

이산화탄소 감축정책에 따른 OECD 국가들의 GDP 손실액 패턴 분석

이승완* · 조용성**

Comparing CO₂ Abatement Cost Patterns of OECD Countries

Seung-wan Lee · Yongsung Cho

- 국문요약 ■
- ABSTRACT ■
- I. 서 론 ■
- II. 분석 모형 ■
- III. 분석 자료 ■
- IV. 분석 결과 ■
- V. 결 론 ■
- 참고문헌 ■

* 미네소타대학교 응용경제학과 (leex1451@umn.edu)

** 고려대학교 식품자원경제학과 (yscho@korea.ac.kr) 교신저자

국문 요약

CGE모형을 이용하여 우리나라를 포함한 OECD 국가와 중국, 브라질 등 18개 국가를 대상으로 다양한 비율의 CO₂ 저감량이 할당되는 경우 그에 따라 예상되는 국가별 GDP손실액을 추정하고 그 결과를 이용하여 각국의 CO₂ 저감에 따른 총비용곡선, 한계비용곡선, 평균비용곡선의 형태를 비교하였다.

대다수 국가의 총비용곡선, 한계비용곡선 그리고 평균비용곡선은 우상향하는 형태를 나타내었으나 국가별로 실행가능한 저감영역이 다르고 또 각 함수의 기울기와 절편 등이 다르게 나타났다. 향후 post-kyoto 온실가스감축 의무부담방안 협상 시 온실가스 저감에 따른 각국의 GDP손실액 유형을 고려하여 우리나라와 비슷한 패턴을 가지고 있는 국가들과 공동으로 의무부담방안을 모색하는 것이 필요하다.

주제어 | 온실가스 감축의무, GDP 손실액, 총비용곡선, 한계비용곡선, 평균비용곡선

Abstract

Most studies on CO₂ abatement cost with a computational general equilibrium (CGE) model focus on a specific country. On the contrary, this study compares and analyses the CO₂ abatement cost functions across 20 countries, consisting of OECD countries, China and Brazil, with a CGE model. For this purpose, we estimate the GDP loss from CO₂ emission reduction, assuming the 4 sector model. Our findings show that those cost curves are convex but different among the countries. However, despite of the difference in the cost curves, we have found that one group of countries has the relatively constant average abatement cost and the other group has the increasing average cost. The reason why such a pattern occurs is explained in terms of the variations of value-added and CO₂ emission coefficient by sector across the countries. As an environmental policy implication, this study presents information about which country is similar to one another in terms of the abatement cost.

Keywords | climate change, CGE, CO₂ abatement cost, CO₂ emission coefficient

I 서론

교토의정서가 비준되고 2008년부터 각국의 본격적인 온실가스 감축이 시작되면서 2013년 이후의 온실가스 의무부담방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 이미 국내외 많은 연구들이 다양한 의무방법을 제시하고 그에 따른 각국의 경제적 피해액을 산출하였으나(한국환경정책·평가연구원, 2002, 2003; 에너지경제연구원 2004, 2005; Rose, 1992; Barrett, 1992; Ridgley, 1996; Rose et al., 1997, Rowlands, 1997) 어느 하나 2013년 이후 선진국을 포함한 개도국에 보편적으로 적용가능한 방법을 제시하지 못하고 있다. 또한 동일한 국가에 대해서도 다양한 모형과 의무부담에 따라 경제적 피해액이 다양하게 추정되고 있다. 조용성, 강윤영(2006)에 따르면 한국을 포함하여 OECD 국가들을 대상으로 주요 의무부담방안 시나리오를 설정한 후, 다양한 의무부담 분담공식을 적용하여 각 국가가 시나리오에 따라 할당받게 되는 온실가스 감축의무량과 감축비율 등을 분석한 결과 한국은 2000년도 온실가스 배출량 대비 최소 8.1% 최대 19.8%를 줄여야 하는 것으로 나타나 의무부담 분담공식에 따라 상당한 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과들이 나타나는 이유 중 한 가지는 각국이 처해 있는 경제적 여건과 산업구조 그리고 다양한 사회적 경제적 요인들이 상호 복잡하게 연계되어 있기 때문에 분석모형에서 고려되는 지표(예: 일인당 배출량, 누적배출량, GDP집약도 등)와 분석시나리오 및 분석방법과 모형에 따라 상이한 결과를 나타내기 때문이다. 이러한 점은 각 나라마다 온실가스를 저감하는 데 따른 한계감축비용과 평균감축비용들이 상이하다는 것을 의미하며, 각국의 온실가스 저감에 대한 한계비용과 평균비용 등에 대한 심도 있는 분석이 필요하다는 것을 시사한다. 그러나 기존의 연구결과들은 연산가능한 일반균형모형(CGE) 등을 이용한 의무부담방안 시나리오별 경제적 파급효과 분석 혹은 탄소세 및 배출권거래제도를 활용한 온실가스 저감효과에만 치중되어 있고(강윤영, 1998; 강승진, 1999; 오진규, 조경엽, 2001; 임재규, 2001; Sands, 2004) 각국의 한계비용과 평균비용 패턴에 대한 심도 있는 연구는 소수에 그치고 있다(Fischer and Morgenstern, 2006)¹⁾.

1) CO₂ 감축 비용을 CGE 모형으로 분석하는 연구의 대부분은 대개 한 나라의 경우에 초점을 맞춘다. 그래서 가능한 한 상세한 산업분류와 그것을 바탕으로 작성한 에너지 사회회계계정을 가지고 분석을 시도한다. 반면 여러 나라의 CO₂ 저감 비용을 GDP 손실 기준으로 분석하는 경우는 대개 산업구조 조정을 통한 저감량을 등한시하는 경향이 있다. 본 연구는 이러한 두 가지 연구흐름의 중간단계에 해당된다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 연산가능일반균형모형(CGE)을 이용하여 우리나라를 포함한 주요 OECD 국가와 중국, 브라질 등 20개 국가를 대상으로 2004년의 온실가스배출량을 기준으로 다양한 비율의 저감과 여러가지 저감량이 할당되는 경우에 따라 예상되는 해당국가의 GDP손실액을 추정하고 이를 이용하여 각 시나리오에 따른 국가별 총비용함수, 한계감축비용함수 그리고 평균감축비용함수의 형태와 의무감축량 변화에 따른 변화 패턴을 비교 분석하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 분석에 사용된 모형에 대해 기술하였고 3장과 4장에서는 각각 분석자료와 주요 분석결과를 기술하였다. 본 연구의 주요 결과와 시사점 및 연구의 한계점을 제5장 결론부분에 정리하였다.

II 분석 모형

다양한 이산화탄소(CO₂) 저감활동이 한 국가의 GDP에 미치는 영향을 정확히 포착하기 위해서는 그 나라의 경제를 가능한 여러 부문으로 세분화하고 관련 변수들을 집계화하는 것이 바람직하다. 그러나 여러 국가 간의 온실가스 저감활동에 따른 GDP 파급효과를 비교 분석하는 경우에는 국가마다 산업구조가 다른 점을 감안하여 일관성 있는 분석체계를 구축하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 복잡한 모형을 지양하고 상대적으로 단순하지만 분석 대상국가들에게 일관성 있게 적용할 수 있는 분석모형을 이용하였다.

한 국가의 생산부문은 기초산업부문(p), 제1 제조업부문(m1), 제2 제조업부문(m2), 서비스업부문(s)의 4개 부문으로 구성되었음을 가정하였다.²⁾ <그림1>에 나타나 있듯이 분석모형에서 각 부문은 각각의 수입재를 이용하여 최종재를 생산하며, 최종재는 다른 부문의 중간재와 수출품 그리고 투자재와 소비재로 이용되며, 국내생산재와 수입품을 통해 콤팩트디스크 생산기술로 생산되는 것으로 가정하였다.³⁾ 수출은 레온티에프 생산기술하에 단순히 수입품을 만들어 내기 위한 중간재로 이용되고 수입품 또한 최종재를 만들어 내기 위한 중간재로 간주된다. 또한 소비자의 저축수단인 투자재도 레온티에프 생산기술하에 각각의 최종

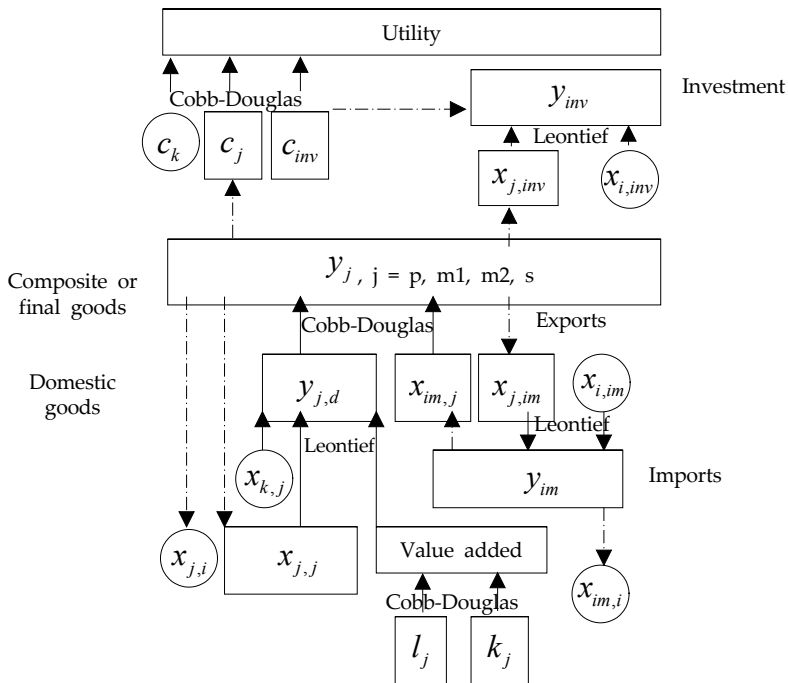
2) 모형의 설명력을 높이기 위해서는 에너지 부문을 별도로 명시하는 것이 필요하다. 그러나 분석대상국가가 상대적으로 많은 경우에는 모든 국가에 대해 일괄적으로 통일된 에너지 사회회계계정을 만드는 데는 현실적으로 많은 어려움과 제약이 따른다. 본 분석에서는 분석대상 18개국을 대상으로 에너지 부문대신에 각 산업별 배출계수를 이용하였다.

3) 분석대상 국가별로 적합한 생산함수와 대체탄력성 수치를 선정, 반영하는 것이 바람직하지만, 분석대상 국가가 많은 경우 별도의 자료를 구하는 것에는 많은 제약이 따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 분석의 용이성을 위해 대체탄력성은 1로 가정하였다.

재를 중간재로 이용하여 만들어진다. 투자재와 수출/수입품에 관한 가정은 Kehoe et al.(1994)와 Kehoe(1996)의 방법을 적용하였다. 한 단위의 수입재를 수입하기 위해 각 부문에서는 고정된 비율로 수출을 하며, 아울러 투자재를 한 단위 생산하기 위해서는 고정된 비율로 각 부문의 최종재가 필요함을 가정하였다.

각 부문의 국내생산은 중간재와 본원적 생산요소인 노동과 자본을 통해 이루어지고 부가가치의 창출은 콥더글라스 생산기술을 통해 이루어짐을 가정하였다. 이러한 부가가치와 중간재는 레온티에프 형태의 생산기술로 결합되어 국내생산재가 된다. 최종재를 소비하는 소비자는 최종재 외에 투자재를 저축의 수단으로 이용하여 자신의 효용을 극대화시키고, 무역수지는 고정되어 있는 것으로 가정하였다.

그림1 분석모형의 구조



이러한 모형구조하에서 각 부문으로부터 배출되는 이산화탄소(CO₂) 배출량에 대해 아무런 제약이 없다고 가정하는 경우의 균형해는 다음과 같이 정의될 수 있다. 무역수지(\overline{TD})와 i 번째 부문에 대한 간접세($t_i, i = p, m1, m2, s$)가 주어진 상황에서 최종생산재 가격(\hat{p}_p ,

$\hat{p}_{m1}, \hat{p}_{m2}, \hat{p}_s$), 국내 생산재가격($\hat{p}_{p,d}, \hat{p}_{m1,d}, \hat{p}_{m2,d}, \hat{p}_{s,d}$), 수입재와 투자재의 가격($\hat{p}_{inv}, \hat{p}_{im}$), 생산요소가격(\hat{r}, \hat{w}), 최종생산재 공급량($\hat{y}_p, \hat{y}_{m1}, \hat{y}_{m2}, \hat{y}_s$), 소비량($\hat{c}_p, \hat{c}_{m1}, \hat{c}_{m2}, \hat{c}_s, \hat{c}_{inv}$), 각 부문의 국내생산계획($\hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{p,j}, \hat{x}_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j}, \hat{x}_{s,j}, \hat{l}_j, \hat{k}_j$), 투자재에 대한 생산계획($\hat{y}_{inv}, \hat{x}_{p,inv}, \hat{x}_{m1,inv}, \hat{x}_{m2,inv}, \hat{x}_{s,inv}$), 수입재에 대한 생산계획($\hat{y}_{im}, \hat{x}_{p,im}, \hat{x}_{m1,im}, \hat{x}_{m2,im}, \hat{x}_{s,im}$), 최종생산재에 이용되는 수입($\hat{x}_{im,p}, \hat{x}_{im,m1}, \hat{x}_{im,m2}, \hat{x}_{im,s}$), 그리고 정부이전지출(\hat{T})이 다음 식들을 만족하면 균형해이다. 여기서 각 변수의 하첨자 i 는 4개 부문 즉 기초산업부문(p), 제조업1부문(m1), 제조업2부문(m2) 그리고 서비스업부문(s)을 나타낸다.

소비시장의 균형해, \hat{c}_j 와 \hat{c}_{inv} 은 식(1)을 만족하는 해이다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta_p \log c_p + \theta_{m1} \log c_{m1} + \theta_{m2} \log c_{m2} + \theta_s \log c_s + \theta_{inv} \log c_{inv} \\ \text{s.t.} \quad & \hat{p}_p c_p + \hat{p}_{m1} c_{m1} + \hat{p}_{m2} c_{m2} + \hat{p}_s c_s + \hat{p}_{inv} c_{inv} \leq \hat{r} \bar{k} + \hat{w} \bar{l} + \hat{T} + \overline{TD} \\ & c_p, c_{m1}, c_{m2}, c_s, c_{inv} \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

각 부문의 ($\hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{p,j}, \hat{x}_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j}, \hat{x}_{s,j}, \hat{k}_j, \hat{l}_j$) 은 식(2)를 만족시키는 생산시장의 균형해이다.

$$\begin{aligned} \hat{y}_{j,d} = \min[& \hat{x}_{p,j} / a_{p,j}, \hat{x}_{m1,j} / a_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j} / a_{m2,j}, \hat{x}_{s,j} / a_{s,j}, \beta_j \hat{k}_j^{\alpha_j} \hat{l}_j^{1-\alpha_j}] \\ (1-t_j) \hat{p}_{j,d} \hat{y}_{j,d} - & \hat{p}_p \hat{x}_{p,j} - \hat{p}_{m1} \hat{x}_{m1,j} - \hat{p}_{m2} \hat{x}_{m2,j} - \hat{p}_s \hat{x}_{s,j} - \hat{r} \hat{k}_j - \hat{w} \hat{l}_j = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

이때, 생산요소시장의 균형해, \hat{k}_j, \hat{l}_j 는 식(3)을 만족시킨다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \hat{r} k_j + \hat{w} l_j \\ \text{s.t} \quad & \beta_j k_j^{\alpha_j} l_j^{1-\alpha_j} = \hat{y}_{j,d} \\ & k_j, l_j \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

한편, ($\hat{y}_{inv}, \hat{x}_{p,inv}, \hat{x}_{m1,inv}, \hat{x}_{m2,inv}, \hat{x}_{s,inv}$) 와 ($\hat{y}_{im}, \hat{x}_{p,im}, \hat{x}_{m1,im}, \hat{x}_{m2,im}, \hat{x}_{s,im}$) 는 각각 식(4)와 식(5)의 균형해이다.

$$\begin{aligned} \hat{y}_{inv} = \min[& \hat{x}_{p,inv} / a_{p,inv}, \hat{x}_{m1,inv} / a_{m1,inv}, \hat{x}_{m2,inv} / a_{m2,inv}, \hat{x}_{s,inv} / a_{s,inv}] \\ \hat{p}_{inv} \hat{y}_{inv} - & \hat{p}_p \hat{x}_{p,inv} - \hat{p}_{m1} \hat{x}_{m1,inv} - \hat{p}_{m2} \hat{x}_{m2,inv} - \hat{p}_s \hat{x}_{s,inv} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\hat{y}_{im} = \min[\hat{x}_{p,im} / a_{p,im}, \hat{x}_{m1,im} / a_{m1,im}, \hat{x}_{m2,im} / a_{m2,im}, \hat{x}_{s,im} / a_{s,im}]$$

$$\hat{p}_{im}\hat{y}_{im} - \hat{p}_p\hat{x}_{p,im} - \hat{p}_{m1}\hat{x}_{m1,im} - \hat{p}_{m2}\hat{x}_{m2,im} - \hat{p}_s\hat{x}_{s,im} = \overline{TD} \quad (5)$$

$\hat{y}_j, \hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{im,j}$ 은 방정식, $\hat{p}_j\hat{y}_j - \hat{p}_{j,d}\hat{y}_{j,d} - \hat{p}_{im}\hat{x}_{im,j} = 0$ 을 만족하며, 이때 $\hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{im,j}$ 은 식(6)의 균형해이다.

$$\min \hat{p}_{j,d}y_{j,d} + \hat{p}_{im}\hat{x}_{im,j}$$

$$\text{s.t. } \gamma_j y_{j,d}^{\delta_j} x_{im,j}^{1-\delta_j} = \hat{y}_j$$

$$y_{j,d}, x_{im,j} \geq 0 \quad (6)$$

생산요소시장의 청산조건은 식(7)과 식(8)과 같다.

$$\bar{l} = \hat{l}_p + \hat{l}_{m1} + \hat{l}_{m2} + \hat{l}_s \quad (7)$$

$$\bar{k} = \hat{k}_p + \hat{k}_{m1} + \hat{k}_{m2} + \hat{k}_s \quad (8)$$

식(9)- 식(14)는 재화시장의 청산조건식을 나타낸다.

$$\hat{y}_p = \hat{c}_p + \hat{x}_{p,p} + \hat{x}_{p,m1} + \hat{x}_{p,m2} + \hat{x}_{p,s} + \hat{x}_{p,inv} + \hat{x}_{p,im} \quad (9)$$

$$\hat{y}_{m1} = \hat{c}_{m1} + \hat{x}_{m1,p} + \hat{x}_{m1,m1} + \hat{x}_{m1,m2} + \hat{x}_{m1,s} + \hat{x}_{m1,inv} + \hat{x}_{m1,im} \quad (10)$$

$$\hat{y}_{m2} = \hat{c}_{m2} + \hat{x}_{m2,p} + \hat{x}_{m2,m1} + \hat{x}_{m2,m2} + \hat{x}_{m2,s} + \hat{x}_{m2,inv} + \hat{x}_{m2,im} \quad (11)$$

$$\hat{y}_s = \hat{c}_s + \hat{x}_{s,p} + \hat{x}_{s,m1} + \hat{x}_{s,m2} + \hat{x}_{s,s} + \hat{x}_{s,inv} + \hat{x}_{s,im} \quad (12)$$

$$\hat{y}_{inv} = \hat{c}_{inv} \quad (13)$$

$$\hat{y}_{im} = \hat{x}_{im,p} + \hat{x}_{im,m1} + \hat{x}_{im,m2} + \hat{x}_{im,s} \quad (14)$$

정부이전지출에 대한 제약식은 식(15)와 같다.

$$\hat{T} = t_p \hat{p}_{p,d} \hat{y}_{p,d} + t_{m1} \hat{p}_{m1,d} \hat{y}_{m1,d} + t_{m2} \hat{p}_{m2,d} \hat{y}_{m2,d} + t_s \hat{p}_{s,d} \hat{y}_{s,d} \quad (15)$$

한편, 이와 같은 균형시장에 대해 CO₂ 배출량을 추가하고 이에 대한 제약을 부과하기 위해서는 각 부문에서 이산화탄소가 어떤 경로를 통해 배출되는지 알아야 한다. 기존의 연구에서는 한 국가의 경제에 에너지부문을 도입하고 각 부문에서 사용되는 에너지양에 따라

CO₂ 배출량이 결정된다고 가정하였다. 그러나 본 분석모형에서는 각국의 경제에 4개 부문만이 존재하고 각 부문의 생산액에 따라 고정된 비율로 CO₂가 배출된다고 가정하였다. 즉 부문별 이산화탄소 배출계수는 일정한 것으로 가정하였다. 예를 들어 제조업1부문의 GDP가 2조 원이고 1조 원당 2톤의 CO₂가 배출된다고 하면 제조업1부문의 CO₂ 배출량은 총 4톤이 배출된다. 이러한 가정은 암묵적으로 각 부문의 에너지 사용비율이 고정되어 있고 또한 CO₂ 배출과 관련된 기술수준이 고정되어 있음을 가정하는 것이다. 따라서 어떤 경제에 CO₂ 배출저감(감축)량이 할당될 경우, 이 할당된 목표를 달성하기 위한 수단은 근본적으로 각 부문의 생산액 조정을 통해 가능하며 이러한 상황에서 정부는 CO₂ 배출량에 대해 세금을 부과하는 탄소세제의 도입이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 정부가 각 부문에 할당된 CO₂ 배출감축량을 달성하기 위해 각 부문에 탄소세를 부과하는 것으로 가정하였다. 이에 따라 정부수입은 각 부문에서 징수하는 탄소세와 간접세가 되며 이것은 일괄적으로 소비자에게 이전된다. 결국 소비자의 수입은 요소소득과 정부수입 그리고 무역수지로 이루어진다. 이러한 가정과 전제조건하에 CO₂ 제약이 있을 때의 균형해는 다음과 같이 정의할 수 있다.

무역수지(\overline{TD})와 간접세(t_p, t_{m1}, t_{m2}, t_s), 그리고 부문별 CO₂ 배출계수(e_p, e_{m1}, e_{m2}, e_s)와 어떤 경제에 할당된 총 CO₂배출량(\bar{E})이 주어진 경우, 최종생산재 가격($\hat{p}_p, \hat{p}_{m1}, \hat{p}_{m2}, \hat{p}_s$), 국내생산재 가격($\hat{p}_{p,d}, \hat{p}_{m1,d}, \hat{p}_{m2,d}, \hat{p}_{s,d}$), 수입과 투자재의 가격($\hat{p}_{im}, \hat{p}_{im}$), 생산요소가격(\hat{r}, \hat{w}), 최종생산재 공급량($\hat{y}_p, \hat{y}_{m1}, \hat{y}_{m2}, \hat{y}_s$), 소비량($\hat{c}_p, \hat{c}_{m1}, \hat{c}_{m2}, \hat{c}_s, \hat{c}_{inv}$), 각 부문의 국내생산계획($\hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{p,j}, \hat{x}_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j}, \hat{x}_{s,j}, \hat{l}_j, \hat{k}_j$), 투자재에 대한 생산계획($\hat{y}_{inv}, \hat{x}_{p,inv}, \hat{x}_{m1,inv}, \hat{x}_{m2,inv}, \hat{x}_{s,inv}$), 수입품에 대한 생산계획($\hat{y}_{im}, \hat{x}_{p,im}, \hat{x}_{m1,im}, \hat{x}_{m2,im}, \hat{x}_{s,im}$), 최종생산재에 이용되는 수입($\hat{x}_{im,p}, \hat{x}_{im,m1}, \hat{x}_{im,m2}, \hat{x}_{im,s}$), 정부이전지출(\hat{T}), 그리고 탄소세($\hat{t}_{c,p}, \hat{t}_{c,m1}, \hat{t}_{c,m2}, \hat{t}_{c,s}$)가 식(1)-식(15)를 만족하면 균형이라 한다. 이때 식(2)는 다음과 같이 새롭게 정의된다. 즉 CO₂배출량에 대한 제약이 있는 경우, 각 부문의 ($\hat{y}_{j,d}, \hat{x}_{p,j}, \hat{x}_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j}, \hat{x}_{s,j}, \hat{k}_j, \hat{l}_j$)은 식(16)을 만족해야 한다.

$$\hat{y}_{j,d} = \min[\hat{x}_{p,j} / a_{p,j}, \hat{x}_{m1,j} / a_{m1,j}, \hat{x}_{m2,j} / a_{m2,j}, \hat{x}_{s,j} / a_{s,j}, \beta_j \hat{k}_j^{\alpha_j} \hat{l}_j^{1-\alpha_j}]$$

$$(1 - t_j - \hat{t}_{c,j} e_j) \hat{p}_{j,d} \hat{y}_{j,d} - \hat{p}_p \hat{x}_{p,j} - \hat{p}_{m1} \hat{x}_{m1,j} - \hat{p}_{m2} \hat{x}_{m2,j} - \hat{p}_s \hat{x}_{s,j} - \hat{r} \hat{k}_j - \hat{w} \hat{l}_j = 0 \quad (16)$$

또한 정부이전지출에 대한 조건식 (15)는 식 (17)과 같이 새롭게 정의된다.

$$\hat{T} = t_p \hat{p}_{p,d} \hat{y}_{p,d} + t_{m1} \hat{p}_{m1,d} \hat{y}_{m1,d} + t_{m2} \hat{p}_{m2,d} \hat{y}_{m2,d} + t_s \hat{p}_{s,d} \hat{y}_{s,d} + \hat{t}_{c,p} e_p \hat{p}_{p,d} \hat{y}_{p,d} + \hat{t}_{c,m1} e_{m1} \hat{p}_{m1,d} \hat{y}_{m1,d} + \hat{t}_{c,m2} e_{m2} \hat{p}_{m2,d} \hat{y}_{m2,d} + \hat{t}_{s,p} e_s \hat{p}_{s,d} \hat{y}_{s,d} \quad (17)$$

그리고, CO₂ 배출량에 대한 제약식으로 식(18)이 추가된다.

$$e_{ag} \hat{p}_{p,d} \hat{y}_{p,d} + e_{m1} \hat{p}_{m1,d} \hat{y}_{m1,d} + e_{m2} \hat{p}_{m2,d} \hat{y}_{m2,d} + e_s \hat{p}_{s,d} \hat{y}_{s,d} \leq \bar{E} \quad (18)$$

III 분석 자료

분석대상 국가의 경제를 기초산업부문(p), 제1제조업부문(m1), 제2제조업부문(m2) 그리고 서비스업부문(s)으로 분류하였다. 각 부문에 포함되는 산업은 <표1>에 나타나 있다. 중화학공업은 제조업2부문에, 경공업은 제조업1부문에 포함된다. 또한 전기, 가스, 수도산업은 서비스부문에 포함하고 광산, 정제업 등은 기초산업부문에 포함하였다.

표1 산업분류표

산 업	ISIC 코드	부 문
Agriculture, etc	01-05	기초산업(P)
Mining, Extraction, Refining	10-14,23	
Food, Beverages, Tobacco	15-16	제조업 1(M1)
Textiles, Leather, Footwear	17-19	
Wood & Products of Wood & Cork	20	
Pulp, Paper printing & Publishing	21-22	
Chemicals	24	
Other Non-metallic mineral	26	제조업 2(M2)
Iron & Steel	271+2731	
Non-ferrous metal	272+2732	
Other Metal products, Machinery EQPT	28-32	
Motor vehicles, Trains, Ships, Planes	34,35	
Other Manufacturing & Recycling	25,33,36-37	
Electricity, Gas, Water	40-41	서비스업(S)
Construction	45	
Transport use	60-63	
Non-transport services	50-52,62,64-99	
Non-transport residential	55	

분석대상 국가들의 국가별 부문별 CO₂ 배출계수(즉, GDP 한 단위 생산에 따른 CO₂ 배출량)를 산출하기 위해 Ahmad & Wyckoff(2003)의 결과를 활용하였다. Ahmad & Wyckoff(2003)는 각국의 경제를 20개 부문으로 구분한 후 각 부문에서 배출되는 이산화탄소 배출량이 국가 전체 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중이 얼마인지를 분석하였다.

그러나 동 연구는 개별국가별 각 부문의 이산화탄소 배출계수에 대해서는 분석을 하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 부문별 CO₂ 배출량의 비중은 시간에 따라 크게 변동하지 않는다고 가정하고 미국 Energy Information Administration(EIA)에서 제공하는 2004년도 국가별 총 CO₂배출량 자료를 기준으로 Ahmad & Wyckoff(2003) 결과를 적용하여 분석대상국가의 20개 부문에 대해 CO₂배출량을 구하였다. 산출된 각국의 20개 부문의 배출량은 <표1>에 제시된 산업분류에 따라 다시 4개 부문의 CO₂ 배출량으로 구분하였다. 각국의 4개 부문에 대한 GDP는 OECD에서 2002년에 발표한 산업연관표를 이용하여 구하였다.⁴⁾ 그리고 산출된 각 부문의 CO₂배출량을 각 부문의 GDP로 나눠 주어 분석대상 4개 부문의 CO₂ 배출계수(CO₂ Kg/USD 1)를 구하였다. 이러한 결과가 <표2>와 <그림2>에 나타나 있다. 중국의 경우 다른 부문에 비해 서비스업부문의 배출계수가 3.36으로 가장 높게 나타났는데 이 결과는 중국의 서비스업부문에서 최종재 1달러 생산으로부터 발생하는 CO₂ 배출량은 3.36 CO₂ kg임을 의미한다. 일본 서비스업부문의 배출계수(0.13 CO₂ kg)와 비교할 때 중국 서비스업부문의 이산화탄소 배출량이 상대적으로 매우 높음을 알 수 있다. 이러한 결과는 동일한 최종재 생산에 있어서 일본이 중국에 비해 상대적으로 에너지를 효율적으로 사용하고 있음을 시사한다.

한국의 경우 서비스업부문은 1달러당 0.57 CO₂ kg, 기초산업부문은 0.31 CO₂ kg, 제1제조업부문은 0.15 CO₂ kg, 제조업2부문은 0.22 CO₂ kg으로 나타났다. OECD 국가들의 최종재 1달러 생산으로 인한 부문별 평균 CO₂ 배출량은 서비스업부문이 0.27kg, 기초산업부문 0.44kg, 제조업1부문 0.08kg, 제조업2부문 0.16kg이므로, 한국은 다른 OECD 국가들에 비해 기초산업부문을 제외한 다른 부문에서는 동일한 최종재 1단위 생산에 따른 CO₂ 배출량이 상대적으로 많음을 시사한다.

4) OECD가 발표한 2002년 산업연관표에서 이탈리아와 그리스의 경우 1992년과 1994년 자료를, 브라질의 경우는 1996년 자료를 이용하였다. 또한 헝가리와 영국의 경우는 1998년, 캐나다, 덴마크, 노르웨이, 미국과 중국은 1997년 자료들이다. 나머지 국가들에 대해선 1995년 자료를 이용하였다.

표2 국가별 부문별 CO₂배출계수

(단위 : CO₂ kg/ USD 1)

분석 국가	약어	기초 산업 (P)	제조업1 (M1)	제조업2 (M2)	서비스 (S)	전체 (GDP)*	CO ₂ 배출량 ⁵⁾ (백만 톤)	국내총 산출액 ⁶⁾ (천 억 USD)
일 본	Jap	0.34	0.04	0.10	0.13	0.12	1170	98.7
프 랑 스	Fra	0.21	0.05	0.13	0.16	0.14	407	28.2
독 일	Ger	0.30	0.05	0.10	0.24	0.19	861	44.4
덴 마 크	Den	0.30	0.06	0.07	0.24	0.20	56	2.8
영 국	UK	0.37	0.07	0.14	0.23	0.21	579	28.1
이탈리아	Ita	0.26	0.05	0.17	0.25	0.21	485	23.4
브 라 질	Bra	0.30	0.07	0.33	0.26	0.26	337	13.2
핀 란 드	Fin	0.31	0.11	0.17	0.32	0.26	62	2.4
노르웨이	Nor	0.56	0.08	0.25	0.30	0.31	84	2.7
스 페 인	Spa	0.48	0.11	0.28	0.39	0.34	363	10.7
네델란드	Net	0.76	0.08	0.31	0.36	0.35	267	7.6
미 국	US	0.51	0.12	0.17	0.45	0.38	5492	145.8
한 국	Kor	0.31	0.15	0.22	0.57	0.39	424	10.9
캐 나 다	Can	0.92	0.14	0.37	0.58	0.53	588	11.1
호 주	Aus	0.56	0.13	0.55	0.65	0.58	386	6.6
헝 가 리	Hun	0.47	0.12	0.29	0.85	0.60	56	0.9
그 리 스	Gre	0.48	0.10	0.81	0.84	0.70	106	1.5
체 코	Cze	0.44	0.24	0.82	1.05	0.85	112	1.3
폴 란 드	Pol	0.75	0.30	0.77	1.57	1.11	288	2.6
중 국	Chi	0.87	0.53	1.63	3.36	1.87	4538	24.2
O E C D		0.44	0.08	0.16	0.32	0.27	11785	430
전 체		0.51	0.12	0.29	0.40	0.36	16660	467

* 한 국가의 경제 전체가 최종재 1달러를 생산하는 데 발생하는 CO₂배출량을 나타내며, <그림2>에서 실선으로 나타나 있음.

<표2>의 일곱번째 열의 '전체GDP'는 한 국가의 경제 전체가 최종재 1달러를 생산하는 경우 발생시키는 CO₂ 배출량을 의미한다. 이 항목은 CO₂ 감축을 위해 각국이 어느 부문에 우선순위를 두고 이산화탄소를 저감하는 것이 효율적인지를 판단하는 데 도움을 준다. 예

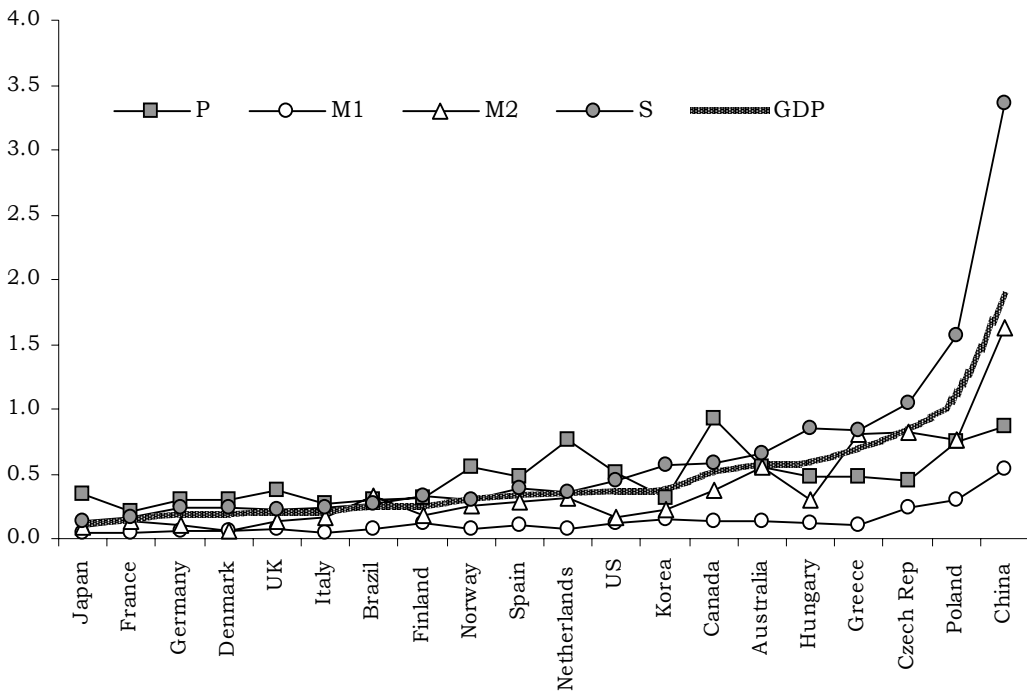
5) 여기서 CO₂ 배출량은 2004년도의 실제치가 아니고, CO₂ 배출계수와 각 부문 GDP를 사용하여 구한 추정치이다. 이러한 추정치와 실제치는 거의 비슷한 수치를 보였다.

6) 각국의 산업연관표를 이용하여 구한 국내총산출액을 의미한다.

를 들어 부문별 GDP를 한 단위 즉 1달러 증가시킴에 따라 발생하는 CO₂배출량을 그 부문의 기회비용으로 간주할 경우, 한국의 경우에는 서비스업부문이 기회비용을 주도하는 것으로 볼 수 있다. 서비스업부문의 GDP를 추가적으로 1달러 증가시킴으로써 발생하는 CO₂배출량이 전체 경제의 GDP를 1달러 증가시킴으로써 발생하는 CO₂배출량보다 작기 때문에 만약 이산화탄소 감축을 위해 GDP를 축소시켜야 하는 상황에서는 다른 산업부문보다는 서비스업부문의 CO₂ 감축이 상대적으로 GDP의 손실을 최소화시킨다는 것을 알 수 있다. 이는 한국의 경우 서비스업부문의 1달러 가치가 경제전체의 1달러 가치보다 작다는 것을 의미한다. 따라서 한국의 정책입안자는 탄소배출량을 고려한다면 서비스부문의 투자보다 다른 부문의 투자를 통해 전체적인 GDP를 향상시켜야 할 것이다. 반면 미국, 캐나다, 일본 등은 기초산업부문이 기회비용을 주도하고 있는 것으로 나타났다.

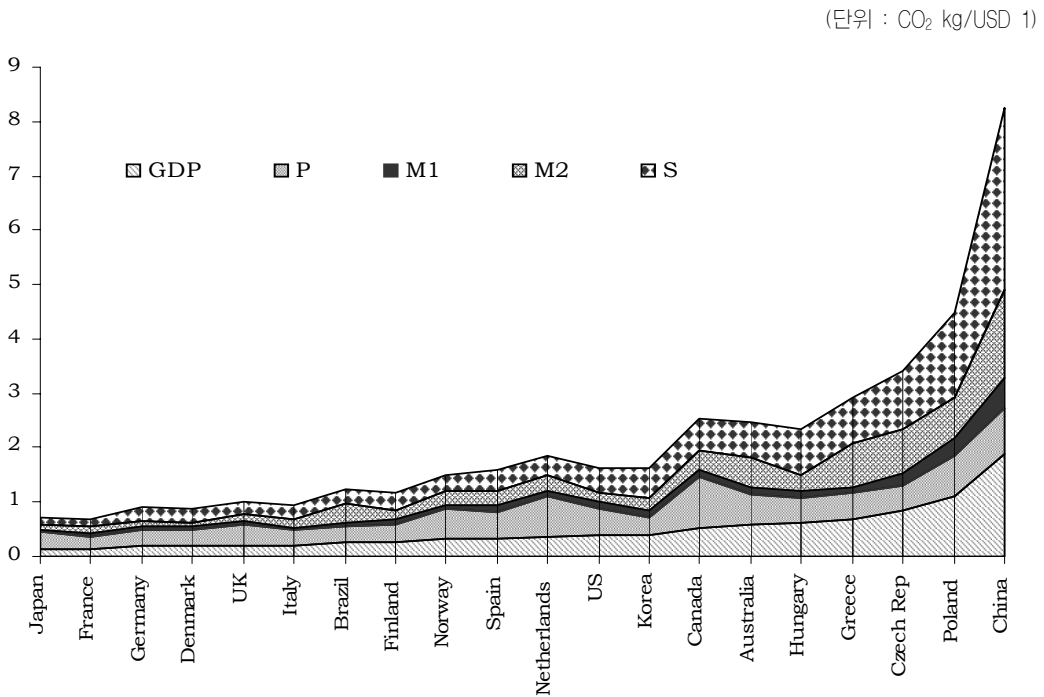
그림2 각 국가별 부문별CO₂ 배출계수

(단위 : CO₂ kg/USD 1)



<그림3>에 나타나 있듯이 서비스업부문의 배출계수는 국가별로 그 크기에 많은 차이를 보이고 있으나 각국의 전체 배출계수(<그림3>의 실선) 추세를 따르고 있는 반면 기초산업 부문과 제조업2부문의 배출계수는 전체 배출계수와는 다른 추세를 나타내고 있다.

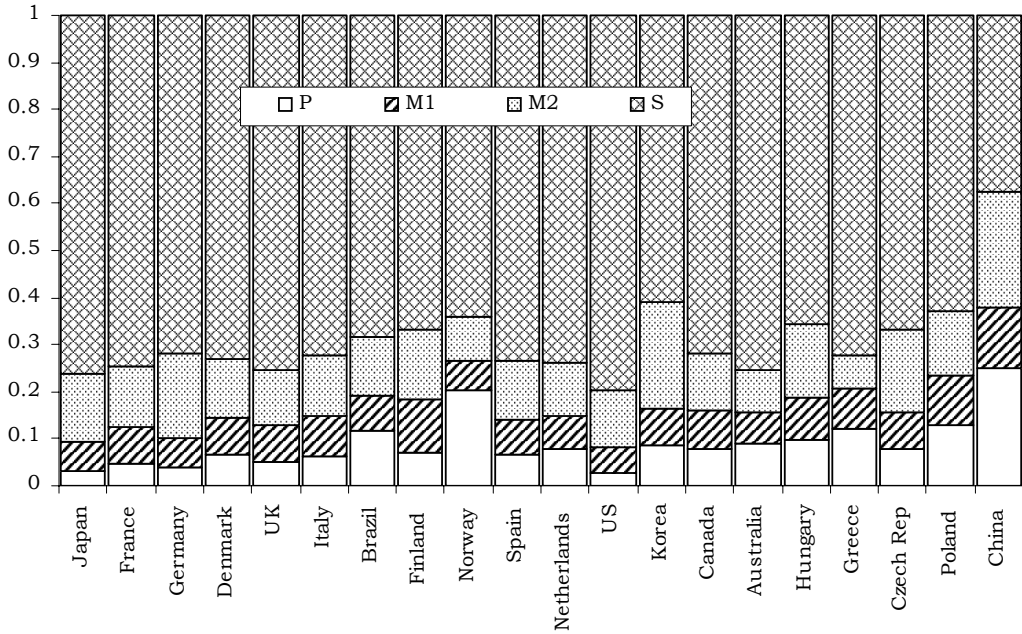
그림3 부문별CO₂ 배출계수의 변화



CO₂ 배출량에 대한 제약이 해당국가의 GDP에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 국가별 산업연관표를 이용하여 각 나라의 사회계정표(social accounting matrices: SAM)를 작성하고 calibration 과정을 통해 모형의 파라미터 값들을 추정해야 한다. 모형의 파라미터 값을 논하기 전에 우선 각국의 산업구조를 나타내는 국가별 부가가치 비중을 살펴보면 다음과 같다. <그림4>에서 볼 수 있듯이 대부분의 국가에서 서비스부문이 총 부가가치에서 차지하는 비중이 제일 크게 나타났고 제조업1부문이 가장 작게 나타났다. 또한 기초산업 부문과 서비스업부문의 부가가치 비중이 가장 크게 변동하는 것으로 나타났다.

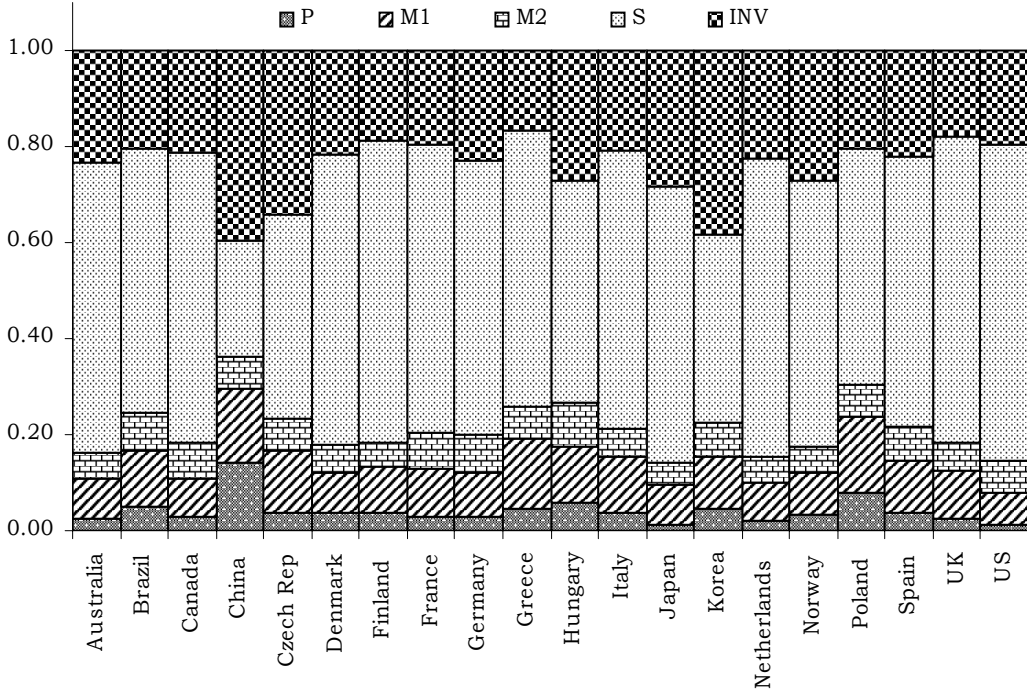
그림4 국가별 총 부가가치 비중 비교

(단위 : 100%)



<그림5>와 <표3>과 <표4>는 SAM 작성 후 calibration 과정을 통해 추정된 결과를 나타낸다. <그림5>는 calibration을 통하여 추정된 각국의 효용함수의 파라미터(θ)를 나타내고 있다. 중국과 한국의 경우 저축은 상대적으로 높게 나타나고, 제조업1부문과 제조업2부문의 국가별로 본다면 큰 변동이 없는 것으로 나타났다.

그림5 국가별 효용함수의 파라미터(θ) 추정치 비교



<표3>은 생산함수 파라미터 즉 노동분배몫($1-\alpha$)과 국내재 총요소생산성(β) 추정치를 나타낸다. 다른 부문과는 달리 노동분배몫은 기초산업부문에서 국가별로 큰 변동을 보이고 있으며 대개의 경우 각 나라에서 기초산업부문의 노동분배몫은 작게 나타났다. 따라서 한국을 포함한 대부분의 나라에서 기초산업부문은 자본집약적 산업으로 간주된다. 하지만 중국의 경우는 기초산업부문이 노동집약적으로 나타난다. 또한 한국의 경우 국내재 총요소생산성은 제1제조업부문과 제2제조업부문이 높은 것으로 나타났다.

표3 국가별 생산함수 파라미터(α, β) 추정치 비교

분석 국가	노동분배률($1-\alpha$)				국내재 총요소생산성(β)			
	p	M1	M2	S	P	M1	M2	S
호주	0.26	0.57	0.57	0.57	4.23	7.35	6.84	3.83
브라질	0.16	0.43	0.38	0.51	3.45	9.39	6.54	3.25
캐나다	0.32	0.57	0.58	0.62	5.00	6.23	6.45	3.38
중국	0.83	0.52	0.51	0.61	3.07	8.98	8.75	5.09
체코	0.50	0.56	0.60	0.51	5.97	9.00	8.17	4.67
덴마크	0.20	0.69	0.70	0.63	4.59	7.23	5.03	3.43
핀란드	0.18	0.52	0.60	0.61	3.06	6.89	6.27	3.53
프랑스	0.26	0.64	0.71	0.60	4.97	7.68	6.31	3.38
독일	0.52	0.69	0.82	0.56	6.84	6.72	4.53	3.52
그리스	0.12	0.48	0.62	0.36	2.70	7.34	6.01	2.96
헝가리	0.36	0.67	0.52	0.53	5.62	8.02	7.75	3.81
이탈리아	0.35	0.56	0.65	0.49	4.93	6.77	5.77	3.53
일본	0.23	0.63	0.62	0.63	4.70	5.91	6.11	3.16
한국	0.17	0.60	0.49	0.57	3.51	8.06	7.16	3.72
네델란드	0.16	0.57	0.65	0.60	3.84	7.65	5.90	3.56
노르웨이	0.12	0.74	0.73	0.62	2.31	7.79	6.50	3.73
폴란드	0.37	0.62	0.59	0.47	5.32	9.08	7.67	3.79
스페인	0.21	0.63	0.68	0.54	3.91	7.90	6.27	3.34
영국	0.30	0.72	0.73	0.62	5.38	5.71	5.02	4.13
미국	0.33	0.62	0.64	0.61	5.81	5.29	4.96	3.30

<표4>는 국내재화와 수입품 간의 대체탄력성이 1이라는 가정하에 최종재화에서 필요한 국내재화의 비중을 나타낸다. 한국을 포함한 대부분의 국가에서 서비스부문에서 필요로 하는 수입품은 다른 부문보다 비중이 작다. 또한 국가별로 제조업2부문에서 가장 큰 차이를 보이고 있다. 네델란드와 그리스의 경우 제조업2부문에서 수입품의 비중이 큰 반면 일본과 중국에서는 제조업2부문의 수입품 비중이 작은 것으로 나타났다. 또한 브라질과 중국의 경우 다른 나라에 비해 모든 부문에서 수입품의 비중이 낮게 나타났다. 최종재 총요소생산성에 관한 파라미터는 부문별 및 국가별 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 보인다. 즉 calibration하여 얻은 파라미터 값들의 국가 간 비교는 우리가 예상할 수 있는 것과 크게 다르지 않으며 이러한 결과는 동 분석에서 사용하고 있는 4부문모형이 너무 단순화되어 있다는 제약점을 가지고 있긴 하지만 국가 간의 비교를 하는 데 있어서 큰 문제가 되지 않는다는 것을 보여 준다.

표4 각 국별 최종생산재화 파라미터(δ, γ) 추정치 비교

분석국가	국내재화비중(δ)				최종재 중요소생산성(γ)			
	P	M1	M2	S	P	M1	M2	S
호주	0.93	0.84	0.67	0.97	1.29	1.54	1.88	1.13
브라질	0.93	0.96	0.87	0.99	1.30	1.19	1.48	1.07
캐나다	0.87	0.81	0.57	0.95	1.47	1.62	1.98	1.21
중국	0.96	0.94	0.89	0.99	1.20	1.26	1.42	1.06
체코	0.76	0.78	0.65	0.94	1.73	1.69	1.92	1.25
덴마크	0.83	0.73	0.61	0.94	1.57	1.78	1.95	1.24
핀란드	0.76	0.91	0.71	0.95	1.73	1.35	1.83	1.23
프랑스	0.82	0.83	0.75	0.98	1.59	1.57	1.76	1.12
독일	0.75	0.79	0.78	0.96	1.76	1.66	1.69	1.18
그리스	0.86	0.79	0.54	0.99	1.50	1.66	1.99	1.04
헝가리	0.82	0.82	0.57	0.94	1.61	1.61	1.98	1.24
이탈리아	0.79	0.88	0.79	0.98	1.67	1.45	1.68	1.11
일본	0.75	0.89	0.93	0.99	1.75	1.42	1.27	1.08
한국	0.70	0.86	0.79	0.97	1.84	1.49	1.67	1.15
네덜란드	0.71	0.71	0.53	0.93	1.82	1.83	2.00	1.29
노르웨이	0.92	0.82	0.58	0.92	1.31	1.60	1.98	1.31
폴란드	0.88	0.91	0.76	0.98	1.45	1.36	1.73	1.12
스페인	0.79	0.87	0.73	0.98	1.67	1.48	1.79	1.12
영국	0.84	0.78	0.66	0.97	1.56	1.70	1.90	1.15
미국	0.87	0.88	0.81	0.99	1.47	1.44	1.63	1.07

IV 분석 결과

분석에 사용된 각국의 CO₂ 감축비용은 기준년도 대비 특정 비율만큼의 저감 혹은 할당된 감축목표 달성으로부터 발생되는 GDP손실액을 의미한다.) 추정된 GDP손실액과 CO₂ 감축량을 이용하여 이에 따른 총 GDP손실액(이하 총비용)과 평균 GDP손실액(평균비용) 그리고 한계 GDP손실액(한계비용)으로 구분하여 각국의 CO₂감축비용 패턴을 살펴보았다⁸⁾.

7) 보다 정확한 의미에서 탄소세 부과에 따르는 GDP손실액을 나타낸다.

8) 제2장에서 언급한 CGE모형의 해를 구하기 위해 GAMS 22.5소프트웨어를 이용하였다.

각국이 산업구조 조정을 통하여 저감할 수 있는 CO₂ 배출량, 즉 실행가능한 저감량(feasible domain)은 각 국가가 현재 배출하고 있는 수준과 산업구조 등에 따라 다르게 나타난다. 예를 들어 일본의 경우 기준 배출량은 약 1,200백만 톤이며 모형의 추정결과로부터 도출된 실행가능한 저감량은 현재 배출량 수준의 약 90% 수준인 1,000백만 톤으로 나타났다. 반면 브라질의 경우에는 기준 배출량 대비 실행가능한 저감량은 약 20% 정도(대략 75백만 톤)로 나타난다. 이렇게 각 국가별로 실행가능한 영역이 다르게 나타나는 이유는 기본적으로 모형의 경직성 때문인 것으로 추측된다. 본 연구에서는 모든 부문에서 중간재 결합은 레온티에프 생산기술을 가정하고 있다. 따라서 어느 한 부문의 재화를 생산하기 위해서는 고정된 비율로 중간재를 사용해야 되는데 이러한 것은 모형에 경직성을 부과한다. 따라서 이러한 경제에 대해 탄소배출 제약식을 부과하는 경우에는 국가마다 잠재적 균형해들의 집합이 달라지게 된다. 즉 CO₂저감에 대해 상대적으로 유연한 기술수준과 산업구조를 가지고 있는 국가의 경우에는 그렇지 못한 국가에 비해 CO₂를 저감할 수 있는 가능성이 크게 나타날 것이다. 이러한 맥락에서 분석대상 국가 대부분이 CO₂ 저감에 대해 유연한 기술수준과 산업구조를 가지고 있는 것으로 나타난 반면 미국, 브라질, 영국은 그렇지 못한 것으로 나타났다. 한국을 포함한 스페인과 그리스는 두 그룹의 중간 정도 수준을 보이는 것으로 나타났다.

<그림6>은 각국의 기준년도 CO₂ 배출량 대비 감축되는 양에 따라 발생하는 총 GDP손실액(총비용)을 나타내고 있다. 총비용곡선은 국가별로 다른 기울기를 나타내지만 형태는 일직선으로 동일하게 보인다. 그러나 <그림8>에 나타나 있듯이 각국의 실질적인 총비용곡선은 대부분 convex함을 알 수 있다. <그림8>은 국가별로 실행가능한 감축량의 끝점과 원점을 통과하는 직선을 그린 후 이 직선에 대응되는 총비용곡선의 차이를 구하여 얻은 결과를 보여 준다. 이러한 것이 <그림7>에 나타나 있다. <그림8>의 곡선들은 <그림7>에서 화살표의 양을 표시한 것이다. 따라서 양수(+)값은 해당국가의 총비용곡선이 convex하다는 것을 의미하며 반대로 음수(-)값은 concave하다는 것을 의미한다. 영국과 프랑스를 제외한 모든 국가의 총비용곡선은 원점에 대해 정도의 차이는 있지만 전반적으로 convex한 형태를 보이고 있다. 프랑스의 경우 처음에는 convex한 형태를 보이다가 CO₂ 감축량이 증가함에 따라 총비용곡선은 concave한 형태로 바뀐다.

그림6 각국의 CO₂ 저감에 따른 총비용곡선 패턴

(단위 : 10달러, Mt)

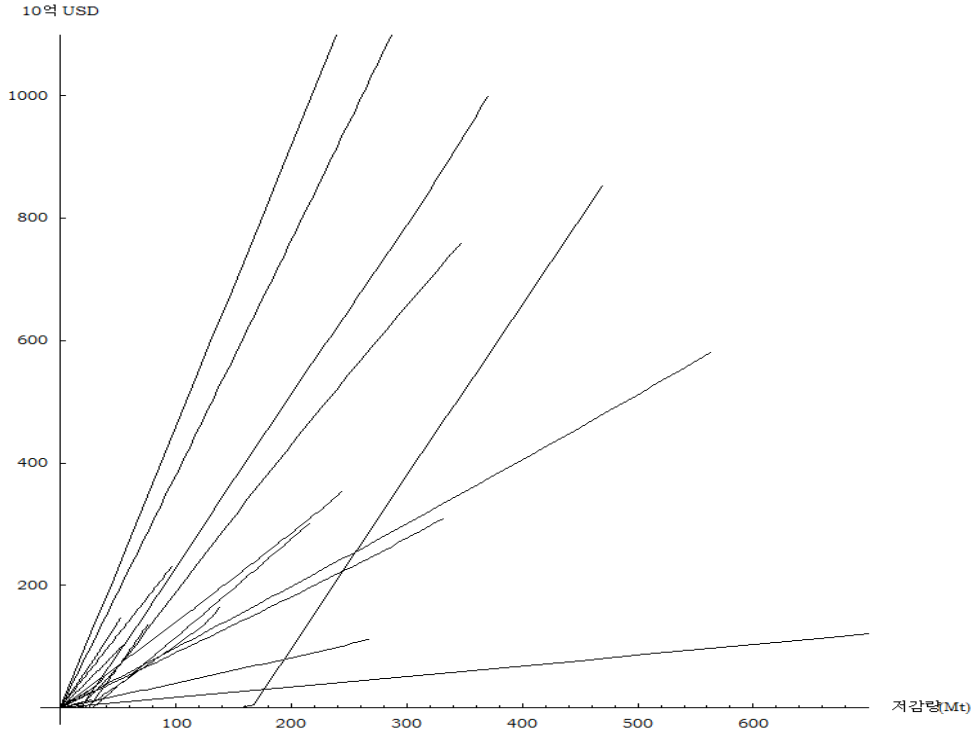


그림7 총비용곡선 예제

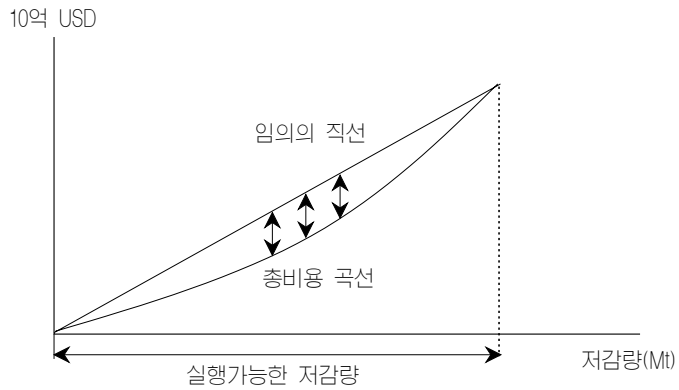
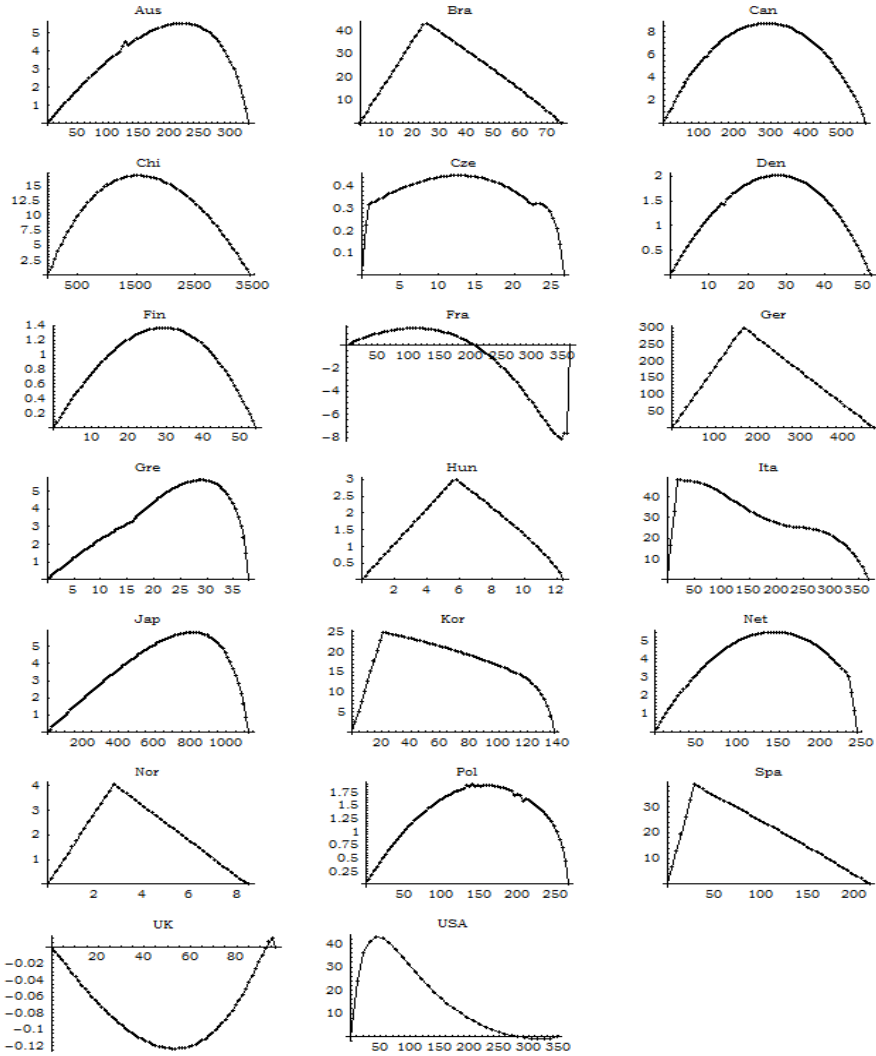


그림8 선형곡선과 비선형 비용곡선의 차이

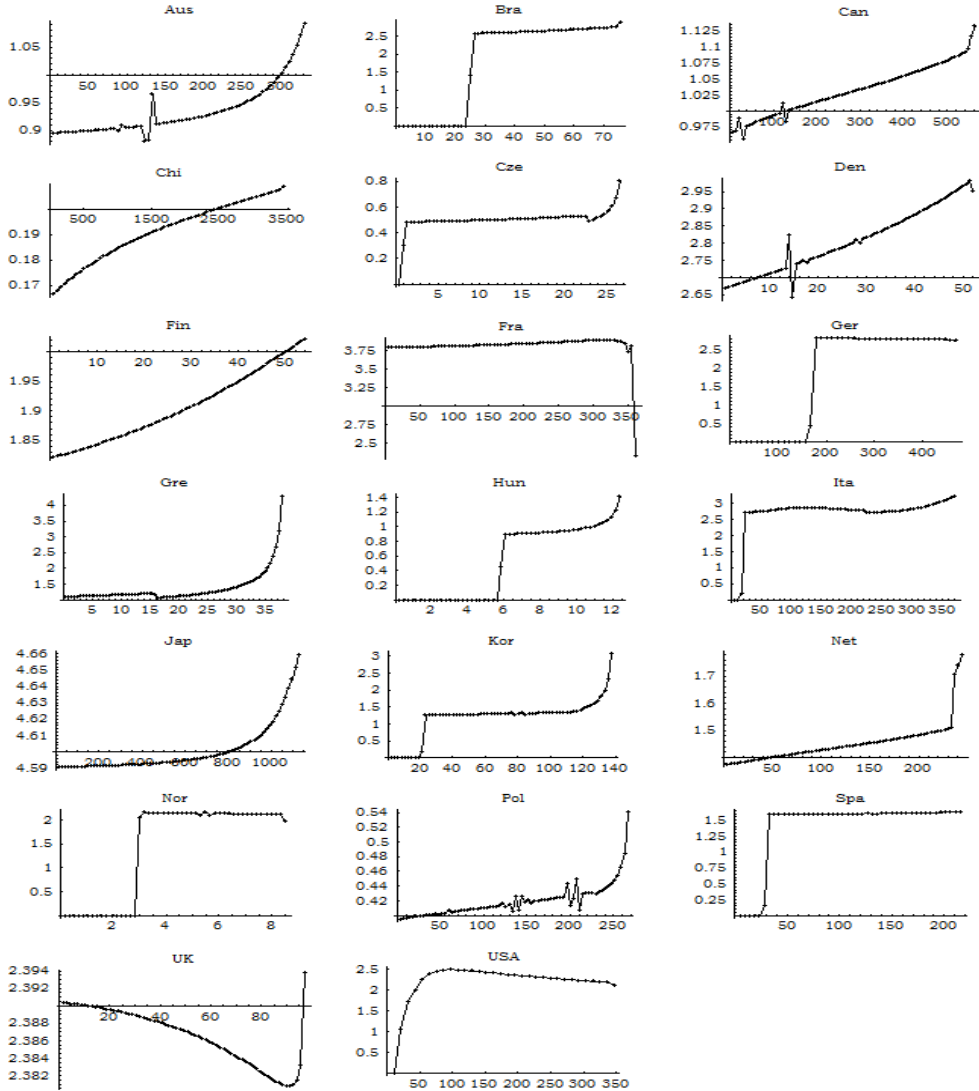
(단위 : 10달러, Mt)



총비용곡선의 패턴은 한계비용곡선의 패턴에서도 확인할 수 있다. <그림9>에 나타나 있듯이 대부분의 나라에서는 CO₂ 감축량이 점점 증가할수록 한계비용 역시 점증적으로 상승하는 형태를 보이고 있다. 그러나 영국의 경우에는 한계비용곡선이 음(-)의 기울기를 갖고 있는 것으로 나타났다. 미국과 프랑스는 일정 구간을 지나서부터는 한계비용곡선의 기울기 부호가 변하는 것으로 나타났다.

그림9 각국의 CO₂ 한계감축비용 형태

(단위 : 10달러, Mt)

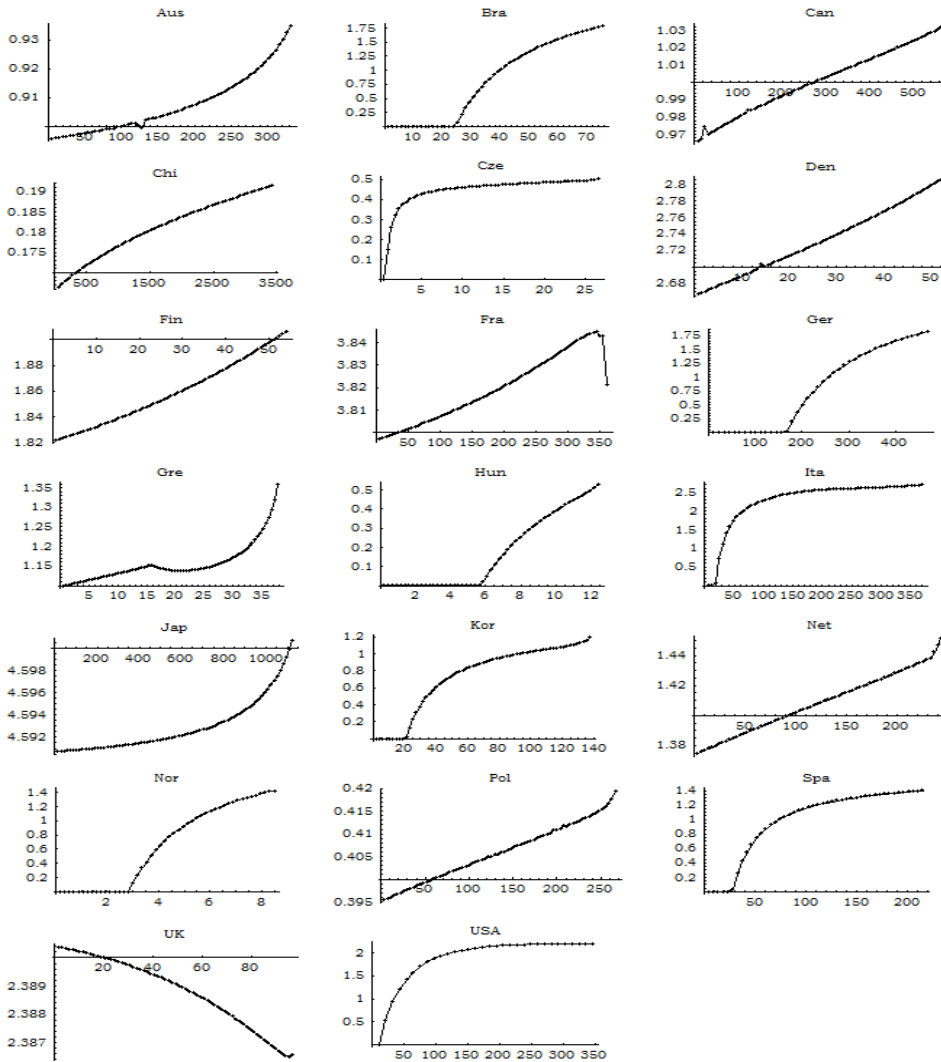


평균비용곡선의 패턴 역시 총비용곡선과 한계비용곡선의 패턴과 비슷하게 나타나고 있다. <그림10>에 나타나 있듯이 기준년도 배출량 대비 감축량의 변화에 따른 평균비용(평균 GDP 손실액)은 국가별로 상이한 기울기와 곡선형태를 보이지만 대부분 우상향하는 형태를 취하고 있다. 미국 역시 우상향하는 평균비용곡선을 보이고 있는 반면 영국은 우하향하는 한계비용

곡선을 나타내고 있다. 한가지 흥미로운 결과는 한국을 비롯한 독일, 스페인, 헝가리의 경우에는 일정 구간까지 각국의 CO₂ 감축에 따른 평균비용이 증가하지 않고 0을 유지하고 있는 점이다. 이러한 결과는 일정 수준까지의 CO₂ 감축은 해당국가의 GDP에 대한 추가적인 손실 없이 해당국 경제의 구조조정만을 통하여 CO₂를 저감할 수 있다는 것을 시사한다.

그림10 각국의 CO₂ 감축에 대한 평균비용곡선

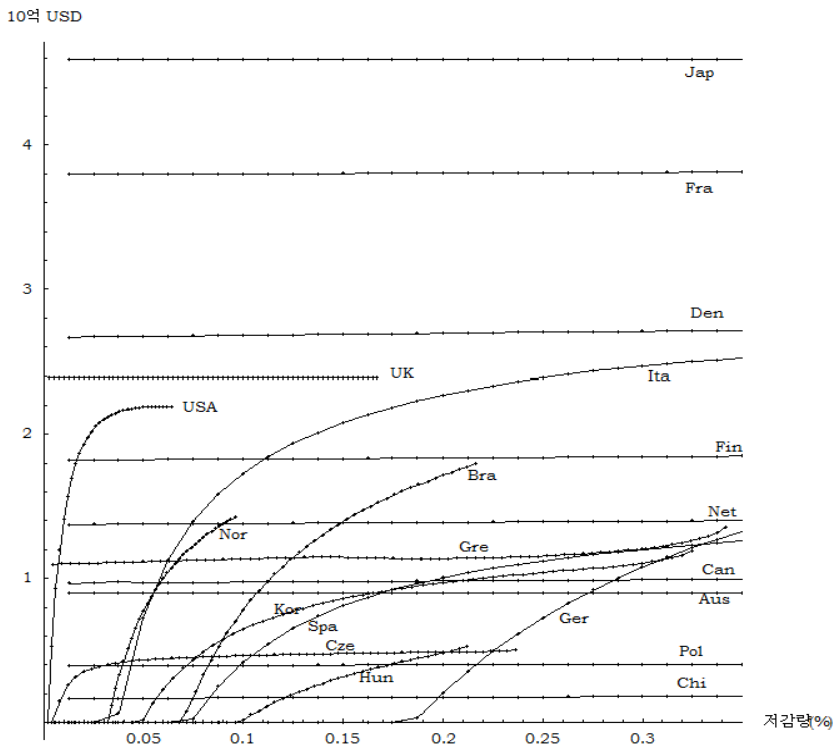
(단위 : 10달러/Mt)



<그림11>은 <그림10>을 하나의 그래프에 종합적으로 표현한 것이다. <그림11>을 통해 알 수 있듯이 각국의 평균비용곡선의 형태는 감축비율과 상관 없이 일정한 평균비용을 유지하는 형태(일본, 프랑스, 덴마크, 핀란드, 캐나다, 네덜란드, 호주, 폴란드, 중국)와 감축비율이 커질수록 평균비용 역시 증가하는 형태(미국, 아태리, 노르웨이, 헝가리, 독일, 한국 등) 2가지 패턴으로 구분할 수 있다.

그림11 CO₂ 감축비율에 따른 평균비용곡선

(단위 : 10달러, %)

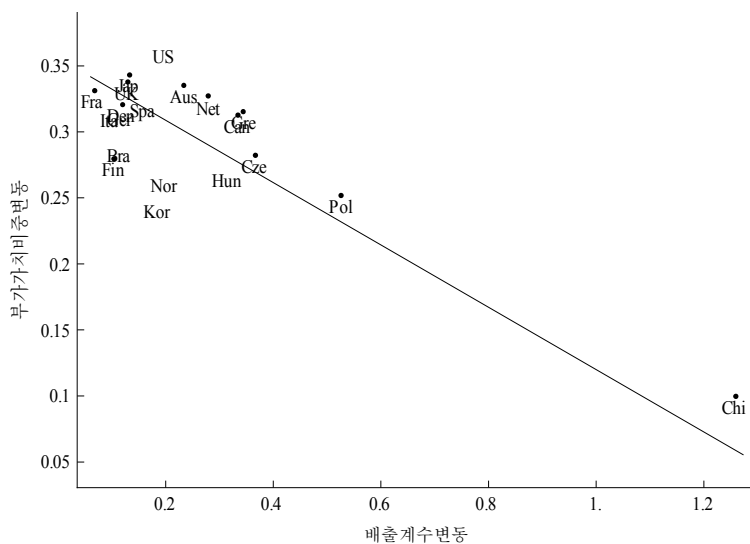


<그림8>, <그림9>, <그림10>을 종합해 보면 각 나라의 비용곡선은 서로 다르다는 것을 확인시켜 주고 있고 그 형태는 경제학이론에서 사용되는 일반적인 비용곡선 형태와 유사함을 알 수 있다. 비용곡선의 형태는 크게 두 가지로 구분 할 수 있는데 첫 번째 유형은 비용곡선이 일정하게 나타나는 것으로 저감량의 크기와 상관 없이 평균비용은 일정한 것으로

나타나는 그룹이 이에 속한다. 두 번째 그룹은 저감량비율이 증가함에 따라 평균비용도 따라서 증가하는 형태를 나타내는 그룹이다. 여기서 평균비용곡선의 보다 정확한 의미는 앞서 설명한 바와 같이 환경세(탄소세)와 같은 정책으로 인한 CO₂ 배출량을 감소시킬 경우의 산업구조 평균조정비용이라 할 수 있다.

국가 간에 비용곡선의 패턴이 다르게 나타나는 이유를 살펴보기 위해 각국의 산업별 부가가치의 표준편차와 산업별 배출계수의 표준편차를 <그림12>에 나타냈다. 평균비용이 상대적으로 급격히 증가하는 그룹(한국, 미국, 헝가리, 노르웨이, 브라질 등)과 상대적으로 일정한 그룹(프랑스, 호주, 덴마크, 체코, 폴란드 등)으로 구분할 수 있다. 일반적으로 부가가치 비중 변동(산업별 부가가치의 표준편차)과 산업별 배출계수 변동(산업별 배출계수의 표준편차) 간에는 부(-)의 상관관계가 존재할 것으로 예상된다. 이 직선을 기준으로 평균비용이 상대적으로 일정한 나라들 대부분은 직선 위쪽에 위치하고 평균비용이 상대적으로 급격히 변화하는 나라들은 대체로 직선 아래에 위치하게 된다. 즉 산업별 배출계수 변동이 고정되어 있는 경우에는 부가가치 비중변동이 크지 않을수록 평균비용이 상대적으로 크게 변하는 경향이 있다. 또한 부가가치 변동이 고정되어 있는 경우에는 산업별 배출계수 변동폭이 작을수록 평균비용이 크게 변화는 것으로 나타난다. 이러한 결과는 대략적이거나 한 국가가 두 가지 예상되는 패턴 중 어느 그룹에 속할 것인가를 예측하는 데 도움을 준다.

그림12 부가가치 비중 변동과 배출계수 변동



V 결 론

연산가능한 일반균형모형을 이용하여 우리나라를 포함한 OECD 국가와 중국, 브라질 등 18개 국가를 대상으로 2004년도 온실가스 배출량을 기준으로 다양한 비율의 저감량이 할당되는 경우 그에 따라 예상되는 해당국가의 GDP손실액을 추정하고 그 결과를 이용하여 각국의 CO₂ 저감에 따른 총비용곡선, 한계비용곡선, 평균비용곡선의 형태를 비교한 결과 대부분 국가의 총비용곡선과 한계비용곡선 그리고 평균비용곡선은 각기 다른 형태를 취하고 있기는 하나 영국을 제외한 다른 국가들의 함수형태는 우상향하는 기울기를 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 각 국가별로 실행가능한 저감영역이 다르고 또 각 함수의 기울기와 절편 등이 다르게 나타나 온실가스 저감비용 측면에서 고려할 때 모든 국가가 만족할 수 있는 의무부담방안을 찾기는 어렵다는 것을 시사하고 있다. 또한 이러한 결과는 post-kyoto 이후의 의무부담방안 논의에 있어서 모든 국가가 동일한 기준년도를 정하고 감축비율을 정치적 합의에 따라 할당하는 방법(교토의정서식 방법)은 개도국을 비롯하여 선진국에서조차 받아들여지기가 어렵다는 것을 나타낸다. 따라서 향후 post-kyoto 온실가스 감축 의무부담방안 협상 시 온실가스 저감에 따른 각국의 GDP손실액 유형을 고려하여 우리나라와 비슷한 패턴을 가지고 있는 국가들과 공동으로 의무부담방안을 모색하는 것이 필요하다. 본 연구는 각 국가의 산업구분에 있어서 별도의 에너지부문을 두지 않고 경제 전체를 4부문으로 단순화시킨 점과 무역수지는 고정되어 있다고 가정하고 있고 이산화탄소를 감소시키고 에너지 효율성을 향상시키기 위한 기술적 대안은 모형상에서 분석이 불가능하다는 제약을 가지고 있다. 따라서 본 분석에서 도출된 결과는 단순화된 모형과 강한 제약에 기초해 도출된 것이므로 동 결과를 확대 재해석 시에는 많은 주의가 필요하다. 향후 보다 많은 개도국과 선진국을 포함하여 각국의 이산화탄소 합계감축비용 혹은 평균감축비용의 패턴을 분석하고, 이를 토대로 각 국별 혹은 그룹별 자발적인 온실가스 감축방안을 모색하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 강승진. 1999. 「에너지-경제-환경시스템의 모형화에 관한 연구」 에너지경제연구원 연구보고서 99-12.
- 강운영. 1998. 「탄소세가 국민경제에 미치는 영향: 동태적 일반균형모형」 에너지경제연구원 연구보고서 98-14.
- 오진규, 조경엽. 2001. 「지속가능한 개발을 위한 에너지.탄소세 활용방안 연구」 에너지경제연구원 기본연구보고서 2001-14.
- 임재규. 2001. 「국내 GHG 감축을 위한 정책포크폴리오에 대한 연구」 에너지경제연구원 기본연구보고서 2001-01.
- 에너지경제연구원. 2005. 기후협약 협상분석 및 개도국 의무부담 협상 대응 전략 수립.
- _____. 2004. 기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략수립에 관한 연구.
- 조용성, 강운영. 2006. “우리나라를 포함한 OECD 국가의 온실가스감축 의무부담에 대한 연구” 환경정책연구 5(1): 1-23.
- 한국환경정책·평가연구원. 2003. 온실가스 집약도 목표설정 및 배출권 거래제도와 연계방안에 관한 연구.
- _____. 2002. 개도국의 온실가스 감축의무 참여방식에 관한 연구.
- Ahmad, N., and A. Wyckoff. 2003. *Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods*. OECD.
- Barrett, S. 1992. *Acceptable Allocations of Tradable Carbon Emission Entitlements in a Global Warming Treaty. Combating Global Warming*, Geneva: UNCTAD.
- Fischer, C. and R.D. Morgenstern. 2006. “Carbon Abatement Costs: Why the Wide Range of Estimates?” *The Energy Journal* 27(2): 73-86.
- Kehoe, P.J., and T.J. Kehoe. 1994. “A Primer on Static Applied General Equilibrium Models” *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review* 18.
- Kehoe, T.J. 1996. *Social Accounting Matrices and Applied General Equilibrium Models*. Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Ridgley, M.A. 1996. “Fair Sharing of Greenhouse Burdens” *Energy Policy* 24(6): 517-529.
- Rose, A. 1992. *Equity Considerations of Tradable Carbon Emission entitlements. Combating Global Warming*. Geneva: UNCTAD.
- Rose, A., et al. 1997. *International Equity and Differentiation in Global Warming Policy*. Mimeo. The Pennsylvania State University, California Energy Commission, and Pacific

Northwest Laboratory. 31 July.

Rowlands, I.H. 1997. "International Fairness and Justice in Addressing Global Climate Change" *Environmental Policies* 6(3): 1-30.

Sans, R.D. 2004. "Dynamics of Carbon Abatement in the Second Generation Model" *Energy Economics* 26: 721-738.

국가별 CO₂ 배출량. <http://www.eia.doe.gov/environment.html>

국가별 산업연관표. <http://www.oecd.org>