

CO₂ 배출권거래제도 導入이 經濟 및 環境에 미치는 影響*

李 相 昊** · 金 忠 實***

논문 초록

본 연구에서는 에너지부문 및 환경오염산업을 세분화한 환경CGE모형을 이용하여 이산화탄소 배출권거래제가 경제 및 환경부문에 미치는 파급효과를 분석하였다. 주요 분석결과를 살펴보면, 첫째, 온실가스의 주원인인 이산화탄소를 감축할 경우 환경규제 국가의 화석연료 에너지 수요감소에 따른 국제 에너지 가격하락과 국가간의 교역조건 변화로 인해 실질 GDP 변화는 환경규제 국가와 비환경규제 국가간에 상이한 것으로 분석되었다. 둘째, 이산화탄소 감축과 같은 환경규제로 인해 에너지집약산업과 전력 및 석유제품의 화석연료 수요가 감소함에 따라 천연가스, 석탄, 원유의 산출은 전 세계적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 셋째, 전 세계가 아닌 일부 국가에만 배출권거래제를 부여할 경우 이산화탄소 배출은 비규제국가로 이전되는 배출이전효과를 갖는다. 즉 비환경규제 국가는 에너지 수요 증가와 에너지집약산업의 산출증가로 인해 이산화탄소 배출이 증가하게 된다. 마지막으로 이산화탄소의 감축수준이 증가할수록 한계저감비용이 증가하는 것으로 분석되었다. 국가별로는 일본의 한계저감비용이 가장 높게 분석되었고, 그 다음으로는 유럽공동체, 우리나라, 기타 OECD국가, 미국의 순으로 분석되었다.

핵심 주제어: 환경CGE모형, 배출권거래제, 한계저감비용

경제학문헌목록 주제분류: Q2

- * 본 논문은 한국학술진흥재단 연구장려금을 지원받아 작성한 논문이며, 이를 2003 경제학 공동학술대회에서 발표한 후 수정·보완한 것이다. 유익한 논평을 해 주신 강상인(환경정책·평가연구원), 정인교(대외경제연구원), 임재규(에너지경제연구원) 님들과 익명의 심사위원 님들께 감사드린다.

** 경북대학교 시간강사, e-mail: agri20@hanmail.net

*** 경북대학교 농업경제학과 교수, e-mail: chskim@knu.ac.kr

I. 서론

최근에 들어 경제와 환경은 개별적으로 분리 불가능하다는 인식하에서 경제와 환경의 상호연관성에 대한 연구와 관심은 점차 증대하고 있다. 환경은 경제성장의 원동력인 동시에 제약요인으로도 작용하고, 역으로 경제 또한 환경보전의 추진력(driving power)인 동시에 환경파괴의 주요 원인이 되기도 한다. 따라서 경제와 환경이 어떻게 상호연계 되어 있는가를 분석하는 것이 무엇보다 중요한 과제이다. 특히, 오늘날 전세계 대부분의 국가들이 목표로 설정하고 있는 지속가능한 발전을 달성하기 위해서는 산업부문과 환경간의 피드백 관계가 매우 중요하다. 이는 국가별로 화석연료 에너지 사용수준과 환경오염수준이 상이할 뿐만 아니라 한 국가내에서도 산업부문별로 환경오염정도와 에너지 이용수준의 집약도가 다르기 때문이다.

현재와 같은 자연자원이용에 따른 환경오염이 계속될 경우 인류의 지속적인 발전은 불가능하다는 주장이 제기되었다.¹⁾ 따라서 지속가능한 발전을 위해서는 자연자원을 절약하는 기술을 개발하거나 환경오염을 효과적으로 줄일 수 있는 방안의 개발이 필요하다. 한편 지속가능한 발전을 위한 환경문제 해결에 있어 선진국과 개도국간의 입장차이는 분명한 대립관계에 있는데, 이는 환경오염의 책임이 누구에게 있느냐는 것이다. 이에 대한 오랜 논쟁에도 불구하고 아직 국제적으로 일치된 의견은 없다. 본 연구에서는 세계 전체가 아닌 선진국이 이산화탄소를 감축할 경우의 경제 및 환경효과를 분석하고자 한다. 그리고 지속가능한 발전을 위해 선진국의 이산화탄소 배출을 감축시키기 위한 환경정책 효과는 규제국가의 경제 및 환경뿐만 아니라 국가간 무역관계에 의해 비환경규제 국가의 경제 및 환경에도 영향을 미친다는 것을 고려하고자 한다.

환경부문을 CGE (Computable General Equilibrium) 모형에 반영한 주요 국의 연구로, Balistreri and Rutherford (2001)는 연산 일반균형모형을 이용하여 기후변화협약이 미국 주립경제에 미치는 효과를 분석하고 있다. Böhringer and Rutherford (2002)는 부속서 I 국가의 온실가스 감축에 따른 배출이전효과를 연산 일반균형모형을 통해 분석하였다. Ellerman and Wing (2000)은 교토메커니즘의 하나인 국제배출권거래제를 도입할 경우 배출권이 국가별로 어떻게 거래될 것인가를 분석

1) Daly, H. E. (1993), "Sustainable Growth: An Impossibility Theorem," in H. E. Daly and K. N. Townsend, ed., *Valuing the Earthing*, Boston: The MIT Press.

하였다. 주요 국내연구로 조경엽외(2001)는 일국가 일반균형모형을 통해 배출권의 분배방식과 배출권의 거래방식별 효과를 연구하였고, 조경엽(2000)은 다국간 일반균형모형을 이용하여 부속서 I 국가들이 온실가스 감축이행의무를 개별이행, 탄소세부과 혹은 국제배출권거래제를 통해 이행하는 경우의 효과를 분석하였다. 본 논문은 온실가스의 월경성을 반영하기 위하여 일국가 모형이 아니라 우리나라를 하나의 부문으로 세분화한 다국간 일반균형모형을 적용하고, 이용가능한 최신년도의 자료를 이용함으로써 분석자료의 신뢰성을 높이하고자 한다.

범지구적 오염물질인 이산화탄소 감축에 따른 경제 및 환경효과 분석을 위해서는 환경규제국가와 비환경규제 국가간 무역연관관계와 에너지·경제·환경간의 상호연관관계를 분석할 수 있는 환경·경제통합계정이 이루어져야 한다. 또한 이러한 환경·경제 자료와 『환경CGE모형』을 이용한 국내 배출권거래제도의 정책실험을 통해 지속가능한 발전을 위한 환경 및 경제정책의 수립이 필요하다.

본 연구의 주요 목적은 경제와 환경간의 상호연관관계를 파악할 수 있는 환경·경제통합과 환경 CGE모형을 응용하는데 있다. 즉 이러한 다국간 환경 CGE모형을 이용하여 국내 배출권거래제도가 지속가능한 발전에 미치는 상호연관관계를 계량적으로 분석하여 환경 및 경제정책 수립에 기여하고자 한다.

II. 분석모형

1. 모형의 개요

최근에 들어, 연산 일반균형모형(CGE)은 환경문제와 관련된 정책분석에 널리 이용되고 있다. 특히, 이산화탄소, 산성비 등과 같은 국제적 환경문제에 관련된 경제적 파급효과 분석에 다국간 CGE모형이 널리 적용되고 있다. 이러한 분야에 CGE모형의 적용이 증가하는 이유는 국제적 환경문제는 본질적으로 한 국가만 해당되는 것이 아니라 국경을 초월하는 범지구적인 문제이기 때문이다. 그리고 이러한 환경문제를 해결하기 위한 제도와 규제는 산업간의 상호연관관계와 국제적 무역관계를 통해 한 국가뿐만 아니라 세계 전체에 영향을 미친다. 따라서 국민경제의 전체 산업과 경제주체 그리고 세계 전체의 무역을 포함할 수 있는 다국간 일반균형분석모형이 필요하다.

본 논문의 분석모형은 다국가, 다부문 일반균형모형이고, 우리나라를 별개로 세분하여 이산화탄소 배출권거래제 도입이 한국경제 및 환경에 미치는 영향을 분석하는데 주안점을 두고 있다. 본 분석모형은 이산화탄소 감축에 따른 환경 및 경제효과를 분석하기 위하여 생산 및 소비부문에 에너지·환경·경제의 관련 특성을 반영하였다.

생산부문은 원초적 생산요소인 노동, 자본과 에너지, 고정투입요소와 중간재를 사용하여 생산활동을 한다고 가정하였다. 먼저 에너지부문은 원유, 천연가스, 석유, 전력부문, 석탄으로 세분화되어 있고 생산단계별로 불완전대체관계 또는 완전대체관계에 의해 생산이 이루어진다. 국내재와 수입재는 불완전대체관계를 반영하였고, 에너지복합재와 부가가치의 불완전대체관계를 통해 *KLE*복합재가 도출가능하다.

수요부문은 일반 상품의 수요뿐만 아니라 에너지수요를 반영하여 설계하였다. 또한 에너지수요도 에너지간의 대체가능성을 적용하고, 이를 통해 배출권거래제가 도입될 경우 에너지수요 변화를 반영할 수 있도록 분석모형을 구축하였다.

연산 일반균형모형은 각 경제주체의 최적화와 최적화에 따른 관련식, 그리고 시장청산 조건식 등으로 구성된다. 그러나 지금까지 신고전학파의 일반균형모형에서는 부(-)의 산출량도 허용함으로써 균형값 도출시 경계문제(boundary problem)가 생길 수 있어 실제 컴퓨터 프로그램 상에서 내생변수의 최소값을 양의 값으로 제한해 주어야 하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Rutherford(1995)가 도입한 MCP(Mixed Complementarity Problems) 기본모형을 적용하고자 한다.²⁾ 이러한 형태의 일반균형모형은 목적함수가 쌍대함수의 형태를 갖는 특성이 있다. 즉 생산자의 이윤극대화는 비용극소화 식으로 전환되어 주어진 생산제약 하에서 비용을 최소화시키는 생산요소 수요함수와 공급함수가 도출된다. 이러한 쌍대개념에 입각한 일반균형모형은 고전적 모형과 달리 상호보완적 여분성 조건이 만족된다. 쌍대함수에 의한 일반균형모형은 다국가 모형처럼 국가 및 산업분류가 세분되어도 균형 해를 손쉽게 구할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

2) Mathiesen은 모든 함수형태가 선형인 것으로 상정하였는데, Rutherford는 선형과 비선형함수를 혼합한 형태의 MCP(Mixed Complementarity Problems) 모형을 도입하였다.

2. 모형의 체계

(1) 정상이윤조건

화석연료인 원유, 가스, 그리고 석탄에 대한 생산단계를 살펴보면 다음과 같다. 화석연료 생산 ($y(xe)$)은 산업별 특정 투입요소 ($pr(xe)$)와 *KLEM*(자본-노동-에너지-복합중간재)의 CES 함수형태로 이루어진다. 그 다음단계에서 *KLEM*은 자본, 노동, 에너지, 그리고 복합중간재의 레온티에프 함수를 통해 그 구성비율이 결정된다. 화석연료의 산출량은 변환불변탄력성함수(CET)에 의해 수출재와 국내재로 판매된다. 화석연료 생산에 있어 규모에 대한 수확불변(CRS)을 가정함으로써 균형가격 하에서 초과이윤은 존재하지 않는다.

$$\begin{aligned}
 -\Pi_{ir}^Y &= [\theta_{ir}^R p_{ir}^{R1-\sigma_{R,i}} + (1-\theta_{ir}^R)(\theta_{Lir}^{xe} p_{lr} + \sum_j \theta_{jir}^{xe} p_{jr}^A)^{1-\sigma_{R,i}}]^{-\frac{1}{1-\sigma_{R,i}}} \\
 &\quad - (\theta_{ir}^X p_{ir}^{X1+\eta} + (1-\theta_{ir}^X) p_{ir}^{1+\eta})^{-\frac{1}{1+\eta}} \geq 0
 \end{aligned} \quad (1)$$

비화석연료 생산은 화석연료 생산과는 다른 형태를 갖는데, 생산의 1단계에서 비에너지 복합재와 노동, 자본, 그리고 화석연료 에너지의 복합재는 레온티에프 함수 관계를 통해 구성되어 있다. 제2단계에서는 불완전대체관계를 통해 화석연료 에너지 복합재와 부가가치 복합재의 결합관계를 나타내고 있다. 마지막으로 3단계에서는 원초적 생산요소인 노동과 자본의 생산관계를 콥-더글라스 함수형태로 가정한다. 이러한 생산과정을 거쳐 산출된 생산물은 변환불변탄력성 함수를 통해 해외시장 또는 국내시장에 공급된다.

$$\begin{aligned}
 -\Pi_{ir}^Y &= \sum_{j \in eg} \theta_{jir}^{NEG} p_{jr}^A + \theta_{ir}^{VAE} [\theta_{ir}^E p_{ir}^{E1-\sigma_{VAE}} \\
 &\quad + (1-\theta_{ir}^E)(p_{lr}^{\theta_{lr}^L} r k_r^{1-\theta_{lr}^L})^{1-\sigma_{VAE}}]^{-\frac{1}{1-\sigma_{VAE}}} \\
 &\quad - (\theta_{ir}^X p_{ir}^{X1+\eta} + (1-\theta_{ir}^X) p_{ir}^{1+\eta})^{-\frac{1}{1+\eta}} \geq 0
 \end{aligned} \quad (2)$$

비화석연료의 생산에 투입되는 화석연료 복합재의 결합관계는 식 (3)에 수식으로

제시되어 있다. 화석연료 에너지는 크게 전력과 비전력부문으로 세분화되고 이는 불완전대체관계에 의해 결정된다. 비전력 에너지는 다시 석탄, 석유와 천연가스의 CES함수형태로 구성되고, 석유와 천연가스의 결합관계도 CES함수형태를 갖는다.

$$-\Pi_{ir}^E = [\theta_{ir}^{ELE} p_{ELE,r}^{A 1-\sigma_E} + (1-\theta_{ir}^{ELE}) p_{ir}^{NEL 1-\sigma_E}]^{\frac{1}{1-\sigma_E}} - p_{ir}^E \geq 0 \quad (3)$$

단,

$$p_{ir}^{NEL} = \left[\theta_{ir}^{COL} p_{COL,r}^{A 1-\sigma_{NEL}} + (1-\theta_{ir}^{COL}) \left(\sum_{j \in LQD} \theta_{ir}^j p_{ir}^{A 1-\sigma_{LQD}} \right)^{\frac{1-\sigma_{NEL}}{1-\sigma_{LQD}}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{NEL}}}$$

각 국가에서 생산되는 산출물은 세계 시장에서 거래되고, 수입재와 국내재는 아밍턴 함수에 의해 불완전 대체관계를 갖는다. 즉 이러한 관계는 동일한 상품이라 하더라도 그 상품이 생산된 국가에 따라 차별화된다는 가정으로 산업내무역 (intra-industry trade) 이 가능하다는 것이다. 식 (4)는 아밍턴 함수를 정상이윤 조건식으로 나타낸 것이다.

$$-\Pi_{ir}^A = [\theta_{ir}^{MA} p_{ir}^{M 1-\sigma_D} + (1-\theta_{ir}^{MA}) p_{ir}^{1-\sigma_D}]^{\frac{1}{1-\sigma_D}} - p_{ir}^A \geq 0 \quad (4)$$

본 연구에서는 일국가가 아닌 전 세계의 다국가를 고려하므로 수입재의 지역간 배분과정을 고려해야 한다. 수입재와 국내재의 소비비율이 결정되면, 그 다음단계에서 수입재를 어느 국가로부터 얼마만큼 수입할 것인가를 결정해야 한다. 식 (5)는 수입재의 국가별 배분과정을 정상이윤 조건식으로 나타낸 것이다.

$$-\Pi_{ir}^M = [\sum_s \theta_{isr}^M p_{isr}^{MM 1-\sigma_M}]^{\frac{1}{1-\sigma_M}} - p_{ir}^M \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{단, } p_{irs}^{MM} = \gamma_{irs} p_{ir}^X + (1-\gamma_{irs}) p^T \tau_{irs}$$

각 지역의 소비는 주어진 예산제약 하에서 효용극대화를 통해 결정되어진다. 가계는 원초적 생산요소인 노동, 자본, 그리고 에너지 자원을 비에너지 산업과 에너

지 산업에 공급하고, 이를 통해 가계소득을 얻는다. 가계는 가치분소득을 에너지 상품(전력, 비전력)의 구입, 비에너지 상품의 구입, 그리고 투자에 지출한다. 각각의 국가 경제는 에너지 상품과 비에너지 상품의 무역을 통해 세계경제와 밀접한 상호연관관계를 맺고 있다. 본 연구에서 각 국가별 효용수준은 비에너지 소비와 화석연료 에너지의 불변대체탄력성 함수로 정의된다. 비에너지 상품에 대한 수요는 콥-더글라스 함수형태로 이루어지고, 에너지 상품에 대한 최종수요는 전력, 가스, 석유와 석탄의 콥-더글라스 형태로 이루어진다.

$$-\Pi_r^U = p_{cgd}^{A\theta_r^S} [\theta_r^{CE} p_r^{CE 1-\sigma_s} + (1-\theta_r^{CE}) p_r^{CNE 1-\sigma_s}]^{\frac{1-\theta_r^S}{1-\sigma_s}} - p_r^U \geq 0 \quad (6)$$

$$\text{단, } p_r^{CNE} = \prod_{i \in eg} p_{ir}^{A\theta_{ir}^{CNE}}, \quad p_r^{CE} = \prod_{i \in eg} p_{ir}^{A\theta_{ir}^{CE}}$$

각 국가별로 상품을 수입하기 위해서는 교역물량에 대한 수송서비스가 필요하다. 본 연구에서는 각 국가별 수입에 대한 무역흐름을 레온티에프 함수를 가정함으로써 수송비용과 수입을 일정하게 유지한다. 국제 교역서비스는 콥-더글라스 함수형태로 공급된다.

$$-\Pi^T = \prod_{i,r} p_{ir}^{X\theta_{ir}^T} - P^T \geq 0 \quad (7)$$

(2) 시장청산조건

노동시장의 청산조건은 노동공급이 수요보다 크거나 같은 수준에서 균형임금이 결정된다. 노동의 공급과 수요가 일치하는 수준에서 양의 임금수준이 결정되고, 노동의 초과공급하에서는 영(0)의 임금수준이 발생하게 된다. 식(8)의 오른쪽은 호텔링 정리(Hotelling's lemma)에 의해 단위 이윤함수를 임금으로 편미분한 후 산출수준의 곱을 통해 노동수요함수를 도출한 것이다.

$$L_r \geq \sum_i Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial p_{lr}} \quad (8)$$

자본시장의 청산조건 또한 자본공급과 수요의 균형관계인데 공급이 수요보다 크거나 같아야 한다. 이러한 자본시장의 수급균형 조건 하에서 자본수익율이 결정된다. 식 (9)의 오른 편은 단위 이윤함수를 자본수익률로 편미분한 계수에 산출수준을 곱하여 자본수요함수를 도출한 것이다.

$$K_r \geq \sum_i Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial r k_r} \quad (9)$$

화석연료와 같은 자연자원의 균형조건은 다음과 같은 수급조건에 의해 달성될 수 있다. 식 (10)과 같이 초과수요함수가 영(0)이 되는 수준에서 양의 가격수준이 결정된다.

$$R_{ir} \geq \sum_i Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial p_{ir}^R} \quad (10)$$

국내시장의 청산조건은 국내공급이 수요보다 크거나 같은 조건하에서 양의 균형가격이 결정된다. 초과공급이 발생할 경우에는 영(0)의 가격수준이 도출되므로 시장청산조건이 만족되어야 양의 가격수준이 결정된다.

$$Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial p_{ir}} \geq A_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^A}{\partial p_{ir}} \quad (11)$$

식 (12)는 수출재의 시장청산조건을 나타내는 식으로서, 수출재 공급은 수입수요와 교역서비스보다 크거나 같아야 한다. 왼편은 단위 이윤함수를 수출재의 가격으로 편미분한 후 산출수준을 곱하여 수출 공급함수를 도출한 것이고, 오른 편의 첫 번째 항은 수입재의 단위 이윤함수를 편미분한 후 수입재를 곱한 것이고, 두 번째 항은 교역서비스의 수요함수를 도출한 것이다.

$$Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial p_{ir}^X} \geq \sum_s M_{is} \frac{\partial \Pi_{is}^M}{\partial p_{ir}^X} + Y^T \frac{\partial \Pi^T}{\partial p_{ir}^X} \quad (12)$$

에너지시장에 대한 청산조건은 에너지공급이 수요보다 크거나 같은 수준에서 결정된다. 이러한 경우 국가별, 산업부문별 에너지가격은 식 (13)을 통해 결정된다. 식 (13)의 오른쪽은 에너지 수요계수와 산출수준의 곱을 통해 에너지 수요함수를 도출한 관계식이다.

$$E_{ir} \geq Y_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^Y}{\partial p_{ir}^E} \quad (13)$$

수입재의 시장청산 조건은 다음과 같이 수입재 공급이 수입재 수요보다 크거나 같은 수준에서 수입재의 국내가격이 결정된다. 식 (14)의 오른쪽 항은 수입수요 계수와 복합재의 곱을 통해 수입재 수요함수를 나타낸 관계식이다.

$$M_{ir} \geq A_{ir} \frac{\partial \Pi_{ir}^A}{\partial p_{ir}^M} \quad (14)$$

복합재의 시장청산조건은 공급과 수요가 일치하는 수준에서 양의 가격이 결정된다. 식 (15)의 오른쪽 항은 복합재의 수요를 나타낸 식이다.

$$A_{ir} \geq \sum_j Y_{jr} \frac{\partial \Pi_{jr}^Y}{\partial p_{ir}^A} + U_r \frac{\partial \Pi_r^U}{\partial p_{ir}^A} \quad (15)$$

효용부문 청산조건은 아래의 식과 같다.

$$U_r \geq \frac{RA_r}{p_r^U} \quad (16)$$

(3) 소득균형조건

소득은 원초적 생산요소인 노동과 자본의 임금소득과 자본소득, 그리고 부존자원인 천연자원의 공급으로 이루어진다. 또한 국가의 세금수입과 무역수지 역시 총체적 소득수준을 결정하는 요인이다.

$$\begin{aligned}
RA_r &\leq rk_r K_r \\
&+ pl_r L_r \\
&+ \sum_{j \in xe} p_{ir}^R R_{ir} \\
&+ B_r \\
&+ Tax\ Revenue
\end{aligned} \tag{17}$$

본 분석모형에 적용한 마무리 조건(closure rule)은 저축-투자 결정식과 무역수지 결정식이 일치하게 되는 메커니즘이다.

Ⅲ. 분석자료 및 시나리오

1. 분석자료

본 연구에서는 GTAP DB와 IEA 통계자료를 이용하여 경제·환경 통합 데이터 베이스를 구축하였다. IEA에서 발간하는 에너지 통계는 135개 국가에 대해서 32개 상품, 7개 에너지원별 에너지소비량이 기록되어 있고, GTAP DB 5는 66개 국가에 대해서 57개 상품과 5개 생산요소로 구성된 각국의 투입·산출자료와 무역자료로 이루어져 있다.³⁾

본 연구에서는 지속가능한 발전을 위해 경제와 환경간의 연관관계를 분석하는데 연구목적이 있으므로 기본데이터 베이스를 11개 국가(지역)와 17개 생산부문으로 분류하였다. 분석대상 국가(지역) 분류는 경제·환경 통합과 지속가능한 발전을 위한 전 세계 영향을 분석하기 위하여 다음과 같이 분류하였다. 환경 및 경제에 중요한 영향을 미치는 화석연료 에너지를 반영하기 위하여 에너지수출국가인 멕시코와 OPEC을 하나의 국가군(MPC)으로 통합·분류하였다. 그리고 우리나라를 포함한 동북아 지역의 특성을 반영하기 위하여 한국(KOR), 중국(CHN), 일본(JPN)을 각 각 별도로 분류하였고, 여타 아시아 국가로는 구소련 국가군(FSU), 여타 아시아국

3) GTAP DB 5는 2001년 퍼듀대학에서 발간된 자료이며, 이에 대한 자세한 설명은 Dimarana et al. (2002)을 참조하기 바란다. 본 연구에서는 이용가능한 최신년도의 자료인 1997년 경제 구조를 반영하여 분석자료의 신뢰성을 높이고자 하였다.

가군(ASI)으로 나누었다. 또한 세계 경제에 중요한 비중을 차지하고 있는 미국(USA)과 유럽공동체(EUR)를 별도로 모형에 반영하였다. 마지막으로 여타 OECD 국가군(OOE)과 여타 국가군(ROW)을 모형에 반영하였다.

본 연구에서는 11개 분석대상 국가(지역)에 대하여 노동, 자본의 원초적 생산요소와 에너지 및 중간재를 사용하는 17개 산업을 다음과 같이 분류하였다. 화석연료 에너지는 경제발전과 환경에 중요한 영향을 미치는 부문이므로 석탄(COL), 석유제품(OIL), 전력(ELE), 천연가스(GAS), 그리고 원유(CRU) 등 5개 부문으로 세분화하였다. 이는 환경오염의 주요 원인이 화석연료 에너지 사용에 따라 발생하고, 또한 에너지원별로 오염배출 정도가 상이하기 때문이다. 그리고 에너지부문에 직접적 영향을 받는 산업인 에너지 다소비산업을 철강(LS), 화학산업(CRP), 교역서비스(TT), 종이·제지업(PPP) 등으로 분류하였다. 이들 산업은 에너지 소비에 따른 환경오염뿐만 아니라 산업공정상에도 오염을 발생시키므로 이를 세분화할 필요가 있다.

2. 분석 시나리오 설계

본 연구에서는 주요 환경정책 수단으로 배출권거래제도를 고려하고자 한다.⁴⁾ 왜냐하면 배출권거래제는 기후변화협약 등 국제환경협약에서 적용가능한 방법론으로 평가되고 있고, 환경세에 비해 여러 가지 장점을 갖고 있는 환경정책수단이기 때문이다.

환경 및 경제발전에 있어서 선진국과 개발도상국간의 논쟁은 환경오염의 책임이 누구에게 있느냐는 것이다. 또한 경제적 낙후에 따른 오염문제를 해결하기 위해서는 지속가능한 발전을 통해 개발도상국과 후진국의 환경오염을 줄일 수 있는 방안이 절실히 요청된다. 따라서 본 연구에서는 이산화탄소 총량규제를 위한 배출권거래제를 오염배출량이 큰 선진국 국가에 적용하는 경우를 모형에 반영하였다.⁵⁾ 본 연구

4) 본 논문에서 배출권거래제는 이산화탄소의 총량을 규제할 경우 규제 국가내에서 이산화탄소의 총량감축목표를 달성하기 위하여 산업간 배출권이 거래가능 하도록 설계하였다. 각 산업부문은 한계저감비용과 배출권거래가격에 따라서 이산화탄소를 의무량보다 감축하여 배출권을 판매하거나 추가적으로 배출권을 구입하여 배출량을 감축량보다 증가시킬 수 있다.

5) 선진국형의 지구환경문제로 지적되는 것은 선진국의 고도로 발달된 경제활동의 결과 나타나는 오존층의 파괴, 이산화탄소 농도의 상승에 따른 지구의 온난화 및 산성비를 들 수 있다.

에서는 지속가능한 발전을 위해 감축대상으로 이산화탄소를 설정하였는데, 이러한 이산화탄소는 경제활동에 따라 발생하는 가장 일반적인 온실가스로서 산업화이후 발생한 복사력 증가의 60% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있다(IPCC, 1992). 이 중에서 이산화탄소의 주요 배출원은 화석연료의 연소로서, 연료연소시 탄소(carbon)가 산화(oxidation)하면서 이산화탄소가 발생하게 된다. 그러나 아직까지 온실가스를 어느 수준까지 감축하는 것이 지속가능한 발전을 위해 적절한 수준인지는 알 수 없는 상황이다. 따라서 본 연구에서도 이산화탄소의 배출총량을 5%에서 50%수준까지 5%씩 단계적으로 감축하기 위하여 국내 배출권거래제도를 도입할 경우 환경 및 경제부문의 파급효과를 분석하였다.

본 연구에서는 이상의 주요 내용들을 반영하여 다음과 같은 시나리오를 설계하였다.

시나리오 I 은 우리나라를 제외한 환경규제 국가(미국, 유럽공동체, 일본, 여타 OECD회원국)에 기준년도 이산화탄소 배출수준을 5~50%까지 감축하는 경우이다. 이산화탄소 배출절감을 위한 환경정책수단으로는 배출권거래제를 도입한다.

시나리오 II는 우리나라를 포함한 환경규제 국가(미국, 유럽공동체, 일본, 여타 OECD회원국)가 기준년도 이산화탄소의 5%에서 50%수준까지 감축할 경우 환경 및 경제효과를 분석하였다.⁶⁾ 이러한 배출권거래제는 국가내에서 산업부문별로는 거래가 가능하지만 국제적 거래는 불가능하다고 전제한다.⁷⁾ 본 연구에서는 배출권 거래제의 초기분배를 환경규제 국가의 산업부문별 실적치에 기준하여 할당하였다.⁸⁾

6) 본 논문은 기준년도 경제구조 하에서 감축대상 국가들이 이산화탄소를 5%에서 50%수준까지 단계적으로 감축할 경우의 효과를 분석하였는데, 현실적으로 다소 높은 감축수준인 50%까지도 포함하여 분석하였다.

7) 국제 배출권거래제는 이산화탄소 감축의무에 따른 배출쿼터를 국제시장에서 거래할 수 있게 하는 제도이다. 즉 국제 배출권거래가격이 국내의 한계저감비용보다 높을 경우에는 배출권을 국제시장에 판매하게 되며, 이러한 경우 국내 배출권거래제보다 배출목표달성에 있어 보다 효율적이다. 그러나 배출권거래를 통제할 국제기구나 감시문제 등 운영상의 문제점을 갖고 있다.

8) 배출권거래제를 시행할 경우 기준시점에서 배출권을 어떻게 분배하느냐에 따라 배출권 가격과 경제주체별 배출권 할당량이 달라진다. 이에 대한 자세한 내용은 조경영 외(2001)를 참조하기 바란다.

IV. 분석 결과

1. 거시경제 효과

환경규제 국가에 이산화탄소를 5%에서 50%까지 부과할 경우 우리나라와 세계 전체의 국내총생산 효과는 다음과 같다(표 1). 일부 국가의 이산화탄소 감축은 환경규제 국가의 에너지 수요감소에 따른 화석연료 에너지의 가격하락과 국가간의 교역조건 변화로 인해 국가별로 상이한 실질 GDP 효과를 발생시킨다. 우리나라는 환경규제를 받지 않을 경우 국내총생산이 0.02~0.14%까지 증가하는 것으로 나타났다. 환경규제 국가의 에너지 수요감소는 세계 화석연료 에너지의 가격하락을 유발하고, 이로 인해 우리나라를 비롯한 비환경규제 국가는 에너지 가격하락으로 에너지집약산업의 국제경쟁력이 개선된다. 그러나 환경규제 국가의 국내총생산 감소로 인해 세계 전체의 수입수요가 감소하기 때문에 전 세계의 실질 GDP는 0.08~1.57% 감소하는 것으로 분석된다.

우리나라의 경우 국내 배출권거래제에 따른 화석연료 에너지 수요감소로 실질 GDP가 0.22~3.85% 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 주어진 이산화탄소 감축 수준을 달성하기 위해 화석연료 에너지의 수요감소와 이에 따른 에너지집약산업의

〈표 1〉 환경규제 국가의 CO₂ 감축비율에 따른 국내총생산 효과

(단위: %)

분석국가 CO ₂ 감축비율	한 국		전세계	
	시나리오 I	시나리오 II	시나리오 I	시나리오 II
5% 감축	0.02	-0.22	-0.08	-0.08
10% 감축	0.03	-0.47	-0.17	-0.18
15% 감축	0.05	-0.75	-0.28	-0.29
20% 감축	0.07	-1.06	-0.40	-0.42
25% 감축	0.08	-1.41	-0.54	-0.56
30% 감축	0.10	-1.79	-0.70	-0.73
35% 감축	0.11	-2.22	-0.87	-0.91
40% 감축	0.12	-2.70	-1.07	-1.12
45% 감축	0.13	-3.24	-1.31	-1.36
50% 감축	0.14	-3.85	-1.57	-1.64

산출이 크게 감소하기 때문이다. 특히, 우리나라의 경우 이산화탄소 감축시 GDP가 크게 감소하는 것으로 분석되었는데, 이는 우리나라의 국내총생산에서 화석연료 집약산업이 차지하는 비중이 상대적으로 크기 때문이다.

본 분석결과에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 주요 모수에 대한 민감도 분석을 실시한 결과 분석모형 및 결과가 안정적인 것으로 나타났다.

2. 산업부문 효과

우리나라의 이산화탄소 감축이행 여부에 따른 산업부문별 산출효과를 분석하면 다음과 같다(표 2). 배출권거래제와 같은 환경규제를 세계 전체가 아닌 일부 국가에만 적용할 경우 상대가격변화에 따른 교역조건의 변화로 환경규제 국가와 비환경규제 국가간의 산출효과는 상당한 차이가 발생한다. 그러나 환경규제로 인해 에너지집약산업과 전력 및 석유제품의 화석연료 에너지 수요가 감소함에 따라 전 세계적으로 천연가스, 석탄, 원유의 산출은 감소하는 것으로 분석되었다.

우리나라의 경우 이산화탄소 감축의무가 부과되지 않을 경우에도 일부 산업(천연가스, 석탄, 식료품, 수송산업, 종이·제지업 등)의 산출이 감소하였다. 이는 배출권거래제가 온실가스 규제국가들의 소득을 감소시켜 우리나라 특정산업의 수출을 감소시키고, 이에 따른 수요감소와 산업간 자원재배분 효과에 따른 결과이다.

이산화탄소 배출총량을 규제하기 위하여 우리나라에 배출권거래제를 도입할 경우 에너지수요가 감소하여 화석연료 및 에너지산업의 산출이 감소하는 것으로 분석되었다. 화석연료 중에서도 탄소함유량이 가장 높은 석탄의 산출감소가 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음으로는 전력과 석유제품의 순으로 분석되었다. 또한 화석연료 및 에너지간 대체관계로 인해 에너지집약산업인 화학산업과 교역서비스의 산출도 크게 감소하는 것으로 분석되었다. 그러나 철강산업은 우리나라의 이산화탄소 감축에도 불구하고 화학산업, 종이·제지업과 교역서비스의 산출감소에 따른 생산요소 이동효과로 인해 산출이 다소 증가하는 것으로 분석되었다. 이와는 달리 우리나라의 이산화탄소 감축이행 여부가 세계 전체의 산업부문별 산출효과에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

우리나라의 이산화탄소 감축의무 비율이 높아질수록 일부 산업(석유제품, 식료품, 종이·제지업 등)의 산출이 처음에는 다소 증가하다가 감소하는 것으로 분석되었다.

이는 우리나라의 감축의무비율이 높아짐에 따라 산업간 가격효과와 산출효과, 그리고 자원재배분효과와 국가간 교역관계 등에 따른 것이다.

〈표 2〉 환경규제 국가의 CO₂ 감축비율에 따른 산업부문별 산출 효과

(단위: %)

분석국가 CO ₂ 감축 산업부문	한 국						전세계					
	시나리오 I			시나리오 II			시나리오 I			시나리오 II		
	5%	25%	50%	5%	25%	50%	5%	25%	50%	5%	25%	50%
천연가스	-0.13	-0.75	-1.58	-0.64	-2.50	-0.07	-1.42	-8.25	-17.20	-1.44	-8.37	-17.33
전력	0.30	1.66	3.79	-1.97	-12.00	-29.70	-1.08	-6.92	-16.80	-1.12	-7.16	-17.38
석유제품	0.27	1.69	5.38	1.95	-11.89	-28.48	-0.70	-3.90	-8.57	-0.76	-4.32	-9.59
석탄	-1.80	-8.50	-15.05	-3.62	-17.63	-31.78	-3.23	-14.46	-23.82	-3.36	-15.03	-24.77
원유	-	-	-	-	-	-	-0.61	-3.34	-7.15	-0.67	-3.71	-8.06
철강	0.57	3.78	10.86	0.12	1.09	3.67	-0.12	-0.72	-1.87	-0.13	-0.78	-2.04
화학산업	0.57	4.23	14.28	-1.57	-9.88	-26.30	-0.12	-0.87	-2.74	-0.13	-0.95	-2.97
수송산업	-0.21	-1.54	-4.93	-0.08	-0.47	-1.21	-0.04	-0.30	-1.10	-0.04	-0.31	-1.16
광업	0.11	0.93	3.26	0.27	2.59	10.19	-0.07	-0.44	-1.32	-0.07	-0.45	-1.34
식료품	-0.07	-0.52	-1.84	0.04	-0.07	-1.15	-0.06	-0.48	-1.82	-0.06	-0.48	-1.86
종이·제지업	-0.07	-0.44	-1.39	0.18	-1.08	-2.86	-0.07	-0.50	-1.70	-0.07	-0.52	-1.75
건설업	0.00	-0.03	-0.11	-0.02	-0.14	-0.42	-0.03	-0.18	-0.52	-0.03	-0.19	-0.53
섬유·의류	-0.21	-1.47	-4.66	-0.49	-3.14	-8.86	-0.06	-0.48	-1.77	-0.06	-0.50	-1.84
기타제조업	-0.16	-1.18	-4.10	-0.18	-0.86	-1.68	-0.06	-0.40	-1.21	-0.06	-0.42	-1.26
농림수산업	-0.08	-0.57	-1.76	0.06	0.36	1.52	-0.05	-0.40	-1.41	-0.05	-0.40	-1.42
교역서비스	0.96	6.69	21.04	-1.00	-6.40	-18.10	-0.31	-2.06	-5.67	-0.32	-2.11	-5.83
서비스업	-0.07	-0.54	-1.83	0.04	0.02	-0.90	-0.01	-0.11	-0.60	-0.01	-0.12	-0.62

3. 환경부문 효과

환경규제 국가에 국내 배출권거래제를 도입할 경우 배출효과는 다음과 같다(표 3). 전 세계가 아닌 일부 국가에만 배출권거래제를 부여할 경우 이산화탄소 배출은 비규제국가로 이전되는 배출이전효과(leakage effect)를 갖는다. 즉 비환경규제 국가는 에너지 수요 증가와 에너지집약산업의 산출증가로 인해 이산화탄소의 배출이 증가하게 된다.

우리나라는 이산화탄소 감축이행의무가 부여되지 않을 경우 에너지 소비증가와 에너지집약산업의 산출증가로 이산화탄소 배출이 0.78~10.07%까지 증가하는 것

으로 분석된다. 본 연구에서는 세계 전체가 아닌 일부 국가에만 이산화탄소 감축의무를 부과할 경우 배출이전효과로 인해 비감축 국가는 이산화탄소 배출이 증가하는 것으로 분석된다. 따라서 비감축국가의 배출증가로 인해 세계 전체의 이산화탄소는 규제국가의 감축률보다 적게 감축된다. 우리나라의 경우 CO₂ 국내 배출권거래제가 도입될 경우 일정량의 이산화탄소를 의무적으로 감축해야 하지만, 교토의정서 메커니즘에 따른 국제 배출권거래제가 도입될 경우에는 배출권 구입 또는 판매를 통해 이산화탄소 배출량이 의무량과 다를 수 있다.

우리나라를 포함한 환경규제 국가에 배출권거래제를 도입할 경우 이산화탄소의 배출효과는 다음과 같다. 이산화탄소 배출수준은 화석연료 에너지 요소간 대체가능성과 에너지와 원초적 생산요소(노동, 자본) 간 대체탄력성에 따라 상이하다. 따라서 국가내에서 배출권거래가 이루어진다면 산업부문별 한계저감비용과 배출권거래가격에 따라서 이산화탄소 배출수준이 달라진다.

세계 전체의 이산화탄소 배출수준은 우리나라에 이산화탄소 감축의무를 부과하지 않는 경우 보다 증가하는데, 이는 우리나라의 환경규제로 인해 화석연료 에너지의 국제가격이 더욱 하락하는 동시에 우리나라 에너지집약산업의 교역조건 악화로 비환경규제 국가의 화석연료 에너지 수요증가와 에너지집약산업의 산출증가에 따른 효과이다.

〈표 3〉 환경규제 국가의 CO₂ 감축비율에 따른 국가별 이산화탄소 배출 효과

(단위: %)

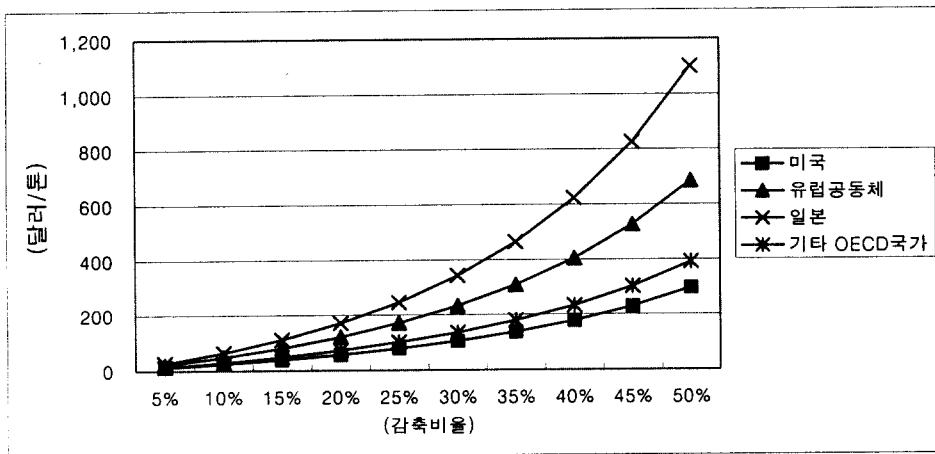
분석국가 CO ₂ 감축비율	한 국		전세계	
	시나리오 I	시나리오 II	시나리오 I	시나리오 II
5% 감축	0.78	-5.00	-1.99	-2.08
10% 감축	1.63	-10.00	-3.95	-4.14
15% 감축	2.55	-15.00	-5.89	-6.17
20% 감축	3.53	-20.00	-7.80	-8.18
25% 감축	4.60	-25.00	-9.68	-10.14
30% 감축	5.75	-30.00	-11.50	-12.06
35% 감축	7.02	-35.00	-13.26	-13.91
40% 감축	8.42	-40.00	-14.92	-15.67
45% 감축	9.98	-45.00	-16.47	-17.31
50% 감축	10.07	-50.00	-17.87	-18.80

4. 한계저감비용

일반적으로 이산화탄소의 감축비용이 증가할수록 한계저감비용이 증가하는 것으로 분석되었다. 국가별로는 일본의 한계저감비용이 가장 높게 분석되었고, 그 다음으로는 유럽공동체, 기타 OECD국가, 미국의 순으로 분석되었다. 즉 미국은 에너지 자원이 상대적으로 풍부하여 이산화탄소 감축시 탄소함유량이 적은 에너지 자원으로 대체가 쉽다는 것을 알 수 있다. 또한 환경규제 국가의 산업부문별 이산화탄소 함유량에 따라서 한계저감비용이 달라질 수 있다. 특히, 일본의 경우 전력생산에 있어 에너지간 대체탄력성이 거의 미미한 수준인데 이는 일본의 전력산업이 화력발전에 주로 기인하고 있기 때문이다.

이산화탄소 총배출량을 5~50%수준까지 감축하기 위해 배출권거래제를 도입할 경우 국가별 한계저감비용은 다음과 같다. 미국은 11~297달러로 가장 낮은 것으로 분석되었고, 유럽공동체는 22~685달러, 기타 OECD국가는 13~391달러, 일본은 28~1,100달러로 가장 높게 나타났다(그림 1).

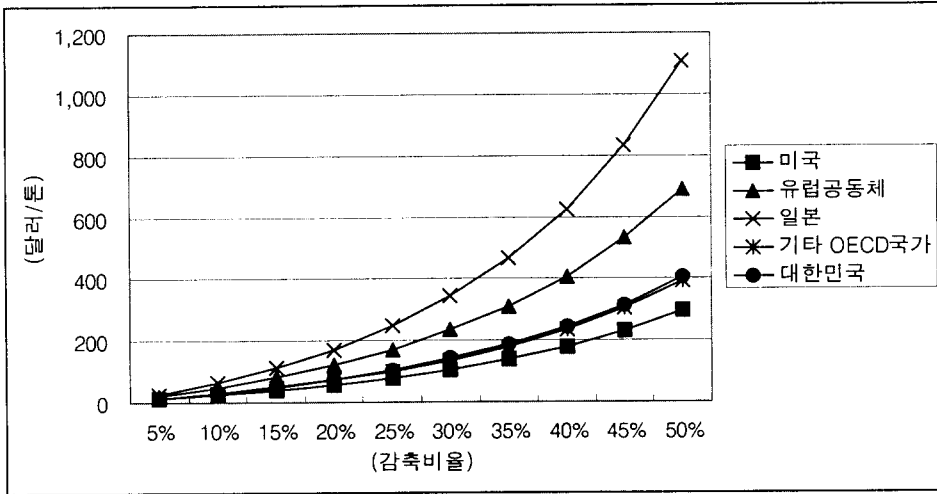
〈그림 1〉 환경규제 국가의 CO₂ 감축비율에 따른 한계저감비용 곡선



우리나라를 포함한 환경규제 국가에 배출권거래제를 도입할 경우 국가별 한계저감비용은 다음과 같다. 이산화탄소 감축비율을 5~50%로 증가시킬 경우 국가별 한계저감비용은 미국의 경우 11~299달러로 가장 낮게 나타났고, 유럽공동체는 2

2~691달러, 일본은 28~1,108달러, 기타 OECD국가는 14~394달러, 우리나라는 14~406달러로 분석되었다. 환경규제 국가의 한계저감비용곡선은 이산화탄소 감축수준이 증가할수록 우상향하는 것으로 나타났다(그림 2).

〈그림 2〉 환경규제 국가(우리나라 포함)의 CO₂ 감축비율에 따른 한계저감비용 곡선



V. 결 론

오늘날 성장위주의 경제정책은 환경오염이라는 심각한 문제를 발생시킴으로써 미래세대의 필요를 충족시킬 수 있는 지속가능한 발전에 악영향을 미치고 있다. 따라서 경제와 환경이 상호 조화롭게 지속발전하기 위해서는 경제와 환경간의 연계방식과 국가간의 무역 및 생산·소비 연관관계도 반드시 고려되어야 한다.

본 연구에서는 에너지부문 및 환경오염산업을 세분화한 환경CGE모형을 이용하여 이산화탄소 배출권거래제가 경제 및 환경부문에 미치는 파급효과를 분석하였다. 주요 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 온실가스의 주원인인 이산화탄소를 감축할 경우 환경규제 국가의 화석연료 에너지 수요감소에 따른 국제 에너지 가격하락과 국가간의 교역조건 변화로 인해 실질 GDP 변화는 환경규제 국가와 비환경규제 국가간에 상이한 것으로 분석되었다. 우리나라의 이산화탄소 감축은 국내총생산을 0.22~3.85% 감소시키는 것으로

분석되었으나, 세계경제에는 파급효과가 크지 않는 것으로 나타났다. 이는 우리나라가 소국가이기 때문에 환경규제에 따른 효과가 세계가격에 영향을 미치지 않기 때문이다.

둘째, 세계 전체가 아닌 특정 국가에만 이산화탄소를 감축할 경우 상대가격변화에 따른 교역조건의 변화로 환경규제 국가와 비환경규제 국가간의 산출효과는 상당한 차이가 발생한다. 환경규제로 인해 에너지집약산업과 전력 및 석유제품의 화석연료 수요가 감소함에 따라 천연가스, 석탄, 원유의 산출은 전 세계적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 우리나라의 경우 이산화탄소 감축으로 에너지 집약산업의 산출감소가 두드러지게 나타나고 있다.

셋째, 이산화탄소 배출수준은 에너지 요소간 대체정도와 에너지와 원초적 생산요소(노동, 자본) 간 대체탄력성에 의해 영향을 받는다. 전 세계가 아닌 일부 국가에만 배출권거래제를 부여할 경우 이산화탄소 배출은 비규제국가로 이전되는 배출이전효과를 갖는다. 즉 비환경규제 국가는 에너지 수요 증가와 에너지집약산업의 산출증가로 인해 이산화탄소 배출이 증가하게 된다.

넷째, 이산화탄소의 감축수준이 증가할수록 한계저감비용이 증가하는 것으로 분석되었다. 국가별로는 일본의 한계저감비용이 가장 높게 분석되었고, 그 다음으로 유럽공동체, 우리나라, 기타 OECD국가, 미국의 순으로 분석되었다. 이산화탄소 총배출량을 5~50%수준까지 감축하는 배출권거래제를 도입할 경우 국가별 한계저감비용은 다음과 같다. 미국의 경우 11~299달러로 가장 낮게 나타났고, 유럽공동체는 22~691달러, 일본은 28~1,108달러, 기타 OECD국가는 14~394달러, 우리나라는 14~406달러로 분석되었다.

이상의 분석결과를 바탕으로 지속가능한 발전을 위해 다음과 같은 경제적, 정책적 함의를 제시하고자 한다.

첫째, 우리나라의 이산화탄소 감축이행 여부에 따른 경제적 효과는 국내경제에는 상당한 파급효과를 갖지만, 세계경제에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 우리나라는 이산화탄소를 20%이상 감축할 경우 GDP가 1%이상 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 분석결과를 고려할 때 우리나라는 국제환경협약에서 감축이행의무를 면제받거나 감축이행수준을 낮출 수 있는 것이 중요한 것으로 나타났다. 즉 감축이행의무를 시행하더라도 CO₂ 감축수준을 20%미만으로 설정하는 것이 무엇보다 중요한 협상전략이다.

둘째, 우리나라가 이산화탄소 감축이행을 시행하느냐에 따라서 화석연료 에너지 및 에너지집약 산업뿐만 아니라 여타 산업부문의 파급효과도 상이하게 분석되었다. 우리나라가 감축이행의무를 시행할 경우 에너지 및 에너지집약산업의 산출 및 고용이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 환경규제에 대응할 수 있는 지속가능한 경제체제를 수립하기 위해서는 에너지효율향상과 탄소함유량이 높은 에너지를 여타 에너지 또는 원초적 생산요소로 전환할 수 있는 기술개발이 필요하다. 특히, 대체 에너지 및 청정에너지와 같은 환경기술 개발의 촉진과 환경산업의 육성이 무엇보다 절실히 요청된다.

마지막으로 이산화탄소(CO₂) 뿐만 아니라 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등과 같은 환경오염물질과 환경 정책에 따른 환경편익을 분석할 수 있는 자료와 응용모형을 수립하는 것은 향후 연구과제로 남긴다. 또한 생산기술과 소비선택의 구조적 변화 등 시간변화에 따른 동태적 효과 분석에 대한 연구도 향후 주요한 연구과제이다.

■ 참 고 문 헌

1. 강승진, 『에너지-경제-환경시스템의 모형화에 관한 연구』, 에너지경제연구원, 1999.
2. 강운영, 『탄소세가 국민경제에 미치는 영향 : 동태적 일반균형모형』, 에너지경제연구원, 1998.
3. 임재규 · 강운영, 『기후변화협약의 국내산업구조 및 국제경쟁력 파급효과』, 에너지경제연구원, 2000.
4. 조경엽 · 조용성 · 장현준, “온실가스 배출권거래제도 국내도입의 경제적 효과분석,” 『자원 · 환경경제연구』 제10권 제2호, 2001, pp. 173-216.
5. 조경엽, “온실가스 저감정책과 파급효과 : Global CGE모형에 의한 분석,” 『경제학연구』 제48집 제4호, 2000, pp. 323-368.
6. Armington, P., “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production,” *IMF Staff Papers*, 16, 1969, pp. 159-178.
7. Bergman, L., “General Equilibrium Costs and Benefits of Environmental Policies: Some Preliminary Results Based Swedish Data,” unpublished paper, 1993.
8. Bergman, L., “Energy and Environmental Constraints on Growth: A CGE Modeling Approach,” *Journal of Policy Modeling*, 12, 1990, pp. 671-691.
9. Böhringer, C. and T.F. Rutherford, “Carbon Taxes with Exemptions in an Open Eco-

- nomy: A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative," *Journal of Environmental Economics and Management*, 32, 1997, pp.189-203.
10. Böhringer, C. and T.F. Rutherford, *Decomposing the Cost of Kyoto: A Global CGE Analysis of Multilateral Policy Impact*. Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany. Working Paper, 2000.
11. Böhringer, C. and T. F. Rutherford, Carbon Abatement and International Spillovers, *Environmental and Resource Economics* 22(3), 2002, pp.391-417.
12. Daly, H. E., "Sustainable Growth: An Impossibility Theorem," in H.E. Daly and K.N. Townsend, ed., *Valuing the Earthing*, Boston: The MIT Press, 1993.
13. Dimarana, Betina V. and R.A McDougall, Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 5 Data Base, Center for Global Trade Analysis, purdue university, 2002.
14. Ellerman, A.D. and I. S. Wing, Supplemantarity: An Invitation for Monopsony, *The Energy Journal* 21 (4), 2000, pp.29-59.
15. Hazilla, M. and R. Kopp, "Social Cost of Environmental Quality Regulations: A General Equilibrium Analysis," *Journal of Political Economy*, 98(4), 1990.
16. IPCC, Climate Change 1992 - The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge university press, 1992.
17. Jorgenson, D.W. and P. J. Wilcoxon, "Intertemporal General Equilibrium Modeling of U. S. Environmental Regulation," *Journal of Policy Modeling* 12, 1990, pp.715-744.
18. Paltsev, S.V., The Kyoto Protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage, *The Energy Journal* 22 (4), 2001, pp.53-79.
19. Robinson. S., "Pollution, Market Failure, and Optimal Policy in an Economywide Framework," *paper presented at a CGE Modelling Conference at the University of Waterloo*, 1990.
20. Rutherford T.F. and S.V. Paltsev, *GTAP-Energy in GAMS: The Dataset and Static Model*, Department of Economics, University of Colorado, Working Paper, 2000.

〈부표 1〉 환경 CGE모형의 분배모수 설명

변수명	설 명	비 고
θ_{ir}^X	수출 배분율	$i \in xe$
θ_{ir}^R	자연자원 배분율	$i \in xe$
θ_{Tir}^{xe}	중간재 배분율	$T=j$ or $T=L$, $i \in xe$
θ_{jir}^{NEG}	비에너지 중간재 투입비율	$j \notin xe$, $i \notin xe$
θ_{ir}^{VAE}	부가가치 배분율	$i \notin xe$
θ_{ir}^E	에너지총합 배분율	$i \notin xe$
θ_{ir}^L	노동배분율	$i \notin xe$
θ_{ir}^{ELE}	전력배분율(에너지수요)	$i \notin xe$
θ_{ir}^{COL}	석탄배분율(화석연료수요)	$i \notin xe$
$\theta_{fe,ir}^{LQD}$	가스 또는 석유 배분율(화석연료수요)	$i \notin xe$
θ_{ir}^{MA}	수입재 배분율	$i \notin xe$
θ_{sr}^M	수입재의 지역별 배분율	
θ_r^S	국가별 저축율	
θ_r^{CE}	복합에너지 배분율(가계소비)	
θ_{ir}^{CEG}	에너지 배분율(가계 에너지소비)	$i \in fe$
θ_{ir}^{CNE}	비에너지 배분율(가계 비에너지소비)	$i \in fe$
θ_{ir}^T	수송부분 배분율	

〈부표 2〉 환경 CGE모형의 탄력성모수 설명

변수명	설 명	비 고
$\sigma_{R,i}$	화석연료 자원과 여타 생산요소간의 대체탄력성(화석연료생산)	$i \in xe$
σ_{VAE}	에너지와 부가가치간의 대체탄력성(비화석연료생산)	$i \notin xe$
σ_E	전력과 비전력간의 대체탄력성(비화석연료생산)	$i \notin xe$
σ_{NEL}	석탄과 액체에너지(가스, 석유) 간의 대체탄력성(비화석연료생산)	$i \notin xe$
σ_{LQD}	가스와 석유간의 대체탄력성(비화석연료생산)	$i \notin xe$
σ_D	국내재와 수입재간의 대체탄력성	
σ_M	수입재의 지역간 대체탄력성	
σ_S	에너지와 비에너지간의 대체탄력성(가계소비)	
η	수출재와 국내재의 변환탄력성	

〈부표 3〉 환경 CGE모형의 가격변수 설명

변수명	설 명	변수명	설 명
p_{ir}	국내재 가격	p_r^U	효용가격
p_{ir}^X	수출재의 국내가격	p_r^{CE}	복합에너지가격(최종소비)
p_{ir}^E	에너지가격	p_r^{CNE}	복합비에너지가격(최종소비)
p_{ir}^{NEL}	비전력에너지 가격	pl_r	노동임금율
p_{ir}^M	수입재의 국내가격	rk_r	자본수익률
p_{ir}^{MM}	수입재의 지역별 국내가격	p_{ir}^R	화석연료에너지가격
p_{ir}^A	복합재 가격	p^T	수송가격

〈부표 4〉 환경 CGE모형의 생산 및 여타변수 설명

변수명	설 명	변수명	설 명
Y_{ir}	산출재	L_r	노동공급량
E_{ir}^E	수출재	K_r	자본공급량
M_{ir}	수입재	R_{ir}	화석연료 공급량
A_{ir}	복합재	B_r	무역수지
U_r	효용	RA_r	소득수준
Y^T	수송	τ_{isr}	수송부문 공급량

The Impact of a CO₂ Emission Trading System on Environment and Economy

Sang-Ho Lee* · Chung-Sil Kim**

Abstract

The purpose of this article is to assess the impact of carbon dioxide (CO₂) reduction on environment and economy using Computable General Equilibrium (CGE) model. This study shows that worldwide GDP drops by nearly from 0.08 percent to 1.64 percent due to carbon abatement constraints. Also, global production of fossil fuel is decreased because of income effect and substitution effect. In this paper we show that CO₂ emissions abatement in a group of countries leads to carbon leakage rate of from 0.78 percent to 10.07 percent in Korea. Marginal abatement costs are different in abating countries and reduction level. Abating countries that heavily use carbon-intensive coal in activities face lower MACs to meet the same reduction as compared with countries that use relatively little carbon in sectors with low-cost substitution options.

Key Words: CGE model, marginal abatement cost, carbon leakage rate

* Lecturer, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University

** Professor, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University