 따라 계수의 추정치가 달라질 수 있음을 보여주고 있는 선행연구(Feng and Serletis, 2008; Chua *et al.*, 2005)의 결과와 일치한다. 비제약 모형과 제약 모형 간의 추정 결과의 차이는, 뒤에서 설명할 요소간 대체관계의 차이로 이어지게 된다.

2. 대체관계

본 절에서는 앞서 설정된 Translog 비용함수의 비제약 모형과 제약 모형 추정 결과를 식 (11)에 적용하여 계측한 자기 및 교차 가격탄력성 결과를 제시하고, 그 의미에 대하여 논하였다. 또한 본 연구의 결과와 한국 제조업의 에너지 수요구조를 분석한 선행연구 결과를 비교하여, 오목성의 사전적 부과 및 에너지 원의 분리가 생산요소간 대체·보완 관계를 분석하는데 어떠한 영향을 미쳤는지 논하였다.

1) 가격탄력성 분석 결과

Translog 비용함수의 비제약 모형과 제약 모형의 추정 결과 계산된 자기 및 교차 가격탄력성을 <표 4>에 정리하였다. 먼저 자기 가격탄력성을 살펴보면, 비제약 모형에서는 자본, 노동, 재료, 전력의 경우 자기 가격탄력성이 음(-)의 값을 나타내지만 연료에 대해서는 자기 가격탄력성이 양(+)의 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 양(+)의 자기 가격탄력성은 가격의 상승이 수요량의 감소를 가져온다는 수요의 법칙(law of demand)에 위배되는 결과로 볼 수 있다. 반면 제약 모형에서는 모든 요소에 대해 자기 가격탄력성이 음(-)의 값을 가져 수요의 법칙을 만족함을 알 수 있다. 교차 가격탄력성의 경우에는 자본-노동, 자본-연료, 연료-전력 간의 대체 및 보완 관계를 설명하는데 있어 비제약 모형과 제약 모형이 상충된 결과를 보여준다. 뿐만 아니라 자기 가격탄력성의 절대치에 있어서도 비제약 모형 추정 시 노동이 가장 크지만, 제약 모형 추정 시 자본이 가장 크게 나타났다.

이처럼 두 모형의 분석 결과가 상이한 것은 앞서 비제약 모형과 제약 모형에서 β_{ij} 가 서로 다르게 추정되었음을 고려하면 당연한 결과라고 할 수 있다(<표 2> 참조). 앞서서도 언급하였듯이 비용함수의 세 가지 정규성 조건을 모두 만족하지 못하면, 추정된 비용함수가 비용최소화의 전제를 위반하게 되므로 생산기술 간의 쌍대성 가정도 무너지게 된다. 즉, 정규성 조건을 만족하지 못하면 추정된 비용함수가 한국 제조업의 생산기술을 제대로 반영한다고 볼 수 없다. 이에 본 연구에서는 자료구간 내에서 정규성을 모두 만족하는 제약 모형을 중심으로 한국 제조업의 에너지 수요 구조를 논하려고 한다.

<표 5>에서는 분석기간을 세 구간으로 나누어 1·2차 석유파동의 영향을 받은 기간(기간 I : 1970~1985년), IMF 이후의 기간(기간 III : 1997~2005), 그리고 IMF와 석유파동의 영향을 받지 않은 기간(기간 II : 1986~1996)에 대해 제약 모형의 자기 및 교차 가격탄력성 분석 결과를 정리하였다. 이를 통해 석유파동과 IMF라는 거시경제적 충격이 우리나라 제조업 부문의 에너지 수요구조에

〈표 4〉 가격탄력성

	비계약 모형		계약 모형	
	평균	표준편차	평균	표준편차
η_{KK}	-0.4381	0.0280	-1.4873	0.1083
η_{KL}	-0.0695	0.0270	0.0548	0.0164
η_{KM}	0.5769	0.0134	1.4120	0.1126
η_{KF}	-0.0182	0.0077	0.0411	0.0095
η_{KE}	-0.0510	0.0084	-0.0205	0.0054
η_{LK}	-0.0965	0.0376	0.0767	0.0247
η_{LL}	-0.6847	0.0099	-0.7731	0.0028
η_{LM}	0.7214	0.0227	0.6384	0.0204
η_{LF}	0.0048	0.0071	0.0066	0.0072
η_{LE}	0.0549	0.0075	0.0516	0.0072
η_{MK}	0.1434	0.0233	0.3470	0.0290
η_{ML}	0.1280	0.0153	0.1135	0.0152
η_{MM}	-0.3067	0.0202	-0.4720	0.0255
η_{MF}	0.0105	0.0082	0.0076	0.0082
η_{ME}	0.0248	0.0047	0.0039	0.0048
η_{FK}	-0.2093	0.1399	0.3908	0.0897
η_{FL}	0.0167	0.0295	0.0285	0.0254
η_{FM}	0.3211	0.1361	0.2008	0.1807
η_{FF}	0.1584	0.4185	-0.7897	0.0641
η_{FE}	-0.2869	0.1186	0.1696	0.0522
η_{EK}	-2.5307	0.8095	-0.9437	0.4655
η_{EL}	2.9404	0.3962	2.7680	0.3584
η_{EM}	1.9255	0.0551	0.8304	0.1849
η_{EF}	-16.1597	9.1190	9.3957	4.4359
η_{EE}	-0.4913	0.1006	-0.3858	0.1233

주: 1) K 는 자본, L 은 노동, M 은 재료, F 는 연료, E 는 전력임.

2) <표 2>의 비계약 모형과 계약 모형의 계수 추정 결과를 식 (11)에 적용하여 계측한 가격탄력성을 정리하였음.

〈표 5〉 제약 모형 추정 결과로 도출한 기간별 가격탄력성

계 수	기간 I (1970~1985)	기간 II (1986~1996)	기간 III (1997~2005)	전 체
η_{KK}	-1.4905	-1.5108	-1.4531	-1.4873
η_{KL}	0.0444	0.0693	0.0555	0.0548
η_{KM}	1.4149	1.4287	1.3863	1.4120
η_{KF}	0.0482	0.0362	0.0345	0.0411
η_{KE}	-0.0170	-0.0234	-0.0232	-0.0205
η_{LK}	0.0707	0.0812	0.0819	0.0767
η_{LL}	-0.7741	-0.7703	-0.7748	-0.7731
η_{LM}	0.6331	0.6407	0.6449	0.6384
η_{LF}	0.0123	0.0027	0.0007	0.0066
η_{LE}	0.0580	0.0458	0.0473	0.0516
η_{MK}	0.3493	0.3407	0.3508	0.3470
η_{ML}	0.1035	0.1297	0.1114	0.1135
η_{MM}	-0.4749	-0.4745	-0.4639	-0.4720
η_{MF}	0.0145	0.0021	0.0020	0.0076
η_{ME}	0.0077	0.0021	-0.0004	0.0039
η_{FK}	0.3179	0.4485	0.4497	0.3908
η_{FL}	0.0489	0.0184	0.0046	0.0285
η_{FM}	0.3559	0.0622	0.0946	0.2008
η_{FF}	-0.8464	-0.7400	-0.7497	-0.7897
η_{FE}	0.1237	0.2109	0.2009	0.1696
η_{EK}	-0.5606	-1.1799	-1.3362	-0.9437
η_{EL}	2.6031	2.6754	3.1745	2.7680
η_{EM}	0.9737	0.7655	0.6550	0.8304
η_{EF}	5.4188	12.1905	13.0498	9.3957
η_{EE}	-0.4876	-0.3456	-0.2541	-0.3858

주: K 는 자본, L 은 노동, M 은 재료, F 는 연료, E 는 전력임.

어떠한 변화를 끼쳤는지 논하고자 한다.

가격탄력성의 부호는 η_{ME} 을 제외하면 전체 기간은 물론 기간 I, 기간 II, 기간 III에 걸쳐 일치하므로, 생산요소간 대체관계는 전반적으로 매우 안정적임을 알 수 있다. 자본과 전력 간에만 보완성이 존재하고 그 이외의 모든 요소 간에는 대체성이 존재한다. 대부분의 가격탄력성의 절대치가 1보다 작지만, η_{KK} , η_{KM} , η_{EL} , η_{EF} 은 절대치가 1보다 크므로 이들의 경우 요소 수요가 가격 변화에 탄력적으로 반응함을 확인할 수 있었다.

보완 관계에 있는 전력과 자본을 보면, $|\ln_{KE}| < |\ln_{EK}|$ 이므로 전력 가격이 상승할 때 자본 수요가 감소하는 정도보다 자본 가격이 상승할 때 전력 수요가 감소하는 정도가 더 크다고 분석되었다. 게다가 η_{EK} 는 기간 I에는 그 절대치가 1보다 작아 자본가격 변화에 전력 수요가 비탄력적으로 반응하였지만, 이후 기간에는 절대치가 1보다 커져 자본가격 변화에 전력 수요가 탄력적으로 반응하였음을 확인할 수 있었다. 이는 자본과 전력 수요가 연계되어 증가하였음을 의미하며, 더 나아가 한국 제조업이 전력을 많이 사용하는 방향으로의 구조변화를 경험하고 있음을 보여주는 결과이다.

반면 연료와 자본의 경우에는 대체성이 존재하는데, $|\ln_{KF}| < |\ln_{FK}|$ 이므로 자본 수요가 연료 가격으로부터 받는 영향보다 연료 수요가 자본 가격으로부터 받는 영향이 더 크다. 즉, 자본 수요가 증가하면 연료의 수요가 감소한다. 전력과 자본의 관계와 비교해 보면 한국 제조업은 전력 사용의 비중이 증가하고 연료 사용의 비중이 감소하는 방향으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

전력과 노동, 연료와 노동 간에는 대체성이 존재하는데, 노동의 수요가 감소하고 전력과 연료의 수요가 증가하는 방향으로의 대체가 일어난다. 이 때, 연료와 노동 간 가격탄력성의 크기는 1보다 작고 기간 I에서 기간 III으로 갈수록 그 크기가 0에 가까워지므로 연료와 노동 간의 대체는 미미하다고 볼 수 있다. 그러나 전력과 노동을 보면 $|\ln_{LE}| < |\ln_{EL}|$ 이고 η_{EL} 의 크기가 1보다 크므로, 노동에서 전력으로의 대체가 활발하게 이루어지고 있으며 기간 I에서 기간 III으

로 갈수록 가격탄력성의 크기가 커지고 있음을 확인할 수 있다. Saicheua (1986)은 선진국의 경우 에너지-노동 간 대체관계가 존재하지만, 개발도상국의 경우 에너지-노동 간 대체와 보완성이 혼재한다고 주장하였다. 한국 제조업의 경우 연료-노동, 전력-노동이 모두 대체관계에 있으므로 선진국의 형태를 갖추고 있다고 볼 수 있다.

연료와 전력 간에는 대체성이 존재하는데 n_{FE} 와 n_{EF} 의 크기를 비교해 보면 연료에서 전력으로의 대체가 매우 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 특히 n_{EF} 는 평균적으로 9.3957의 가장 큰 값을 가지고 있으며, 기간 I에서 기간 II 사이에 그 크기가 현저하게 증가하여 석유파동 시기 이후 연료에서 전력으로의 대체가 본격적으로 이루어졌음을 보여준다.

Shin(1982)은 1차 석유파동이 우리나라 에너지 소비구조에 근본적인 변화를 일으키지 않았다고 주장하였는데, 본 연구 결과 계측된 n_{EK} 와 n_{EF} 의 크기를 보면 석유파동의 영향 아래 있는 기간 I 이후 현격한 변화를 보였다. 이러한 차이는 Shin(1982)의 연구에서는 1차 석유파동만이 분석의 대상인데 반해, 본 연구에서는 1·2차 석유파동의 영향을 모두 포괄한 데 기인한다고 보인다. 즉, 1·2차 석유파동은 한국 제조업의 에너지 소비구조에서 전력의 수요 증가라는 구조적 변화의 한 원인을 제공하였다고 사료된다.

자본과 노동은 대체관계에 있으며 $\ln_{KL} < \ln_{LK}$ 이므로 자본 수요가 노동 가격으로부터 받는 영향보다 노동 수요가 자본 가격으로부터 받는 영향이 더 크다고 할 수 있다. 실제로 1970년~1990년까지의 자본가격의 연평균 증가율이 15.8%, 노동투입의 연평균 증가율이 8.5%에 달했는데, 1991년~2005년 사이에 자본가격의 연평균 증가율이 6.2%로 둔화되면서 노동 투입이 연평균 0.2% 감소하였다. 따라서 자본가격 증가 둔화 추세가 지속된다면 자본이 노동을 대체하는 추세 또한 지속될 것이라고 예상할 수 있다.

재료는 여타의 생산요소와 모두 대체관계에 있으며 $\ln_{MK} < \ln_{KM}$, $\ln_{LK} < \ln_{KL}$, $\ln_{MF} < \ln_{FM}$, $\ln_{ME} < \ln_{EM}$ 인 것으로 분석되었다. 이는 원재료의 비용점유율이

평균 67.4%로 다른 생산요소보다 훨씬 많은 비용이 소요되는 생산요소임을 감안할 때, 재료 가격 상승기에 다른 생산요소로 재료의 수요를 적극적으로 대체하는 것이 전반적인 비용절감에 큰 도움이 되기 때문에 타당한 결과라고 사료된다. 재료-생산요소 간 교차 가격탄력성의 크기는 자본이 가장 크고 연료가 가장 작게 계측되었는데, 이는 재료 가격 상승 시 재료에서 자본으로의 대체가 가장 활발함을 보여준다.

2) 선행연구와의 비교

한국 제조업의 에너지 수요 구조를 분석한 선행연구로는 신의순(1983), 최정표(1987), Kim and Labys(1988), Yuhn(1991), 이달석(2001), Cho *et al.*(2004), 김지효 · 허은녕(2009) 등이 있다(<표 6> 참조).

먼저 에너지와 자본 간의 관계에 대해 본 연구 결과와 선행연구 결과를 비교해 보았다. 제조업 부문에 대한 선행연구 결과를 볼 때, 최정표(1987)와 김지효 · 허은녕(2009)의 연구에서는 에너지와 자본 간 보완성을 제시하였으나 그 외의 연구에서는 대체성을 제시하였다. 본 연구에서는 에너지 부문을 연료와 전력으로 나누어 분석한 결과 자본과 연료 간에는 대체성이 존재하지만 자본과 전력 간에는 보완성이 존재함을 보였다. 이 때, 연료와 자본 간의 대체의 정도보다 전력과 자본 간의 보완의 정도가 더 크므로, 동일한 자료를 사용한 김지효 · 허은녕(2009)의 연구에서는 에너지-자본 간 보완성이 도출된 것으로 생각된다. 따라서 에너지-자본 간 관계를 보다 정확히 해석하려면 각기 다른 에너지원을 분리하는 것에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다.

다음으로 에너지와 노동 간의 관계를 살펴보면 신의순(1983), Yuhn(1991)의 연구에서는 에너지-노동 간 대체관계를, 그 외의 연구에서는 보완관계를 제시하고 있다. 본 연구 결과, 연료-노동, 전력-노동은 모두 대체관계에 있으므로 에너지와 노동 간에 마찬가지로 대체관계가 존재한다고 볼 수 있다. 이는 최정표(1987), Kim and Labys(1988), 이달석(2001), Cho *et al.*(2004), 김지효 · 허은녕(2009)의 연구 결과와 배치되는 결과이다. 이러한 차이는 분석 자료의 길이,

〈표 6〉 한국 제조업 부문 에너지 수요구조에 관한 선행 연구

저 자	이용자료	투입요소	요소 대체성
신의순 (1983)	황단면자료 (1973, 1978)	K, L, EN	(EN:L), (K:L)=대체 (EN:K)=혼재
최정표 (1987)	시계열자료 (1963~1984)	K, L, M, EN, T	(EN:K), (EN:L), (K:L)=보완 (EN:M), (K:M), (L:M)=대체
Kim & Labys (1988)	황단면자료 (1970, 1980)	K, L, EN	(EN:K), (K:L)=대체 (EN:L)=보완
Yuhn (1991)	시계열자료 (1962~1981)	K, L, M, EN, Y, T	(EN:K), (EN:L), (EN:M), (K:L), (K:M), (L:M)=대체
이달석 (2001)	시계열자료 (1971~1993)	K, L, M, EN, T	(EN:K), (EN:M), (K:L), (K:M), (L:M)=대체 (EN:L)=보완
Cho <i>et al.</i> (2004)	시계열자료 (1981~1997)	K, L, EN	(K:L), (K:EN)=대체 (L:EN)=보완
김지효·허은녕 (2009)	시계열자료 (1970~2005)	K, L, M, EN, Y, T	(EN:M), (K:L), (K:M), (L:M)=대체 (EN:K), (EN:L)=보완
본 연구	시계열자료 (1970~2005)	K, L, M, F, E	(K:L), (K:M), (K:F), (L:M), (L:F), (L:E), (M:F), (M:E), (F:E)=대체 (K:E)=보완

주: *K*는 자본, *L*은 노동, *M*은 재료, *F*는 연료, *E*는 전력, *EN*은 에너지, *T*는 기술변화, *Y*는 규모변화임.

연료와 전력의 분리 여부, 그리고 오목성의 만족도 차이에서 기인하는 것으로 보인다.

자본과 노동의 관계에 대하여 선행연구에서는 자본-노동 간 대체관계가 존재한다고 분석되었다. 그리고 재료-타 요소 간 관계 역시 재료를 생산요소에 포함시킨 최정표(1987), Yuhn(1991), 이달석(2001), 김지효·허은녕(2009)의 연구에서 재료-타 요소 간에는 대체관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 본 연구의 그것과 합치한다. 한편, 에너지-자본-노동 간의 관계에 비하

여 원재료-타 요소 간 관계는 기존 연구에서 큰 관심의 대상이 되지 않았는데, 이는 제조업의 경우 원재료 비용의 비율이 가장 크기 때문에 다른 생산요소로 원재료 투입을 대체하는 것이 생산자 입장에서 비용을 최소화하는 방법이 되기 때문이라고 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 자본, 노동, 재료, 연료, 전력요소로 구성된 Translog 비용함수를 적용하여 1970년~2005년의 기간 동안 한국 제조업 부문의 에너지 수요의 변화 요인을 파악하는데 그 목적을 두고 있다. 연구의 결과와 의의는 다음과 같다.

첫째, Translog 비용함수의 분석에 있어 아무런 제약도 가하지 않은 비제약 모형과 오목성(concavity)을 사전적으로 부과한 제약 모형을 추정한 결과, 비제약 모형의 로그우도값이 더 높지만 정규성을 전 구간에서 만족하지 않는다고 분석되었다. 반면 제약 모형의 경우 다소 낮은 로그우도값에 불구하고 전 자료 구간에 대하여 정규성을 만족하여 비용함수와 생산기술 간의 쌍대성(duality)을 만족하는 추정 결과가 도출되었음을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 비제약 모형의 경우 연료의 자기 가격탄력성이 양(+)의 값을 갖는 것으로 도출되어 그 결과의 경제학적 의미가 모호한 것으로 나타났다. 따라서 비용함수 추정에 있어 정규성 조건의 만족 여부가 결과의 도출에 유의미한 차이를 가져올 수 있으므로, 오목성의 사전적 부과 등의 방법을 통해 정규성을 만족하는 추정 결과를 도출하는 것이 중요함을 보였다.

둘째, 가격탄력성 분석 결과, 전력과 자본 사이에는 보완성이 존재하지만 다른 요소 간에는 모두 대체성이 존재하는 것으로 나타났다. 이 때, 전력 수요가 노동, 연료 및 재료 수요를 모두 대체하는 방향성이 관측되어, 우리나라 제조업의 전력사용이 증가하는 방향으로의 구조 변화가 일어나고 있음이 나타났다. 특

히 전력이 연료의 수요를 대체하는 정도가 석유파동의 영향이 미치는 시기 이후에 급증한 것으로 보아, 이 시기가 한국 제조업의 에너지 수요의 구조적 변화를 가져오는 데 영향을 미쳤음을 확인하였다. 자본과 노동 간에는 대체관계가 성립하였는데, 이는 자본가격의 증가율이 둔화되면서 노동을 자본으로 대체해왔기 때문이라고 생각된다. 원재료는 다른 모든 생산요소와 대체관계에 있는 것으로 분석되었다. 원재료는 비용점유율이 가장 큰 생산요소이기 때문에 원재료 가격 상승기에 다른 생산요소로 원재료의 투입을 대체해왔기 때문에 위와 같은 결과가 도출되었다고 보인다.

본 연구에서는 분석 자료에 대하여 국지적으로(locally) 오목성을 부과하였기 때문에, 분석 결과가 전 영역에서(globally) 만족한다고 보기 어렵다. 만약 비용함수의 유연성을 파괴하지 않으면서 전 영역에서의 정규성(특히 concavity) 조건을 부과할 수 있다면, 추정 결과를 통한 미래의 수요구조의 예측이 가능해지므로 정책적 함의를 제시하는 데 있어 보다 유용한 결과를 도출할 수 있다(Barnett *et al.*, 1991). 따라서 새로운 비용함수의 형태를 도입하거나 비용함수 추정방식의 변화를 주어 전 영역에서의 정규성을 부과하는 모형에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 국가통계포털, <http://www.kosis.kr>.
2. 김지효, “비용함수 추정을 통한 한국 제조업의 KLEM 요소 간 생산구조 분석”, 서울대학교 석사학위논문, 2009.
3. _____ · 허은영, “비용함수 추정을 통한 한국 제조업의 KLEM 요소 간 생산구조 분석”, 2009 한국자원경제학회 공동학술대회 논문자료집, 2009. 2.
4. 신의순, “한국 제조업의 에너지, 자본, 노동요소 간 대체성에 관한 연구”, 「연세논총」, 제20집, 1983, pp. 129~147.

5. 에너지관리공단, <http://www.kemco.or.kr>.
6. 이달석, “한국 제조업의 생산구조와 에너지요소수요 간 대체와 기술변화의 영향”, 명지대학교 박사학위논문, 1999.
7. _____, “한국 제조업의 에너지수요 변화요인에 관한 연구”, 「경제학연구」, Vol. 49, 2001, pp. 87~110.
8. 이종원, 『계량경제학-전정판』, 박영사, 2007.
9. 지식경제부, 에너지통계연보, 에너지경제연구원, 1981~2005.
10. 최정표, “한국과 대만의 제조업 부문 생산구조 비교”, 「한국경제연구」, 제1권, 1987, pp. 73~92.
11. 통계청, 광공업통계조사보고서, 통계청, 1970~2005.
12. 한국동력자원연구소, “에너지수급 계획에 관한 연구”, 1982.
13. 한국생산성본부, <http://www.kpc.or.kr>.
14. Barnett, W. A., “Tastes and Technology: Curvature is Not Sufficient for Regularity,” *Journal of Econometrics*, Vol. 108, 2002, pp. 199~202.
15. _____, J. Geweke, and M. Wolfe, “Semi-nonparametric Bayesian Estimation of the Asymptotically Ideal Production Model,” *Journal of Econometrics*, Vol. 49, 1991, pp. 5~50.
16. _____ and Y. W. Lee, “The Global Properties of the Miniflex Laurent, Generalized Leontief, and Translog Flexible Functional Forms,” *Econometrica*, Vol. 53, 1985, pp. 1421~1437.
17. Berndt, E. R. and L. R. Christensen, “Testing for the Existence of a Consistent Aggregate Index of Labor Inputs,” *American Economic Review*, Vol. 64, 1974, pp. 391~404.
18. _____ and D. O. Wood, “Technology, Prices, and Derived Demand for Energy,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, 1975, pp. 259~268.
19. _____ and M. S. Khaled, “Parametric Productivity Measurement and Choice among Flexible Functional Forms,” *Journal of Political Economy*, Vol. 87, 1979, pp. 1220~1245.
20. Binswanger, H. P., “A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of

- Factor Demand and Elasticities of Substitution,” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 56, 1974, pp. 377~386.
21. Caves, D. W. and L. R. Christensen, “Global Properties of Flexible Functional Forms,” *American Economic Review*, Vol. 70, 1980, pp. 422~432.
22. Cho, W. G., K. Nam, and J. A. Pagan, “Economic Growth and Interfactor/interfuel Substitution in Korea,” *Energy Economics*, Vol. 26, 2004, pp. 31~50.
23. Chua, C. L., H. Kew, and J. Yong, “Airline Code-share Alliances and Costs : Imposing Concavity on Translog Cost Function Estimation,” *Review of Industrial Organization*, Vol. 26, 2005, pp. 461~487.
24. Diewert, W. E., “An Application of the Shephard Duality Theorem : A generalized Leontief Production Function,” *Journal of Political Economy*, Vol. 91, 1971, pp. 401~419.
25. _____ and T. J. Wales, “Flexible Functional forms and Global Curvature Conditions,” *Econometrica*, Vol. 55, 1987, pp. 43~68.
26. Feng, G. and A. Serletis, “Productivity Trends in U.S. Manufacturing : Evidence from NQ and AIM Cost Functions,” *Journal of Econometrics*, Vol. 142, 2008, pp. 281~311.
27. Fuss, M. and D. McFadden, *Production Economic : A Dual Approach to Theory and Applications*, New York, American Elsevier, 1978.
28. Guilkey, D. K., C. A. Lovell, and R. C. Sickles, “A Comparison of the Performance of Three Flexible Functional Forms,” *International Economic Review*, Vol. 24, 1983, pp. 591~616.
29. Hurwicz, L. and H. Uzawa, “On the Integrability of Demand Functions,” *Preferences, Utilities and Demand*, New York, Harcourt, Brace & Co. 1971.
30. Ilmakunnas, P. and H. Torma, “Structural Change in Factor Substitution in Finnish Manufacturing,” *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 91, 1989, pp. 705~721.
31. Kim, B. C. and W. C. Labys, “Application of the Translog Model of Energy Substitution to Developing Countries : The Case of Korea,” *Energy Economics*, 1988, pp. 313~323.
32. Lopez, R. E., “The Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Agriculture,” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 62, 1980, pp. 38~45.

33. Nakamura, S., "A Nonhomothetic Generalized Leontief Cost Function Based on Pooled Data," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 72, 1990, pp. 649~656.
34. Parks, R. W., "Price Responsiveness of Factor Utilization in Swedish Manufacturing, 1870~1950," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 53, 1971, pp. 129~139.
35. Ryan, D. L. and T. J. Wales, "A Simple Method for Imposing Local Curvature in Some Flexible Consumer Demand Systems," *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 16, 1998, pp. 331~338.
36. _____ and T. J. Wales, "Imposing Local Concavity in the Translog and Generalized Leontief Cost Functions," *Economics Letters*, Vol. 67, 2000, pp. 253~260.
37. Saicheua, S., "Input Substitution in Thailand's Manufacturing Sector," *Energy Economics*, Vol. 9, 1986, pp. 55~63.
38. Shin, E., "The Impact of the First Oil Crisis on Energy Demand in Korea," *Energy Economics*, Vol. 4, 1982, pp. 259~268.
39. Sterner, T., "Factor Demand and Substitution in a Developing Country: Energy Use in Mexican Manufacturing," *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 91, 1989, pp. 723~739.
40. Yuhn, J. H., "Economic Growth, Technical Change Biases, and the Elasticities of Substitution: A Test of the De La Grandville Hypothesis," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 73, 1991, pp. 340~346.
41. Zellner, A., "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, 1962, pp. 348~368.

접수일(2010년 4월 30일), 수정일(2010년 6월 13일), 게재확정일(2010년 9월 7일)

정규성 개선에 중점을 둔 제조업 에너지 수요구조 모형 연구:
오목성 조건을 만족하는 Translog 비용함수 모형

김지호 · 허은녕

본 연구에서는 1970년~2005년 기간 동안 한국 제조업의 Translog 비용함수를 분석함에 있어, 비제약 모형과 사전적으로 오목성을 부과한 제약 모형을 추정하여 그 결과를 비교하였다. 제약 모형은 비제약 모형에 비해 다소 낮은 로그우도값에 불구하고, 전 자료 구간에 대하여 정규성을 만족하여 비용함수와 생산기술 간의 쌍대성을 만족하는 추정 결과가 도출되었다. 제약 모형의 가격탄력성 분석 결과, 전력과 자본 사이에는 보완성이 존재하여 자본 수요가 증가함에 따라 전력 수요가 증가하는 것으로 나타났다. 한편 전력 수요는 노동, 연료 및 재료 수요를 모두 대체하는 방향성이 관측되어 한국 제조업이 전력 사용이 증가하는 방향으로의 구조변화를 경험하고 있는 것으로 분석되었다.

주제어 : 에너지 수요, 비용함수, 정규성, 초월대수함수, 가격탄력성

Modeling Korean Energy Consumption Behavior Using a Concavity Imposed Translog Cost Function

Jihyo Kim and Eunnyeong Heo

In this paper, we estimate the Translog cost function in Korean manufacturing, using capital (K), labor (L), material (M), electricity (E), fuel (F) data over the period from 1970 to 2005. Especially, this paper investigates the impact of imposing concavity in the estimation of a Translog cost function. Although the value of log-likelihood is somewhat reduced in a concavity imposed function rather than a function which is not, a concavity imposed function satisfies regularity conditions (monotonicity, positivity, concavity) at all data points. We also calculate price elasticities using a concavity imposed Translog cost function. Electricity complements capital so electricity demand increases as capital demand increases. Meanwhile, electricity substitutes labor, fuel, and material. These results show that Korean manufacturing experienced a structural change of increase in electricity demand.

Keywords : energy demand, cost function, regularity, translog function, price elasticity