

기후변화 협약의 국제 저감목표 달성을 위한 기후변화협약 이행방안의 효과 분석*

이 성 욱**

논문 초록 | 본 연구는 기후변화 협약의 총 감축 목표가 부속서 국가의 노력만으로는 불가능하며, 비 부속서 국가의 자발적인 감축 노력 및 협력이 있는 경우 국제 저감 목표 달성이 가능함을 2국가 불완전 경쟁시장 모형을 이용하여 실험하였다. 논문의 결과에서 의무감축 대상국은 저감 목표를 달성 하지만, 비 대상국의 총 배출이 증가하는 “오염 집중현상”이 발생해 국제 저감 목표를 달성할 수 없었다. 한편 의무 감축국의 CDM 사업이나 비 대상국이 자발적 저감 목표 설정을 하는 경우 후생 수준은 감소하지만 국제 협약의 배출저감 목표를 달성 할 수 있음을 보았다. 마지막으로, 논문은 의무 감축국의 CDM 사업과 비 부속서 국가의 자발적인 저감 목표 설정 등의 복합적 저감 노력이 전체 국가의 후생 손실을 최소화 하면서 국제 배출 저감 목표의 달성할 수 있음을 논의 하였다.

핵심 주제어: 기후변화협약, 오염집중, 자기규제, 환경정책, CDM

경제학문헌목록 주제분류: D6, F0, H8

투고 일자: 2011. 6. 15. 심사 및 수정 일자: 2011. 11. 23. 게재 확정 일자: 2012. 2. 24.

* 본 논문에 대한 유익한 논평을 해준 익명의 심사위원과 성균관대학교 정현식 교수, 김영한 교수, 이해춘 교수께 감사드린다.

** 온실가스 종합정보센터 연구원, 성균관대학교 경제학과 박사과정, e-mail: lsw0005@gmail.com

I. 서 론

1992년 기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change)이 체결되고, 1997년 그 시행 방안으로 채택된 교토 의정서가 2005년 발효되면서 2008년부터 1차 공약 기간이 시작하였다. 그리고 지난 15차 당사국 회의(COP 15)에서는 개도국의 자발적 노력에 대해 논의된바 있다. 최근 기후변화가 주요 쟁점 중 하나로 대두 되면서 기후변화 협약에 관련한 많은 연구가 이뤄졌고, 협약의 목표를 달성하기 위한 효과적인 방법의 탐색과 경제적 효과에 대해 분석해 왔다. 하지만, 온실가스 배출 저감 목표 달성을 위한 다양한 정책 중, 탄소세, 총량규제 등의 직접 배출 규제가 가지는 음의 외부효과인 오염 누출 및 오염 회피와 같은 문제점이 제시되었고 이에 대한 많은 논의가 진행되고 있다.

1990년대에는 환경규제와 경제의 관계와 규제 방안의 효율성에 대한 많은 연구가 진행되었다. 그 중 Dean(1992)는 환경규제의 국가간 영향, 무역에서의 영향, 오염 집중현상 및 오염 회피지역 등에 대한 논의하였다. Hettige 외(1992)은 오염 산업은 국가가 성장 초기에는 증가하나 일정 수준 이상 발전 하면 감소하며 오염 배출이 낮은 산업구조로 이동하고, 오염물 다배출 산업의 생산물은 해외에 의존함을 보였다. Krutilla(1991)에서는 개방경제하에서 최적 환경 규제의 탐색과 환경규제가 국가간 미치는 영향력에 대한 논의하였다. 이후 환경 규제와 무역간의 관계에 대한 많은 논의가 진행 되었다. Bohman와 Lindsey(1997)은 환경규제로 인한 오염 집중(emission concentration)이 자유 무역을 통해 분산됨을 보였고, Antweiler 외(2001)은 국제 상품시장 개방에 따른 오염 집중에 대해 이론적 모형을 설명하고 실증분석을 시도하였다. Dean(2002)는 상대적으로 환경규제가 낮은 경우의 개발 도상국에서 오염 집약 재화에 상대적 우위를 가지는 것을 보였다. Cole와 Elliott(2003)는 헉셔-오린-사뮤엘슨 구조(Heckscher-Ohlin-Samuelson Framework)와 신 무역 이론을 이용해 환경규제 수준이 다른 두 국가에 대한 분석에서 환경 규제와 무역은 음의 상관관계를 가짐을 보였다. 이러한 연구들을 종합해 보면, 국제 무역을 통해 환경 규제가 강한 국가에서 규제가 약한 국가로 혹은 선진국에서 개도국으로 오염 배출이 이전되는 배출 집중이 발생하지만, 자유 무역은 오염 집중을 완화 시킨다고 정리할 수 있다.¹⁾ 또한 Muradian 외(2001)와 Munksgaard와 Pedersen(2001), Lenzen 외(2004), 정현식(2004) 등의 논문에서는 오염 누출의 관리를 위해 국가 배출을 공

급 측면뿐만 아니라 수요 측면의 관리를 통해 국제 무역에 포함된 배출을 고려해야 함을 주장하였다. 또한 Peters (2008)에서는 국내 소비의 해외 기업에 대한 배출 유발을 고려한 인벤토리의 필요함을 보였다.²⁾ 하지만, 선행 연구는 국제 환경 협약 및 국제 경제에 대해 최적규제 수준의 탐색 및 규제의 경제에 대한 영향력을 위주로 분석이 되었으며, 그들이 제시한 저감 노력이 국제 배출 저감 목표 수준의 달성에 대해서는 충분히 논의되지 못하였다. 따라서 이 논문은 국제 협약에서 결정된 총 배출 저감 목표의 달성을 위한 초국가적 저감 노력이 필요함을 논의하는 것에 의미를 찾을 수 있다.

기후 변화 협약 기본문의 “제 4조 1항 나”에는 선진국의 배출을 1990년대 수준으로 낮추는 저감 목표가 설정되어 있다. 또한 교토 의정서의 “제 3조”에는 선진국 및 부속서 국가에 대한 저감 목표의 설정 및 저감 방식, 기간 등이 명시 되어 있다. 하지만, 비 부속서 국가에 대한 오염 배출에 대한 조항은 언급되어 있지 않다. 한편, 포스트 교토 체제를 논의한 2009년 12월 코펜하겐 15차 UN 기후변화협약 당사국회의의 합의문에는 개도국의 적극적이고 자발적인 저감 노력을 권유하고 있다. 이는 선진국만의 노력으로는 국제 저감 목표를 달성할 수 없음을 의미하며, 이 연구가 개도국의 저감행동을 유도하기 위해 선진국의 지원 정책이 필요함을 논의한다는 측면에서 또 다른 의미를 갖는다.

이 논문은 국제 배출 저감 목표와 그 책임에 대해 다소 강한 가정을 하지만 국제 저감 목표 달성을 위해 선진국과 개도국 혹은 부속서 국가와 비 부속서 국가의 국제 저감 목표 달성을 위한 최선의 전략을 찾아보고자 하였다. 모형은 자유 무역을 하는 2국가 2기업의 쿠르노 경쟁 모형을 가정하며, 다만 환경규제는 국제 환경 협약

1) 환경규제와 국제 무역에 대해 Copeland와 Taylor (1994)는 선진국과 개도국 사이에 환경규제에 따른 무역의 변화를 Barret (1994)와 Sartetakis와 Constataos (2004)와 Nannerup (2001)은 국제 무역을 고려한 최적 배출세 및 거래제에 대한 기업 및 국가의 전략에 대한 논의를 하였다. Kemfert 외 (2004), Eliste와 Fedriksson (2002)는 오염규제가 자유 무역을 통해 무역 상대국과 효과를 공유하는 현상을 Pratlong (2005)은 한계저감비용이 낮은 국가로 산업이 이전됨을 보였다. Decanio (2009)는 국제 탄소 감축을 위한 선진국과 개도국간의 배출규제의 영향과 최적 규제 수준 및 비용에 대해 정치 경제학적 분석을 하였다.

2) 무역에 포함된 배출((EEBT : Embodied Emission in Bilateral Trade) 혹은 (BEET : Balance of Embodied Emission in Trade))에 대한 논의는 Kondo 외 (1998), Chung과 Rhee (2001), Peters와 Hertwich (2008), Mäenpää와 Siikavirta (2007) 등에서도 논의 되었고, 현재 I-O 모형 및 CGE 모형을 이용해 다양한 측면의 논의가 진행되고 있다.

에서 배출 총량을 제한하므로 직접규제를 가정하였다.³⁾ 한 개 국가(혹은 국가 집단)가 규제 대상국이 되는 경우와 모든 국가가 저감의무를 갖게 되는 경우에 대해 오염 집중(혹은 이전) 현상과 국제 감축 목표 달성에 대해 분석을 할 것이다. 또한 일국이 규제 대상국이 되는 경우에 CDM (Clean Developing Mechanism), 자발적 규제, CDM과 자발적 규제를 동시에 적용하는 정책에 대해 국제 저감 목표 달성 여부와 국가 및 국제 후생 감소를 최소화하는 방안에 대해 논의를 하고자 한다.

II. 모 형

1. 규제가 없는 초기 균형⁴⁾

모형에서는 자유 무역을 하는 2개 국가만 존재하고 ($j = A, B$), 동일한 재화를 생산하는 2개의 기업이 있는 것으로 가정한다.⁵⁾ 기업은 정상재를 생산하며, 기업의 생산물은 생산과정에 온실가스가 많이 배출되는 오염 배출 산업이다. A국가에 있는 기업을 기업 A라 하고, B국가에 있는 기업을 기업 B라고 하자⁶⁾. 소비 지역에 따라 내수재(d)와 수출재(x)로 구분하며, 기업 총생산은 $q_j = q_{j,d} + q_{j,x}$ 이다. 각 국에서 재화의 가격은 일반적으로 사용되는 역수요 함수 $p_j = a_j - \delta_j(q_{j,d} + q_{j',x})$ 로 가정한다. a_j 는 j 국 시장의 규모를 나타내며, δ_j 는 수요의 가격 탄력성, j' 은 무역 상대국을 의미한다. 배출량은 생산량에 의해 결정된다, $E_j = e_j q_j$. e_j 는 생산 단위당 배출량이며, 국가간 에너지 효율 및 생산공정에 따라 차이가 있다.⁷⁾ 기업의 이

3) 동일 에너지원에 대한 단위당 탄소배출량은 에너지의 연소효율에 의해 결정된다. 따라서, 이산화탄소 저감 목표 달성은 에너지의 연소효율을 개선하거나, 탄소가 함유된 에너지원 사용을 줄이는 것으로 가능하다. 본 논문에서는 생산량 조절을 통한 탄소가 함유된 에너지원 사용량 감소에 대한 논점으로 접근한다.

4) 규제 대상 국가의 수에 따라 규제가 없는 초기 균형을 하첨자 0으로 1개국에만 규제가 있는 경우 1, 2개국 모두 규제하는 경우 2를 사용한다($\pi_{A,0}$, $\pi_{A,1}$, $\pi_{A,2}$).

5) 기후변화 협약에서는 국가 단위로 국내 배출을 제한하므로 의무감축 대상국은 모든 산업이 배출 제한을 받게 된다. 일반적으로 내수재에 배출 제한이 포함되면 국내 소비자는 동일한 효용을 주는 수입재를 선택하게 될 것이다. 배출 제약이 있는 경우 모든 재화가 대체되는 것으로 판단하여 논의의 단순화를 위해 경제 내에 하나의 재화가 존재하는 것으로 가정하였다.

6) 일반적인 다국가 모형을 고려하는 경우, A를 부속서 국가 집단, B를 비부속서 국가 집단으로 분류할 수 있다.

윤 함수는,

$$Max_{q_{j,d}, q_{j,x}} \pi_j = p_j q_{j,d} + p_j q_{j,x} - c_j(q_{j,d} + q_{j,x}) \quad (1)$$

이다. 기후변화협약으로 각 국가에 저감의무가 할당되기 이전의 각국 기업의 균형 생산은,

$$q_{A,d,0} = \frac{a_A - 2c_A + c_B}{3\delta_A}, \quad q_{A,x,0} = \frac{a_A - 2c_A + c_B}{3\delta_B},$$

$$q_{B,d,0} = \frac{a_B + c_A - 2c_B}{3\delta_B}, \quad q_{B,x,0} = \frac{a_B + c_A - 2c_B}{3\delta_A}$$

이다. 각 국가의 생산에서 발생하는 배출량은 $e_A(q_{A,d} + q_{A,x})$ 와 $e_B(q_{B,d} + q_{B,x})$ 으로 계산한다.

2. 저감 의무가 있는 경우의 기업 이윤함수

이제 두 국가가 ‘만약 부속서 국가가 되면 협약에서 제한하는 배출량만큼 생산해야 한다.’는 국제 환경협약을 맺는 경우를 살펴보자. 기후변화 협상에서 의무 저감 국가의 목표는 각 국가별 상황에 따라 다르게 공약되었으나 전체적으로는 “부속서 1 국가는 2008~2012년 기간 중 1990년 배출량 대비 약 5.2%의 온실가스를 감축해야한다”고 부속서 1 국가에 대해서만 저감 목표를 설정하였다. 따라서 부속서 국가와 비 부속서 국가로 크게 양분한 본 논문에서는 국제 저감 목표는 부속서 국가의 배출량은 \bar{E}_j 로 제한한다. 또한 기후변화 협약에서 각국의 저감 목표는 당사국회의에서 결정되고, 이는 국가의 대표가 국제 회의에서의 대외적인 약속으로 자기규제(Self Regulation)가 된다. 협약에 따라 부속서 국가는 \bar{E}_j 만큼의 배출이 허용되고, 정부는 자신이 공약한 배출 목표를 달성하기 위해 자국의 기업에 총 배출량을 규제

7) $e_j = (\text{생산단위당 연료 소비량} * \text{탄소배출계수} * \text{연소율} - \text{단위당 몰입 탄소량})$ 이며, 국가/기업이 보유한 에너지 연소 기술 및 연료 생산 기술에 따라 단위 배출량은 달라진다.

하며, 규제는 이전 배출수준보다 낮게 설정된다, $(\bar{E}_j \leq e_j q_{j,0})$. 환경 규제가 있는 경우 기업이 저감 기술 도입으로 인한 오염 저감량은 $A_j = \alpha_j q_j$ 이며, α_j 는 생산량 당 가능한 오염 저감량이며, 국가 마다 차이가 있다. 총 배출 저감 비용은 $\beta_j A_j$ 이고, β_j 는 한계 저감비용이고 0보다 크다. 모형에서 단위 생산당 저감량(α_j)는 주어진 것으로 하고, 생산에 미치는 효과는 선형으로 가정하며, 일반적으로 단위 배출량 보다 작다, $(\alpha_j < e_j)$. 기업은 환경 규제 이상의 생산을 할 수 없으므로, 기업은 총 생산량 및 총 배출량은 허가 받은 배출 수준 보다 클 수 없다, $(\bar{E}_j \geq E_j - A_j)$. 기업은 내수와 수출에서 얻는 이익의 합에 생산비용을 차감하고, 배출 허용 수준을 제약으로 하는 이윤 극대화를 한다. 기업의 환경규제를 고려한 이윤 극대화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_{j,d}, q_{j,x}} \pi_j &= p_j q_{j,d} + p_{j'} q_{j,x} - c_j(q_{j,d} + q_{j,x}) - \beta_j \alpha_j (q_{j,d} + q_{j,x}) \\ \text{s.t.} \quad \bar{E}_j &= E_j - A_j \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $p_{j'}$ 은 무역 상대국가에서의 재화 가격이다.

Ⅲ. 규제에 따른 이윤함수와 균형 생산량

1. 시나리오 1 : 한 국가만 부속서 국가가 되는 경우

A국이 부속서 국가, B국이 비 부속서 국가가 되는 경우를 가정하자.⁸⁾ 저감 의무가 있는 A국 기업과 저감 의무가 없는 B국 기업의 이윤 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_{A,d}, q_{A,x}} \pi_A &= p_A q_{A,d} + p_B q_{A,x} - c_A q_A - \beta_A A_A \\ \text{s.t.} \quad \bar{E}_A &= E_A - A_A \end{aligned} \quad (3)$$

8) 부속서 국가(Annex Country)와 비 부속서 국가(Non-Annex Country)에 대해서는 UNFCCC 홈페이지를 참고하시오(http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php).

$$Max_{q_{B,d}, q_{B,x}} \pi_B = p_B q_{B,d} + p_A q_{B,x} - c_B q_B \quad (4)$$

단, $q_A = q_{A,d} + q_{A,x}$, $q_B = q_{B,d} + q_{B,x}$ 이다. B 국가는 비 부속서 국가를 가정하므로 오염 배출 저감 노력을 할 의무가 없다. 따라서 기업 B의 이윤 극대화 문제에서 배출 저감 비용과 배출 규제를 고려하지 않는다. 각 기업에서 이윤 극대화 문제를 풀어 얻는 A기업의 내수재와 수출재의 균형 생산량은

$$q_{A,d,1} = \frac{3\delta_B \bar{E}_A + (a_A - a_B)(e_A - \alpha_A)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_A - \alpha_A)},$$

$$q_{A,x,1} = \frac{3\delta_A \bar{E}_A - (a_A - a_B)(e_A - \alpha_A)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_A - \alpha_A)}$$

이고, 기업 B의 균형생산량은

$$q_{B,d,1} = \frac{1}{6} \left(\frac{3(a_A - c_B)}{\delta_B} + \frac{(a_A - a_B)(e_A - \alpha_A) - 3\bar{E}_A \delta_A}{(e_A - \alpha_A)(\delta_A + \delta_B)} \right),$$

$$q_{B,x,1} = \frac{1}{6} \left(\frac{3(a_A - c_B)}{\delta_A} - \frac{(a_A - a_B)(e_A - \alpha_A) + 3\bar{E}_A \delta_B}{(e_A - \alpha_A)(\delta_A + \delta_B)} \right)$$

이다. 균형에서 기업 A는 규제 후에 총생산은 $\bar{E}_A / (e_A - \alpha_A)$ 로 감소한다. 부속서 국가에서 기업에게 할당된 허용 배출량은 주어진 생산 단위당 배출량 하에서 총 생산량 규제와 같은 효과를 가지는 즉, 목표로 하는 의무 저감량을 달성하기 위해 총 생산량을 감축하는 효과를 가진다.

2. 시나리오 2 : 모든 국가가 부속서 국가가 되는 경우

두 국가 모두 저감 의무를 갖는 즉, 모든 국가가 부속서 국가가 되는 경우를 가정하자. 경제 내에 존재하는 모든 국가가 부속서국가인 경우의 이윤 극대화 문제는 다음과 같다.

$$Max_{q_{A,d}, q_{A,x}} \pi_A = p_A q_{A,d} + p_B q_{A,x} - c_A q_A - \beta_A A_A, \quad (5)$$

$$s.t. \quad \bar{E}_A = E_A - A_A$$

$$Max_{q_{B,d}, q_{B,x}} \pi_B = p_B q_{B,d} + p_A q_{B,x} - c_B q_B - \beta_B A_B, \quad (6)$$

$$s.t. \quad \bar{E}_B = E_B - A_B$$

두 국가 모두 부속서 국가이므로 각 국가에 주어진 허용 배출량만큼 생산한다. 기업 A과 기업 B의 균형 생산량은 각각,

$$q_{A,d,2} = \frac{3\delta_B \bar{E}_A + (a_A - a_B)(e_A - \alpha_A)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_A - \alpha_A)},$$

$$q_{A,x,2} = \frac{3\delta_A \bar{E}_A - (a_A - a_B)(e_A - \alpha_A)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_A - \alpha_A)}$$

$$q_{B,d,2} = \frac{3\delta_A \bar{E}_B - (a_A - a_B)(e_B - \alpha_B)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_B - \alpha_B)},$$

$$q_{B,x,2} = \frac{3\delta_B \bar{E}_B + (a_A - a_B)(e_B - \alpha_B)}{3(\delta_A + \delta_B)(e_B - \alpha_B)}$$

이다. 각 기업의 최적 생산량은 자국에 주어진 배출 할당량과 자국의 배출 및 저감 계수를 고려한 생산을 한다. 양국의 총 생산량은 각 국가에 주어진 규제된 배출량 만큼 생산하게 됨으로 규제에 따른 목표 저감량을 달성 할 수 있다.

IV. 의무 저감 국가의 선정과 국제 온실가스 저감 효과

기후변화 협상에서 의무 저감국의 선정은 온실가스 감축에 대한 경제적, 기술적 대응 능력이 있는 선진국을 위주로 이뤄졌다. 대부분의 논문에서도 그리하듯이 본 논문에서도 부속서 국가와 비 부속서 국가로 구분하여 모형을 구성하고, 감축 시나리오에 따른 효과를 분석을 하였다.

1. 국제 온실가스 감축 목표 설정과 목표 달성 요건

앞서 얻은 시나리오별 균형 생산량을 이용해 국제 환경 협약 이후 국제 배출 저감량 목표 달성 여부를 논의하고자 한다. 목표에 관련한 분석을 위해 달성 요건과 국제 배출량 목표를 설정할 필요가 있다. 첫 번째로 기후 변화 협약에서 결정된 각 국가의 배출량 목표에 대한 달성요건은 앞서 논의한 바와 같이 국가적 측면에서는 (1) 규제 후 배출 총량이 국가의 허용 배출량 보다 작아야 한다, $(e_j - \alpha_j)q_j \leq \bar{E}_j$. 또한 기후변화 협약에서 목표로 하는 국제 저감 목표 달성의 측면에서는 (2) 모든 국가의 총 배출량의 합이 국제 배출량 목표보다 작거나, $\sum_{j=1}^n (e_j - \alpha_j)q_j \leq \bar{E}_W (= \sum \bar{E}_j)$, (2') 각 국가의 배출량 변화가 국제 저감 목표보다 커야 할 것이다, $\sum_{j=1}^n \Delta E_j \geq A_W$.⁹⁾ 두 번째로, 본 논문에서는 기후변화 협상의 감축 목표 달성에 대한 효과를 분석하기 위해서 국제 감축 목표는 의무감축국의 감축량과 같다고 가정한다, $A_W = A_A$. 기후변화 협상에서 개별 국가의 감축 목표는 제시되지만, 국제 배출량에 대한 목표가 설정되어 있지 않기 때문에 이와 같은 가정을 할 필요가 있다. 이제 두 가지 조건을 이용하여 국제 감축 목표가 달성 되는지에 대한 실험을 하였다.

2. 모든 국가가 저감 의무를 갖는 경우

우선 모든 국가에 배출규제를 하는 시나리오를 고려하자. 이 경우 균형 생산량은 자국이 받은 총 허용량 만큼 생산하므로, 모든 국가의 배출량은 각 국가가 부여 받은 배출 허용 수준으로 감축된다. 따라서 각 국가의 배출량 변화의 합 ($\Delta E_{A,2} + \Delta E_{B,2}$)는 각 국가에 부여된 저감량을 달성하고, 국제 저감량도 달성된다. 국제 협약에 따른 부속서 국가에 대한 배출량 규제 전후의 변화량 $\Delta E_{A,2} = E_{A,2} - E_{A,0}$ 와 $\Delta E_{B,2} = E_{B,2} - E_{B,0}$ 는 각각

9) A_W 는 국제 감축량을 \bar{E}_W 는 국제 배출량 제약을 의미한다.

$$\Delta E_{A,2} = \frac{e_A(\delta_A(a_B - 2c_A + c_B) + \delta_B(a_A - 2c_A + c_B)) - 3\delta_A\delta_B\overline{E}_A}{3\delta_A\delta_B} \quad (7)$$

$$\Delta E_{B,2} = \frac{e_B(\delta_A(a_B + c_A - 2c_B) + \delta_B(a_A + c_A - 2c_B)) - 3\delta_A\delta_B\overline{E}_B}{3\delta_A\delta_B} \quad (8)$$

이다. 앞서 설명한 바와 같이 양 국가는 자국이 약속한 허용 배출량만큼을 배출하므로 전체 합은 기후 변화 협약의 목표와 같게 된다. 즉, 저감 목표를 달성하게 된다. 앞서 제시한 조건 (2)을 이용하면 $\sum_{j=A,B} E_{j,2} = \overline{E}_A + \overline{E}_B$ 가 되어 국제 목표 배출량을 달성하게 된다.

3. 한 국가만 저감 의무를 갖는 경우

한 국가에만 저감 의무가 있는 경우, 부속서 국가만 저감하므로 부속서 국가인 A국과 비 부속서 국가인 B국의 배출량은 각각 $E_{A,1} = (e_A - \alpha_A)(q_{A,d,1} + q_{A,x,1})$ 와 $E_{B,1} = e_B(q_{B,d,1} + q_{B,x,1})$ 로 계산 된다. A국의 총 배출량은 규제 수준으로 감소한 반면, B국은 A국에 부과된 규제로 인한 공급량 증가로 총 배출이 증가하게 된다. 규제 전과 규제 후의 비교를 통해 규제로 인한 실제 배출 저감량을 구할 수 있다. 규제 전과 후의 A국과 B국의 배출량 변화를 $\Delta E_{A,1} = E_{A,1} - E_{A,0}$, $\Delta E_{B,1} = E_{B,1} - E_{B,0}$ 라고 정의하면,

$$\Delta E_{A,1} = - \frac{e_A(\delta_A(a_B - 2c_A + c_B) + \delta_B(a_A - 2c_A + c_B)) - 3\delta_A\delta_B\overline{E}_A}{3\delta_A\delta_B} \quad (9)$$

$$\Delta E_{B,1} = \frac{e_B(e_A - \alpha_A)(\delta_A(a_B - 2c_A + c_B) + \delta_B(a_A - 2c_A + c_B)) - 3\delta_A\delta_B\overline{E}_A}{6\delta_A\delta_B(e_A - \alpha_A)} \quad (10)$$

이다. (17)은 규제 이후 A국의 저감량이 되며, (18)은 규제 이후 B국의 배출 증가량이다. A국에서 배출 규제 후보다 규제 전의 생산량이 더 많으므로 배출량 변화는 $\Delta E_{A,1} < 0$ 이고, B국의 기업은 A국 기업의 배출 규제로 인한 생산량 감소로 인해 $\Delta E_{B,1}$ 만큼 추가 배출 하게 되어 양의 값을 가진다. B국가는 저감 의무가 없으므로 A국에서 규제로 인해 감소한 생산량의 일부를 배출량이 증가하더라도 추가 생산을

하여 이윤 극대화를 한다. 결과적으로, 한 국가만 저감 의무가 있는 경우 규제된 국가에서는 저감 목표를 달성하지만, 배출 규제로 인해 저감 의무국에서는 감축된 생산이 B국에 이전되어 생산되므로 B국의 배출량은 A국에 규제를 하기 전보다 증가하게 되는 배출 집중현상이 발생한다.

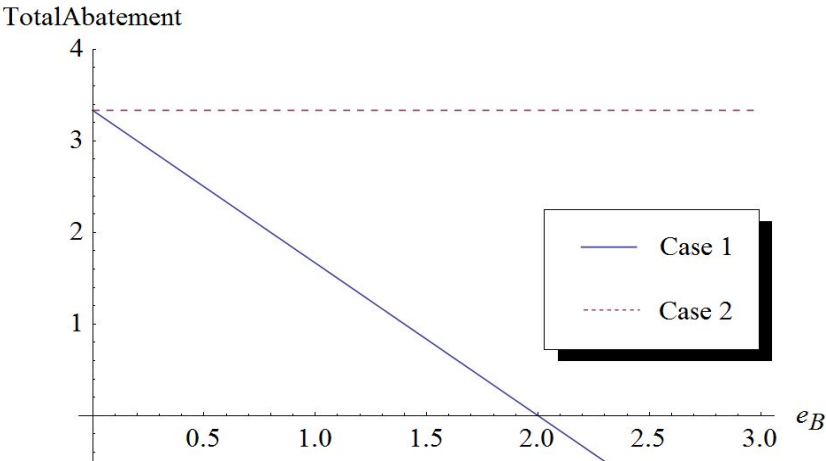
4. 기후변화 협상의 국제 온실가스 감축 목표

모든 국가가 감축 의무를 갖고 모든 국가가 이를 이행한다면, 국제 감축 목표는 달성될 것이다. 하지만, 비 부속서 국가가 존재하고 의무 감축국의 감축량이 국제 감축목표인 경우, 앞서 제시한 국제 오염 저감 목표 달성 조건 (2')을 이용하여 국제 총 저감량을 계산하면,

$$\sum_{j=A,B} \Delta E_{j,1} = - \frac{(2e_A - e_B)(e_A - a_A)(\delta_A(a_B - 2c_A + c_B) + \delta_B(a_A - 2c_A + c_B)) - 3(2(e_A - \alpha_A) - e_B)\delta_A\delta_B\overline{E}_A}{6\delta_A\delta_B(e_A - \alpha_A)}$$

과 같다. 기후 변화 협약에서 부속서 국가의 의무 저감량을 협약이 목표로 하는 국제 저감량이라면 ($A_W = E_{A,0} - \overline{E}_A$), 모형의 결과에서 국제 감축목표인 $\sum_{j=A,B} \Delta E_{j,1} = \Delta E_{A,1}$ 를 달성하려면 $e_B = 0$ 이어야 한다.

〈그림 1〉 B국 생산 단위당 배출량 변화에 따른 국제 저감량 변화



〈그림 1〉은 B국의 생산 단위당 배출량 변화에 따른 총 감축량 변화를 나타낸 것이다. 두 국가는 경제 규모, 생산 비용, 재화의 시장가격이 같고 저감 기술이 없는 ($\alpha_A = 0$) 것을 가정 하였다. 가로축은 B국의 생산 단위당 배출량이며, 세로축은 국제 총 저감량이다. 점선 (Case2) 은 국제 협약에 따라 A국이 감축 의무를 달성하고, A국의 의무 감축량이 국제 협약의 목표 감축량인 경우이다. 즉, $\sum_{j=A,B}(E_{j,1} - E_{j,0}) = \bar{E}_{A,1} - E_{A,0}$ 가 되는 선이다. 실선 (Case1) 은 B국의 생산 단위당 배출량의 변화에 따른 국제 저감량의 변화를 그린 것이다, $\sum_{j=A,B}(E_{j,1} - E_{j,0})$. 전술한 바와 같이 e_B 가 0보다 큰 경우 국제 저감 목표는 달성 될 수 없으며, 그림에서 B국의 배출 계수가 2보다 커지게 되면 국제 저감량은 음(-)의 값을 가져 협약 이전보다 국제 배출량은 증가하게 되어 협약이 온실가스 배출을 가속화함을 보여준다. 이것은 모형의 설정에 의한 결과이지만, 기후변화 협약의 온실가스 감축 대상 선정과 일반적인 다른 규제에 의한 효과를 고려하면 당연하다고 할 수 있다.

- 조건 1) 국제 감축목표가 부속서 국가들의 감축량의 합과 같고, $\sum_{j=A,B} \Delta E_{j,1} = \Delta E_{A,1}$
- 2) $\alpha_A = 0$ 이라면,

정리 1. 조건 1과 2가 만족되는 경우, B국의 배출계수가 $e_B \geq 2e_A$ 이면 국제 온실가스 배출량은 기후변화 협약 이전보다 많은 배출을 하게 된다.

〈그림 1〉은 A국과 B국의 경제 및 기술수준이 유사한 경우에 대한 가정으로 설명하고 있다. 일반적으로 비 부속서 국가의 경우, 개도국 및 저개발 국가들이고, 대부분의 비 부속서 국가는 오염 저감에 대한 기술 수준이 선진국에 비해 낮다. 본 논문의 결과를 이용하지 않더라도, 실제 국제 배출량은 부속서 국가의 저감에도 불구하고, 오염물의 단위 배출량이 더 높은 비 부속서 국가의 생산 증가로 기후 변화에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

지금까지의 모형 결과를 다음과 같이 요약할 수 있고, 모형이 모든 상황을 반영하지 못하지만, 일반적인 결과를 도출할 수 있음을 볼 수 있다.

1. 모든 국가가 저감 목표를 설정하는 경우 국제 배출 저감 목표를 달성 할 수 있다.
2. 한 국가만 부속서 국가이고 비 부속서 국가의 저감 노력이 없는 경우, 배출은 비 부속서 국가에 집중되고 기후변화 협약에서 설정한 저감 목표는 달성하기 어렵다.
3. 한 국가만 부속서 국가이고 비 부속서 국가의 저감 노력이 없는 경우, 만약 한 국가의 생산 단위당 배출량의 차이가 충분히 큰 경우 오염 배출량이 협약 이전보다 증가할 수 있다.

V. 기후변화 협약 이행방안

앞선 결과에서 모든 국가가 배출에 대한 규제를 하는 경우 국가 및 국제 총 저감 목표를 달성 할 수 있으며, 일부 국가만 규제하는 경우 규제 대상국의 목표는 달성 하더라도 국제 배출 저감 목표는 달성 할 수 없음을 설명하였다. 지금부터는 기후변화 협약에서 제시된 이행 방안의 국제 온실가스 감축에 대한 효과에 대해 살펴 볼 것이다. 기후변화 협약 3차 당사국 회의에서 합의된 교토 의정서는 배출권 거래제, 공동이행(이하 JI), 청정개발 체제(이하 CDM)를 구체적인 이행방안으로 제시하고 있다.¹⁰⁾ 한편, 13차와 15차 기후변화 협약 당사국회의에서는 교토체제 이후의 방향에 대한 논의를 하였고, 주요 내용은 2020년까지의 감축 목표를 설정하는 것이며, 개도국의 자발적인 목표 설정을 요구하고 있다. 논문에서는 교토 메카니즘과 자발적 저감목표 설정의 국제 온실가스 감축 목표 달성에 대한 효과를 살펴보고자 한다. 일부 방안에 대해서는 모형을 이용해서 논의를 하겠지만, 일부 방안에 대해서는 제도적 측면에서 검토할 것이다.

10) 부속서 국가와 비부속서 국가간 국제 협력 사업을 통한 온실가스 감축은 CDM 형태로 많이 진행되고 있으며, 제도상 CDM 및 관련한 감축 행위에 의해 발생한 배출권은 UNFCCC의 승인이 있어야 감축량으로 인정된다. 한편, 국제 탄소시장에서 다양한 형태(offset 및 REACH 제도 등)의 감축 방안 및 행동이 제시되고 있으나 논문에서는 UNFCCC에서 제시하는 감축 방안만을 다루고 있어 확장을 통한 다양한 분석을 할 필요가 있다.

1. 배출권 거래와 공동이행

기후변화 협의 3차 당사국 회의의 성과인 교토 프로토콜의 제 17조는 배출권의 거래를 통한 배출권의 확보를 인정하고 있다. 국가간 배출권의 거래는 저감 목표를 달성하고 남은 배출권을 배출권이 부족한 국가가 구입하는 방법이며, 또한 대상은 “부속서 나”국가로 명시되어 있으며, 기후변화 협약의 “부속서-1” 국가수 보다 적다. 따라서, 본 논문의 다루고 있는 부속서 국가와 비 부속서 국가에 대한 논의에서는 방안이 될 수 없다.¹¹⁾

또한, 모형을 다국가(부속서와 비 부속서가 다수 존재하는) 모형으로 확장하더라도 과점 모형에서는 완전 경쟁 보다 낮은 수준에서 공급된다. 즉 초과 수요가 항상 발생하므로, 기업은 주어진 배출권하에서 가능한 많은 생산을 할 것이다. 따라서, 두 부속서 국가는 저감 목표를 달성하지만, 비 부속서 국가를 고려하는 경우 부속서 국가의 공급은 협약 전보다 상대적으로 감소하게 되고 반대로 비 부속서 국가의 공급은 증가하여 저감 목표는 달성되지 못함은 앞서 설명하였다. 결과적으로 배출권 거래제는 부속서 국가간의 효율적 저감을 위한 것이므로, 여전히 비 부속서 국가에 오염 배출이 집중은 발생한다고 할 수 있다.

공동이행 (JI) 역시 부속서 국가간의 온실가스 감축에 대한 내용이므로 본 논문에서는 배출권 거래제와 동일한 논의가 된다.

2. 청정개발체제(CDM)

여기서는 CDM을 통한 부속서 국가의 감축량 증가는 배출 이전현상이 있더라도 국제 배출 저감 목표달성을 가능하게 함을 논의하고자 한다. UN 기후변화 협약하에서 부속서 국가는 개도국에 온실가스 감축 지원 사업을 통해 발생하는 감축량의 일정부분을 배출권으로 획득이 가능하고, 이는 CDM 사업을 통해 진행되고 있다.

11) 지금까지의 많은 연구에서 배출권 거래제와 직/간접 규제의 효과에 대해 비교 되었다. Sartetakis와 Constantatos(1995, Journal of Regulatory Economics) 등의 이론 모형에서는 배출권 거래제와 배출세의 효과를 불완전경쟁모형으로 비교분석을 하였다. 일반적으로 배출권 가격을 계산하기 위해 두 국가 모두 배출 총량 제약과 한계 비용이 양의 기울기를 가지는 저감 비용함수로 구성된다. 본 논문은 부속서 국가와 비 부속서 국가를 대상으로 국제 온실가스 감축 목표를 중점적으로 다루고 있어 모형 설정 등에서 차이가 있다.

코토 의정서에 따르면, CDM 대상 국가에서 발생한 감축량의 최대 15%를 CDM 투자기업의 배출권에 포함할 수 있다.¹²⁾ 모형에서 CDM을 통해 A국 기업은 감축량의 $1/n$ 의 획득한다. CDM 비용($\beta_B^* \alpha_A q_B$, β_B^* 는 A국 기업이 B국 기업에 저감 기술을 투자하는 단위비용이다.)은 부속서 국가에서 모두 부담하며 비 부속서 국가의 이윤 및 생산에는 영향을 주지 않는 것으로 가정한다. 각 기업의 이윤 함수는,

$$Max_{q_{A,d}, q_{A,x}} \pi_A = p_A q_{A,d} + p_B q_{A,x} - c_A q_A - \beta_A \alpha_A q_A - \beta_B^* \alpha_A q_B \quad (19)$$

$$s.t. \bar{E}_A = E_A - (\alpha_A q_A + (1/n) \alpha_A q_B)$$

$$Max_{q_{B,d}, q_{B,x}} \pi_B = p_B q_{B,d} + p_A q_{B,x} - c_B q_B \quad (20)$$

와 같이 바뀔 수 있다. CDM이 체결되면 두 국가의 기업은 내수재와 수출재 생산은 각각

$$q_{A,d}^{CDM} = \frac{3\alpha_A(\delta_A + \delta_B)(a_A - c_B) + \delta_A(a_A - a_B)(2n(e_A - \alpha_A) - 2\alpha_A) + 6n\delta_A\delta_B\bar{E}_A}{3\delta_A(2ne_A + \alpha_A(1-2n))(\delta_A + \delta_B)},$$

$$q_{A,x}^{CDM} = \frac{3\alpha_A(\delta_A + \delta_B)(a_B - c_B) - \delta_B(a_A - a_B)(2n(e_A - \alpha_A) - \alpha_A) + 6n\delta_A\delta_B\bar{E}_A}{3\delta_B(2ne_A + \alpha_A(1-2n))(\delta_A + \delta_B)},$$

$$q_{B,d}^{CDM} = \frac{3n(e_A - \alpha_A)(\delta_A + \delta_B)(a_B - c_B) + \delta_B(a_A - a_B)(n(e_A - \alpha_A) - \alpha_A) - 3n\delta_A\delta_B\bar{E}_A}{3\delta_B(2ne_A + \alpha_A(1-2n))(\delta_A + \delta_B)},$$

$$q_{B,x}^{CDM} = \frac{3n(e_A - \alpha_A)(\delta_A + \delta_B)(a_A - c_B) - \delta_A(a_A - a_B)(n(e_A - \alpha_A) - \alpha_A) - 3n\delta_A\delta_B\bar{E}_A}{3\delta_A(2ne_A + \alpha_A(1-2n))(\delta_A + \delta_B)}$$

이다. 이 경우에 대해 A국의 최종 배출량은 $(e_A - \alpha_A)q_A - (1/n)\alpha_A q_B$ 가 되며, B국의 배출량은 $(e_B - (1 - 1/n)\alpha_A)q_B$ 가 된다.

3. 비 부속서 국가의 자발적 저감목표 설정

기후변화 협약 15차 당사국 회의 결과에 대한 국제적 합의는 이뤄지지 않았지만,

12) 모든 온실가스 감축 활동은 UN에서 인정하는 경우에 배출권으로 인정되며, CDM은 국가 검증원의 승인후 UNFCCC의 CDM 집행위원회에서 인정을 받는다.

많은 국가에서 자발적인 목표 설정의 필요성을 공유하고, 국제 회의에서도 개도국의 목표 설정과 달성을 위한 선진국의 지원 등에 대한 논의가 진행중인 것으로 알려져 있다. 논문에서는 국제 환경협약에서 비 부속서 국가가 국제 저감목표 달성을 위해 자발적 저감 목표를 설정하고, 자국기업에 규제를 하는 경우를 가정한다. 일반적으로, 비 부속서 국가가 설정하는 자발적 저감 목표(Voluntary Abatement Target)는 특정 시점 배출량을 기준하여 저감 목표를 설정한다. 논문에서는 비 부속서 국가는 초기 균형의 배출량($e_B q_{B,0}$)을 목표로 설정하는 경우를 가정한다. 그러면, 협약의 기간이 끝나는 시점에서 부속서 국가는 저감 목표를 달성하고, 비 부속서 국가는 초기 균형점의 배출을 유지한다. 즉, $\bar{E}_B = e_B q_{B,0}$ 의 규제를 비 부속서 국가가 설정하는 것이다.

이 경우 모형은 모든 국가가 저감의무를 갖는 경우와 동일하며, 앞서 언급하였듯이 기후변화 협약에서의 공약은 개별 국가 차원의 자기 규제가 되므로 반드시 지켜지게 될 것이다. 따라서 국제 온실가스 감축 목표는 달성되게 된다.

4. 자발적 저감 목표 설정과 CDM의 혼합

마지막으로 비 부속서 국가가 자발적 저감 목표 설정을 통한 감축 노력과 CDM을 동시에 수행하는 경우에 대해 분석을 시도하였다. 모형은 A국에서 B국에 CDM을 비용을 지불하고, B국은 자국의 저감 기술 도입과 더불어 A국으로부터 CDM을 통한 저감을 하는 것으로 가정하였다. 모형에서 A국과 B국의 저감 기술이 상이하 며, 저감 비용이 상이하다. 기업 A의 이윤함수는 (19)와 동일하고 B 기업의 이윤함수는,

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_{B,d}, q_{B,x}} \pi_B &= p_B q_{B,d} + p_A q_{B,x} - c q_B - \beta_B \alpha_B q_B \\ \text{s.t. } \bar{E}_B &= E_B - (\alpha_B q_B + (1 - 1/n) \alpha_A q_B) \end{aligned} \tag{21}$$

이며, 여기서 β_B 는 B국 기업의 저감 기술에 대한 비용이 된다. 또한 A국은 CDM 비용을 투입해 자신의 저감량에 B국의 CDM 저감량의 $1/n$ 만큼을 추가하고 B국은 A국의 CDM 사업을 통한 저감량과 자국 기술 투자를 통한 저감량을 제약으로 이윤

극대화를 한다. 두 국가에서 각 기업의 생산량은 A기업의 경우

$$q_{A,d}^{CDMSR} = \frac{(a_A - a_B)}{3(\delta_A + \delta_B)} + \frac{\delta_B((ne_B + \alpha_A(1-n))\bar{E}_A + (\alpha_A - n\alpha_B)\bar{E}_B)}{(e_A - \alpha_A)(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B))(\delta_A + \delta_B)},$$

$$q_{A,x}^{CDMSR} = -\frac{(a_A - a_B)}{3(\delta_A + \delta_B)} + \frac{\delta_A((ne_B + \alpha_A(1-n))\bar{E}_A + (\alpha_A - n\alpha_B)\bar{E}_B)}{(e_A - \alpha_A)(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B))(\delta_A + \delta_B)}$$

이고, B기업의 경우는,

$$q_{B,d}^{CDMSR} = -\frac{(a_A - a_B)(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B)) + 3n\delta_A\bar{E}_B}{3(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B))(\delta_A + \delta_B)},$$

$$q_{B,x}^{CDMSR} = \frac{(a_A - a_B)(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B)) + 3n\delta_A\bar{E}_B}{3(\alpha_A + n(e_B - \alpha_A - \alpha_B))(\delta_A + \delta_B)}$$

이다. 각 국가의 규제 및 CDM을 고려한 배출량은

$$E_A^{CDMSR} = (e_A - \alpha_A)q_A^{CDMSR} - (1/n)\alpha_A q_B^{CDMSR}$$

$$E_B^{CDMSR} = (e_B - \alpha_A - \alpha_B)q_B^{CDMSR} + (1/n)\alpha_A q_B^{CDMSR}$$

이다. 두 국가의 배출량의 총합인 국제 배출량은 $E_A^{CDMSR} + E_B^{CDMSR} = \bar{E}_A + \bar{E}_B$ 가 되어 배출량 측면에서는 국제 감축목표를 달성하게 된다.

VI. 이행 방안별 효과와 정부의 정책

1. 이행 방안별 감축 효과와 후생 분석

기후변화 협약은 최근 발생되는 지구의 기후변화 문제가 인간의 경제 및 사회 활동에 따른 온실가스 배출에 기인한다고 판단하고, 기후변화의 가속화를 막기 위한 다자간 협정으로 이해할 수 있다. 따라서 기후변화 협약에 가입한 국가 중 부속서 국가는 자국내의 온실가스 배출을 규제하면서 후생을 극대화 하는 방안을 선택할

것이다. 또한 기후변화 협약의 최근 논의를 볼 때 비 부속서 국가는 자국의 경제 성장에 따른 온실가스 배출 증가로 인해 부속서 국가가 되는 부담을 갖지 않기 위해 노력할 것이다. 여기서는 기후변화 협약의 목적 달성을 위한 이행 방안이 국제 온실가스 배출량과 후생 변화에 미치는 효과를 분석하고자 한다.

각 국가의 사회 후생은 온실가스 감축으로 인한 외부효과를 포함하지 않는 생산자 잉여와 소비자 잉여의 합으로 구성된다, $SW_j = PS_j + CS_j$.¹³⁾ 각국의 생산자 잉여는 기업의 이윤 π_j 과 같고, 소비자 잉여는 $CS_j = a_j(q_{j,d} + q_{j',x}) - \delta_j(1/2)(q_{j,d} + q_{j',x})^2 - p_j(q_{j,d} + q_{j',x})$ 이다. 각 국가의 시나리오별 후생을 비교하기 위해 몇 가지 가정을 통해 분석을 시도하였다.

본 논문에서는 국제 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 이행 방안이 의무 저감 국가와 비 의무 감축국에 미치는 효과에 대한 분석이 목표이고, 이행방안에 대한 효과만을 고려하기 위해 다음과 같이 두 국가가 경제 수준 및 배출 수준이 유사한 것으로 가정한다. 두 시장의 규모가 같고($a_A = a_B = 10$), 내수재와 수입재에 대한 수요의 가격탄력성이 동일하다($\delta_A = \delta_B = 0.5$). 모든 기업의 재화 생산의 한계비용은 0이고($c_A = c_B = 0$), 온실가스 배출 계수, 저감 기술, 비용 역시 두 국가가 동일한 것으로 가정하였다. ($e_A = 1, e_B = 1, \alpha_A = 0.1, \alpha_B = 0.1, \beta_A = 1, \beta_B = 1, \beta_B^* = 1$) 파라미터를 이용한 이행방안별 후생 효과와 배출량은 다음과 같다.

모든 국가에 의무감축량이 없는 경우(1) 국제 배출량(E_W)은 26.66이고 총 사회 후생(SW_W)은 177.78이 된다.

각 이행방안에 대한 감축량 및 사회 후생 등의 변화를 살펴보자. 첫 번째로, A국은 환경협약에 따라 의무 감축국이 되어 $\bar{E}_A = 10$ 의 배출 제약(2)이 주어지고, B국은 A국의 저감 노력과 그에 따른 생산량을 고려해 생산하고 배출한다. 국제 감축 목표가 모든 국가에 대한 배출제약이므로 \bar{E}_W 는 23.33이 되며, 국제 배출량은 E_W 는 24.44가 되어 국제 배출량 목표를 달성하지 못하고, 이전보다 사회 후생 변화는

13) 각 국가의 온실가스 감축에 따른 편익을 고려하기 위해서는 사회 후생함수에 편익에 대한 함수를 포함하여야 한다. 하지만, 국가별로 편익에 대한 정의 및 변수간의 상관관계에 대한 정의가 복잡하고, 경제적 잉여와 상대적인 비교에 어려움이 있어 본 논문에서는 포함하지 않는다.

$\Delta SW_W = 4.97$ 만큼 감소한다. 국제 배출량을 고려하는 환경 협약의 입장에서 목표를 달성하지 못하게 되는 문제가 발생한다.

〈표 1〉 이행방안별 각 국가의 사회후생 및 배출량

	A 국가						B 국가						Total SW
	생산	가격	CS	PS	SW	배출량	생산	가격	CS	PS	SW	배출량	
(1)	13.33	3.3	44.44	44.44	88.89	13.33	13.33	3.3	44.44	44.44	88.89	13.33	177.78
(2)	11.11	3.6	40.82	39.01	79.83	10.00	14.44	3.6	40.72	52.16	92.98	14.44	172.81
(3)	11.11	4.4	30.86	48.27	79.14	10.00	11.11	4.4	30.86	48.27	79.14	10.00	158.28
(4)	11.27	3.6	41.07	37.91	78.99	10.00	14.37	3.6	41.07	51.59	92.66	13.07	171.64
(5)	11.11	3.5	42.01	37.98	79.99	10.00	14.81	3.5	42.01	50.64	92.65	13.33	172.64
(6)	11.29	3.1	48.15	31.80	79.95	10.00	16.46	3.1	48.15	48.75	96.89	13.33	176.84

(1) 초기균형, (2) A국만 규제, (3) 모두규제, (4) CDM, (5) 자발적규제, (6) 자발적규제+CDM

두 번째로, CDM(4)과 자발적 규제(5)를 하는 각각의 경우에 대한 분석을 하였다. (2)의 경우에서 기후변화 협약은 A국에 B국으로의 배출 이전을 고려한 더 많은 배출규제를 하거나 B국에 대한 배출제한을 고려할 수 있다. 그러면, 전자의 경우 A국은 CDM 등을 통해 국제 배출량 감축을 위한 외부 감축 활동의 인정을 받기 위한 노력을 할 수 있다. 한편 B국은 규제 대상국이 되어 규제를 받는 경우(모두규제) 많은 후생손실을 갖게 되므로 자발적으로 자국의 배출량을 제한할 수 있다. 분석에서 CDM을 통해 얻을 수 있는 배출 허용량은 10% ($n = 10$)를 인정하는 것으로 가정하였으며, B국의 자발적 규제의 경우는 $\bar{E}_B = 13.33 (= E_{B,0})$ 를 가정하였다.

A국이 B국으로 CDM을 하는 경우(4) 국제 배출량은 목표 수준 이상 ($E_W = 23.07$)으로 감축이 가능하지만, A국의 손실이 CDM을 하지 않는 경우보다 큰 것으로 계산되었다. 이것은 모형의 설정에 의한 것으로 CDM 투자비와 운용비를 A국과 B국에 분산하는 경우 조정 될 수 있다.

한편, B국의 자발적 규제(5)는 A국만 규제하는 경우보다 A국의 손실의 적게 하면서 국제 배출량 목표를 달성함을 보였다. 이 경우 앞의 (2)와 (4)의 두 경우보다 가격은 낮아지지만, 국제 저감 목표 달성과 양국의 사회후생의 두 문제를 고려할 때 환경협약 측면에서는 개선된 결과라 할 수 있다. 요약하면, A국은 CDM을 하지

않는 것이 하는 것보다 우월하고, B국은 자발적 규제를 하지 않는 것이 더 유리하다. 최근 기후변화 협약의 주요 논점이 되는 개도국 및 비 의무 감축 국가에 대한 자발적 목표 설정과 선진국의 지원 및 기금 마련 문제에 대한 논의에서도 볼 수 있듯이 선진국은 자신의 목표를 달성과 더불어 개도국에 대한 목표 설정을 요구할 것이다. 반면, 개도국에서는 앞선 CDM의 경우에서처럼 선진국의 노력만으로 목표 이상의 결과를 얻을 수 있으므로 선진국의 개도국에 대한 감축 지원을 요구할 것이다.

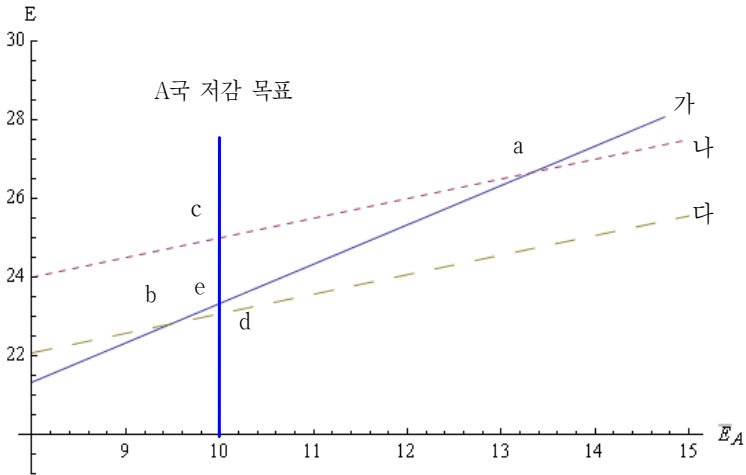
세 번째로, A국에서는 B국으로 CDM을 하고, B국은 자발적 감축 노력을 하는 경우를 분석하였다. 분석 결과를 정리한 표에서 A국은 협약의 규제에 따른 손실을 최소화하고, B국은 후생을 초기균형보다 높이는 것으로 계산되었다. 물론, 모형의 간소화 및 선형화에 따른 결과이기도 하다.

2. 이행 방안별의 정책적 효과와 비교

〈그림 2〉는 A국의 규제수준 변화에 따른 국제 배출량을 앞의 세가지 경우에 대해 그린 것이다. 가로축은 의무 감축 국가의 배출 목표 수준이며, 세로축은 국제 배출량이다. 그래프에서 실선(가)은 A국의 배출규제와 국제 감축목표가 같은 경우이다. 위의 점선(나)은 A국에만 배출량 규제가 있는 경우로 A국의 국내 감축활동으로 인한 B국으로의 배출이전을 포함한 국제 배출량이 된다. 아래 점선(다)은 A국의 국내 감축활동 및 B국에 감축활동 지원(CDM)을 통해 일부 배출권을 얻는 경우의 국제 배출량을 나타낸 것이다. (가)의 경우 B국이 협약이전(A국이 감축의무를 갖기전) 배출량을 유지하는 ‘자발적 규제’를 하는 경우와, CDM을 하면서 자발적 규제를 하는 경우 A국의 규제 수준에 따른 국제 배출량과 동일한 결과를 갖는다. 그림에서, (가)보다 위에 있으면 배출 이전이 있는 경우이며, 아래는 목표량을 초과 저감한 경우이다.

점 a는 초기 균형점이며 b는 CDM하에서 규제에 의한 배출이전이 시작되는 점이다. A국이 규제 대상국이 되어 배출규제($\bar{E}_A = 10$) 하는 경우의 배출량은 c점이 된다. 점 d는 CDM을 하는 경우 배출량이며, 점 e는 국제 온실가스 배출규제 하에서 배출이전이 없는 점이다.

〈그림 2〉 저감 의무와 이행 방안에 따른 배출량 변화



A국에서 B국으로의 CDM 사업의 경우, 〈그림 2〉와 분석결과(〈표 1〉 참고)에서 비 부속서 국가는 CDM을 통해 부속서 국가의 감축량을 증가시킬 유인이 있음을 알 수 있다. CDM을 하는 (다) 선의 경우 국제 배출량 측면에서 목표를 초과하여 감축하게 되며, 위의 표에서 CDM의 경우 A국의 부담은 증가하지만, B국은 배출 부담이 상대적으로 줄어들고, 경제적 후생이 상당히 증가하게 된다. 결과적으로, B국은 A국의 CDM을 적극 수용하여 A국이 배출이전 없는 의무 저감량 달성하게 하려는 유인이 있음을 할 수 있다. 한편 A국의 입장에서는 B국이 의무 감축국이 되거나 자발적 규제를 하기를 원할 것이다. B국의 목표가 설정되면, 표의 결과에서 국제 감축 목표를 달성하면서 의무 감축국의 경제적 후생 감소를 최소화 할 수 있기 때문이다.

분석의 결과에서 CDM과 자발적 규제 모두 음의 외부효과를 줄이면서 국제 저감 목표 달성이 가능하다. 하지만, 국가별로 발생하는 이익이 대립되고 국제 협약의 목표 달성 요구 또한 고려하여 정책을 결정해야 한다. 두 방법을 적절히 결합한 CDM사업과 자발적 규제를 병행하는 경우, 목표 달성은 물론 양국의 경제적 후생 손익도 조정 되지만, A국 기업은 상당한 손실이 발생할 수 있음을 고려해야 한다. 추가적으로, 만약 비 부속서 국가의 자발적 노력에 대한 배출권 거래제 등과 같은 혜택이 주어진다면, 부속서 국가의 비 부속서 국가로의 CDM 및 JI를 용이하게 한다. 하지만, 비 부속서 국가의 배출이 충분히 크지 않은 경우 성장을 억제하는 역

할을 할 수 있다는 단점이 있다.

VII. 문제점 및 보완점

본 연구는 기후변화 협약 하에서 저감 의무를 갖는 두 국가 혹은 두 집단에 대해 국제 저감 목표 달성 여부에 대한 논의를 하였다. 모형의 해에서 기후 변화 협약에서 각 국 대표들이 대외적으로 선언하는 자국의 총 배출량 목표에 대해 저감 의무국의 자국 목표는 달성 되지만, 무역을 통해 오염 배출이 비 의무국으로 집중되기 때문에 국제 저감 목표를 달성 할 수 없음을 설명하였다. 실제 기존의 지역규제에 따른 오염 이전 현상은 실증적으로 설명이 되었으나, 기후 변화 협약에 의한 오염 현상에 대해 실증적 설명이 필요하다. 하지만, 시기적으로 기후변화 협약의 1차 공약 기간이 종료되지 않았고, 데이터의 수집에도 다소 시간이 걸릴 것이다. 만약 데이터의 수집이 가능하다면, 기후변화 협약이 발효된 이전 시점 혹은 1차 공약 기간 시작 시점과 1차 공약기간 종료 시점에 대한 무역 패턴 분석을 통해 여러 가지 효과들에 대한 설명이 가능할 것이다.

두번째로, 설명의 편의를 위해 선형 모형으로 가정한 저감 기술 및 저감 비용의 영향에 대한 논의를 할 수 있다. 저감 기술의 종류에 따라 발생하는 비용 구조 또한 다르며, 에너지 효율성을 제고하는 기술의 경우 생산 비용 및 생산함수에도 영향을 미친다. 더욱이 저감 기술의 효과의 선형화와 기술간 중복산정 등 개별 저감기술 및 저감 기술간 효과에 대한 분석이 추가적으로 이뤄져야 할 것이다.

세번째로 대응 정책을 단순화 하여 모형에 반영한 한계가 있다. 국가의 정책과 기업의 행동에 대한 여러 가지 제약이 존재함에도 계산 및 전개 편의상 많은 부분을 포함하지 못한 한계가 존재한다. 특히, 최근 EU의 REACH¹⁴⁾와 같은 방식의 국내 시장에서 제조·수입되는 재화에 포함된 오염물 관리제도가 대응 정책으로 대두되고 있으나, 논문에서는 현재까지 UN에서 인정하는 대응정책만을 포함하였다. 또한 후생 분석에서 온실가스 저감에 따른 외부 효과를 반영하지 못한 한계가 있

14) Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals의 약어로 EU내 연간 1톤이상 제조·수입되는 모든 물질에 대해 제조·수입량과 위해성에 따라 등록, 평가 허가 및 제한을 받도록 하는 화학물질 관리 규정. 발암, 돌연변이, 생식독성으로 분류된 화학물질이 주된 제한·금지물질임.

다. 온실가스 저감에 따른 외부효과는 경제 상황 및 개인의 선호에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있다. 현재까지의 외부효과 반영에 대한 정형화된 모형화가 어려운 한계가 있어 본 논문에도 포함하지 못한 아쉬움이 있다.

VIII. 결 론

이 연구는 많은 선행 연구에서 논의한 환경 규제에 의한 오염 집중 및 오염 회피와 같은 규제의 외부효과의 존재로 인해 국제 오염 배출 저감 목표의 달성이 가능하가에 대한 질문에서 시작하였다. 논문은 2국가 개방 경제에서 국제 환경 협약에 참가한 국가들에 대해 규제 대상국을 일부 국가로 한정하는 경우와 전체 국가로 하되 각 국가마다 다른 규제를 부담하는 경우에 국제 환경 협약의 목표 달성과 후생변화에 대한 실험을 하였다. 경제에 존재하는 모든 국가가 배출 저감 의무를 갖는 경우에 대해 분석에서 각 국가는 무역 상대국의 규제와는 상관없이 자신의 규제만을 고려하여 생산하며, 오염 이전이 없이 각 국가의 저감 목표를 달성 하였다. 하지만, 한 국가 혹은 일부 국가에만 저감 의무를 갖는 경우 비 부속서 국가로 오염 집중이 나타남을 볼 수 있었고, 부속서 국가는 저감 목표를 달성 할 수 있지만, 초기 목표로 한 국제 배출 저감 목표를 달성 할 수 없음을 보았다. 또한, 논문의 결과에서 부속서 국가와 비 부속서 국가의 단위 생산량당 오염 배출량이 큰 차이가 있는 경우, 환경 협약 이전의 배출 수준보다 국제 배출수준이 증가 할 수 있음을 보였다.

국제 환경 협약에서 국제 저감 목표의 효율적인 달성을 위해 배출권 거래제, CDM, JI 등의 정책 방안을 제안하고 있다. 배출권 거래의 경우 부속서 국가간 효율적인 배출량 저감을 위한 방법이다. 부속서 국가의 부족한 배출권을 타 부속서 국가의 초과 저감량을 거래를 통해 자국의 배출권에 포함하는 것으로 각 국가는 필요 이상의 배출권을 구매하지도 않고, 필요 이상의 배출권을 생산하지 않는다는 측면에서, 여전히 비 부속서 국가로의 오염 집중의 가능성이 있다. 한편 CDM의 경우 부속서 국가가 비 부속서 국가에서의 저감 노력을 통해 획득하는 것으로 규제 수준 이상의 배출 저감해 국제 배출량은 초과 저감하게 되는 구조적 불균형이 나타났다. 자발적 규제를 하는 경우 양국가의 의무량과 목표량은 달성하지만, 경제적 후생손실이 크게 나타났다. 마지막으로 CDM 사업과 함께 비 부속서 국가에서 자발적으로 저감 목표를 설정하여 자기 규제를 하는 경우, 전체적으로 후생 손실을 최

소화 하면서 국제 저감 목표를 달성하는 것을 보았다. 이런 결과를 통해 국제 배출 저감 목표를 달성하기 위해서는 부속서 국가뿐만 아니라 비 부속서 국가의 적극적인 노력이 필요함을 시사 하였다.

논문은 간단한 이론 모형을 사용한 한계점을 갖고 있다. 전 세계 적으로 다양한 오염 저감 기술이 존재하며, 이들 중에는 생산 비용을 감소하는 기술이 존재하지만, 모형은 모든 경우에 대해 포함하지 못하였다. 실증 데이터를 통해 기후변화 협약의 국제 오염 배출 저감에 대한 실효성을 검사해보아야 했으나, 기후변화 협약의 1차 공약 기간 중이라는 시기적 문제점도 존재하였다.

UN 기후변화협약의 정책은 당사국 회의에서 결정하고, 정책 입안자는 회의에 참가하는 각 당사국의 대표자들이다. 만약 COP의 각 국가들이 자국의 이익을 보호하려 한다면, 효과적인 환경 규제 정책은 협의 되지 못하고 국제 환경 문제 또한 조정 되지 못하게 된다. 협약 참가국 중 비 부속서 국가는 국제환경 협약의 지속과 목표 달성을 위해 현재 수준 혹은 특정 수준 배출량을 유지하는 자발적인 노력을 해야 할 것이다. 또한 부속서 국가의 CDM과 같은 저감 노력에 대한 적극적인 참여를 통해 기후변화 협약의 국제적 배출량 저감 노력에 동참해야 할 것이다.

■ 참 고 문 헌

1. Antweiler, Werner, Brian R. Copeland, and M. Scott Taylor, "Is Free Trade Good for the Environmental?," *American Economic Review*, Vol. 91, Issue 4, 2001.
2. Barrett, Scott, "Strategic Environmental Policy and International Trade," *Journal of Public Economics*, Vol. 54, Issue 3, 1994.
3. Bohman, Mary and Patricia J. Lindsey, "Divergent Environmental Regulations and Trade Liberalization," *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 45, Issue 1, 1997.
4. Chung, Hyun-Sik, "International Linkage of CO2 Emissions from Fossil Fuels as Embodied in Foreign Trade and Effects of Economic Policy Measure," *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 13, Issue 4, 2004.
5. Chung, Hyun-Sik and Hae-Chun Rhee, "Carbon Dioxide Emission of Korea and Japan and Its Transmission Via International Trade," *International Economic Journal*, Vol. 15, Issue

- 4, 2001.
6. Cole, Matthew A. and Robert J.R. Elliott, "Do Environmental Regulations Influence Trade Patterns? Testing Old and New Trade Theories," *The World Economy*, Vol. 26, Issue 8, 2003.
7. Copeland, Brian R. and M. Scott Taylor, "North-South Trade and the Environment," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 109, Issue 3, 1994.
8. Dean, Judith M., "Does Trade Liberalization Harm the Environment: A New Test," *The Canadian Journal of Economics*, Vol. 35, Issue 4, 2002.
9. _____, "Trade and the Environment; A Survey of the Literature," *World Development Report Working Paper*, 1992.
10. DeCanio, Stephen J., "The Political Economy of Global Carbon Emissions Reductions," *Ecological Economics*, Vol. 68, Issue 3, 2009.
11. Eliste, Paavo and Per G. Fredriksson, "Environmental Regulations Transfers and Trade: Theory and Evidence," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 43, Issue 2, 2002.
12. Kemfert, Claudia, Wietze Lise and Richard S.J. Tol, "Games of Climate Change with International Trade," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 28, Issue 2 2004.
13. Kondo, Y., Y. Moriguchi and H. Shimizu, "CO2 Emissions in Japan: Influences of Imports and Exports," *Applied Energy*, Vol. 59, No. 2-3, 1998.
14. Hettige, Hemamala, Robert E.B. Lucas and David Wheeler, "The Toxic Intensity of Industrial Production: Global Patterns, Trends, and Trade Policy," *American Economic Review*, Vol. 82, Issue 2, 1992.
15. Krutiila, Kerry, "Environmental Regulation in an Open Economy," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 20, Issue 2, 1991.
16. Lenzen, M., LL. Pade, J. Munksgaard, "CO2 Multipliers in Multi-Region Input-Output Models," *Economic Systems Research*, Vol. 16, Issue 4, 2004.
17. Mäenpää, Ilmo and Hanne Siikavirta, "Greenhouse Gases Embodied in the International Trade and Final Consumption of Finland: An Input Output Analysis," *Energy Policy*, Vol. 35, Issue 1, 2007.
18. Munksgaard, Jesper and Klaus Alsted Pedersen, "CO2 Accounts for Open Economies: Producer or Consumer Responsibility?," *Energy Policy*, Vol. 29, Issue 4, 2001.
19. Muradian, Roldan, Martin O'Connor and Joan Martinez-Alier, "Embodied Pollution in Trade: Estimating the 'Environmental Load Displacement' of Industrialized Countries," *Ecological Economics*, Vol. 41, Issue 1, 2002.
20. Nannerup, Niels, "Equilibrium Pollution Taxes in a Two Industry Open Economy," *European Economic Review*, Vol. 45, Issue 3, 2001.
21. Peters, Glen P., "From Production Based to Consumption Based National Emission Inventories," *Ecological Economics*, Vol. 65, Issue 1, 2008.
22. Peters, Glen P. and Edgar G. Hertwich, "CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy," *Environmental Science and Technology*, Vol. 42, Issue 5, 2008.

23. Pratlong, Florent, "Environmental Regulation Incidences Towards International Oligopolies: Pollution Taxes v. s. Emission Permits," *Economics Bulletin*, Vol. 17, Issue 6, 2005.
24. Sartetakis, E. S. and C. Constantatos, "Environmental Regulation and International Trade," *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 8, Issue 1, 1995.
25. Wyckoff, Andrew W. and Joseph M. Roop, "The Embodiment of Carbon in Imports of Manufactured Product - Implications for International Agreements on Greenhouse Gas Emissions," *Energy Policy*, Vol. 22, Issue.3, 1994.
26. Xu, Xinpeng, "International Trade and Environmental Regulation," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 17, Issue 3, 2000.

Study on Effect of Mitigation Action to Achieve Global Emission Reduction Target

Sung Wook Lee*

Abstract

This paper documents evidence that global climate change target can not be achieved only by Annex countries' mitigation activities without Non-Annex countries' effort and cooperation. I assume there are two countries and non-perfect competition market. In the result, an Annex country can achieve abatement target, but the emission of a Non-Annex country increases due to its "emission concentration". So global emission target can't be achieved. In other scenario, where Non-Annex country enforces a self-regulation by imposing emission target or invites CDM, global emission can be achieved. But global welfare decreases in the former case. In the last scenario, the mixed strategy of self-regulation and CDM, global emission target can be achieved and it has minimum welfare losses.

Key Words: CDM, climate change agreement, environmental policy, emission leakage, self-regulation

Received: June 15, 2011. Revised: Nov. 23, 2011. Accepted: Feb. 24, 2012.

* Doctoral Student, Department of Economics, Sungkyunkwan University and Researcher, Greenhous Gas Inventory & Research Center of Korea, 501, 5th fl, Gwanghwamun Officia, Sinmunno 1 ga, Jongno-gu, Seoul 110-999, Korea, Phone:+82-2-6943-1319, e-mail: lsw0005@gmail.com