

산업별 에너지원간 대체관계 추정을 통한 탄소세의 CO₂ 감축 효과 분석^{*}

유동현^{**} · 박창수^{***} · 이윤재^{****}

요 약

본 연구의 목적은 온실가스 감축 수단으로 탄소세를 도입하게 되면 우리나라 제조업 9개 업종별로 에너지 소비 감소와 이로 말미암은 이산화탄소 배출 감축이 어느 정도의 영향을 받는지를 에너지원간 대체탄력성 추정을 통해 분석하고 정책적인 시사점을 도출하는 데 있다.

이를 위해 본 연구는 선형 logit 모델을 이용하여 9개 업종의 산업별 에너지 비용비중함수를 추정하고 이를 바탕으로 가격탄력성 및 교차 가격탄력성을 추정한 후, 에너지원간 대체탄력성을 이용하여 탄소세 도입이 이산화탄소 배출에 미치는 효과를 분석하고 있다. 특히 본 논문은 탄소세를 최종에너지와 1차 에너지에 각각 부과하는 경우의 차이점을 보기 위해 두 가지 경우를 분석하고 있으며, 그 결과 1차 에너지에 탄소세를 부과하는 것이 비용 효과적으로 이산화탄소 배출을 감축할 수 있는 것으로 나타났다. 즉 탄소세를 도입한다면 외국의 경우와 마찬가지로 1차 에너지에 부과하는 것이 정책목표 달성에 효과적임을 시사하고 있다.

주요 단어 : logit 모형, 탄소세, 대체탄력성, 제조업
경제학문헌목록 주제분류 : D24, Q41, Q48

* 본 논문은 박사학위논문 「탄소세 도입에 따른 제조업의 에너지 관련 이산화탄소 감축 효과 분석(유동현, 2010)」의 일부 내용을 발췌하여 수정·보완한 것임.

** 에너지경제연구원 연구위원(주저자). dhyoo@keei.re.kr

*** 숭실대학교 경제학과 부교수(교신저자). cpark@ssu.ac.kr

**** 숭실대학교 경제학과 교수. yjlee@ssu.ac.kr

I . 연구배경

정부는 저탄소녹색성장기본법 제정을 통해 2020년 BaU 대비 온실가스 20% 감축이라는 자발적 감축목표를 설정하는 등 의욕적인 모습을 보이고 있으며, 동시에 목표관리제, 배출권거래제 도입과 같은 정책의지를 보이고 있다.¹⁾ 이러한 정부의 적극성을 고려할 때 또 다른 온실가스 감축정책 수단으로서 탄소세 도입을 고려해 볼 수 있다. 이미 네덜란드, 스위스, 노르웨이, 스웨덴, 코스타리카 등에서는 화석연료에 탄소세를 부과하고 있으며,²⁾ 유럽 일부 국가에서는 탄소세를 포함한 환경세를 도입하고 있다(김수이, 2006).

에너지 가격정책 변화는 어느 한도 내에서 에너지 소비행태에 영향을 줄 수 있어³⁾ 본 논문은 에너지원별 비용비중함수를 이용한 정태적 선형 logit 모형을 사용하여 탄소세가 도입되는 경우 제조업 업종별로 에너지 소비와 탄소 배출량에 어느 정도 영향을 미칠지를 분석하고 정책적인 시사점을 제공하고 있다. 이를 위해 본 논문은 에너지원간의 대체 혹은 보완 관계를 실증적으로 분석하여 탄소세 도입으로 말미암은 에너지원간의 대체 혹은 보완 정도를 파악하고 이로 말미암은 에너지원 각각의 수요변화를 분석함으로써 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 대한 탄소세의 영향을 분석하고 있다.

1) 2012년 5월 2일 국회에서 '온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률'이 통과되었으며, 배출권거래제 시행은 2015년부터로 예상된다.

2) http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_tax

3) 에너지의 파생수요 특성에 기인함.

II. 선행연구

에너지원간 대체 관계에 관한 해외의 연구는 translog 모형과 logit 모형을 기반으로 진행되어 왔다. 신축적 함수 형태를 갖는 초월대수(translog) 비용함수를 기반으로 하는 연구들은 주로 제조업을 연구 대상으로 하고 있다.⁴⁾ Pindyck(1979)는 1959~1973년간의 10개국 자료를 정태적 translog 모형을 이용하여 분석하였으나 추정결과는 몇몇 추정치에서 수요의 가격 탄력성이 정(+)의 부호를 나타내거나 적응률이 통계학적으로 유의하지 않게 나왔다. Ma *et al.*(2008)는 2단계 translog 모형을 이용하여 중국을 대상으로 요소간 부분 대체 탄력성과 가격탄력성을 추정하였다.

한편, Considine(1989a)은 정태적 translog 함수 모형과 정태적 선형 logit 모형을 사용하여 1970~1985년 미국 산업부문의 에너지원간 대체 가능성을 검증하였다. 그의 분석 결과에 따르면, translog 같은 신축적 함수 형태는 편리함에도 불구하고 경제학 기본 이론 조건(양의 투입과 음의 가격 탄력성)에 위배될 가능성이 있는 반면에 선형 logit 모형은 추정결과가 보다 경제이론에 부합함을 보여주었으며, 에너지 및 자연자원 수요 추정에 이점이 있음을 밝혔다.

또한 Considine(1989b)은 산업부문 연료들을 더욱 세분화하여 실질적으로 대체관계가 거의 없는 원료용 에너지와 사용용도가 다른 수송용 에너지를 제외한 나머지 연료용 에너지에 대하여 에너지원간 대체관계를 선형 logit 모형을 이용하여 분석하였다. 이와 더불어 추정모형에 환경규제변수를 추가하여 환경규제에 따른 영향을 분석하였다. 한편 후속 연구인 Considine(1990)은 선형 logit 모형에 대칭성의 제약을 부과한 확장된 모형을 도입하였다.

4) Berndt & Wood, 1975; Griffin & Gregory, 1976; Fuss, 1977; Berndt & Wood, 1975; Field & Grebenstein, 1980; Turnovsky et al., 1982 등 참조.

Jones(1995)는 동태적 logit 모형을 이용하여 1960~1992년 미국 산업부문 에너지원간 대체에 대하여 분석하였다. Urga & Walters(2003)는 Jones(1995)에서 사용된 자료를 사용하여 동태적 translog 모형과 동태적 선형 logit 모형을 추정하였으며, 동태적 선형 logit 모형이 이론적 측면에서 보다 바람직한 결과를 보여주고 있다.

Considine & Mount(1984)에 의해 개발된 비용비중 선형로짓모형(cost share linear logit model)을 이용한 최근 논문으로 Brännlund & Lundgren(2004)와 Steinbuks(2010)가 있다. Brännlund & Lundgren(2004)은 스웨덴의 열공급설비를 대상으로 연료대체의 동태모형을 추정하였다. Steinbuks(2010)는 Considine & Mount(1984)에 의해 제안되고 Considine(1990)이 확장한 동태적 선형 logit 모형을 이용하여 영국의 12개 제조업을 대상으로 연료간 대체를 분석하고 있다. Steinbuks(2010)는 기존의 업종별 접근을 사용하지 않고 6개 분야(난방, 냉방, 기계장치용, 공조용, 발전용, 전기화학용)의 에너지 소비 용도를 대상으로 분석하였다는 점이 특징적이다.⁵⁾

한편, 우리나라 산업부문의 에너지원간 대체(interfuel substitution) 관계에 관한 연구는 최근에 꾸준히 이루어지고 있다. Kim & Labys(1988)는 한국의 제조업 9개 업종과 농업, 광업 및 건설업을 대상으로 translog 모형을 이용하여 생산요소간, 그리고 에너지원간 대체관계를 분석하고 있다.⁶⁾ 박창수(2003)와 박광수(2005)는 우리나라 제조업을 대상으로 에너지원(석탄, 석유, 가스, 전력)간의 대체관계를 선형 logit 모형을 이용하여 분석하였다. 특히 박광수(2005)는 환경 정책변수를 도입하여 환경규제가 에너지원간 대체에 어떤 영향을 주었는지 분석하고 있다. 김수이(2006)는 2단계 translog 모형을 사용하여 우리나라 제조업에 대한 에너지 수요함수와 요소수요함수를 추정하여 에너지원의 수요변화를 분석함으로써 탄소세의 실효성을 분석하고 있다. 김승래 외(2009)는 제조업 중 에너지 다소비업(석유·화학, 1차금속, 비금속광물), 제조업

5) 에너지 이용기술별 소비 자료를 이용한 다른 연구로 Kratena & Wüger(2003)도 있음.

6) 한국을 대상으로 한 기타 연구에는 Cho *et al.*(2004)도 있음.

및 수송업을 대상으로 김수이(2006)에서와 같은 2단계 translog 모형을 이용하여 비용비중합수와 가격탄력성을 추정한 후 이를 이용하여 탄소세 및 에너지 절약투자지원 효과를 분석하고 있다.

국내 선행 연구들의 문제점을 일부 지적하자면, 김수이(2006), Kim & Labys (1988), 그리고 김승래 외(2009)는 2단계 translog 모형을 사용하고 있는데 translog 모형은 외국의 연구에서 지적하고 있듯이 실증 분석 결과에 대한 여러 가지 문제점을 지적받고 있다(Considine, 1990). Translog 모형은 추정 편의에 의해 에너지원간 연료대체 연구에 대한 중요한 모형으로 사용되고 있으나(김수이, 2006) 실증분석 결과를 보면, 첫 번째, 에너지원의 가격탄력성 부호가 (+)인 경우가 있어 경제학적 기본개념과 배치되는 결과를 보이기도 한다. 두 번째, 가격변화에 대한 동적 적응을 모형에 도입하기 어렵다.

이에 반해 본고는 translog 모형이 갖고 있는 단점 보완과 탄소세 효과와 같이 가격 변화에 대한 중장기 적응을 필요로 할 때, logit 모형의 상대적 우월성(Jones, 1995)을 고려하여 선형 logit 모형을 추정모형으로 이용하고 있으며, 확장모형에서는 시간 경과에 따른 기술발전을 반영하기 위한 대리변수로 시간추세 변수를 채택하고 있다. 이러한 모형을 국내 9개 제조업을 대상으로 1981년부터 2008년 자료를 이용하여 실증분석을 하고 있다.

또한, 이용 자료 면에서 기존연구를 개선·보완하고 있다. 즉 제조업 전체 혹은 산업 에너지 소비 자료가 아닌 제조업 9개 업종 자료를 이용한다는 점이다. 즉 9개 업종별 시계열 자료(disaggregated data) 이용을 통해 제조업 전체 혹은 산업부문 통합자료(aggregate data)가 갖는 업종특성 미반영 문제를 완화시키고 있다.

Ⅲ. 분석모형 및 탄력성 추정

1. 실증분석 모형

본 논문은 제조업 업종별 에너지원간 대체를 통한 탄소세 효과를 분석하기 위해 식 (1)과 같은 에너지원별 비용비중함수(cost share function)를 이용한 logit 정태모형을 설정한다.⁷⁾ 분석에서 고려하는 에너지원은 비에너지용을 제외한 4가지 에너지원, 즉 석탄, 석유, 가스, 그리고 전력 등이다.

식 (1)을 이용하여 에너지원의 가격탄력성을 추정함에 있어 다른 투입요소인 노동, 자본, 중간재 등과의 약분리(weakly separable)를 가정하여 모형에서 이들 투입요소를 고려하지 않고 있다.

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{s_1}{s_4}\right)_t &= (a_1 - a_4) \\ &\quad - [\beta_{12}^* s_{2t}^* + \beta_{13}^* s_{3t}^* + \beta_{14}^* (s_{1t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t \\ &\quad + (\beta_{12}^* - \beta_{24}^*) s_{2t}^* \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t + (\beta_{13}^* - \beta_{34}^*) s_{3t}^* \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\ &\quad + (e_1 - e_4)_t \\ \ln\left(\frac{s_2}{s_4}\right)_t &= (a_2 - a_4) \\ &\quad - [\beta_{12}^* s_{1t}^* + \beta_{23}^* s_{3t}^* + \beta_{24}^* (s_{2t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t \\ &\quad + (\beta_{12}^* - \beta_{14}^*) s_{1t}^* \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t + (\beta_{23}^* - \beta_{34}^*) s_{3t}^* \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\ &\quad + (e_2 - e_4)_t \end{aligned}$$

7) 분석모형의 상세한 내용과 도출과정은 Considine & Mount(1984)와 박창수(2003) 참조.

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{s_3}{s_4}\right)_t &= (a_3 - a_4) \\
 &\quad - [\beta_{13}^* s_{1t}^* + \beta_{23}^* s_{2t}^* + \beta_{34}^* (s_{3t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (\beta_{13}^* - \beta_{14}^*) s_{1t}^* \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t + (\beta_{23}^* - \beta_{24}^*) s_{2t}^* \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (e_3 - e_4)_t
 \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에서 s_{it}^* 는 각 관찰 값에 대한 특정 에너지원 i 의 비용비중 값이며, p_i 는 에너지원 i 의 가격을 의미한다. 여기서 하첨자 i 중 1은 석유, 2는 도시가스, 3은 전력, 그리고 4는 석탄을 각각 의미하고 있다. $(e_i - e_4)$ 는 교란항으로 정규분포를 가정한다.

시간추세모형은 식 (1)에 시간추세 변수를 추가한 형태로 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{s_1}{s_4}\right)_t &= (a_1 - a_4) \\
 &\quad - [\beta_{12}^* s_{2t}^* + \beta_{13}^* s_{3t}^* + \beta_{14}^* (s_{1t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (\beta_{12}^* - \beta_{24}^*) s_{2t}^* \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t + (\beta_{13}^* - \beta_{34}^*) s_{3t}^* \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (h_1 - h_4)t + (e_1 - e_4)_t \\
 \ln\left(\frac{s_2}{s_4}\right)_t &= (a_2 - a_4) \\
 &\quad - [\beta_{12}^* s_{1t}^* + \beta_{23}^* s_{3t}^* + \beta_{24}^* (s_{2t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (\beta_{12}^* - \beta_{14}^*) s_{1t}^* \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t + (\beta_{23}^* - \beta_{34}^*) s_{3t}^* \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\
 &\quad + (h_2 - h_4)t + (e_2 - e_4)_t
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ln\left(\frac{s_3}{s_4}\right)_t &= (a_3 - a_4) \\
&\quad - [\beta_{13}^* s_{1t}^* + \beta_{23}^* s_{2t}^* + \beta_{34}^* (s_{3t}^* + s_{4t}^*)] \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)_t \\
&\quad + (\beta_{13}^* - \beta_{14}^*) s_{1t}^* \ln\left(\frac{p_1}{p_4}\right)_t + (\beta_{23}^* - \beta_{24}^*) s_{2t}^* \ln\left(\frac{p_2}{p_4}\right)_t \\
&\quad + (h_3 - h_4)t + (e_3 - e_4)_t
\end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 $(h_i - h_4)$ 는 시간추세에 대한 추정계수이다. 식 (1)과 식 (2)에서 $a_4 = h_4 = 0$ 이라는 제약은 추정의 편의를 위해 필요하다.⁸⁾

식 (1)과 식 (2)는 제조업 업종에 따라 네 가지 에너지원 모형과 세 가지 에너지원 모형이 적용되었는데, 전자 모형에서 기준(reference) 에너지원은 석탄이며, 후자 모형에서는 전력을 기준 에너지원으로 하고 있다.

탄력성은 각 에너지원의 비용비중의 표본 평균값($\bar{s}_i$)과 추정계수를 이용하여 계산하는데 교차 가격탄력성(E_{ij}^*)과 가격탄력성(E_{ii}^*)은 식 (3)과 식 (4)를 통해서 각각 추정된다.

$$E_{ij}^* = (\beta_{ij}^* + 1) \bar{s}_j, \quad i \neq j \tag{3}$$

$$E_{ii}^* = (\beta_{ii}^* + 1) \bar{s}_i - 1 \tag{4}$$

2. 실증분석 결과

1) 사용자료와 추정방법

본 고에서 사용한 자료는 제조업 업종별·에너지원별 연간 자료(1981~

8) Considine(1990), p. 349와 Jones(1995), p. 460 참조.

2008년)이다. 에너지 소비 자료는 지식경제부·에너지경제연구원에서 발간하는 에너지통계연보의 에너지밸런스 자료에서 원료용 에너지인 원료탄(coking coal)과 납사, 아스팔트, 용제 등 비에너지유를 제외한 연료용 에너지 소비량을 석유환산톤(toe)으로 환산하여 사용하였다. 에너지원별 가격은 모두 고유단위를 사용하고 있어 전환계수를 이용하여 toe당 가격자료로 환산되었다.⁹⁾

식 (1)과 식 (2)는 각각 기본 모형과 추세변수(trend variable)를 추가한 정태모형이다. s_{it}^* 는 예측값(predicted values)이다. 추정방법은 2단계 비선형 반복 SUR(nonlinear iterative seemingly unrelated regression estimation) 방법을 이용하였다.¹⁰⁾

2) 에너지 비용비중함수 추정결과

본 연구에서 선형 logit 에너지 비용비중 모형의 추정은 기본모형을 기반으로 하며, 시간추세 변수를 추가한 모형으로 확장되었다. 식 (1)과 식 (2)에서 종속변수는 상대 비용비중이며, 독립변수의 가격은 상대가격을 사용하고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 2단계 반복추정 방법에 기초하여 추정된 비중(s^*)을 식에서 사용하고 있다. 그러므로 추정계수(β_{ij})들이 수렴할 때까지 반복적으로 앞 단계에서 추정된 값들이 사용된다. 추정 시 추정의 편의를 위해 $a_4 = 0$ (4개 에너지원 모형), $a_3 = 0$ (3개 에너지원 모형)을 가정하고 있다.¹¹⁾

9) 각 에너지원의 가격자료에 대한 상세 내용은 박창수(2003), pp. 39-40 참조. 단, 도시가스가 산업용으로 공급된 것은 1984년부터이므로 이를 반영하고 있음.

10) 비선형 반복적 SUR 또는 SUR에 대한 반복적(iterative) Zellner 추정법이라고 함(자세한 방법은 박창수(2003) 참조).

11) Considine(1990), p. 349 참조.

〈표 1〉 비용비중함수 추정식의 통계적 유의도 및 설명력

제조업종	통계적 유의도		설명력(Adj. R ²)	
	기본모형	시간추세모형	기본모형	시간추세모형
음식·담배	우수	-	-	우수
섬유·의복	우수	-	유사	유사
목재·나무	동등	동등	-	우수
펄프·인쇄	우수	-	-	우수
석유·화학	우수	-	-	우수
비금속광물	우수	-	우수	
1차금속	유사	유사	-	우수
조립금속	우수	-	-	우수
기타제조	-	우수	-	우수

주: 본 논문에서 제조업 9개 업종 분류는 우리나라 에너지 수급밸런스 표의 분류에 근거함.

제조업 9개 업종의 에너지 비용비중 함수 추정 결과를 이용하여 추정계수의 통계적 유의도와 설명력은 <표 1>을 통해서 정리하고 있다. <표 1>에 의하면, 통계적 유의도와 설명력 모두 우월한 것으로 보이는 기타제조업종을 제외하면 통계적 유의도는 기본모형이 우월한 것으로 판단되며, 추정식의 설명력은 시간추세 변수가 설명변수로 추가된 시간추세모형이 우월한 것으로 판단된다.

각 업종별 에너지 비용비중함수 추정 결과는 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 업종별 추정결과

업종 변수	음식·담배업종			섬유·의복업종			목재·나무업종		
	기본모형	추정계수	표준오차	기본모형	추정계수	표준오차	기본모형	추정계수	표준오차
a_1	2.637***	0.669	3.265***	0.953	2.034**	1.076	5.659***	1.248	0.101
a_2	1.267**	0.621	-2.455***	0.931	0.299	1.002	-0.616	1.320	-6.598***
a_3	2.383***	0.663	3.301***	0.953	2.012**	1.074	5.872***	1.238	-
β_{12}	0.033	0.002	0.003	0.001	0.042***	0.005	-0.006	0.001	0.033
β_{13}	-0.002	0.000	0.001	0.001	-0.006***	0.000	-0.003***	0.001	-0.006***
β_{14}	-0.028***	0.008	-0.008	0.008	-0.028***	0.009	0.021**	0.010	-
β_{23}	-0.042***	0.002	-0.013***	0.001	-0.030***	0.003	-0.003***	0.001	-0.007***
β_{24}	0.063***	0.023	-0.042*	0.030	0.100**	0.045	-0.086***	0.027	-
β_{34}	-0.013**	0.006	-0.026***	0.007	-0.014**	0.007	-0.010*	0.007	-
h_1	-	-	-0.096***	0.036	-	-	-0.166***	0.022	-0.016***
h_2	-	-	0.097***	0.035	-	-	0.040*	0.029	0.169***
h_3	-	-	-0.088	0.000	-	-	-0.196	0.000	-
Adj. R ²	ln(s_oil/s_crd)	0.08	ln(s_oil/s_crd)	0.15	ln(s_oil/s_crd)	0.08	ln(s_oil/s_crd)	0.12	ln(s_oil/s_dec)
	ln(s_gas/s_crd)	0.97	ln(s_gas/s_crd)	0.94	ln(s_gas/s_crd)	0.97	ln(s_gas/s_crd)	0.69	ln(s_gas/s_dec)
	ln(s_dec/s_crd)	0.04	ln(s_dec/s_crd)	0.12	ln(s_dec/s_crd)	0.11	ln(s_dec/s_crd)	0.17	-

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의도에서 통계학적으로 유의함을 나타냄.

〈표 2〉 업종별 추정결과 (계속)

업종 변수	펠프·인쇄업종				석유·화학업종				비금속광물업종			
	기본모형		시간추세모형		기본모형		시간추세모형		기본모형		시간추세모형	
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
a_1	0.165***	0.052	-6.931***	0.212	3.557***	0.666	0.518	0.418	-1.086***	0.162	-0.961***	0.138
a_2	-2.967***	0.172	-0.482***	0.138	0.377	0.888	-7.346***	0.565	-0.690***	0.213	-5.262***	0.228
a_3	-	-	-	-	3.357***	0.654	0.335	0.406	-1.057***	0.175	-1.545***	0.104
β_{12}	0.027***	0.005	-0.008***	0.001	0.023***	0.006	-0.004	0.003	0.049***	0.005	0.023***	0.006
β_{13}	-0.005***	0.000	0.000	0.001	-0.005***	0.001	-0.003***	0.001	-0.002	0.002	-0.001	0.002
β_{14}	-	-	-	-	-0.014***	0.004	0.002	0.003	-0.011***	0.001	-0.003**	0.001
β_{23}	-0.016***	0.002	-0.006***	0.001	-0.026***	0.005	-0.004***	0.002	-0.068***	0.006	-0.008***	0.003
β_{24}	-	-	-	-	0.051**	0.021	0.008***	0.003	0.005***	0.001	-0.020***	0.002
β_{34}	-	-	-	-	0.000	0.005	-0.014***	0.003	-0.007***	0.001	-0.010***	0.001
h_1	-	-	0.179***	0.010	-	-	0.151***	0.010	-	-	0.018***	0.003
h_2	-	-	0.016***	0.005	-	-	0.388***	0.021	-	-	0.092***	0.012
h_3	-	-	-	-	-	-	0.147	0.000	-	-	0.019	0.000
	$\ln(s_{oil}/s_{dec})$	0.61	$\ln(s_{oil}/s_{dec})$	0.73	$\ln(s_{oil}/s_{coal})$	0.31	$\ln(s_{oil}/s_{coal})$	0.86	$\ln(s_{oil}/s_{coal})$	0.38	$\ln(s_{oil}/s_{coal})$	0.04
	$\ln(s_{gas}/s_{dec})$	0.96	$\ln(s_{gas}/s_{dec})$	0.99	$\ln(s_{gas}/s_{coal})$	0.77	$\ln(s_{gas}/s_{coal})$	0.98	$\ln(s_{gas}/s_{coal})$	0.98	$\ln(s_{gas}/s_{coal})$	0.98
Adj. R^2	-	-	-	-	$\ln(s_{dec}/s_{coal})$	0.18	$\ln(s_{dec}/s_{coal})$	0.94	$\ln(s_{dec}/s_{coal})$	0.84	$\ln(s_{dec}/s_{coal})$	0.74

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의도에서 통계학적으로 유의함을 나타냄.

〈표 2〉 업종별 추정결과 (계속)

업종 변수	1차금속업종				조립금속업종				기타제조업종			
	기본모형		시간추세모형		기본모형		시간추세모형		기본모형		시간추세모형	
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
α_1	1.360*	0.824	7.082***	0.749	-1.278***	0.138	0.172	0.324	-0.282	0.313	3.496***	0.357
α_2	0.624	0.713	2.696***	0.680	-1.244***	0.338	-4.770***	0.543	-4.014***	0.630	-2.343***	0.251
α_3	2.223***	0.847	8.174***	0.747	-	-	-	-	-2.493***	0.272	1.195***	0.405
$\beta_{1,2}$	0.039***	0.007	0.001*	0.001	0.119***	0.026	-0.020*	0.015	-0.006***	0.001	-0.005***	0.000
$\beta_{1,3}$	-0.002	0.001	0.000	0.001	-0.001	0.001	-0.006***	0.002	-0.004***	0.001	-0.003**	0.001
$\beta_{1,4}$	0.020	0.026	-0.009**	0.004	-	-	-	-	-0.009***	0.000	-0.006***	0.000
$\beta_{2,3}$	-0.020***	0.002	-0.007***	0.000	-0.022***	0.003	-0.001	0.004	-0.006	0.005	-0.010***	0.002
$\beta_{2,4}$	0.009	0.017	-0.003	0.006	-	-	-	-	-0.060***	0.013	-0.035***	0.007
$\beta_{3,4}$	-0.023***	0.007	-0.013***	0.003	-	-	-	-	-0.012***	0.002	-0.013***	0.001
h_1	-	-	-0.348***	0.027	-	-	-0.073***	0.012	-	-	-0.186***	0.020
h_2	-	-	-0.151***	0.024	-	-	0.122***	0.019	-	-	-0.026	0.027
h_3	-	-	-0.285	0.000	-	-	-	-	-	-	-0.116	0.000
Adj. R ²	ln(s.oil/s.oal)	0.25	ln(s.oil/s.oal)	0.84	ln(s.oil/s.dec)	0.31	ln(s.oil/s.dec)	0.60	ln(s.oil/s.oal)	0.95	ln(s.oil/s.oal)	0.99
	ln(s.gas/s.oal)	0.37	ln(s.gas/s.oal)	0.74	ln(s.gas/s.dec)	0.91	ln(s.gas/s.dec)	0.96	ln(s.gas/s.oal)	0.15	ln(s.gas/s.oal)	0.76
	ln(s.dec/s.oal)	0.23	ln(s.dec/s.oal)	0.79	-	-	-	-	ln(s.dec/s.oal)	0.98	ln(s.dec/s.oal)	0.99

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의도에서 통계학적으로 유의함을 나타냄.

3) 가격탄력성 추정결과

본 논문은 산업별 에너지 비용비중함수 추정결과에 기초하여 자기 가격탄력성(own-price elasticity)과 교차 가격탄력성(cross-price elasticity)을 도출하였다(<표 3> 참조). 추정결과를 보면 모든 업종에서 기본모형과 시간추세모형 모두 가격탄력성이 음(negative)의 값을 나타내 경제학 이론과 부합한 결과를 보여주고 있다. 그리고 교차 가격탄력성은 모두 대체관계를 보여주고 있다.¹²⁾

추정된 탄력성의 특징을 정리하면, 첫째, 기본모형과 시간추세모형 모두 전 업종에서 가격탄력성은 비탄력적인 것으로 나타났다. 두 번째, 목재·나무, 펄프·인쇄, 1차금속, 조립금속업종을 제외하면 기본모형과 시간추세모형간 가격탄력성의 편차가 작게 나타났다. 세 번째, 펄프·인쇄업종의 시간추세모형을 제외하면 가스 가격탄력성이 모든 업종의 두 모형에서 1에 가까운 크기이며, 석탄의 가격탄력성 역시 비금속광물과 기타제조업을 제외하면 두 가지 모형 모두에서 0.9 이상을 기록하여 타 에너지원과 비교하면 상대적으로 탄력적인 것으로 나타났다. 네 번째, 모든 업종에서 기본 및 시간추세모형에서 교차 가격탄력성이 양의 값을 나타내 대체관계인 것으로 분석되었다.

12) Kim & Labys(1988)의 연구에서 제조업의 가격탄력성은 모두 음의 값을 가지며, 에너지원간 교차 가격탄력성 모두 대체관계로 나타났다. 그러나 김수이(2006)의 제조업 업종별 연구에서는 가격탄력성은 여러 업종에서 양의 값을 보이고 있고 (전력-가스)와 (가스-전력)의 교차 가격탄력성이 모든 업종에서 보완관계인 것으로 추정되었으며, (석유-가스)와 (가스-석유)의 교차 가격탄력성을 제외한 석유-전력, 전력-석유, 석탄-석유, 석유-석탄, 석탄-가스, 가스-석탄, 석탄-전력, 그리고 전력-석탄의 교차 가격탄력성이 여러 업종에서 보완관계인 것을 보이고 있음. 김승래 외(2009) 연구의 에너지 다소비업종과 제조업의 연구결과를 보면, 가격탄력성은 모두 음의 값을 나타냈으나 교차 가격탄력성은 일부 에너지원간에 보완관계가 있는 것으로 추정됨.

〈표 3〉 업종별 가격탄력성과 교차 가격탄력성 추정 결과

탄력성 계수	음식·담배		섬유·의복		목재·나무		펄프·인쇄		석유·화학		비금속광물		1차금속		조립금속		기타제조	
	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세	기본	시간추세
자기 가격탄력성(own-price elasticity)																		
11 (석유)	-0.532	-0.542	-0.640	-0.650	-0.855	-0.718	-0.718	-0.988	-0.566	-0.573	-0.778	-0.782	-0.773	-0.783	-0.885	-0.883	-0.366	-0.398
22 (가스)	-0.967	-0.950	-0.980	-0.954	-0.992	-0.988	-0.990	-0.606	-0.984	-0.977	-0.963	-0.962	-0.963	-0.942	-0.968	-0.968	-0.930	-0.917
33 (전력)	-0.499	-0.512	-0.382	-0.400	-0.147	-0.285	-0.284	-0.397	-0.469	-0.476	-0.701	-0.701	-0.268	-0.324	-0.132	-0.139	-0.871	-0.876
44 (석탄)	-0.976	-0.973	-0.974	-0.980	-	-	-	-	-0.969	-0.960	-0.537	-0.539	-0.977	-0.934	-	-	-0.798	-0.782
교차 가격탄력성(cross-price elasticity)																		
12(석유-가스)	0.028	0.045	0.019	0.041	0.006	0.009	0.006	0.387	0.014	0.019	0.032	0.033	0.032	0.053	0.029	0.028	0.053	0.071
13(석유-전력)	0.498	0.488	0.612	0.597	0.850	0.709	0.712	0.600	0.526	0.520	0.293	0.294	0.729	0.675	0.867	0.855	0.123	0.118
14(석유-석탄)	0.006	0.009	0.009	0.012	-	-	-	-	0.025	0.034	0.453	0.455	0.011	0.055	-	-	0.190	0.209
21(가스-석유)	0.483	0.460	0.373	0.346	0.165	0.279	0.287	0.009	0.442	0.424	0.229	0.222	0.236	0.217	0.120	0.109	0.627	0.597
23(가스-전력)	0.478	0.481	0.597	0.597	0.827	0.709	0.704	0.597	0.515	0.520	0.274	0.292	0.716	0.670	0.848	0.859	0.123	0.117
24(가스-석탄)	0.007	0.009	0.009	0.011	-	-	-	-	0.027	0.034	0.461	0.447	0.011	0.055	-	-	0.180	0.203
31(전력-석유)	0.466	0.459	0.356	0.347	0.143	0.276	0.278	0.009	0.430	0.424	0.218	0.217	0.227	0.217	0.107	0.110	0.629	0.598
32(전력-가스)	0.026	0.044	0.018	0.041	0.005	0.008	0.006	0.388	0.013	0.019	0.028	0.032	0.031	0.053	0.025	0.029	0.053	0.071
34(전력-석탄)	0.006	0.009	0.009	0.012	-	-	-	-	0.026	0.033	0.455	0.452	0.011	0.054	-	-	0.189	0.208
41(석탄-석유)	0.454	0.455	0.350	0.348	-	-	-	-	0.426	0.426	0.216	0.217	0.232	0.215	-	-	0.626	0.596
42(석탄-가스)	0.029	0.043	0.020	0.037	-	-	-	-	0.014	0.019	0.030	0.031	0.032	0.053	-	-	0.050	0.069
43(석탄-전력)	0.493	0.475	0.605	0.595	-	-	-	-	0.529	0.514	0.291	0.291	0.714	0.667	-	-	0.123	0.117

IV. 탄소세의 CO₂ 감축 효과 분석

1. 효과 분석 방법 및 한계

본 고에서는 기후변화협약 대응을 위한 탄소세 옵션을 우리나라 제조업에 적용한다는 것을 가정하고 있다. 이러한 가정하에서 기본모형을 사용하여 탄소세가 온실가스 감축 수단으로서 실효성이 있는지 살펴보고자 한다.

탄소세 영향을 분석하기 전에 본 분석이 갖는 한계를 우선 짚어 볼 필요가 있다. 첫째, 에너지 가격 인상으로 말미암은 생산량 변화를 고려하지 않고 있다. 그러므로 탄력성 추정결과에 바탕을 둔 에너지원별 소비량 예측은 동일한 생산 수준을 유지하기 위한 에너지원간 대체로 보아야 한다. 둘째, 기술변화를 반영하지 않는다. 즉 가격변화에 따른 에너지원간 대체의 영향으로서 가격을 제외한 현재의 여건(예, 정부정책, 기술수준 등)을 전제하는 것으로 보아야 한다. 그러므로 정부의 온실가스 감축정책이 추가 도입되어 나타날 수 있는 새로운 변화요인을 반영하지 못하는 한계가 있다. 예를 들어 온실가스 목표관리제가 시행된다면 에너지가격이 변화한다 해도 목표이행을 위해 가격수준에 따른 적응이 아닌 다른 선택을 할 개연성을 배제할 수 없다.¹³⁾

이러한 분석은 오직 탄소세의 중단기(5~15년) 효과만을 분석할 수 있으며, 정태적 모형이 분석의 기초를 제공하고 있으므로 추정된 탄소세의 영향은 부분적(partial)이라는 점에 유의해야 한다. 탄소세에 의해 유발된 경제 전반에 걸친 조정을 본 방법론으로는 반영하지 못한다. 이상의 제약에도 불구하고 제조업별로 유용한 정보 제공이라는 점에서 유의미하다(Floros & Vlachou, 2005).

13) 본 논문은 부분균형접근법을 채택하고 있기 때문에 탄소세 부과에 의한 비용인상이 기업의 생산 감소와 그에 따른 에너지투입 감소가 온실가스 배출량에 미치는 효과는 반영하지 못하는 한계가 있음을 밝힘.

본 연구에서 탄소세 영향을 분석하기 위해 2008년 가격(명목)에 각 에너지원이 가지고 있는 탄소함유량에 비례하여 탄소세를 부과하는 것으로 가정한다.¹⁴⁾ 에너지원별 가격, 탄소배출권 거래가격,¹⁵⁾ 에너지원별 탄소함유율(배출계수)은 <표 4>와 같다. 탄소배출권 거래가격은 IEA에서 사용하고 있는 탄소 톤당 30달러(35,100원)¹⁶⁾를 사용하고 있다.¹⁷⁾

<표 4> 탄소세 부과 방법 및 탄소세율 산정 흐름(음식·담배업종 예)

항 목	석탄	석유	가스	전력
배출권가격(원/tC), (A)	35,100			
2008 가격(원/toe, 명목), (B)	216,259	1,058,380	521,137	770,250
배출계수(tC/toe), (C)	1.0300	0.8559	0.6448	1.3776
탄소세(원/toe), (D=A×C)	36,151	30,041	22,631	48,355
탄소세 부과 후 가격(원/toe, 명목), (E=B+D)	252,410	1,088,420	543,768	818,606
탄소세율(%), (F=D/B)	16.7	2.8	4.3	6.3

각 에너지원은 제품(예, 무연탄, 유연탄, 휘발유, 경유 등)에 따라 탄소 함유량이 상이하고 업종별로 소비하는 에너지원별 제품구성비¹⁸⁾가 다르므로 이를

14) 전력의 탄소 함유량은 다른 화석연료와는 달리 매년 전원믹스 차이로 인해 변화한다. 본고는 2006년 기준 이산화탄소 배출량을 발전량으로 나눈 값을 사용하고 있음.

15) 교토의정서에 의해 부속서 I 당사국은 탄소배출권거래제를 포함한 시장 메커니즘을 이용하여 온실가스 배출을 감축할 수 있으므로 부속서 I 당사국은 시장 메커니즘을 위한 국가 시스템(National System)과 제도를 이미 갖추고 있음. 한편, 2010년 현재, 유럽연합, 아이슬란드, 리히텐슈타인, 노르웨이, 그리고 뉴질랜드가 발전 및 산업 부문별 이산화탄소 배출 상한선을 설정하고 이산화탄소 배출권 거래를 규정하여 특정 기간 동안 이산화탄소 가격을 도출하는 정식 탄소배출 총량거래제(cap-and-trade)를 채택하고 있음(IEA, 2010: http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm).

16) 통계청의 KOSIS에서 원화의 대미달러 환율 시가 기준 2009년 말일 자료를 적용하였음(http://www.kosis.kr/abroad/abroad_01List.jsp?parentId=N).

17) IEA(2010)는 탄소배출권 가격을 이산화탄소 톤당 30달러(2020), 42달러(2035)로 가정하고 있음. 김승래 외(2009)는 2008년~2012년 평균 이산화탄소 배출권거래가격인 톤당 25유로(31,828원)를 사용하고 있으며, 김수이(2006)는 50,000원을 가정하고 있음.

반영하여 최대한 업종별 에너지 소비특성을 반영하고자 하였다. 그리고 에너지 제품의 탄소 배출계수는 국가별로 다를 수 있으므로 IPCC 배출계수가 아닌 국가 고유 이산화탄소 배출계수를 사용하였다(<표 5> 참조).

〈표 5〉 이산화탄소 배출계수

에너지 제품	배출계수	
	tCO ₂ /toe	tC/toe
무연탄	4.1142	1.1221
유연탄	3.7765	1.0300
휘발유	3.0243	0.8248
등 유	2.9936	0.8164
경 유	3.0396	0.8290
B-A유	3.1010	0.8457
B-B유	3.1471	0.8583
B-C유	3.1778	0.8667
JA-1	3.0243	0.8248
프로판	2.7019	0.7369
부 탄	2.7786	0.7578
도시가스	2.3641	0.6448
전 력	5.0514	1.3776
전력 (tCO ₂ /MWh)	0.4344	

<표 6>에서는 분석에 적용된 업종별 탄소세율을 정리하고 있다. 탄소세율은 석탄 16.7%~18.2%, 석유 2.6%~2.9%, 가스 4.3%, 그리고 전력은 6.3%로 석탄이 가장 높다. 김승래 외(2009)¹⁸⁾는 석탄 37.90%, 석유 4.10%, 가스 4.39%,

18) 석탄은 무연탄과 연료탄(유연탄)으로 구분되며, 연료용 석유제품은 9 가지가 있음. 물론 석유제품 가운데 주로 소비되는 석유제품이 있으나 업종의 에너지 소비패턴을 반영하기 위해 가중 평균 배출계수를 산정하여 사용하고 있음.

그리고 전력은 6.05%, 김수이(2006)²⁰⁾는 석탄 67.89%, 석유 8.59%, 가스 8.72%, 그리고 전력은 10.2%를 가정하고 있다.

기존 연구의 탄소세율과 비교해서 차이가 심한 것은 세 가지 요인에 기인한다. 우선 기준가격의 차이이다. 탄소세율 산정 기초가 되는 기준가격의 적용연도가 상이하다. 두 번째는 탄소금액의 크기이다. 마지막으로 적용된 배출계수²¹⁾의 편차이다. 이 세 가지 요인 중 하나라도 다르다면 탄소세율은 필연적으로 차이가 난다.

〈표 6〉 업종별 에너지원별 탄소세(전력 포함)율

제조업종	석탄	석유	가스	전력
음식 담배	16.7%	2.8%	4.3%	6.3%
섬유 의복	16.7%	2.9%		
목재 나무	-	2.8%		
펄프 인쇄	-	2.9%		
석유 화학	16.7%	2.6%		
비 금 속	16.7%	2.8%		
1차 금속	18.2%	2.8%		
조립금속	-	2.8%		
기타제조업	17.6%	2.6%		

탄소세를 부과하고 있는 외국의 경우 탄소세 부과 대상은 화석연료로 한정하는 것이 일반적이어서 본고에서는 전력에 탄소세를 부과하는 경우와 전력에 탄소세를 부과하지 않는 경우로 구분하여 분석하고 있다.²²⁾

19) 2007년 에너지원별 가격과 이산화탄소 배출권가격인 톤당 25유로 기준임.

20) 2004년 에너지원별 가격과 톤당 50,000원의 탄소세 기준임.

21) 본고에서 적용한 에너지원별 배출계수는 석탄 1.030~1.122 tC/toe, 석유 0.788~0.864 tC/toe, 가스 0.645 tC/toe, 전력 1.378 tC/toe로 이는 업종별 연료소비 특성이 반영된 것임.

2. 전력에 탄소세를 부과하는 경우

전력에 탄소세를 부과한다는 의미는 최종에너지에 탄소세를 부과함을 의미하는 것이다. 최종에너지에 탄소세를 부과하게 되면 탄소세율이 높은 석탄과 전력 수요는 감소하고 석유와 가스 수요는 증가할 것으로 보인다.²³⁾ 제조업 전체의 경우 탄소세로 말미암아 수요 감소가 가장 큰 에너지원은 석탄이며, 전력수요도 감소하는 효과가 발생한다. 에너지 소비는 1.6% 감소하며 이산화탄소는 1.9% 정도의 감소가 예상된다(<표 7> 참조).

〈표 7〉 탄소세 부과에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 변화
(제조업, 2008 기준)

(단위: 천toe, 천tCO₂)

항목			석유	석탄	가스	전력	합계
최종 에너지에 부과	변화량	에너지소비	243	-848	81	-83	-608
		CO ₂ 배출	731	-3,362	191	-419	-2,860
	변화율 (%)	에너지소비	3.0	-9.8	1.4	-0.5	-1.6
		CO ₂ 배출	3.0	-9.9	1.4	-0.5	-1.9
1차 에너지에 부과	변화량	에너지소비	-18	-1,041	-143	228	-974
		CO ₂ 배출	-53	-4,129	-339	1,152	-3,367
	변화율 (%)	에너지소비	-0.2	-12.1	-2.4	1.4	-2.5
		CO ₂ 배출	-0.2	-12.2	-2.4	1.4	-2.2

22) 화석연료에 탄소세를 부과하는 국가는 네덜란드, 스위스, 노르웨이, 스웨덴, 코스타리카 등 임.

23) 분석의 편의를 위해 업종별 에너지 수요량이 고정되어 있다고 가정함.

3. 전력에 탄소세를 부과하지 않는 경우

탄소세를 적용하는 국가들에서 전력에 탄소세를 부과하는 경우는 일반적이지 않다. 따라서 최종에너지가 아닌 1차 에너지에 탄소세를 부과하는 경우를 상정하고자 한다. 에너지를 소비하는 소비자 관점에서 탄소세 부과 대상을 1차 에너지로 하는 것과 최종에너지로 하는 것의 차이점은 전환에너지인 전력요금 변화의 크기 차이일 것이다.

1차 에너지에 탄소세를 부과한다면 발전사업자는 이익극대화 전략에 따라 탄소함유량 정도, 신재생에너지 발전규모 등을 고려하여 탄소세 부과 이전과는 상이한 발전믹스를 통해 전력을 공급하게 될 것이며, 어느 정도 선에서의 전력요금 인상도 이어질 것이다. 다시 말해서 전력에 탄소세를 부과하지 않는다 해도 1차 에너지(화석연료)에 탄소세를 부과하면 화석연료 가격이 인상되고 전력생산을 위해 투입된 화석연료를 이용하는 발전설비의 이용률에 의해 요금 인상요인의 크기가 결정된다. 그러므로 현실적으로는 전력요금 인상으로 이어지는 것이 당연할 것이다. 그러나 화석연료 가격 인상으로 말미암은 전력요금 인상률의 크기는 각 개별 화석연료 인상률을 넘지 못할 것이다. 왜냐하면 발전을 위한 1차 에너지는 석탄, 석유, 가스 이외에 수력, 원자력, 신재생에너지 등 비화석연료가 있음과 동시에 화석연료 발전설비의 이용률에 따라 발전단가가 변동하기 때문이다.

그러나 본 분석에서는 분석의 편의를 위해 전력요금 인상이 없는 것으로 가정한다. 앞에서 설명한 바와 같이 ‘전력요금 인상이 없다’라는 가정은 매우 강한 가정이라는 점에서 본 분석 결과에 대한 해석 시 유의할 필요가 있다. 다시 말해서 전력에 탄소세를 부과하지 않는다 해도 화석연료에 탄소세를 부과하는 것으로도 그 영향 정도가 <표 8>의 ‘최종 에너지에 부과’와 ‘1차 에너지에 부과’의 중간 어느 수준에서 정해질 것이라는 점을 지적하고자 한다.

4. 산업별 효과분석 비교

<표 8>에서 탄소세 부과에 따른 제조업 업종별 이산화탄소 감축 효과에 대한 결과를 보면, 탄소세 부과 대상에 전력을 포함하는 경우에 비해 전력을 제외하는 경우에 제조업 전체로는 이산화탄소 배출 감축효과가 큰 것으로 분석되었다. 이는 전력 대체 수요를 유발하는 에너지원의 교차 가격탄력성(31(전력-석유), 32(전력-가스), 34(전력-석탄))이 아주 비탄력적이며, 탄소세율과 탄소 배출계수가 큰 석탄의 가격탄력성은 상대적으로 크나 석탄가격 변화에 대한 대체탄력성은 매우 비탄력적인 점이 작용한 결과로 판단된다.

〈표 8〉 탄소세 부과에 따른 이산화탄소 배출량 변화를 비교

제조업종	본 연구		김승래 외(2009)	김수이(2006)
	최종 에너지에 부과	1차 에너지에 부과		
음식·담배	-0.79%	-0.14%	-	1.17%
섬유·의복	-0.66%	-0.55%	-	-17.70%
목재·나무	0.07%	-0.36%	-	-15.22%
펄프·인쇄	0.14%	-0.29%	-	-2.18%
석유·화학	-0.03%	0.09%	-	1.48%
비금속광물	-1.69%	-2.02%	-	-48.60%
1차 금속	-4.14%	-5.52%	-	-
조립금속	-0.06%	-0.13%	-	-
기타제조업	-7.34%	-7.72%	-	-13.17%
제 조 업	-1.9	-2.2%	-2.5%	-
에너지 다소비 업종	-1.9	-2.5%	-3.1%	-

주: 에너지 다소비 업종은 석유·화학, 1차 금속, 그리고 비금속광물 업종임.

한편, 탄소세 부과에 따른 이산화탄소 배출량 변화율이 기존 연구인 김수이(2006)와는 많은 차이를 보이고 있으나 김승래 외(2009)와는 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 차이는 앞에서 설명한 바와 같이 탄소세 수준, 기준가격 차이, 탄소배출계수 차이 등 복합적인 요인에 의한 것이다.

<표 9>에서 보면, 탄소세를 1차 에너지에 부과하는 경우 모든 업종에서 에너지 소비 감소폭이 큰 것으로 분석되었으나 이산화탄소 배출 저감율은 음식·담배, 섬유·의복, 석유·화학업종을 제외하면 1차 에너지에 부과하는 경우 더 큰 폭의 저감율을 시현할 것으로 보인다. 특히 대표적인 에너지 다소비 업종인 1차 금속업종은 차이가 두드러지게 나타났다. 에너지 소비와 이산화탄소 배출 감소 폭이 업종별로 상이한 것은 업종별 에너지 소비믹스 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

〈표 9〉 탄소세 부과에 따른 업종별 에너지 소비 및 CO₂ 배출량 변화율

제조업종	최종 에너지에 부과		1차 에너지에 부과	
	에너지	CO ₂	에너지	CO ₂
음식·담배	-0.45%	-0.79%	-0.75%	-0.14%
섬유·의복	-0.35%	-0.66%	-1.09%	-0.55%
목재·나무	0.36%	0.07%	-0.86%	-0.36%
펄프·인쇄	0.50%	0.14%	-0.72%	-0.29%
석유·화학	0.43%	-0.03%	-0.37%	0.09%
비금속광물	-1.59%	-1.69%	-2.29%	-2.02%
1차 금속	-3.88%	-4.14%	-5.87%	-5.52%
조립금속	0.17%	-0.06%	-0.53%	-0.13%
기타제조업	-6.44%	-7.34%	-6.94%	-7.72%

탄소세 부과 대상에 전력을 포함하는 경우와 제외하는 경우에 있어 석유와 가스 소비는 소비증가에서 소비 감소로 방향을 전환하는 것으로 나타났으며, 석탄은 감소폭이 큰 반면 전력은 감소에서 증가로 변화되어 석유 및 가스와는 반대방향으로의 전환을 나타냈다(<표 10>과 <표 11> 참조).

이상의 결과를 바탕으로 볼 때, 탄소세 부과 대상을 1차 에너지로 국한하는 것이 비용 효과적(cost effective)임을 알 수 있다. 즉 탄소세를 부과하고 있는 외국의 사례와도 일치하는 결과를 보여주고 있다.

〈표 10〉 탄소세 부과에 따른 원별 에너지 소비 및 CO₂ 배출량
변화율(제조업 전체)

에너지원	최종 에너지에 부과		1차 에너지에 부과	
	에너지	CO ₂	에너지	CO ₂
석 유	3.00%	3.02%	-0.22%	-0.22%
석 탄	-9.83%	-9.91%	-12.06%	-12.17%
가 스	1.36%	1.36%	-2.42%	-2.42%
전 력	-0.52%	-0.52%	1.44%	1.44%
합 계	-1.58%	-1.88%	-2.53%	-2.21%

〈표 11〉 탄소세 부과에 따른 원별 에너지 소비 및 CO₂ 배출량
변화율(에너지다소비 3개 업종)

에너지원	최종 에너지에 부과		1차 에너지에 부과	
	에너지	CO ₂	에너지	CO ₂
석 유	3.14%	3.19%	-0.07%	-0.01%
석 탄	-9.00%	-9.13%	-11.94%	-12.12%
가 스	1.60%	1.60%	-2.03%	-2.03%
전 력	-0.37%	-0.37%	2.26%	2.26%
합 계	-1.57%	-1.94%	-2.75%	-2.48%

V. 결론 및 시사점

본 연구는 1981년부터 2008년 기간에 대해 제조업 9개 업종별 연간자료를 이용하고 있다. 에너지원은 4개의 에너지원(석유, 가스, 전력 및 석탄)을 대상으로 하고 있으나 석탄을 거의 소비하지 않는 일부업종(목재·나무, 펄프·인쇄, 조립금속)에 대해서는 석탄을 제외한 3개 에너지원이 분석 대상이다.

본 연구에서 제조업 9개 업종의 에너지 비용비중 함수를 기본모형과 시간추세모형을 통해 추정한 후 추정계수들의 통계적 유의도와 설명력을 바탕으로 기본모형을 최종모형으로 선택하였으며, 기본모형을 통해 추정된 에너지 비용비중함수의 추정계수를 이용하여 에너지원별 가격탄력성과 에너지원간 교차 가격탄력성을 추정하고 있다. 그리고 이를 바탕으로 탄소세 부과로 말미암은 에너지 소비와 에너지 소비로 말미암은 이산화탄소 배출량에 미치는 영향 정도를 업종별로 분석하고 있다.

본 논문에서 탄소 톤당(tC) 가격은 35,100원으로 가정하고 있으며, 각 에너지원별 탄소배출계수는 국가 고유 계수를 사용하고 있다. 업종별로 에너지 소비패턴이 상이한 점을 반영하기 위해 탄소배출계수가 상이한 제품으로 구성되는 석유와 석탄은 2008년 업종별 석유와 석탄 제품별 소비비중으로 가중 평균한 배출계수를 채택하고 있으며, 가스와 전력 배출계수는 9개 업종 모두 동일한 값을 사용하고 있다.

최종에너지에 탄소세를 부과한다고 가정한 경우 제조업 전체의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량은 각각 1.6%와 1.9% 감소할 것으로 분석되었다(<표 10> 참조). 업종별 영향에서는 탄소세 부과 대상에 전력을 포함한 경우 목재·나무업종과 펄프·인쇄업종은 에너지 소비와 이산화탄소 배출량 모두 탄소세 부과 이후 증가하는 것으로 나타났으며, 석유·화학업종과 조립금속업종

은 에너지 소비는 탄소세 부과 이후 증가하나 에너지원별 소비믹스 변화로 이산화탄소 배출량은 감소하는 것으로 나타났다(<표 9> 참조).

1차 에너지에 탄소세를 부과하는 경우의 분석 결과는 최종에너지에 탄소세를 부과한 결과와 다르게 나타났다. 제조업 전체로 에너지 소비와 이산화탄소 배출량은 각각 2.5%와 2.2% 감소할 것으로 나타났다(<표 10> 참조). 그리고 에너지 다소비 3개 업종의 경우는 각각 2.7%와 2.5%의 감소를 보일 것으로 추정되었다(<표 11> 참조). 특히 석유·화학업종을 제외한 8개 업종에서 에너지 소비와 이산화탄소 배출량 모두 감소하는 것으로 나타났으며 그 중 1차 금속업종에서 에너지 소비 감소와 이산화탄소 배출 저감이 가장 컸으며, 그 다음으로 비금속광물업종인 것으로 나타났다. 최종에너지에 탄소세를 부과한 분석 결과와 다른 점은 기타제조업을 제외한 나머지 업종에서 에너지소비 감소율보다 이산화탄소 배출 감축률이 낮게 나타났다는 점이다(<표 9> 참조).

따라서 탄소세를 1차 에너지에 부과하는 경우가 최종에너지에 부과하는 경우에 비해 제조업종에 따라 약간의 차이는 존재하지만, 제조업 전체적으로 에너지 소비와 이산화탄소 배출량 모두 더 크게 저감되는 것으로 나타났다. 본 연구는 정책의 실효성 측면에서 전자가 후자보다 이산화탄소 배출 감축에서 좀 더 효과적이라는 정책적 시사점을 제시하고 있다.

한편, 2015년 배출권거래제 시행을 예고한 우리나라 정부는 지난 2011년에 탄소세 시행을 심도 있게 검토했던 것으로 보인다. 최근 탄소세를 도입하거나 검토한 호주(에너지경제연구원, 2012b)와 중국(에너지경제연구원, 2012a)은 탄소세와 배출권거래제를 별도로 운영하기 보다는 보완적인 개념으로 이해하고 있는 것으로 판단되어 국내에서도 이에 대한 논의가 필요한 시점이 도래할 것으로 판단한다.

본 연구는 탄소세로 말미암은 에너지 소비 및 에너지 관련 이산화탄소 배출량 변화분석이 부분적인 분석에 그치고 있는 한계가 있다. 한편, 우리나라는 고체연료 사용규제와 석유제품 황 함유량별 소비지역 규제와 황산화물 총량규제를 동시에 하고 있어 천연가스와 같은 청정 화석에너지와 고급 에너지

인 전력 소비가 지속적으로 증가하고 있는 점을 감안한다면 환경규제를 반영하는 연구의 필요성을 지적하지 않을 수 없다.

접수일(2012년 5월 16일), 게재확정일(2012년 7월 2일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김수이. 2006. “계량경제모형을 이용한 탄소세의 산업별 실효성에 관한 연구”. 기본연구보고서 06-11. 에너지경제연구원.
- 김승래 · 송호신 · 김지영. 2009. “저탄소 · 환경친화적 산업을 위한 재정정책 방향”. 한국조세연구원.
- 박광수. 2005. “환경규제에 따른 산업부문의 에너지원간 대체관계 및 온실가스 배출저감 효과 분석”. 기본연구보고서 05-13. 에너지경제연구원.
- 박창수. 2003. “산업부문내의 에너지 대체 효과 분석”. 기본연구보고서 03-15. 에너지경제연구원.
- 유동현. 2010. “탄소세 도입에 따른 제조업의 에너지 관련 이산화탄소 감축효과 분석”. 숭실대 대학원 박사학위논문.
- 에너지경제신문, ‘탄소세, 법인세 감세 때 논의 했어야’, 2011.9.16. (http://www.ekn.kr/news/articleView.html?id_xno=72745)
- 에너지경제연구원, 2012a. “주간 세계 에너지시장 인사이트” 제12-22호(2012.6.15) p.16.
- 에너지경제연구원, 2012b. “주간 세계 에너지시장 인사이트” 제12-24호(2012.6.29) p.31.
- Barker, T., P. Ekins, N. Johnstone. 1995. *Global Warming and Energy Demand*, Routledge. Taylor & Francis Group.
- Berndt, E. R. and D. O. Wood. 1975. "Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy". *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 57, pp. 259-268.
- _____ and _____. 1979. "Engineering and Econometric Interpretations of

- Energy-Capital Complementarity". *The American Economic Review*, Vol. 69 No. 3, pp. 342-354.
- Bjørner, T. B. and H. H. Jensen. 2002. "Interfuel Substitution within Industrial Companies: An Analysis Based on Panel Data at Company Level". *The Energy Journal*, Vol. 23 No. 2, pp. 27~50.
- Brännlund, R. and T. Lundgren. 2004. "A Dynamic Analysis of Interfuel Substitution for Swedish Heating Plants". *Energy Economics*, Vol. 26, No. 6, pp. 961-976.
- Cho, W. G., K. Nam, and J. A. Pagán. 2004. "Economic Growth and Interfactor/Interfuel Substitution in Korea". *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 31-50.
- Considine, T. J. 1989a. "Estimating the Demand for Energy and Natural Resource Inputs: Trade-offs in Global Properties". *Applied Economics*, Vol. 21, pp. 931-945.
- _____. 1989b. "Separability, Functional Form and Regulatory Policy in Models of Interfuel Substitution". *Energy Economics*, Vol. 11 No. 2, pp. 82-94.
- _____. 1990. "Symmetry Constraints and Variable Returns to Scale in Logit Models". *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 8 No. 3, pp. 347-353.
- Considine, T. J. and T. D. Mount. 1984. "The Use of Linear Logit Models for Dynamic Input Demand Systems". *Review of Economics and Statistics*, Vol. 66, pp. 434-443.
- Field, B. C. and C. Grebenstein. 1980. "Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing". *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 62 No. 2, pp. 207-212.
- Floros, N. and A. Vlachou. 2005. "Energy Demand and Energy-related CO₂ Emissions in Greek Manufacturing: Assessing the Impact of a Carbon Tax". *Energy Economics*, Vol. 27, pp. 387-413.
- Fuss, M. A. 1977. "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs". *Journal of Econometrics*, Vol. 5 No. 1, pp. 89-116.
- Greene, W. H. 2003. *Econometric Analysis*. 5th ed. Prentice Hall.
- Griffin, J. M. and P. R. Gregory. 1976. "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses". *The American Economic Review*, Vol. 66 No. 5, pp.

845-857.

IEA. 2010. *World Energy Outlook 2010*. OECD/IEA.

Jones, C. T. 1995. "A Dynamic Analysis of Interfuel Substitution in U.S. Industrial Energy Demand". *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 13 No. 4, pp. 459-465.

Kim, B. C. and W. C. Labys. 1988. "Application of the translog model of energy substitution to developing countries: The case of Korea". *Energy Economics*, Vol. 10 No. 4, pp. 313-323.

Kratena, K. and M. Wüger. 2003. "The Role of Technology in Interfuel substitution: A Combined Cross-section and Time Series Approach". *WIFO Working Papers*, No. 204.

Ma, H., L. Oxley, J. Gibson and B. Kim. 2008. "China's energy economy: Technical change, factor demand and interfactor/interfuel substitution". *Energy Economics*, Vol. 30, pp. 2167-2183.

Pindyck, R. S. 1979. "Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy-An International Comparison". *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 61, pp. 169-179.

Steinbuks, J. 2010. "Interfuel Substitution and Energy use in the UK Manufacturing Sector". *EPRG Working Paper 1015*. University of Cambridge.

Turnovsky, M., M. Folie and A. Ulph. 1982. "Factor Substitutability in Australian Manufacturing with Emphasis on Energy Inputs". *The Economic Record*, Vol. 58 No. 1, pp. 61-72.

Urga, G. and C. Walters. 2003. "Dynamic translog and linear logit models: a factor demand analysis of interfuel substitution in US industrial energy demand". *Energy Economics*, Vol. 25, pp. 1-21.

ABSTRACT

An Analysis of the Effect of Carbon Tax on CO₂
Reduction Using Interfuel Substitution Relations
in Korean Manufacturing Sectors

Dongheon Yoo*, Changsuh Park** and Youn Jai Lee***

The purpose of this study is to analyze the impact of carbon taxes on the reduction of energy consumption and CO₂ emissions by estimating the elasticities of interfuel substitution in 9 Korean manufacturing sectors and to draw its policy implications.

For the purpose, this study estimates cost share functions of each energy source throughout static linear logit models, and calculates own-price elasticities and cross-price ones of fuel resources. Furthermore, using estimated elasticities of interfuel substitution for each manufacturing sector, this study analyzes the effect of carbon tax on CO₂ emissions reduction. In order to find the differences in impacts of imposing carbon tax on both primary energy and final energy, this study analyzes both of them and shows that imposing carbon tax on primary energy is more cost effectiveness than imposing carbon tax on final energy in reducing carbon dioxide emissions. That is, if carbon taxes are to be introduced, imposing carbon tax on primary energy like in other nations will make it easier to achieve policy goals.

Key Words : logit model, carbon tax, elasticity of substitution,
manufacturing

JEL Codes : D24, Q41, Q48

* Research Fellow, Korea Energy Economics Institute(main author). dhyoo@keei.re.kr

** Associate Professor, Department of Economics, Soongsil University(corresponding author). cpark@ssu.ac.kr

*** Professor, Department of Economics, Soongsil University. yjlee@ssu.ac.kr