

세계 주요국의 자발적 온실가스 감축목표가 경제와 환경에 미치는 파급효과와 시사점

임재규

Economic and Environmental Implications of the Voluntary GHG Reduction Targets of Major Countries

Jae-Kyu Lim

에너지경제연구원(Korea Energy Economics Institute)

제 출 : 2010년 3월 17일

수 정 : 2010년 7월 5일

승 인 : 2010년 8월 30일

국 문 요 약

최근까지 선진국 및 주요 개도국이 발표한 2020년까지의 자발적 온실가스 감축목표를 Global CGE모형을 활용하여 분석한 결과, 선진국의 온실가스 배출량이 2020년까지 1990년 대비 약 14.0% 감축하는 데 그칠 것으로 분석되었다. 따라서 기후변화 문제 해결을 위한 선진국의 선도적 역할과 역사적 책임이라는 측면에서 그리고 Post-Kyoto 협상의 타결을 위해 선진국의 자발적 감축목표의 상향조정의 필요성이 대두되었다. 한편 개도국의 자발적 감축목표 이행은 전 세계 온실가스 배출량을 BaU 대비 약 15.9%까지 감축하는 데 기여할 것으로 분석되었으며, 이는 중국과 인도의 참여가 크게 작용하였다. 이와 같은 결과는 향후 Post-Kyoto 체제의 환경적 효과성을 높이기 위해 선진국의 감축목표 강화와 더불어 개도국의 광범위한 참여와 의미 있는 수준에서의 온실가스 감축행동도 동시에 필요함을 시사한다. 한편 선진국과 주요 개도국의 자발적 온실가스 감축목표의 이행은 전 세계 실질 국내총생산을 1.18% 감소시킬 것으로 분석되었다.

■ 주제어 ■ 기후변화협약, 온실가스 감축목표, 연산일반균형모형

Abstract

The voluntary mid-term greenhouse gas(GHG) emission reduction targets for 2020 among major developed and developing countries were evaluated by using the global computable general equilibrium(CGE) model. The GHG emissions of developed countries were estimated to be reduced by 14.0% from 1990 level, which implies that the GHG reduction targets of developed countries should be strengthened to reach agreement in future post-Kyoto negotiations. The voluntary participation of developing countries for GHG emissions reduction contributed to global GHG emissions reduction by 15.9% from 1990 levels, which were led by the participation of China and India. These outcomes imply that the reinforcement of GHG emission reduction targets in developed countries and the wider

participation of developing countries will be necessary for the environmental effectiveness of the post-Kyoto regime. Emissions reduction based on voluntary targets will decrease the global real GDP by 1.18%.

■ **Keywords** ■ Climate Change, GHG Reduction Target, CGE Model

I. 서론

기후변화(climate change)는 인간의 건강, 식량안보, 사회기반 및 환경 등에 악영향을 초래하여 인류 생존을 위협하는 최악의 위협요소로 평가되며, 기후변화에 따른 경제적 손실이 매년 세계 GDP의 5-20%에 이를 것으로 전망된다(Stern, 2006). 이에 Post-Kyoto 체제 구축을 위하여 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 체제 하에 진행 중인 다자간 협상에 대해 전 세계의 관심이 증폭되고 있다.

Post-Kyoto 협상은 선진국과 개도국이 협상에서 난해한 논리를 앞세우는 참호전의 형태로 진행되고 있다. 공통의 이해와 관심사항을 강조하기보다 한쪽이 이기면 반드시 한쪽은 져야 하는 제로섬 게임으로 진행되고 있기 때문에 합의도출에 많은 어려움을 겪고 있다.¹⁾ 특히 2009년 12월에 덴마크 코펜하겐에서 개최된 기후변화협약 제15차 당사국총회(COP15)와 제5차 교토의정서 당사국총회(CMP5)에서는 Post-Kyoto 체제에 대한 실질적인 합의를 도출하는 데 실패하였다. 동 협상에서는 (1) 선진국의 강제적 온실가스 감축의무 강도, (2) 개도국 온실가스 감축행동 참여 및 검증, (3) 개도국의 기후변화 완화 및 적응을 위한 선진국의 재정 및 기술적 지원 등 핵심 이슈에 대한 선진국과 개도국 간의 입장 차이를 극복하지 못하고, 법적인 구속력이 없는 합의문인 Copenhagen Accord를 도출하는 데 그쳤다.²⁾ 동 합의문에서는 2010년 1월 31일까지 각 선진국이 자국의 2020년까지의 온실가스 감축목표를 제출하고, 개도국도 온실가스 감축행동 계획을 제출하도록 권고하고 있다. 따라서 각국이 제출한 자발적 온실가스 감축목표와 감축행동의 규모와 내용이 향후 협상의 진행방향과 합의도출 도출 가능성에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

기후변화 대응을 위한 온실가스 감축의 수준과 관련하여, IPCC(2007)는 온실가스의 대기 중 농도를 450ppmCO_{2eq.} 수준으로 유지하기 위해 선진국은 온실가스 배출량을 2020년

1) Post-Kyoto 협상의 포괄적 구도 및 이슈에 대한 자세한 내용은 임재규(2006b), Höhne et al.(2007), Winkler(2008) 등 참조.

2) Copenhagen Accord는 법적인 효력이 전혀 없다. Copenhagen Accord의 자세한 내용은 UNFCCC(2009) 참조.

까지 1990년 대비 25-40% 감축하고, 개도국도 상당한 수준의 감축이 필요함을 강조하였다. 또한 EU는 선진국이 2020년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 25-40% 감축해야 하며, 개도국도 기준배출전망(Business as Usual, BaU) 대비 15-30% 감축할 것을 촉구하다.

이러한 상황에, 지난 COP15/CMP5 개최 이전까지 대부분의 선진국과 주요 개도국이 자국의 여건과 능력을 반영하여 2020년까지의 자발적 온실가스 감축목표를 공표하였다. 예를 들어 일본은 2020년까지 1990년 대비 25% 감축할 계획이며, 중국은 배출집약도(배출량/국내총생산)를 2020년까지 2005년 대비 40-45% 감축할 것을 공표하였다. 한국도 최근 온실가스 배출량을 2020년까지 기준전망(Business as Usual, BaU) 대비 30% 감축하는 자발적 감축목표를 확정하였다. 이와 같은 여러 국가의 자발적 감축목표는 기후변화 완화(mitigation)와 Post-Kyoto 협상에 연계되어 중요한 의미를 내포하고 있다. 즉, 이러한 자발적 감축목표가 내포하는 실질적인 온실가스 감축효과가 어느 정도 기후변화 완화(mitigation)에 기여할 수 있는지 분석된다면, 그 결과는 향후 Post-Kyoto 협상진행에 중요한 자료로 활용될 수 있기 때문이다.

한편, 모든 국가가 기후변화 문제 해결을 위해 온실가스 배출량 감축의 필요성에는 동의하지만, 감축으로 인해 자국이 지불해야 할 경제적 비용에 많은 관심과 우려를 나타내고 있다. 이러한 경제적 비용은 모든 국가의 경제가 국제무역 및 자본이동 등으로 서로 긴밀하게 연결되어 있기 때문에 자국의 온실가스 감축량뿐만 아니라 다른 국가의 감축량에 따라 서로 영향을 받는다. 따라서 여러 국가가 발표한 자발적 감축목표가 내포하는 경제적 파급효과에 대한 검토 또한 중요한 과제이다.

이에 본 연구에서는 최근 여러 국가가 발표한 자발적 중기 온실가스 감축목표를 검토하고, 이러한 목표들이 내재한 경제 및 환경적 파급효과와 시사점을 분석한다. 또한 이러한 분석을 통해 발표된 자발적 감축목표가 기후변화 완화를 위한 적절한 수준인지를 검토한다. 본 연구에서는 정량적 분석을 위해 연산일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형인 GTEM-KOR³⁾를 활용한다.

3) GTEM-KOR는 에너지부문을 중심으로 한 다부문(multi-sector) 동태적(dynamic) 다국가(multi-country) 모형으로서, 에너지 및 환경 관련 부문의 정책 및 국제협상 이슈에 대한 분석에 사용되고 있다. 특히 GTEM-KOR는 그동안 국내에서 기후변화협약 관련 경제분석에 사용되어 온 기존의 모형들보다 발전된 모형으로, 기후변화협약 관련 대응정책에 대한 비교분석이 가능하며 국가 및 산업이 세부적으로 분류되어 있고 특정국가 또는 특정산업에 대한 세부적 분석이 가능하다.

II. 주요국의 감축목표 내용 및 시사점

선진국을 중심으로 많은 국가는 현재 진행 중인 Post-Kyoto 협상과 연계하여 기후변화 문제해결을 위한 국제적 노력에 기여하기 위한 방안으로서 2020년까지의 온실가스 중기 감축목표를 자체적으로 설정하여 발표하고 있다<표 1>.

표 1 주요국별 자발적 온실가스 중기 감축목표

국 가		온실가스 중기 감축목표
선진국	일 본	2020년까지 1990년 대비 25% 감축 (선진국의 동참 전제)
	영 국	2020년까지 1990년 대비 36% 감축
	미 국	2020년까지 2005년 대비 17% 감축 (1990년 대비 4% 감축)
	호 주	2020년까지 2000년 대비 5-15% 감축 (전 세계 감축의무 참여 시 25% 감축)
	캐나다	2020년까지 2005년 대비 17% 감축 (1990년 대비 3% 감축)
	E U	2020년까지 1990년 대비 20% 감축 (전 세계 감축의무 참여 시 30% 감축)
	러시아	2020년까지 1990년 대비 15-25% 감축
	노르웨이	2020년까지 1990년 대비 30-40% 감축
	뉴질랜드	2020년까지 1990년 대비 10-20% 감축
	벨라루스	2020년까지 1990년 대비 5-10% 감축
	아이슬란드	2020년까지 1990년 대비 15% 감축
	스위스	2020년까지 1990년 대비 20-30% 감축
	모나코	2020년까지 1990년 대비 20% 감축
	우크라이나	2020년까지 1990년 대비 20% 감축
	리히텐슈타인	2020년까지 1990년 대비 20-30% 감축
개도국	카자흐스탄	2020년까지 1992년 대비 15% 감축
	크로아티아	2020년까지 1990년 대비 5% 감축
	중 국	2020년까지 2005년 대비 배출집약도 40-45% 감축
	인 도	2020년까지 2005년 대비 배출집약도 25% 감축
	한 국	2020년까지 BaU 대비 30% 감축
	브라질	2020년까지 BaU 대비 36-39% 감축 (선진국 지원 전제)
	인도네시아	2020년까지 BaU 대비 26-41% 감축 (선진국 지원 없으면 26% 감축)
멕시코	2020년까지 BaU 대비 21% 감축	

미국은 2009년 6월에 하원을 통과한 Waxman-Markey 법안을 통해 온실가스 배출량을 2020년까지 2005년 대비 17%(1990년 대비 4%) 감축하는 목표를 설정하였으며, 일본도 최근 선진국의 동참을 전제로 2020년까지 1990년 대비 25% 감축하는 목표를 공표하였다. 또한 호주는 2008년에 발표한 국내 온실가스 감축 종합계획인 '탄소오염감축정책(Carbon Pollution Reduction Scheme, CPRS)'을 통해 2020년까지 2000년 대비 5%-15% 감축하는

목표를 제시하였으며, 전 세계 모든 국가가 온실가스 감축의무에 동참할 경우 감축목표를 25%로 확대할 것임을 밝혔다. EU도 2009년 4월부터 발효된 'Climate and Energy Package'를 통해 2020년까지 1990년 대비 20% 감축하고, 전 세계 국가 동참 시 감축목표를 30%로 확대할 것임을 밝혔다. 위와 같은 주요 선진국의 온실가스 중기 감축목표는 각국의 국내 온실가스 감축을 위한 의지를 밝힌 것으로써, 현재 진행 중인 다자간협상에서 감축의무 수준을 도출하는 데 중요한 자료로 활용되고 있다.

그러나 선진국이 제시한 자발적 감축목표는 IPCC(2007)에서 권고하고 있는 25%-40% 감축수준과 비교하여 상대적으로 낮은 수준이다. 특히 미국, EU 등 주요 선진국의 감축목표 수준이 권고치와 차이를 보이고 있다. 따라서 개도국은 협상을 통해 선진국의 자발적 감축목표보다 더욱 강한 강제적 감축의무를 지속적으로 요구하고 있는 상황이고, 선진국은 그들만의 일방적 온실가스 감축으로 지불해야 할 경제적 비용으로 인해 더욱 강한 감축목표 설정에 반대하고 있다. 오히려 선진국은 전 지구적 기후변화 문제 해결을 위해 개도국도 실질적인 온실가스 감축 행동(action)을 실천할 것을 요구하고 있다.

최근 개도국도 선진국의 요구에 부응하고 국제사회의 기후변화 대응 노력에 동참하겠다는 취지로 자국의 자발적 온실가스 감축목표를 발표하고 있다. 개도국의 감축목표는 특정 기준연도(base year) 대비 절대배출량(absolute amount of emissions) 감축목표를 설정한 선진국의 경우와 달리, 배출집약도(emissions intensity), 기준전망(business as usual, BaU) 등 다양한 기준을 활용하여 자발적 감축목표를 발표하고 있다. 중국과 인도의 경우에는 배출집약도를 2020년까지 2005년 대비 40-45% 그리고 25% 감축을 공표하였으며, 한국과 브라질 그리고 멕시코는 절대배출량을 2020년까지 BaU 대비 각각 30%, 36-39% 그리고 21%의 감축목표를 발표하였다.

개도국이 발표한 감축목표는 선진국의 감축목표와 비교하여 상대적으로 불확실성이 크다. 선진국의 경우 과거 1990년 또는 2000년 등의 특정연도 절대배출량을 기준으로 절대배출량 감축목표를 설정하였기 때문에, 목표의 달성 여부를 떠나 목표의 정량적 확실성이 보장되고 있다. 그러나 개도국의 경우에는 이러한 확실성이 부족하다. 예를 들어 배출집약도(배출량/국내총생산)는 각국의 미래 경제상황에 따라 달라질 수 있다. 또한 BaU의 경우에는 사용되는 방법론(methodology)과 전제(assumption) 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 발표된 개도국의 자발적 감축목표는 자국의 온실가스 절대배출량의 불확실성뿐만 아니라 전 세계 배출량에 대한 불확실성을 야기한다.

한편, 온실가스 감축은 에너지 등 온실가스 배출원의 가격을 상승시켜 직접적인 경제적

부담을 초래한다. 이러한 경제적 비용은 각국 감축목표의 강도와 시기 그리고 경제 및 산업 구조에 따라 다르게 나타난다. 각국이 발표한 목표에 내재한 경제적 비용에는 국가 간에 공평한 비용분담(cost share)이라는 측면에서 중요한 의미가 있다. 따라서 각국의 자발적 감축목표에 내재한 환경적 효과성(environmental effectiveness)뿐만 아니라 경제적 효율성(economic efficiency)도 중요한 분석대상이다. 이러한 분석결과는 기후변화 대응을 위한 각국의 온실가스 감축노력에 내재한 환경 및 경제적 시사점을 제공하며, Post-Kyoto 협상에서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Ⅲ. 분석모형 : GTEM-KOR⁴⁾

GTEM-KOR는 Global CGE 모형으로서,⁵⁾ 모형의 주요 골격을 형성하는 민간부문의 수요 및 공급 방정식은 비용최소화, 효용극대화 등 최적화 문제의 해에서 도출되며, 전통적인 신고전학과 미시경제학의 기본가정을 따르고 있다. 자본, 노동 및 토지가 각 산업의 본원적 생산요소로 사용되는데, 자본은 매년 행해진 투자에서 기존 자본스톡의 감가상각을 감안한 양만큼 축적된다. 또한 자본과 노동은 국가 간 자본의 흐름과 노동이동(labour migration)을 통하여 국가 간 및 산업 간 이동을 할 수 있지만, 토지는 농업부문에서만 사용되고 국가 간 이동이 불가능하다. 생산자는 완전경쟁시장에서 규모에 대한 보수불변(constant returns to scale)의 기술로 생산하며, 제품의 생산자 가격은 단위당 생산비용과 같은 수준에서 결정된다. 따라서 제품가격은 생산에 투입된 중간투입재 및 본원적 생산요소의 가격변화에 따라 결정된다.

생산부문은 크게 3가지(일반산업, 전력산업, 철강산업)로 분류된다. 각각은 서로 상이한 다중적 생산구조 하에서 제품을 생산한다. 일반산업에는 에너지를 포함하여 각종 중간투입재와 본원적 생산요소가 투입되며, 일련의 분리 가능성에 관한 가정 아래 다중구조(nested structure)가 존재한다. 노동, 자본 및 토지는 불변대체탄력성(constant elasticity of substitution, CES) 함수에 의해 복합본원요소를 구성하며, 석탄, 석유, 가스 및 전력 또한 CES 함수에

4) GTEM-KOR의 자세한 이론적 배경 및 모형의 구조에 대해서는 임재규(2007) 참조.

5) Global CGE 모형은 국가, 산업 및 부문 간 상호작용을 분석할 수 있도록 무역, 생산과 소비에서의 대체성을 인정하는데, 기후변화협약과 같은 장기적 이슈를 분석하는 데 유용하게 이용되고 있다. AIM(Matouka et al., 1995), GTEM(Tupule et al., 1999), MIT-EPPA(Jacoby et al., 1997), Worldscan(Geurts et al., 1997), MS-MRT(Bernstein et al., 1999), 그리고 G-Cube(McKibbin et al., 1999) 등과 같은 모형이 존재한다. AIM, MS-MRT 그리고 GTEM은 거시경제 및 에너지 분야가 세분화되어 있으며, G-Cube는 거시경제 부분이 세분화된 특징이 있다.

의해 복합에너지를 구성한다. 복합본원요소와 복합에너지는 다시 CES 함수에 의해 복합생산요소를 구성하며, 마지막으로 복합생산요소는 에너지를 제외한 중간투입재(n-e개의 재화) 및 천연자원과 함께 Leontief 함수에 의해 생산에 투입된다.⁶⁾ 한편, 자국을 제외한 총 (r-1)개의 지역에서 수입된 각각의 중간투입재와 에너지는 CES 함수에 의해 복합수입재를 구성하며, 복합수입재와 국내재는 다시 CES 함수에 의해 각각의 중간투입재와 에너지를 구성한다. 각각의 에너지도 일반 중간투입재와 같이 (r-1)개의 지역에서 수입되고, 국내재와 복합수입재 간의 불완전 대체 관계를 가진다.

GTEM-KOR에서는 각 생산자가 다중적 투입구조의 각 단계에서 비용최소화의 조건에 따라 해당 생산요소의 투입량을 결정하는데, CES 생산함수를 이용하여 생산자의 사용가능한 M개의 생산요소 중에서 특정 생산요소 k에 대한 수요함수를 퍼센트변화(percentage change)의 형태로 표현하면 아래와 같다.⁷⁾

$$x_k = z - \sigma \left(p_k - \sum_i S_i p_i \right) \quad \text{for } i = 1, \dots, k, \dots, M \quad (1)$$

식 (1)에서 S_i 는 생산요소 i 가 전체생산비용에서 차지하는 비중을 나타낸다. 가격의 변화가 없을 경우, 특정 생산요소의 투입량(x_k)은 생산량(z)과 같은 비율로 변화하게 된다. 이는 CES 생산함수의 규모에 대한 보수불변의 원칙을 만족시키는 것이다. 만일 특정 생산요소의 가격(p_k)이 다른 생산요소의 가격과 비교하여 상대적으로 많이 상승하게 되면, 특정 생산요소의 소비가 다른 요소의 소비로 대체된다. 이러한 대체의 정도는 생산요소 간의 대체탄력도(σ)의 크기에 따라 결정된다.

에너지집약산업인 전력산업과 철강산업은 각기 다른 형태의 다중적 생산구조이며 따라 각각의 생산구조에서 상향식(bottom-up) 접근방법을 부분적으로 적용하였다. 전력산업의 경우, i 개의 중간투입재와 복합전력생산기술(technology bundle for electricity generation)은 CES 함수에 의해 전력생산에 투입된다. 석탄, 석유, 가스, 원자력, 수력 및 기타(신재생에너지 등) 등 6가지의 전력생산기술은 CRESH(Constant Ratios of Elasticities of Substitution, Homothetic) 함수⁸⁾에 의해 복합전력생산기술을 구성하며, 각 전력생산기술

6) (n-e)개의 중간투입재는 총 n개의 재화에서 e개의 에너지를 제외한 것이다.

7) 식 (1)의 모든 변수는 퍼센트변화(percentage change)를 나타낸다. 함수를 퍼센트변화 형태로 전환하는 과정에 대한 자세한 내용은 임재규(2007) 참조.

8) CRESH 함수에 대한 자세한 내용은 Dixon et al.(1982)과 Dixon et al.(1997) 참조.

에는 본원적 생산요소와 중간투입재가 사용된다. 한편, 철강산업에서는 i 개의 중간투입재와 복합철강생산기술(technology bundle for iron and steel production)이 CES 함수에 의해 투입된다. 전기로(electric arc furnace)와 고로(blast furnace) 등 2가지의 철강생산기술이 CRESH 함수에 의해 복합철강생산기술을 구성하며, 각 본원적 생산요소와 중간투입재가 Leontief 함수에 의해 각각의 철강생산기술에 투입된다.

대표적 가계(representative household)에 의해 이루어지는 각국의 가계소비는 CDE(constant difference of elasticities) 함수에 의해 이루어지며,⁹⁾ 정부소비는 Cobb-Douglas 함수에 의해 이루어진다. Honach(1975)에 의해 소개된 CDE 지출함수를 이용하여 가계의 각 재화에 대한 수요함수를 퍼센트변화의 형태로 표시하면 아래의 식 (2)와 같다. 각 재화에 대한 가계의 수요는 가계의 소득과 재화의 가격에 의해 결정되는데, y 앞에 있는 []는 수요의 소득탄력성(income elasticity)을 나타내며, p_i 앞에 있는 파라미터들은 비보상(uncompensated) 가격탄력성(own-price elasticity)을 나타낸다.

$$x_i = \left[\frac{e_i(1-\alpha_i) + \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i e_i}{\sum_{i=1}^N S_i e_i} + \alpha_i - \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i \right] y \quad (2)$$

$$+ \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i p_i - \alpha_i p_i - \left[\frac{e_i(1-\alpha_i) + \sum_{i=1}^N S_i \alpha_i e_i}{\sum_{i=1}^N S_i e_i} \right] \sum_{i=1}^N S_i p_i$$

where x_i = 재화 i 의 수요량

y = 소득

p_i = 재화 i 의 가격

e_i = 소비의 비동조성(nonhomotheticity)을 결정하는 확장(expansion) 파라미터

S_i = 재화 i 에 대한 지출이 가계의 총소득에서 차지하는 비중

$\alpha_i = 1 -$ 제품 간 대체가능성을 결정하는 파라미터

대표적 가계는 본원적 생산요소를 소유하며, 가계의 총소득은 요소소득, 세수(tax revenue) 그리고 대외순수취 요소소득으로 구성된다. 가계의 총소득은 다시 고정비율로 가계 및 정

9) CDE 함수에 대한 자세한 내용은 Hanoch(1975)와 Hertel(1997) 참조.

부 소비 그리고 저축에 사용된다. 단, 국가별 저축은 총소득과 같은 비율로 변화한다고 가정한다. 가계소비와 정부소비 간의 비율이 불변이라는 가정 아래, 총소비지출은 현재의 총가계소득에서 저축을 감한 것과 같다. 주어진 총소비지출 아래, 대표적 가계는 기간별로 효용극대화를 통하여 각 소비재의 소비량을 결정한다.

제품별 국내재(domestic product)와 복합수입재(composite imported product)에 대한 수요는 CES 함수에 의해 결정된다. 이는 다른 국가에서 생산된 동종의 상품이 서로 상이한 가격으로 거래될 수 있음을 의미한다. 타국에서 수입된 동종의 제품은 CES 함수에 의해 위의 복합수입재를 구성한다. 국내재와 복합수입재 간의 대체성과 다른 국가에서 수입된 동종의 수입재 간의 대체성은 제품 간의 상대가격 및 주어진 대체탄력도의 값에 따라 결정된다.

표 2 GTEM-KOR의 국가 및 산업 분류

번호	국가분류	번호	산업분류
1	호주	1	석탄
2	미국	2	원유
3	캐나다	3	가스
4	일본	4	석유석탄제품
5	유럽연합	5	전력
6	구소련연방	6	철강
7	동유럽	7	비철금속
8	기타 부속서 I 국가	8	화학·고무·플라스틱
9	중동산유국	9	비철금속광물
10	북아프리카	10	기타금속광물
11	남아프리카	11	기타제조업
12	중국	12	상업·수송
13	한국	13	기타서비스
14	인도	14	작물
15	인도네시아	15	쌀
16	기타 아세안	16	축산업
17	멕시코	17	육류·우유
18	아르헨티나	18	식료품
19	브라질	19	임수산업
20	베네수엘라		
21	콜롬비아		
22	기타국가		

GTEM-KOR는 또한 온실가스 감축 관련 정책(예: 탄소세, 배출권거래), 온실가스 배출량, 에너지 소비 등을 내생적으로 결정할 수 있는 방정식 체계를 포함하고 있다. 이와 같은

방정식들을 통하여 Post-Kyoto 협상과 각국의 온실가스 감축목표 등 기후변화협약 관련한 다양한 주제에 대한 경제-환경적 분석이 이루어진다. 또한 동태(dynamic) 모형인 GTEM-KOR는 정태적 요소들과 더불어 각국의 자본재, 순외채, 노동공급 등과 같은 스톡변수(stock variable)들의 값들이 시간경과에 따라 투자, 감가상각, 해외차입 등과 연결되어 축적(accumulation)되는 방정식들을 포함하고 있다.

GTEM-KOR의 데이터베이스는 GTAP 6.0에 기초하며, 한국과 관련된 데이터의 적절성을 분석하고 필요한 경우 데이터의 보완 및 수정이 이루어졌다. 또한 기초 데이터베이스 이외에 온실가스 배출량, 에너지소비, 인구변화 및 기타 추가적으로 필요한 데이터를 여러 경로를 통해 수집하여 데이터베이스를 구축하였다. 본 연구에서는 기초 데이터베이스를 Post-Kyoto 협상의 주요 22개 국가 및 지역으로 통합하였으며, 산업부문도 온실가스 배출과 관계가 깊은 화석연료, 에너지집약산업, 농업부문 등 19개 부문으로 통합하였다<표 3>. 한편, 교토의정서에서 제시된 6가지의 온실가스 - 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) - 중에서 이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소 등 3가지 온실가스를 분석대상으로 설정하였다. 온실가스의 배출량에 대한 데이터베이스는 IEA(2009), UNFCCC의 각종 자료 등을 활용하여 구축하였으며, 이산화탄소는 각 산업의 연료연소, 메탄과 아산화질소는 주요 산업의 생산활동에 따라 변화하도록 모형을 구축하였다. GTEM-KOR에 사용된 소프트웨어는 GEMPACK(General Equilibrium Modeling Package)이다.

표 3 주요 변수의 값

항 목	모 수 값	항 목	모 수 값
국내재와 수입재 간 대체탄력성	0.80 - 3.46	가계소비 소득탄력성	0.01 - 0.24
수입재 국가 간 대체탄력성	1.90 - 6.71	가계소비 가격탄력성	0.21 - 0.97
본원적 생산요소 대체탄력성	0.10 - 1.31	본원요소와 에너지원 간 대체탄력성	0.01 - 0.04
에너지원 간 대체탄력성	0.05 - 0.20	고정자본의 감가상각률	0.04

GTEM-KOR에서는 GTAP V6.0과 같은 기초 데이터 이외에 아밍턴 대체탄력성, 요소 대체탄력성, 가계소비 탄력성 등 여러 종류의 변수가 사용되는데, 사용된 주요 변수의 값은 <표 3>과 같이 GTAP 데이터베이스에서 제공하는 값과 자료에 기초하고 있다.¹⁰⁾ GTAP

10) GTAP V6.0 데이터베이스 및 주요 변수에 대한 추정방법과 결과에 대한 자세한 내용은 Betina et al.(2006) 참조.

데이터베이스에서 제공하는 모수의 값들은 일반적으로 각각의 모수에 대한 직접 추정 및 기존 연구결과들을 종합하여 결정되었는데, 본 연구에서는 GTAP V6.0에서 제공하는 모수의 값들을 사용하였다.¹¹⁾ 예를 들어, 가계소비에 설정되어 CDE 함수에서 사용되는 소득탄력성과 재화 간 가격탄력성은 국가 및 제품에 따라 차별화하여 각각 0.01-0.24와 0.21-0.97의 범위에서 설정하였다.

IV. 기준전망

본 연구에서는 먼저 국내외 주요 연구기관 및 단체들이 제공하는 각국의 경제, 인구, 유가 등 각종 가격지수, 에너지 장기공급계획 등에 대한 실적과 최근 전망자료를 참조 또는 활용하여, GTEM-KOR를 통해 2020년까지의 기준전망(Business as Usual, BaU)을 실시하였다.¹²⁾ 이와 같은 BaU는 각종 정책 및 시나리오 효과분석을 위한 기준으로, 모형을 통한 분석에서는 정책 및 시나리오의 결과와 기준시나리오와의 차이로 그 효과를 설명한다. 본 연구에서는 국내외 각종 장기 경제전망, 인구전망, 에너지소비 전망, 장기 전력수급 전망 등의 자료들을 활용하여 GTEM-KOR에서 관련 변수들을 외생변수화하여 투입자료로 활용함으로써 기준전망을 실시하였다.¹³⁾

기준전망 결과, 세계 온실가스 배출량이 1990-2020년 동안 연평균 2.02% 증가하여, 1990년 대비 약 82.2% 증가할 것으로 전망되었다. 이러한 배출량 증가의 많은 부분이 개도국의 배출량 증가에 기인하는데, 선진국의 경우에는 1990년 대비 약 11.2% 증가하지만, 개도국은 약 187.2% 증가할 것으로 예측되었다<그림 1>. 따라서 전체 배출량에서 선진국이 차지하는 비중은 1990년의 63.3%에서 2020년에는 36.4%로 감소하는 반면, 개도국의 비중은 오히려 지속적으로 증가할 것으로 예측되었다. 배출량의 증가는 기본적으로 인구증가 및 경제활동의 확대에 기인하는데, 개도국의 인구와 경제규모가 1990년 대비 각각 약 1.56배 및

11) GTEM-KOR를 비롯한 CGE 모형에서는 각종 모수들의 값에 대한 불확실성이 항상 존재하며, 이러한 모수들의 값이 연구결과에 적지 않은 영향을 미치고 있다. 따라서 파라미터 값의 변화를 통한 민감도 분석(Sensitivity Test)이 연구와 병행되어야 하지만, 본 연구에서는 이 과정을 생략하였다. 향후 연구에서는 파라미터 값에 대한 보다 정확하고 체계적인 자료수집과 민감도 분석을 수행할 예정이다.

12) 기준시나리오(BaU) 설정을 위해 참조 또는 활용된 변수들의 변화에는 많은 불확실성이 내재한다. 특히, 본 연구에서 2025년까지 행해지는 장기(long-term) 시뮬레이션의 경우에는 이러한 불확실성이 더 크게 존재할 수 있다. 예를 들어, Autonomous Energy Efficiency Improvement(AEEI)와 같은 기술발전 및 효율향상 등을 모형의 시뮬레이션에 반영할 수 있어야 하나, 이와 같은 변수들에 대한 불확실성이 크기 때문에 본 모형에서는 반영하지 않고 있다.

13) GTEM-KOR와 같은 CGE 모형에서는 각종 기초자료와 모형을 활용하여 먼저 기준(BaU) 전망을 실시하며, 이를 기초로 각종 정책 및 시나리오에 대한 분석을 실시한다. 본 연구에서는 IMF(2009), EIA(2009), OECD(2008, 2009), IEA(2008, 2009) 등의 각종 자료들을 활용하여 BaU 전망을 실시하였다.

3.85배 증가할 것으로 전망되었으며, 선진국의 경우에는 상대적으로 낮은 1.8배 및 1.11배 증가할 것으로 예측되었다<그림 2>.

그림 1 온실가스 배출량 변화(기준전망)

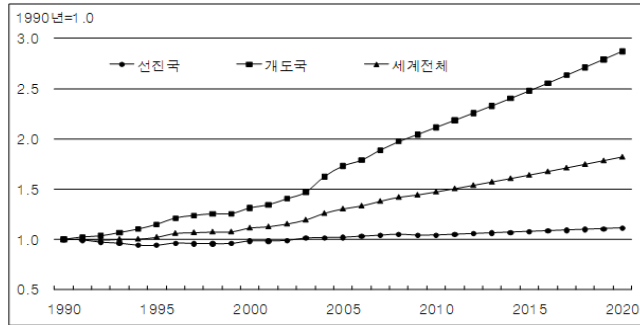


그림 2 GDP 및 인구 변화(기준전망)

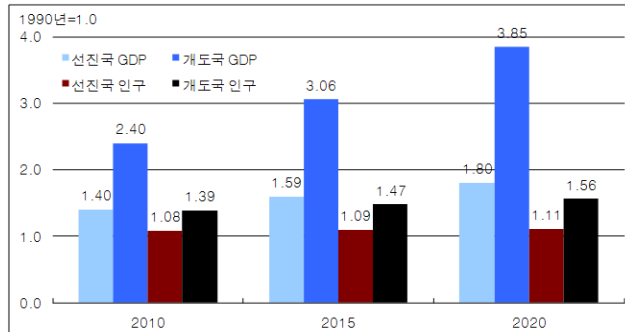


그림 3 배출집약도 변화(기준전망)

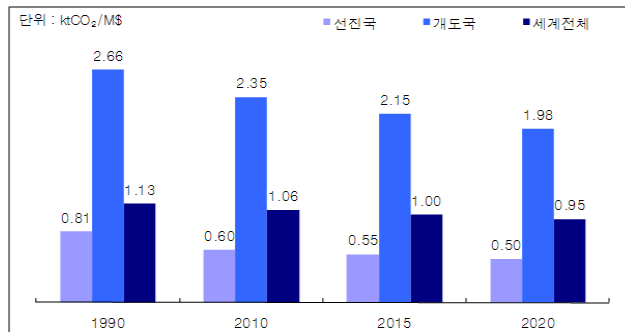
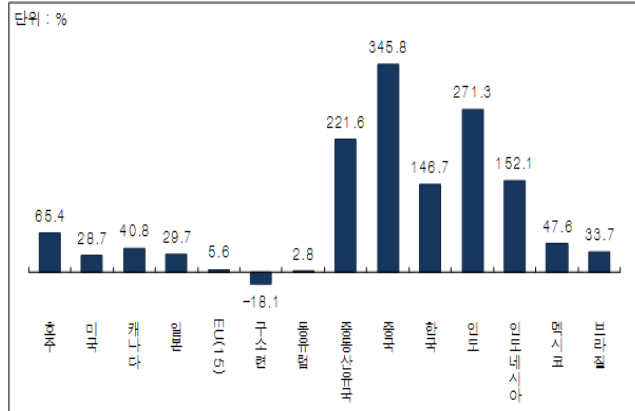


그림 4 주요국별 1990년 대비 2020년 배출량 변화(기준전망)



배출집약도(배출량/GDP)는 지속적으로 개선될 것으로 예측되었다. 선진국의 경우에는 1990년의 0.81ktCO₂/M\$에서 2020년에는 0.50ktCO₂/M\$으로, 개도국의 경우에는 1990년의 2.66ktCO₂/M\$에서 2020년에 1.98ktCO₂/M\$으로 개선될 것으로 예측되었다. 개도국의 배출집약도가 선진국에 비해 상대적으로 높은 수준에서 유지되지만, 2000년대 들어서 선진국보다 빠른 속도로 개선될 것으로 전망되었다<그림 3>. 이는 상대적으로 배출집약산업을 중심으로 생산활동이 이루어지고 있는 개도국의 생산성 향상 및 에너지 비집약산업으로 산업구조개편 속도가 선진국보다 상대적으로 빨리 진행됨을 의미한다.

주요국의 1990년 대비 2020년 온실가스 배출량을 살펴보면, 중동산유국(221.6%), 중국(345.8%), 인도(271.3%) 등 주요 개도국의 배출량이 크게 증가하는 반면, 미국(28.7%), 일본(29.7%), EU(5.6%)는 상대적으로 낮은 증가세를 기록할 것으로 예측되었다. 한편, 한국의 경우 2020년 배출량이 1990년 대비 약 146.7% 증가할 것으로 예측되었다 <그림 4>. <표 4>는 주요 국가별 배출량, 배출집약도, 국내총생산 등 주요 변수들의 1990-2020년 동안의 기준전망 결과를 보여준다.

표 4 주요 국가별 주요 지표 연평균 증가율(1990-2020년, 기준전망)

(단위 : %)

	온실가스 배출량	국내총생산	일인당 배출량	배출집약도
호주	1.69	3.00	0.49	-1.30
미국	0.84	2.62	-0.12	-1.78
캐나다	1.15	2.47	0.33	-1.33
일본	0.87	1.20	0.83	-0.35
유럽연합(15)	0.18	1.81	0.02	-1.65
구소련	-0.66	0.88	-0.78	-1.63
동유럽	0.09	3.28	0.22	-3.17
중동산유국	3.97	3.77	1.98	0.18
남아프리카	1.74	2.31	0.40	-0.60
중국	5.11	8.13	4.16	-2.92
한국	3.06	4.72	2.51	-1.66
인도	4.47	5.68	3.00	-1.23
인도네시아	3.13	4.45	1.78	-1.38
멕시코	1.31	3.57	-0.60	-2.31
브라질	0.97	3.08	-0.34	-2.09

그림 5 한국의 주요 지표별 변화(1990년=1, 기준전망)

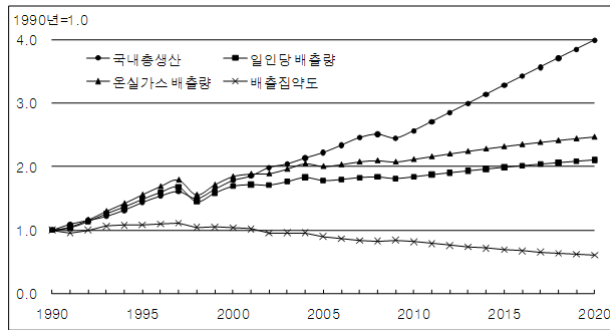
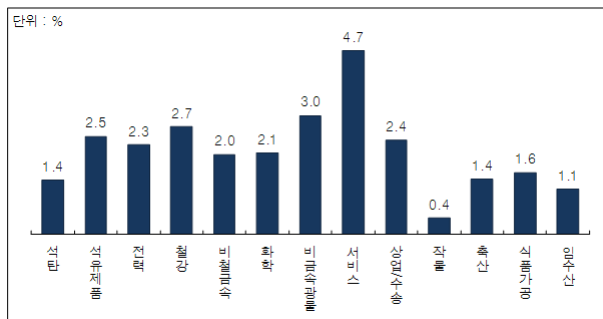


그림 6 한국의 주요 산업별 생산량 변화(1995-2020년, 연평균 증가율, 기준전망)



한국의 경우, 국내총생산이 1990-2020년 동안 연평균 4.72% 증가할 것으로 예측된 반면, 온실가스 배출량은 이보다 낮은 연평균 3.06%가 증가할 것으로 예측되었다. 따라서 배출집약도는 꾸준히 개선되어 연평균 1.66%씩 낮아질 것으로 예측되었다<그림 5>. 한편, 고부가가치 산업화로 인해 서비스산업의 성장과 에너지 집약산업의 상대적 둔화가 전망되었다. 서비스산업은 1995-2020년 동안 지속적으로 4%대 이상의 성장세를 지속할 전망이지만, 에너지 집약산업은 성장세가 상대적으로 낮을 것으로 예측되었다. 예를 들어 철강과 석유제품의 경우 1990-2020년 동안 각각 연평균 2.7%와 2.5%의 생산량 증가세를 기록할 것으로 예측되었다. 한편, 전력산업은 연평균 2.3%로 비교적 꾸준히 성장할 것으로 예측되었다 <그림 6>.

V. 감축목표 이행의 파급효과와 시사점

1. 시나리오 설정

최근 여러 국가가 발표한 자발적 중기 온실가스 감축목표는 경제 및 환경(온실가스 감축)적 측면에서 중요한 분석대상이다. 즉, 자발적 감축목표가 전 세계 온실가스 배출량에 끼치는 효과를 분석함으로써 감축목표의 적정성과 감축목표 이행에 의해 발생하는 경제적 파급효과를 파악할 수 있고, 이는 기후변화 대응을 위한 Post-Kyoto 체제의 구축방향을 결정하는 중요한 분석대상이다. 따라서 본 연구에서는 <표 1>에서 정리된 주요 국가의 자발적 중기 온실가스 감축목표와 Global CGE 모형인 GTEM-KOR를 활용하여, 감축목표가 이행될 경우의 경제 및 환경적 파급효과와 시사점을 도출하였다.

위와 같은 분석을 위하여 본 연구에서는 2가지 분석 시나리오를 설정하였다. 먼저 첫 번째 시나리오는 선진국만 온실가스 배출량을 목표대로 감축하는 시나리오이다(이하 시나리오 1). 즉, 선진국은 2012년까지 교토의정서 상의 주어진 감축의무를 이행하고, 이후 2020년까지 자국의 온실가스 중기 감축목표를 이행하는 경우이다. 이때 한국을 포함한 개도국은 특정 의무 또는 목표에 의한 강제적인 온실가스 감축활동을 하지 않는다고 가정하였다. 두 번째 시나리오는 선진국뿐만 아니라 주요 개도국도 자국의 자발적 감축목표를 이행하는 경우이다(이하 시나리오 2). 이때 자발적 감축목표를 발표하지 않은 개도국은 특정 의무 또는 목표에 의한 강제적인 온실가스 감축활동을 하지 않는다고 가정하였다.

표 5 GTEM-KOR의 국가별 감축목표 이행 시나리오

국가분류	중기 감축목표 내용
호주	2020년까지 2000년 대비 15% 감축
미국	2020년까지 2005년 대비 17% 감축
캐나다	2020년까지 2005년 대비 17% 감축
일본	2020년까지 1990년 대비 25% 감축
유럽연합	2020년까지 1990년 대비 20% 감축
구소련연방	2020년까지 1990년 대비 20% 감축
동유럽	2020년까지 1990년 대비 20% 감축
기타 부속서 1 국가	2020년까지 1990년 대비 15% 감축
중동산유국	감축목표 이행 없음
북아프리카	감축목표 이행 없음
남아프리카	감축목표 이행 없음
중국	2020년까지 2005년 대비 배출집약도 40% 감축
한국	2020년까지 BaU 대비 30% 감축
인도	2020년까지 2005년 대비 배출집약도 25% 감축
인도네시아	2020년까지 BaU 대비 26% 감축
기타 아세안	감축목표 이행 없음
멕시코	2020년까지 BaU 대비 21% 감축
아르헨티나	감축목표 이행 없음
브라질	2020년까지 BaU 대비 36% 감축
베네수엘라	감축목표 이행 없음
콜롬비아	감축목표 이행 없음
기타국가	감축목표 이행 없음

위와 같은 감축목표 이행 시나리오는 GTEM-KOR의 국가분류를 기초로 <표 5>와 같이 설정했다. 주요 국가가 실제 2가지 상이한 조건부 감축목표 또는 목표범위를 제시하였는데, 본 연구에서는 먼저 조건부 감축목표를 고려하지 않았으며, 목표범위를 제시한 국가의 경우에는 선진국의 경우 대부분 최대 목표를 그리고 개도국의 경우에는 최소 목표를 감축 시나리오로 설정하였다. 한편 러시아를 비롯한 구소련연방 국가와 동유럽국가는 러시아의 자발적 감축목표와 EU 차원의 감축목표를 반영하여 동일하게 2020년까지 1990년 대비 20% 감축하는 것으로 시나리오를 설정하였다. 마지막으로 캐나다, 스위스 등을 포함한 기타 부속서 1 국가에 대해서는 각국의 자발적 감축목표를 고려하여 1990년 대비 15% 감축하는 시나리오를 설정하였다.¹⁴⁾

이와 같이 설정된 주요 국가의 감축목표 시나리오는 감축목표의 형태(절대량 또는 배출 집약도)와 기준연도(1990년, 2000년, 2005년 또는 BaU)가 상이하지만, 축차적 동태분석(recursive dynamic analysis)을 수행하는 GTEM-KOR를 활용하여 이러한 차이들을 국가 별로 차별화하여 분석에 최대한 반영하였다. 한편, 주요 개도국의 자발적 감축목표와 이행 여부를 구분하여 위의 2가지 시나리오를 설정한 것은 선진국이 제시한 자발적 감축목표의 이행만으로 전 세계 온실가스 감축규모가 어느 정도이며, 주요 국가와 국제기구가 주장하는 감축규모와 비교하기 위한 것이다. 이와 더불어 주요 개도국의 자발적 감축목표가 실제 이행 될 경우 전 세계 온실가스 감축 노력에 기여하는 정도를 분석하기 위한 것이다.

2. 파급효과 및 시사점

선진국과 개도국의 자발적 감축목표 이행의 파급효과는 크게 온실가스 배출량과 거시경제에 미치는 효과로 분석할 수 있다.¹⁴⁾ 먼저 선진국만 온실가스 감축목표를 이행하는 시나리오 1의 경우, 전 세계 온실가스 배출량은 2020년에 BaU 대비 약 6.9% 감소할 것으로 분석되었는데, 이는 1990년 배출량과 비교하여 약 69.6% 증가하는 것이다<그림 7>. 선진국의 배출량은 BaU 대비 22.7%(1990년 대비 14.0%) 감축되지만, 개도국의 배출량은 탄소누출(carbon leakage)로 인해 오히려 BaU 대비 2.1%(1990년 대비 193.2%) 증가하게 된다<그림 9, 10>. 이와 같은 분석결과는 온실가스의 대기 중 농도를 450ppmCO_{2eq.} 수준에서 유지하기 위해 선진국이 온실가스 배출량을 2020년까지 1990년 대비 25-40% 감축하고, 개도국도 BaU 대비 상당한 수준의 감축이 필요함을 강조한 IPCC(2007)의 주장보다 상대적으로 상당히 낮은 감축 수준임을 보여주고 있다.

선진국과 더불어 주요 개도국도 자발적 감축목표를 이행하는 시나리오 2의 경우, 개도국 전체 온실가스 배출량이 BaU 대비 약 12.1% 감소할 것으로 예측되었으며<그림 9>, 이를 통해 전 세계 배출량도 BaU 대비 약 15.9% 감소하는 효과가 발생할 것으로 분석되었다<그림 7>. 이는 시나리오 1의 경우보다 감축효과가 약 9%p 정도 확대된 것으로서, 세계

14) 각 국가가 발표한 자발적 감축목표를 GTEM-KOR에서 설정한 국가분류에 맞추어 적용하는 과정에서 일부 국가의 감축목표를 정확하게 반영하지 못했다. 한편, 향후 국제협상의 진척 여부에 따라 온실가스 감축에 참여하는 국가의 확대 또는 축소가 이루어질 경우에 대한 분석도 필요하지만, 이는 향후 협상의 진척상황을 면밀히 검토하며 추가연구에서 이루어질 예정이다.

15) 각 국가의 자발적 감축목표 이행 파급효과를 분석함에 있어서, 본 연구에서는 특정 국내정책 및 국제배출권거래제 등을 반영하지 않았다. 본 연구에서는 신축적인 정책분석이 가능한 GTEM-KOR를 활용하여 각 국가의 온실가스 배출량을 감축목표에 맞추어 점진적으로 변화하도록 외생변수화하여 처리하였으며, 배출량 변화를 반영한 단위당 탄소비용(탄소세)을 내생변수화하여 파급효과를 분석하였다.

1위 및 3위권 배출국인 중국과 인도의 참여에 크게 기인한다.

위와 같은 온실가스 배출량에 대한 결과는 먼저 기후변화의 문제해결을 위한 선진국의 선도적 역할과 역사적 책임이라는 측면에서 선진국이 설정한 자발적 감축목표가 전체적으로 상향조정될 필요가 있음을 보여주고 있다. 한편, 향후 Post-Kyoto 체제의 환경적 효과성 (environmental effectiveness)을 높이기 위해서는 기존 선진국과 더불어 개도국의 광범위한 참여와 의미 있는 수준에서의 온실가스 감축행동도 동시에 필요하다. 이는 주요 개도국의 감축행동이 전 세계 온실가스 배출량 감축을 위해 필수적이기 때문이다.

그림 7 시나리오별 전 세계 온실가스 배출량과 실질 국내총생산 변화(2020년)

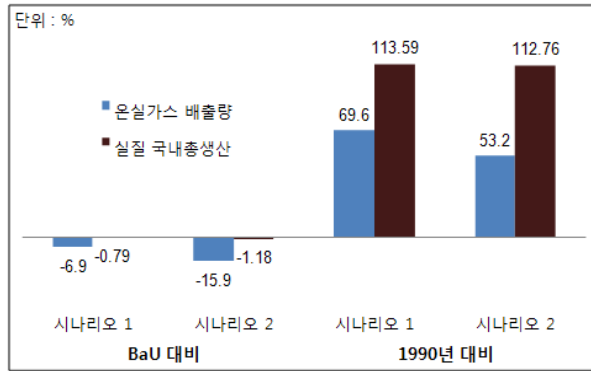


그림 8 시나리오별 온실가스 한계저감비용(2020년)

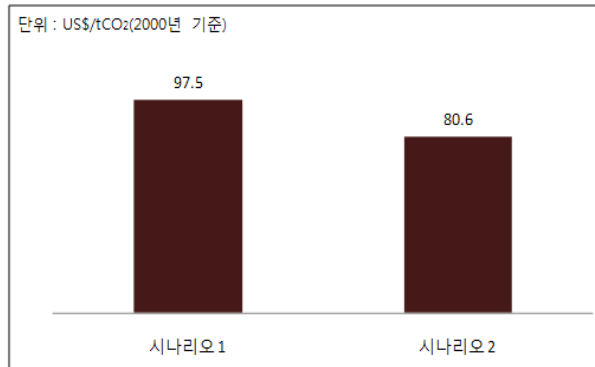


그림 9 선진국과 개도국의 온실가스 배출량 및 실질 국내총생산 변화(2020년, BaU 대비)

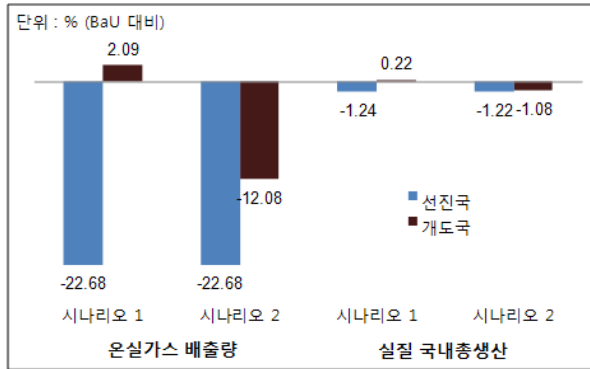
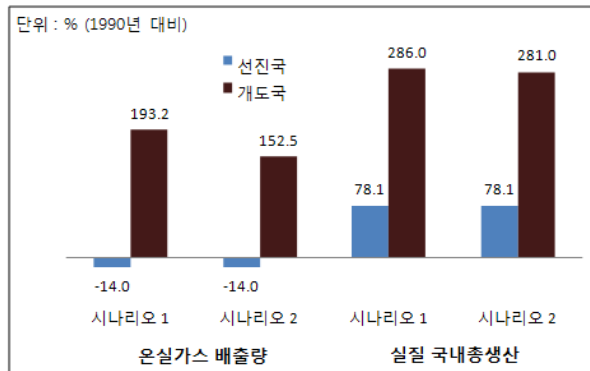


그림 10 선진국과 개도국의 온실가스 배출량 및 실질 국내총생산 변화(2020년, 1990년 대비)



온실가스 감축목표의 이행은 직접적으로 경제적 비용을 발생시키는데, 이는 실질 국내총생산의 변화를 통해 살펴볼 수 있다. 시나리오 1의 경우, 감축목표를 이행하는 선진국의 실질 국내총생산이 BaU 대비 1.24% 감소하는 반면, 개도국의 실질 국내총생산은 오히려 0.22% 증가하는 반사이득이 발생할 것으로 분석되었다<그림 9>. 따라서 전 세계 실질 국내총생산은 0.79% 감소할 것으로 예측되었다. 그러나 주요 개도국까지 감축에 참여하는 시나리오 2의 경우, 개도국의 실질 국내총생산이 BaU 대비 1.08% 감소함으로써, 전 세계 실질 국내총생산은 1.18% 감소할 것으로 분석되었다. 따라서 주요 개도국의 참여가 전 세계 온실가스 배출량 감축에 기여하지만, 동시에 개도국도 일정 수준의 비용을 부담해야 할 것이다. 한편, 분석결과에 의하면 주요 개도국의 온실가스 감축목표 이행은 일부 저개발국 등의

경제적 반사이득을 유발하지만, 개도국 전체적으로는 선진국과 비슷한 수준에서 비용을 부담한다는 것을 확인할 수 있다.

시나리오별 경제적 과급효과는 온실가스 한계저감비용과 연계되어 있는데,¹⁶⁾ 시나리오 1의 경우에는 전 세계 한계저감비용(marginal abatement cost)으로 이산화탄소 톤당 약 97.5달러(2000년 기준)의 비용이 발생하지만, 주요 개도국이 참여하는 시나리오 2의 경우 약 80.6달러로 낮아질 것으로 분석되었다<그림 8>. 이는 온실가스 감축에 참여하는 개도국의 한계저감비용이 선진국과 비교하여 상대적으로 낮기 때문이다.

주요 국가의 자발적 감축목표의 이행이 각국의 온실가스 배출량과 경제에 끼치는 영향은 서로 다르게 나타난다. 이러한 영향은 각국의 감축목표 강도 그리고 산업 및 경제구조 등에 따라 결정된다. 먼저 온실가스 감축은 에너지 및 에너지집약산업의 생산비용을 상승시켜 제품의 가격인상을 유발함으로써 산업의 생산량을 감소시키는 역할을 한다. 반면 에너지와 관련성이 낮은 서비스 및 일반 제조업에 끼치는 영향은 에너지 및 에너지집약산업과 비교하여 상대적으로 미미할 것으로 분석되었다<표 6>.

표 6 주요 산업별 전 세계 생산량 변화(2020년)

	(단위 : BaU 대비 %)	
	시나리오 1	시나리오 2
석탄	-18.67	-30.15
원유	-6.70	-9.18
가스	-10.42	-14.55
석유/석탄제품	-5.60	-7.49
전력	-8.97	-9.19
철강	-0.94	-0.50
화학	-1.54	-1.98
비금속광물	-0.77	-1.02
서비스	-0.01	-0.44
상업/수송	-0.08	-0.06
작물	-0.71	-0.50
벼	-0.04	-0.47
축산	-2.04	-4.37
식료품	-0.40	-0.47
임수산업	-0.03	-0.35

16) 한계저감비용은 주어진 감축목표 하에 최소비용으로 감축목표 달성을 할 수 있는 한계비용을 의미한다. 본 연구에서는 각 국가의 감축목표를 이행하기 위해 온실가스 배출량을 외생적으로 변화시켰으며, 이를 통해 발생하는 단위당 저감비용을 탄소세의 내생적 변화를 분석하여 한계저감비용을 도출하였다.

표 7 시나리오별 주요 국가의 온실가스 배출량 및 실질 국내총생산 변화(2020년)

(단위 : BaU 대비 %)

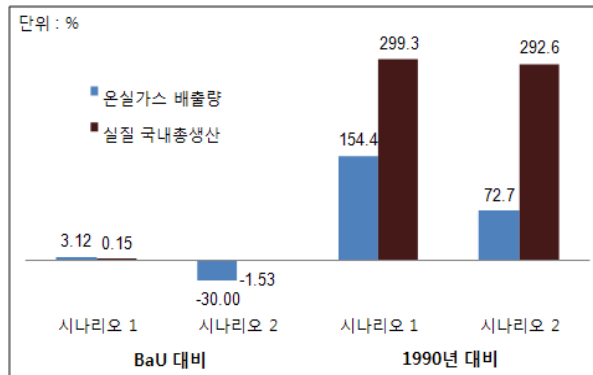
	온실가스 배출량		실질 국내총생산	
	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 1	시나리오 2
호주	-34.55	-34.55	-1.87	-1.85
미국	-25.40	-25.40	-0.49	-0.44
캐나다	-31.11	-31.11	-1.35	-1.30
일본	-42.15	-42.15	-2.81	-2.79
유럽연합(15)	-24.26	-24.26	-1.26	-1.28
구소련	-2.34	-2.34	0.10	0.13
동유럽	-22.18	-22.18	-1.13	-1.16
중동산유국	0.78	1.24	0.64	0.79
남아프리카	13.59	23.28	0.15	0.22
중국	2.01	-21.06	0.09	-1.59
한국	3.12	-30.00	0.15	-1.53
인도	1.25	-4.21	0.27	-0.01
인도네시아	1.63	-26.00	0.38	-6.09
멕시코	1.97	-21.00	0.31	-0.48
브라질	2.05	-36.00	0.26	-5.21

선진국과 주요 개도국의 국가별 자발적 감축목표의 이행은 또한 각국의 경제에도 서로 상이한 영향을 끼친다. 먼저 선진국 이외에 개도국이 추가적으로 온실가스 감축에 동참할 경우, 선진국이 지불해야 할 경제적 부담은 아주 미미하지만 전체적으로 낮아질 것으로 예측되었다. 특히 미국, 일본, 캐나다, 호주 등의 비용이 낮아지는 반면, 유럽연합의 경제적 부담은 미미하지만 약간 높아질 것으로 분석되었다. 또한 선진국의 비용을 살펴보면, 일본, 호주 등의 자발적 감축목표가 다른 국가와 비교하여 상대적으로 실질 국내총생산을 BaU 대비 크게 감소시킬 것으로 분석되었다. 이는 이들 국가의 자발적 감축목표가 다른 선진국과 비교하여 상대적으로 무리하게 설정되었다는 것을 의미한다. 한편, 2020년까지 2005년 대비 17% 감축(1990년 대비 4% 감축)을 목표로 설정한 미국의 경우, 목표가 실질적으로 강하지 않기 때문에 실질 국내총생산이 BaU 대비 0.4-0.5% 감소하는 데 그칠 것으로 분석되었다. 이는 미국의 자발적 감축목표가 다른 선진국과 비교하여 상당히 낮은 수준임을 증명하고 있으며, 개도국이 좀 더 강한 감축목표 설정을 요구받는 주요 공격대상으로 설정된 이유이다.

이와 더불어, 감축목표를 이행하는 개도국 또한 선진국과 마찬가지로 경제적 부담을 감수해야 하는데, 개도국의 감축목표 강도와 산업구조에 따라 상이한 결과가 도출되었다. 2020년까지 배출집약도(온실가스 배출량/실질 국내총생산)를 2005년 대비 각각 40%와 20% 감축하는 중국과 인도의 경우, 온실가스 배출량은 각각 BaU 대비 21.06%와 4.21% 감소할 것으로 예측되었으며, 온실가스 감축에 따른 비용으로서 실질 국내총생산이 1.59%와 0.01% 감소할 것으로 분석되었다. 특히 인도의 경우 발표된 자발적 감축목표가 BaU와 비교하여 의미 있는 온실가스 감축효과를 도출하지 못할 정도로 낮은 수준인 것으로 평가되었다.

2020년까지 온실가스 절대배출량을 BaU 대비 감축하는 목표를 설정한 한국, 인도네시아, 멕시코 그리고 브라질 역시 감축목표 이행으로 인해 경제적 부담이 발생한다. 특히 인도네시아와 브라질의 경우 상대적으로 높은 비용을 지불할 것으로 분석되었는데, 이는 인도네시아의 에너지 및 에너지집약산업 중심의 산업구조와 브라질의 높은 감축목표에 크게 기인했기 때문이다. 한편 자발적 감축목표를 설정하지 않은 개도국의 경우(ie. 특정 감축행동을 하지 않는 것으로 가정), 다른 개도국의 감축목표 이행으로 인해 추가적인 경제적 반사이득을 볼 것으로 분석되었다.

그림 11 시나리오별 한국의 온실가스 배출량과 실질 국내총생산 변화(2020년)



한국의 경우, 국내 온실가스 배출량뿐만 아니라 거시경제 및 산업구조에도 중요한 변화가 발생할 것으로 분석되었다. 먼저 한국이 특정 감축목표를 이행하지 않고 선진국만 감축목표를 이행하는 시나리오 1의 경우, 오히려 온실가스 배출량과 실질 국내총생산이 2020년

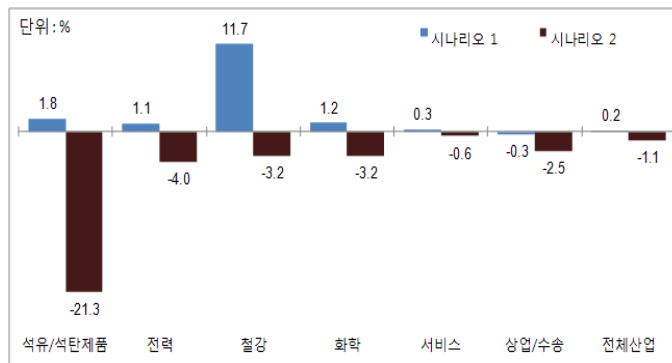
에 BaU 대비 각각 3.12%와 0.15% 증가하는 파급효과가 발생할 것으로 분석되었다<그림 11>. 이는 선진국의 온실가스 감축으로 인해, 에너지집약산업을 중심으로 국제경쟁력이 개선되어 국내 생산 및 소비활동이 확대되기 때문이다. 그러나 선진국과 한국을 포함한 주요 개도국이 자발적 감축목표를 이행할 경우, 직접 감축비용으로 실질 국내총생산이 1.53% 하락할 것으로 분석되었다.

표 8 한국의 거시경제지표 및 온실가스 배출집약도 변화(2020년)

(단위 : BaU 대비 %)

	시나리오 1	시나리오 2
실질 국내총생산	0.15	-1.53
실질 국내소비	0.26	-2.53
실질 수출	-0.63	-3.72
실질 수입	1.16	-2.58
GDP 디플레이터	0.08	-4.66
온실가스 배출량	3.12	-30.00
배출집약도	3.08	-30.02

그림 12 한국의 주요 산업별 생산량 변화(2020년, BaU 대비)



한국의 온실가스 감축목표 이행은 온실가스 배출의 주요 원인인 석탄, 석유, 가스 등과 같은 화석연료의 가격과 각종 재화와 서비스의 생산비용을 상승시킴으로써 국내 소비와 투자를 위축시킨다. 또한 국제무역과 국제 자본투자 패턴의 변화를 야기하여 국내경제에 영향을 준다. 이와 같은 직간접적인 파급효과로 인하여 국내소비 위축, 무역수지 악화 등 비

용이 발생한다<표 8>.

한편, 한국을 포함한 개도국이 특정 감축목표를 이행하지 않는 경우(시나리오 1), 한국의 에너지집약산업의 국제경쟁력이 향상되어 이들 산업을 중심으로 생산량이 증가할 것으로 분석되었다<그림 12>. 그러나 한국을 포함한 주요 개도국이 자발적 감축목표를 이행하는 경우(시나리오 2), 생산비용 증가 및 제품가격이 상승함으로써 소비의 축소를 초래할 뿐만 아니라, 석유/석탄제품, 전력, 철강 및 화학 등 주요 에너지 집약산업의 생산량이 BaU 대비 감소하는 것으로 분석되었다. 특히 시나리오별로 석유/석탄제품의 생산량이 약 21.3% 감소되며, 전력과 철강 산업의 경우에도 각각 4.0%와 3.2%가 감소할 것으로 전망되었다. 그러나 배출집약도가 높지 않은 서비스산업에 끼치는 영향은 상대적으로 미미할 것으로 분석되었다.

Ⅵ. 결론 및 시사점

2009년 12월 덴마크 코펜하겐에서 개최된 COP15/CMP5는 Post-Kyoto 체제에 대한 실질적인 합의를 도출하는 데 실패하였다. 그러나 합의문인 Copenhagen Accord에서는 2010년 1월 31일까지 각 선진국이 자국의 2020년까지의 온실가스 감축목표를 제출하고, 개도국도 온실가스 감축행동 계획을 제출하도록 권고하고 있기 때문에, 향후 각국이 제출할 자발적 온실가스 감축목표와 감축행동의 규모와 내용이 향후 협상의 진행방향과 합의도출 가능성에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

COP15/CMP15 이전에 이미 많은 선진국과 개도국이 2020년까지의 자발적 온실가스 감축목표를 발표하고 자국의 선도적 기후변화 대응노력을 홍보하였다. 그러나 이러한 자발적 감축목표는 강도의 적절성 및 감축목표 이행의 검증 등 다각적인 측면에서 논란의 대상이 되고 있다. 일각에서는 이러한 감축목표가 IPCC(2007)가 권고하는 감축수준에 턱없이 부족하다고 주장하고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근까지 발표된 각국의 2020년까지의 자발적 온실가스 감축목표를 검토하고, Global CGE 모형을 활용하여 이와 같은 목표들에 내재한 온실가스 감축효과와 경제적 파급효과에 대하여 분석하여, 분석결과가 의미하는 환경 및 경제적 시사점을 도출하였다.

선진국이 발표한 자발적 감축목표를 종합하면, 선진국의 온실가스 배출량이 2020년까지 1990년 대비 약 14.0% 감축하는 데 그칠 것으로 분석되었다. 이는 IPCC(2007)의 권고치인

25-40% 감축과는 큰 차이가 있다. 이는 이번 COP15에서 개도국이 선진국의 보다 강한 감축의무를 주장한 이유를 설명하고 있다. 따라서 기후변화 문제 해결을 위한 선진국의 선도적 역할과 역사적 책임이라는 측면에서 그리고 Post-Kyoto 협상의 타결을 위해서는 선진국이 설정한 자발적 감축목표가 전체적으로 상향조정될 필요가 있다. 한편 개도국의 자발적 감축목표 이행은 전 세계 온실가스 배출량을 BaU 대비 약 15.9%까지 감축하는 데 기여할 것으로 분석되었는데, 이는 중국과 인도의 참여에 크게 기인한다. 따라서 향후 Post-Kyoto 체제의 환경적 효과성(environmental effectiveness)을 높이기 위해서는 기존 선진국과 더불어 개도국의 광범위한 참여와 의미 있는 수준에서의 온실가스 감축행동도 동시에 필요하다. 이는 주요 개도국의 감축행동이 전 세계 온실가스 배출량 감축을 위해 필수적이기 때문이다. 선진국과 주요 개도국의 자발적 온실가스 감축목표의 이행은 직접적인 경제적 부담을 발생시키는데, 전 세계 실질 국내총생산이 1.18% 감소할 것으로 분석되었다. 분석결과에 의하면 주요 개도국의 온실가스 감축목표 이행은 개도국 전체적으로는 선진국과 비슷한 수준에서 비용을 부담한다는 것이 확인되었다.

한편 주요 국가의 자발적 감축목표의 이행이 각국의 온실가스 배출량과 경제에 끼치는 영향은 서로 다르게 나타났다. 이러한 영향은 각국의 감축목표 강도 그리고 산업 및 경제 구조 등에 따라 결정된다. 특히 미국의 감축목표는 다른 선진국과 비교하여 상대적으로 부족하며, 인도의 감축목표도 다른 개도국의 감축효과와 비교하여 상대적으로 부족한 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 기후변화대책위원회. 2007. 「기후변화 제4차 종합대책 - 5개년 계획」.
- 녹색성장위원회. 2009. 「국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표 설정 추진계획」.
- 임재규. 2004. “기후변화협약의 경제적 파급효과 및 시사점: Global CGE 모형을 이용한 협상단계별 결과 비교분석”. 『경제학연구』 52(3): 93-121.
- _____. 2006a. 「기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구(제3차년도) : Post-Kyoto 온실가스 감축 의무협상 대응전략 연구」, 정책연구보고서 06-03. 산업자원부 · 에너지경제연구원.
- _____. 2006b. 「기후변화협약 의무부담 협상전략 수립 연구-국제 공동연구를 통한 객관적 대응방향 및 협상전략 개발」, 정책연구보고서 06-23. 산업자원부 · 에너지경제연구원.
- _____. 2007. 「Post-2012 기후변화 대응체제 구축을 위한 다자간 협상 대응전략 연구」, 정책연구보고서 07-06. 산업자원부 · 에너지경제연구원.
- _____. 2009a. “Post-Kyoto 협상의 주요 쟁점사항과 시사점 : 연산일반균형(CGЕ) 모형을 활용한 경제적 분석”. 『자원 · 환경경제연구』 18(3): 457-493.
- _____. 2009b. “한국의 온실가스 중기 감축목표가 경제와 환경에 미치는 파급효과와 시사점”. 『경제학연구』 57(4): 101-134.
- Bernstein, P. M., W. D. Montgomery, T. F. Rutherford, and G. Yang. 1999. “Effects of restrictions on international permit trading: the MS-MRT model”. *Energy Journal*, Special Issue: 221-256.
- Bertina, V. D., R. A. Mcdougall, and T. W. Hertel. 2006. “Chapter 20: Behavioral Parameters”. *GTAP 6 Data Base Documentation*, Global Trade Analysis Project(GTAP). Purdue University.
- Den Elzen, M. G. J. and M. Meinshausen. 2005. *Meeting the EU 2°C Climate Target: Global and Regional Emission Implications*. MNP-report, No. 728001031. Netherlands Environmental Assessment Agency(MNP).
- Den Elzen, M. G. J. and M. M. Berk. 2004. *Bottom Up Approaches for Defining Future Climate Mitigation Commitments*. MNP-report No. 728001029. Netherlands Environmental Assessment Agency(MNP).
- Dixon, P. B., B. R. Parmenter, J. Sutton, and D. P. Vincent. 1982. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. North Holland.
- Dixon, P. B., B. R. Parmenter, A. A. Powell, and P. J. Wilcoxon. 1997. *Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics*. North Holland.

- Energy Information Administration(EIA). 2009. *International Energy Outlook 2009*. Washington, D.C.: U. S. Department of Energy.
- Geurts, B. M. E., A. M. Gielen, R. Nahuis, P. J. G. Tang, and H. R. Timmer. 1997. *WorldScan, Project Report to the National Research Program on Global Air Pollution and Climate Change*. Bilthoven, The Netherlands.
- Grubb, M. 2004. "Kyoto and the Future of International Climate Change Responses: From Here to Where?". *International Review for Environmental Strategies*, 5(1): 15-38.
- Hanoch, G. 1975. "Production and Demand Models in Direct or Indirect Implicit Additivity". *Econometrica*, 43: 395-419.
- Hertel, T. W. 1997. *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press.
- Höhne, N., C. Galleguillos, K. Blok, J. Harnisch, and G. J. M. Phylipsen. 2005. *Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving Newly Industrialized Economies and Developing Countries*. Research Report 201 41 255, UBA-FB 000412. Germany: German Federal Environmental Agency.
- Höhne, N., S. Moltmann, M. Jung, C. Ellermann, and M. Hagemann. 2007. *Climate change Legislation and Initiatives at International Level and Design Options for Future International Climate Policy*. Policy Department, Economic and Scientific Policy, European Parliament.
- IEA. 2008. *World Energy Outlook 2008*.
- _____. 2009. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*.
- IMF. 2009. *World Economic Outlook: Crisis and Recovery*.
- IPCC. 2007a. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.
- _____. 2007b. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Summary for Policy Makers*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.
- Jacoby, H., R. Eckaus, D. Ellerman, R. Prinn, D. Reiner, and Z. Yang. 1997. "CO₂ emissions limits: economic adjustments and the distribution of burdens". *Energy Journal*, 18(3): 31-58.

- Matuoka, Y., M. Kainuma, and T. Morita. 1995. "Scenario analysis of global warming using the Asian Pacific Intergrated Model (AIM)". *Energy Policy*, 23(4/5): 357-371.
- McKibbin, W., M. Ross, R. Shackleton, and P. Wilcoxon. 1999. "Emissions trading, capital flows and the Kyoto Protocol". *Energy Journal*, Special Issue: 287-333.
- OECD. 2008. *OECD Economic Outlook*.
- _____. 2009. *OECD Environment Outlook to 2030*.
- Pew Center on Global Climate Change. 2005. *International Climate Efforts Beyond 2012: Report of the Climate Dialogue at Pocantico*. USA: Pew Center on Global Climate Change.
- Stern, Nicholas. 2006. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. London: HM Treasury UK.
- Tulpulé, V., S. Brown, J. Lim, C. Polidano, H. Pant, and B. S. Fisher. 1999. "The Kyoto Protocol: an economic analysis using GTEM". *Energy Journal*, Special Issue: 257-285.
- UNFCCC. 2009. *Copenhagen Accord*. <http://unfccc.int>