

기후변화 대응에 관한 혼합정책이 온실가스 감축에 미치는 효과에 관한 실증연구

배정환* · 강희찬**

요약 : 전 세계는 기후변화 대응과 경제성장을 목표로 하는 저탄소 경제로의 전환을 위해 다양한 온실가스 감축정책과 재생에너지 확대정책을 시행하고 있다. 본 연구에서는 전 세계 국가들을 대상으로 다양한 온실가스 감축 정책 및 재생에너지정책들이 동시에 시행되는 국가들의 경우 단일한 온실가스 감축 정책이나 재생에너지 정책만이 시행되는 국가들보다 추가적인 온실가스 감축이 이루어졌는지를 실증 분석하였다. 전 세계 온실가스 감축 정책 및 재생에너지 확대 정책을 실시하고 있는 나라들을 대상으로 한 패널계량분석을 실시한 결과, 온실가스 감축 정책 혼합이 온실가스 추가 감축에 일부 기여하는 것으로 나타났으나, 모든 정책 혼합이 추가적인 온실가스 감축을 유도하지는 않는 것으로 분석되었다. 즉, 배출권거래제도와 재생에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable Portfolio Standards)의 정책 혼합과 탄소세제와 발전차액지원제도(FIT, Feed-in Tariff)의 정책 혼합만이 추가적인 온실가스 감축효과를 거둘 수 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 온실가스 저감정책 혼합, 배출권거래제도, 탄소세, 재생에너지 확대정책

JEL 분류 : Q27, Q28, Q41, Q54, Q56

접수일(2014년 11월 8일), 수정일(2014년 11월 28일), 게재확정일(2014년 11월 28일)

* 전남대학교 경제학과 부교수, 제1저자(e-mail: jhbae@chonnam.ac.kr)

** 인천대학교 경제학과 조교수, 교신저자(e-mail: henrykang@incheon.ac.kr)

An Empirical Study on Impacts of Overlapping Climate and Energy Policies on Mitigation of Greenhouse Gas Emissions

Jeong Hwan Bae* and Heechan Kang**

ABSTRACT : Many countries have implemented a variety of climate and energy policies to reduce greenhouse gas emissions and expand renewable energy production. The ultimate goals of those policies are associated with transition to a low-carbon economy that aims to combat climate change and economic growth. This study aims to examine empirically if the countries which implement overlapping climate policies and renewable energy policies show additional reduction of the GHG emissions than the countries which implement single climate or renewable energy policy. The result shows that overlapping policies contribute to reduce additional GHG but not all cases. In particular, only overlapping policies mixing ‘ETS and RPS(renewable portfolio standards)’ and ‘Carbon Tax and FIT(Feed-in Tariff)’ can lead to additional reduction of GHG emissions.

Keywords : Policy mix, Emission trading scheme, Carbon tax, Renewable energy policy

Received: November 8, 2014. Revised: November 28, 2014. Accepted: November 28, 2014.

* 1st author, Associate professor of Dept. of Economics in Chonnam National University
(e-mail: jhbae @chonnam.ac.kr)

** Corresponding Author, Assistant professor of Dept. of Economics in Incheon National University
(e-mail: jhbae@chonnam.ac.kr)

I. 서론

전 세계 많은 국가들은 기후변화 대응의 위급성에 공감하는 상황에서, 다자간 UN 기후변화 협상을 통해 새로운 기후체제의 합의를 2015년까지 달성하기로 하였다. 이러한 노력의 일환으로 각국은 온실가스 감축 목표를 발표하고, 저탄소 경제로의 전환을 통해 경제성장과 환경개선이라는 두 가지 목표를 동시에 달성하기 위해 다양한 정책 수단들을 도입하고 있다. 정책 스펙트럼 상에는 자발적인 온실가스 감축에서부터 인센티브 부여나 강제적인 온실가스 감축 정책과 같이 다양한 기후변화 대응 정책들이 시행되고 있다. 이 가운데 가장 주목받고 있는 온실가스 감축 정책으로는 수량 통제 방식인 ‘배출권거래제’나 가격 통제 방식인 ‘탄소세’ 제도가 있다.

한편 에너지 분야의 정책 가운데 에너지 절약 및 효율개선을 포함한 에너지 수요 관리 정책과 재생에너지 공급의무화 제도(RPS, Renewable Portfolio Standards), 발전차액지원제도(FIT, Feed-in Tariff), 수송용 재생연료의무화제도(RFS, Renewable Fuel Standard)를 포함하는 신·재생에너지 보급 확대 정책들도 온실가스의 주요 배출원인 화석에너지를 이용한 발전 및 자동차를 대체함으로써 온실가스 감축에 간접적으로 기여한다고 볼 수 있다.

전 세계 많은 국가들은 <표 1>에서 보는 것처럼 다양한 온실가스 감축 정책들을 혼합하고 있다. 온실가스 감축 정책은 크게 직접적 배출량 감축정책과 간접적인 온실가스 감축정책인 재생에너지 확대정책으로 구분된다. 직접적인 온실가스 감축정책은 다시 수량기반인 배출권거래제와 가격기반인 탄소세 정책으로 구분되고, 재생에너지 확대정책은 수량기반인 RPS, RFS, 가격기반인 FIT로 구분된다. 많은 국가에서 국가단위로 이러한 정책들이 시행되고 있으나 미국, 캐나다, 호주 등 국가는 주 단위로 정책들을 시행하고 있다. 2013년 현재 각 개별정책을 시행하는 국가들은 배출권거래제도(ETS, Emission Trading Scheme)는 36개국, 탄소세(Carbon Tax)는 18개국이며, 재생에너지정책으로 고정가격매입제도(FIT)는 66개국, 재생에너지 공급의무화 제도(RPS 혹은 RO, Renewable Obligation)는 23개국, 수송용 재생연료의무화제도(RFS)는 25개국이다. 이들 국가 중 온실가스 감축정책을 혼합해서 시행하는 국가를 정책 조합별로 구별하여 <부록 표 1>~<부록 표 5>에 제시하였다.

〈표 1〉 각국의 온실가스 감축정책 현황

배출량감축 재생에너지	배출권거래제도(ETS) (수량기반)	탄소세(Carbon Tax) (가격기반)
고정가격매입제도 (RPS, RFS) (수량기반)	벨기에, 이탈리아, 폴란드 포르투갈, 스웨덴, 영국 미국, 캐나다 일본(지역단위 배출권거래제 시행) 호주(2015년부터 배출권거래제)	스웨덴, 영국, 미국 캐나다, 일본 호주(2015년부터 배출권거래제로 전환)
발전차액지원제도 (FIT) (가격기반)	오스트리아, 키프로스, 체코 덴마크, 에스토니아, 핀란드 프랑스, 독일, 그리스 헝가리, 아일랜드, 이탈리아 룩셈부르크, 몰타, 네덜란드 포르투갈, 슬로바키아, 슬로베니아 스페인, 영국, 크로아티아 미국, 캐나다, 라트비아 리투아니아 일본(지역단위 배출권거래제 시행) 호주(2015년부터 배출권거래제)	핀란드, 네덜란드, 덴마크 영국, 미국, 캐나다 프랑스, 독일, 일본 호주(2015년부터 배출권거래제로 전환)

자료: Unger and Ahlgre(2005)를 바탕으로 재구성.

이처럼 많은 국가들이 온실가스 감축에 직접적 혹은 간접적 영향을 미치는 다양한 정책들을 혼합하여 사용하고 있다. 그러나 아직까지 다양한 기후변화 대응 정책들 간에 상충적 혹은 상보적 효과가 존재하는지에 대한 관심은 크지 않았으며, 동시에 이러한 영향으로 인한 온실가스 목표 달성에 미치는 영향과 경제주체와 시장(에너지 시장 포함)에 미치는 영향에 대한 다각적인 분석이 미흡했다.

기후변화 대응 정책이나 에너지 정책이 환경비용과 기술확산효과(technology spillover effect) 등 외부효과로 인한 시장실패를 내부화하기 위한 수단이지만, 하나의 시장실패에 지나치게 많은 정책이 중복적으로 시행되어 경제주체의 선택을 왜곡하거나 이중 부담을 미칠 가능성이 존재한다. 한편 다수의 시장실패를 하나의 정책으로 해결하려는 노력은, 사회후생 차원에서 시장실패를 충분히 해결하지 못해 시장 가격 신호를 왜곡시켜 저탄소 기술에 대한 투자 가치를 저평가하게 하는 문제를 발생시킬 수 있다. 또한 온실가스 감축 정책을 실시하기 위해서는 온실가스 감축에 관한 한계저감비용과 온실가스 배출 증가로 인한 한계피해비용이 산출되어야 하지만, 불확실성으로 인해 이러한 비용들이 제대로 계산되지 못할 경우 배출권이 과다

혹은 과소하게 허용되거나, 탄소세가 적정수준보다 낮게 혹은 높게 책정됨으로써 사회적으로 바람직한 수준의 온실가스 감축 목표를 달성하지 못할 가능성도 존재하는 것으로 알려져 있다(Robert and Spence, 1976). Robert 와 Spence(1976)는 이처럼 한계저감비용이나 한계피해비용에 불확실성이 게재되는 경우에는 수량제한정책이나 가격제한정책 가운데 한 가지만 적용하기보다는 두 정책을 혼합함으로써 불확실성 문제를 해결할 수 있다고 주장하였다.

본 연구에서는 전 세계 국가들을 대상으로 여러 가지 온실가스 감축 정책 및 재생에너지정책들이 동시에 시행되는 국가들의 경우 단일한 온실가스 감축 정책이나 재생에너지 정책만이 시행되는 국가들보다 추가적인 온실가스 감축이 이루어졌는지를 실증 분석하고자 한다. 2장은 온실가스 감축에 관한 주요 선행연구를 살펴보고, 이를 토대로 다양한 온실가스 감축 정책들의 온실가스 감축 효과에 관한 가설을 설정하였다. 이어서 3장에서는 각 해당 가설을 검증하기 위해 계량모형을 설정하고, 모형의 추정방법에 대해 설명하였다. 4장에서는 사용된 데이터와 기술통계량, 그리고 모형 추정결과를 설명하였다. 5장은 연구 내용과 결과를 요약하고, 정책적 시사점을 도출하였다.

II. 선행연구 및 기본 가설

온실가스 감축정책의 효과에 관한 실증적 연구 결과는 온실가스 감축 정책을 중첩해서 시행할 경우 단독으로 정책을 시행하는 경우와 비교했을 때 부정적 혹은 긍정적 영향이 모두 존재한다는 것이다.¹⁾ Morris(2009)는 미국 전체에 배출권거래제도와 재생에너지공급의무화제도(RPS)가 중첩하여 도입될 경우 사회적 비용이 증가하고, 발전사들의 감축 대안 선택이 감소하는 비효율이 발생할 것으로 추정하였다. 한편 Böhringer and Rosendahl(2010)과 Abrell and Weigt(2008), Unger and Ahlgren(2005)의 연구에서는 EU-ETS와 RPS제도를 중첩하여 시행할 경우 사회적 비용을 증가시킨다는 것을 발견했다. 특히 Böhringer and Rosendahl(2010)은 배출권거래제

1) 국내의 경우 온실가스 배출권거래제와 재생에너지의무화제도의 정책 혼합에 대한 이론적인 연구(정경화, 2011)가 있으나, 이는 탄소저감기술에 대한 R&D 투자에 미치는 영향을 다루고 있기 때문에 직접적인 관련은 없다고 하겠다.

도와 재생에너지공급의무화제도가 중첩 도입될 경우 배출량이 높은 기술(예를 들어 석탄발전)이 전력시장에서 더 확대되는 비대칭적 효과가 발생할 수 있다고 주장하고 있다. Amundsen and Mortensen(2001)은 덴마크 전력시장 분석을 통해 배출권거래제도가 시행되는 상황에서 재생에너지공급 의무 비중이 증가함에 따라 재생에너지 발전량이 증가하기는커녕 오히려 재생에너지 발전용량은 감소할 수 있다고 분석하였다. Paltsev et al.(2009)은 미국의 예를 통해 주(州) 단위 RPS 정책이 시행되는 주에 연방단위 배출권거래제가 도입됨에 따라, 배출감축 목표에는 도달할 수 있으나 비용이 크게 - ETS를 단독 사용하는 경우에 비해 비용은 27% 증가 - 늘어난다는 점을 지적하였다.

이러한 부정적인 실증결과와는 달리 Pethig and Wittlich(2009)는 재생에너지정책과 탄소배출권거래제도가 함께 도입될 경우 상호 긍정적인 영향을 미치며, 소비재와 에너지 재화 사이에 대체탄력성이 높을수록 부작용보다는 긍정적 효과가 더 크게 나타난다고 주장하였다. De Jonghe et al.(2009)²⁾는 배출권거래제도와 재생에너지 정책의 적용분야를 분리해서 시행할 경우에는, 배출권거래제도가 간접적으로 재생에너지 확대에 긍정적인 영향을 미치거나, 재생에너지확대정책이 간접적으로 온실가스 감축에 긍정적 영향을 미친다고 주장한다.

이러한 온실가스 감축정책이 중첩됨에 따른 장단점을 고려했을 때, 온실가스 저감정책을 제한적으로 혼합할 것을 제안하는 연구들도 있다. Fischer and Preonas(2010)의 연구에 따르면 온실가스 배출권의 가격이 시장에서 자율적으로 매겨지는 시장메커니즘에서는 추가적인 재생에너지 정책이 추가적인 온실가스 감축을 유발하지 못하기 때문에, 시장 실패가 있는 부문에 있어서만 추가적인 재생에너지 정책이 도입되는 것이 타당하다고 주장한다. 여기서, 재생에너지 도입을 정당하게 만드는 대표적인 시장실패 사례는 기술의 확산효과(spillover)와 전력시장 규제이다. Sorrell(2003)은 영국의 전기에너지 생산에 재생에너지의 비율을 목표로 정하는 재생에너지의무할당제와 에너지효율개선정책(Energy Efficiency Commitment)³⁾이 ETS와 공

2) 그러나 이런 긍정적인 효과는 매우 제한적인 경우에 한해서 발생한다(특정분야에 대한 제한적인 배출권거래제와 RPS를 도입한 경우).

3) 가정의 에너지 효율성에 대한 투자를 장려하기 위한 RO와 유사한 제도로 시장기반의 제도임.

존하는 것이 가능하나, 목표설정, 이중계상과 규제상의 문제점이 있기 때문에 이러한 정책들을 본래의 에너지정책의 목적(에너지안보 및 에너지원다변화)을 충족하는 목적을 경우로 이용할 것을 제시하였다.

이처럼 기존 선행연구들은 온실가스 감축 정책을 중첩하여 시행하는 것의 효과에 대해 긍정적으로 평가하기도 하고 다른 한편에서는 부정적으로 평가하기도 한다. 그러나 이러한 기존 선행연구들은 거의 모든 연구에서 특정 국가단위의 온실가스 감축정책 혼합의 효과를 분석하고 판단하는 것에 그친 한계가 있다.

그래서 본 논문은 지금까지 전 세계적으로 실행되어온 온실가스 감축 정책들이 얼마나 추가적인 온실가스 감축 효과를 발생시키는지 실증적으로 분석하였다는 점에서 선행연구와 차별적이다. 실증 분석을 위해 우선 온실가스 감축 정책을 직접적인 정책과 간접적인 정책으로 구분하였다. 즉, 온실가스 감축을 직접적으로 목적으로 하는 온실가스 배출권 거래제도(ETS)와 탄소세 제도는 직접적인 정책으로 간주하였고, 재생에너지 공급의무화제도(RPS), 재생연료의무화제도(RFS), 발전차액지원제도(FIT)는 간접적으로 온실가스 감축에 기여하는 정책으로 구분하였다.

과연 온실가스 감축정책들이 얼마나 효과적이었는지 실증적으로 평가하기 위해 설정한 기본 가설은 다음과 같다.

“가설 I: 직접적인 온실가스 감축 정책인 ETS와 탄소세 정책은 온실가스 감축에 실질적인 효과가 있을 것이다.”

“가설 II: 간접적인 온실가스 감축정책인 RPS, RFS, FIT 정책은 신·재생에너지 생산을 증가시킴으로써 온실가스 배출의 주요 요인인 화석연료를 대체하고 이를 통해 온실가스 감축에 간접적으로 기여할 것이다.”

“가설 III: 직접적인 온실가스 감축정책과 간접적 온실가스 정책(신·재생에너지 확대 정책)을 동시에 실시하는 경우에는 추가적인 온실가스 감축의 효과가 불확실하다.”

“가설 IV: 직접적인 온실가스 감축 정책 내에서 ETS와 탄소세 정책을 병행 실시하는 국가의 경우 온실가스 감축의 추가적인 효과가 불확실하다.”

“가설 V: 신·재생에너지 확대 정책에 있어서도 RPS, RFS, FIT 정책이 중첩되는 경우에는 추가적인 신·재생에너지 생산 확대가 불확실하다.”

가설 I과 II는 온실가스 감축정책들의 개별 효과를 추정하기 위함이고, 가설 III~V는 온실가스 감축정책들의 중첩효과를 추정하기 위함이다. 즉, 온실가스 감축이라는 정책 목표를 달성하기 위해 단일한 정책이 아닌 복수의 정책들이 중복되어 실시될 경우 이는 규제 대상에게 이중 부담을 지을 뿐만 아니라 시장 왜곡 문제를 가중시킴으로서 정책의 효과를 저하시킬 수 있는 반면, 불확실성 문제가 개입되거나 해당 분야별로 분리해서 추진되는 경우 추가적인 온실가스 감축이 가능할 수도 있다. 본 연구는 과연 이러한 정책 중복효과가 실제로 추가적인 온실가스 감축을 유발하는지, 또한 어떤 정책 결합에서 더 두드러지게 추가적인 온실가스 감축효과가 나타나는지를 실증 분석하고자 하는 것이다.

III. 모형과 추정 방법

온실가스 감축정책이 온실가스 배출에 미치는 영향을 평가하기 위해 크게 두 가지 모형을 사용하였다. 우선 온실가스 감축 정책의 개별 효과를 추정하기 위한 ‘개별효과모형’과 정책들이 중복되는 경우에 대한 ‘중복효과모형’으로 구분하였다. 우선 개별효과모형은 다시 기본형(1)과 확장형(2)으로 다음과 같이 구분하였다.

1. 개별효과 기본모형

일인당 온실가스 배출량(pco_2)은 일인당국내총생산액($pgdp$)에 관한 비선형함수(역U자형)와 인구밀도, 국내총생산 대비 수출비중(교역조건)에 의해 영향을 받는 것으로 기본 모형(모형 1)을 구성하였다. 환경오염과 경제성장간에는 역U자형 관계가 존재한다는 기존의 환경쿠즈네츠곡선가설(EKC, Environmental Kuznets Curve Hypothesis)⁴⁾에 기초하여 온실가스와 국내총생산 간의 역U자형 관계가 존재하는지를 검토하였다. 몇몇 연구에서는 온실가스와 경제성장간에 N자형의 관계가 존재함을 밝힌 바가 있어, 본 연구에서도 N자형이 존재하는지를 검토하였으나, N자형의 관계는 존재하지 않는 것으로 나타나 기본 모형을 역U자형의 관계로 설정하였다.

4) Grossman, Gene M. and Alan B. Kruger, “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, Woodrow Wilson School, Princeton University, Discussion Paper, 1991, No. 158.

한편 인구밀도(*pdensity*)가 높을수록 경제활동이 보다 집약적이고, 환경문제의 관리도 보다 용이하다는 점에서 인구밀도가 높을수록 온실가스 배출량은 줄어들 것으로 보았다. 또한 ‘공해안식처 가설’(Cole, 2004)에 따르면 선진국일수록 환경오염규제나 온실가스 배출 규제가 강화되기 때문에 개도국으로 공해산업이나 온실가스 다배출 업종들이 이전하게 되고 이들 개도국들의 경우 수출의존형이 된다는 점에서 교역조건(*tot*)이 수출 중심일수록 온실가스 배출량이 증가할 것으로 기대하였다. 또한 재생에너지생산비율(*alte*)이 높을수록 온실가스 배출량은 감소할 것으로 보았다.

모형 1.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} = & \alpha_0 + \alpha_1 pgdp_{i,t} + \alpha_2 pgdp_{i,t}^2 + \alpha_4 pdensity_{i,t} \\
 & + \alpha_4 tot_{i,t} + \alpha_5 alte_{i,t} + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2. 개별효과 확장모형

확장모형은 위에서 설명한 기본모형에서 일인당에너지소비량(*penergyd*)을 추가하였다. 즉, 일인당에너지소비량이 증가할수록 온실가스 배출량이 일반적으로 증가한다고 가정한 것이다(모형 2). 모형 2에서 다시 외국인직접투자변수(*fdi*)를 추가함으로써, 공해안식처 가설에 대한 추가적인 고려를 할 수 있도록 하였다. Eskeland and Harrison(2003)⁵⁾의 결과와 같이 외국인 직접투자가 늘어난다는 것은 선진국에서 공해산업이 개도국에 대한 직접투자를 늘림으로써 환경규제를 피하기 위한 목적이 있을 수 있고, 반면에 선진국의 높은 환경규제 수준이 개도국에 대한 직접투자를 통해 환경에 대한 인식 수준이 높아질 가능성도 공존한다고 볼 수 있다. 따라서 해외직접투자가 늘어날 경우 온실가스 배출량은 늘어날 수도 있고, 줄어들 여지도 존재한다(모형 3).

<모형 3>에서 다시 에너지효율지수를 나타내는 에너지집약도⁶⁾(*effd*), 온실가스

5) Eskeland and Harrison(2003)은 미국이 해외 4개 개도국에 대한 직접투자(FDI)한 자료에 대한 패널분석을 통해 선진국 공해(公害)기업이 개도국으로 생산공장을 이전하는 경우를 발견하였지만 동시에 이들 진출기업이 개도국 내 다른 유사기업에 비해 높은 기술력을 바탕으로 상대적으로 높은 환경성과를 거둔다는 것을 발견하였다.

6) 에너지집약도는 국내총생산 1단위당 소비되는 에너지 사용량을 나타내며, 이 수치가 증가할수록 에너

직접 규제정책인 배출권거래제(*ets*) 및 탄소세(*ctax*) 정책, 간접 규제 정책인 발전차액지원제도(*fit*), 재생에너지공급의무화(*rps*), 수송부문재생연료의무화(*rfs*)에 대한 국가별 시행여부를 나타내는 더미 변수들을 추가한 것이 <모형 4>가 된다. 에너지를 효율적으로 관리하는 국가일수록 온실가스 배출량은 줄어들 것이라는 점에서 에너지가 얼마나 비효율적으로 사용되고 있는지를 나타내는 에너지집약도는 온실가스 배출량과 양정부호의 관계에 있다고 볼 수 있다. 한편 온실가스에 대한 직접규제정책들은 온실가스 배출수준을 억제하는 역할을 하겠지만 온실가스 간접규제정책들은 일차적인 목적이 재생에너지 공급 확대에 있고, 재생에너지가 정부 보조금이나 의무화제도를 통해 과다 공급된다면 이는 온실가스 배출권 거래시장에서 공급비용을 낮추게 되고, 온실가스 배출권 거래가격의 하락을 가져오게 됨으로써 적정 온실가스 배출권보다 많은 온실가스 배출권이 거래되는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 재생에너지 정책들이 온실가스 배출수준에 미치는 영향은 불확실한 것으로 볼 수 있다<모형 4>.

모형 2.

$$pco2_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4tot_{i,t} + \alpha_5alte_{i,t} + \alpha_6penerygd_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

모형 3.

$$pco2_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4tot_{i,t} + \alpha_5alte_{i,t} + \alpha_6penerygd_{i,t} + \alpha_7fdi_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

모형 4.

$$pco2_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4tot_{i,t} + \alpha_5alte_{i,t} + \alpha_6penerygd_{i,t} + \alpha_7fdi_{i,t} + \alpha_8effd_{i,t} + \alpha_9rps_{i,t} + \alpha_{10}rfs_{i,t} + \alpha_{11}fit_{i,t} + \alpha_{12}ets_{i,t} + \alpha_{13}ctax_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

지 효율은 감소한다. 따라서 에너지집약도는 한 국가에서 에너지수요관리를 통해 얼마나 에너지 효율 개선을 위해 노력하는지를 대변하는 변수라고 볼 수 있다.

3. ETS와 신·재생에너지 정책 간 중복효과 모형

<모형 4>를 기반으로 하여 ETS 정책이 재생에너지 정책들과 동시에 시행되는 국가들의 경우 온실가스 배출량이 추가적으로 감소되는 지를 살펴보기 위해 <모형 5>를 설정하였다. 이를 위해 ETS를 실시하는 국가들에 대한 더미변수와 RPS, RFS, FIT를 각각 시행하는 국가들에 대한 더미변수들의 교차항들(ETS와 RPS(*ets_rps*), ETS와 RFS(*ets_rfs*), ETS와 FIT(*ets_fit*))을 추가하였다. 이러한 교차항들의 파라미터들의 통계적 유의도와 부호를 검증함으로써 ETS와 신·재생에너지 혼합 정책이 온실가스 배출을 추가적으로 감소시키는지 판단할 수 있게 된다.

모형 5.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} = & \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4tot_{i,t} \\
 & + \alpha_5alte_{i,t} + \alpha_6penerygd_{i,t} + \alpha_7fdi_{i,t} + \alpha_8effd_{i,t} \\
 & + \alpha_9rps_{i,t} + \alpha_{10}rfs_{i,t} + \alpha_{11}fit_{i,t} + \alpha_{12}ets_{i,t} + \alpha_{13}ctax_{i,t} \\
 & + \alpha_{14}ets_rps_{i,t} + \alpha_{15}ets_rfs_{i,t} + \alpha_{16}ets_fit_{i,t} + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{5}$$

4. 탄소세와 신·재생에너지 정책 간 중복효과 모형

<모형 6>에서는 또 다른 온실가스 직접규제정책인 ‘탄소세 정책’과 신·재생에너지 정책들이 중복되어 시행되고 있는 국가들에서 추가적인 온실가스 감축이 나타나는지 검증하기 위해 탄소세를 시행하는 국가들에 대한 더미변수와 RPS, RFS, FIT를 각각 시행하는 국가들에 대한 더미변수들의 교차항들(탄소세와 RPS(*ctax_rps*), 탄소세와 RFS(*ctax_rfs*), 탄소세와 FIT(*ctax_fit*))을 모형에 추가하였다. 이들 교차항들의 파라미터의 부호와 통계적 유의도를 검증함으로써 탄소세와 신·재생에너지 정책들의 중복효과가 어떻게 나타나는지를 평가할 수 있게 된다.

모형 6.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} = & \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4tot_{i,t} \\
 & + \alpha_5alte_{i,t} + \alpha_6penerygd_{i,t} + \alpha_7fdi_{i,t} + \alpha_8effd_{i,t} \\
 & + \alpha_9rps_{i,t} + \alpha_{10}rfs_{i,t} + \alpha_{11}fit_{i,t} + \alpha_{12}ets_{i,t} + \alpha_{13}ctax_{i,t} \\
 & + \alpha_{14}ctax_rps_{i,t} + \alpha_{15}ctax_rfs_{i,t} + \alpha_{16}ctax_fit_{i,t} + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{6}$$

5. ETS와 탄소세 간 중복효과 모형

<모형 7>에서는 온실가스 직접 규제 정책들인 ETS와 탄소세 제도를 동시에 시행하는 국가들의 경우 온실가스 배출량이 추가적으로 감소하는지를 검토하기 위해 ETS를 시행하는 국가들에 대한 더미변수와 탄소세 제도를 운영하는 국가들에 대한 더미변수들의 교차항(ETS와 탄소세(*ets_ctax*))을 추가하였다. 이들 교차항들의 파라미터들의 부호와 통계적 유의성을 검증함으로써 온실가스 배출 수준에 미치는 영향을 판단할 수 있다.

모형 7.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} = & \alpha_0 + \alpha_1 pgdp_{i,t} + \alpha_2 pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3 pdensity_{i,t} + \alpha_4 tot_{i,t} \\
 & + \alpha_5 alte_{i,t} + \alpha_6 penergyd_{i,t} + \alpha_7 fdi_{i,t} + \alpha_8 effd_{i,t} + \alpha_9 rps_{i,t} \\
 & + \alpha_{10} rfs_{i,t} + \alpha_{11} fit_{i,t} + \alpha_{12} ets_{i,t} + \alpha_{13} ctax_{i,t} \\
 & + \alpha_{14} ets_ctax_{i,t} + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{7}$$

6. 신·재생에너지 정책 간 중복효과 모형

마지막으로 <모형 8>에서는 신·재생에너지 정책들인 RPS, RFS, FIT 제도 간의 중복효과를 살펴보기 위해 RPS, RFS, FIT를 각각 시행하는 국가들에 대한 더미변수들의 교차항들(RPS와 RFS(*rps_rfs*), RPS와 FIT(*rps_fit*), RFS와 FIT(*rfs_fit*))을 추가하였다. 이를 통해 신·재생에너지 정책이 중복되는 국가들의 경우 온실가스 배출이 추가적으로 감소되는지의 여부를 평가하였다.

모형 8.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} = & \alpha_0 + \alpha_1 pgdp_{i,t} + \alpha_2 pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3 pdensity_{i,t} + \alpha_4 tot_{i,t} \\
 & + \alpha_5 alte_{i,t} + \alpha_6 penergyd_{i,t} + \alpha_7 fdi_{i,t} + \alpha_8 effd_{i,t} + \alpha_9 rps_{i,t} \\
 & + \alpha_{10} rfs_{i,t} + \alpha_{11} fit_{i,t} + \alpha_{12} ets_{i,t} + \alpha_{13} ctax_{i,t} + \alpha_{14} rps_rfs_{i,t} \\
 & + \alpha_{15} rps_fit_{i,t} + \alpha_{16} rfs_fit_{i,t} + \epsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{8}$$

7. 추정 방법

패널데이터이므로 통상 패널고정효과모형과 패널확률효과모형이 이용되며 본 연

구에서는 패널고정효과모형을 일차적으로 이용하였다. 하우스만 테스트 결과 패널 고정효과모형이 더 적합한 것으로 나타났다. 따라서 <모형 1>~<모형 8>의 추정에는 패널고정효과모형이 사용되었다. 한편 선행연구에 의하면 온실가스 배출량과 경제성장 간에는 내생성 문제가 존재할 수 있다(Barassi and Spagnolo, 2012). 통상 내생성 문제를 해결하기 위해 도구변수법이나 연립방정식 모형을 사용하는데, 두 가지 방법을 모두 사용한 결과 연립방정식 모형이 보다 추정 결과가 적절한 것으로 나타났다. 또한 도구변수법을 사용할 경우 추정량의 일치성은 개선될 수 있지만, 효율성은 오히려 약화될 수 있다(Greene, 2008). 이에 따라 다음과 같이 4가지 유형의 연립방정식 모형을 구성하였다.

sim1.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} &= \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4ets_{i,t} \\
 &\quad + \alpha_5ctax_{i,t} + \alpha_6effd_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \\
 pgdp &= \beta_0 + \beta_1export_{i,t} + \beta_2import_{i,t} + \beta_3fdi_{i,t} + \beta_4penergyd_{i,t} \\
 &\quad + u_{i,t} \\
 alte &= \gamma_0 + \gamma_1fit_{i,t} + \gamma_2rfs_{i,t} + \gamma_3rps_{i,t} + \gamma_4ets_{i,t} + \theta_{i,t}
 \end{aligned} \tag{9}$$

sim2.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} &= \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4ets_{i,t} \\
 &\quad + \alpha_5ctax_{i,t} + \alpha_6effd_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \\
 pgdp_{i,t} &= \beta_0 + \beta_1export_{i,t} + \beta_2import_{i,t} + \beta_3fdi_{i,t} + \beta_4penergyd_{i,t} \\
 &\quad + u_{i,t} \\
 alte_{i,t} &= \gamma_0 + \gamma_1fit_{i,t} + \gamma_2rfs_{i,t} + \gamma_3rps_{i,t} + \gamma_4ets_{i,t} + \gamma_5ctax_{i,t} + \theta_{i,t}
 \end{aligned} \tag{10}$$

sim3.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} &= \alpha_0 + \alpha_1pgdp_{i,t} + \alpha_2pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3pdensity_{i,t} + \alpha_4ets_{i,t} \\
 &\quad + \alpha_5ctax_{i,t} + \alpha_6effd_{i,t} + \alpha_7ets_rps_{i,t} + \alpha_8ets_rfs_{i,t} \\
 &\quad + \alpha_9ets_fit_{i,t} + \epsilon_{i,t} \\
 pgdp_{i,t} &= \beta_0 + \beta_1export_{i,t} + \beta_2import_{i,t} + \beta_3fdi_{i,t} + \beta_4penergyd_{i,t} + u_{i,t} \\
 alte_{i,t} &= \gamma_0 + \gamma_1fit_{i,t} + \gamma_2rfs_{i,t} + \gamma_3rps_{i,t} + \gamma_4ets_{i,t} + \theta_{i,t}
 \end{aligned} \tag{11}$$

sim4.

$$\begin{aligned}
 pco2_{i,t} &= \alpha_0 + \alpha_1 pgdp_{i,t} + \alpha_2 pgdp_{i,t}^2 + \alpha_3 pdensity_{i,t} + \alpha_4 ets_{i,t} & (12) \\
 &+ \alpha_5 ctax_{i,t} + \alpha_6 effd_{i,t} + \alpha_7 ets_rps_{i,t} + \alpha_8 ets_rfs_{i,t} \\
 &+ \alpha_9 ets_fit_{i,t} + \alpha_{10} ctax_rps_{i,t} + \alpha_{11} ctax_rfs_{i,t} \\
 &+ \alpha_{12} ctax_fit_{i,t} + \epsilon_{i,t} \\
 pgdp_{i,t} &= \beta_0 + \beta_1 export_{i,t} + \beta_2 import_{i,t} + \beta_3 fdi_{i,t} + \beta_4 penergyd_{i,t} + u_{i,t} \\
 alte_{i,t} &= \gamma_0 + \gamma_1 fit_{i,t} + \gamma_2 rfs_{i,t} + \gamma_3 rps_{i,t} + \gamma_4 ets_{i,t}
 \end{aligned}$$

<sim1> 모형을 기본으로 하며, 온실가스 추정식과 일인당총생산 추정식, 그리고 재생에너지 생산비중 추정식의 3개의 연립방정식으로 구성된다. 이때 내생변수로는 일인당 온실가스 배출량, 일인당 GDP, 재생에너지생산비중⁷⁾ 변수(*alte*)가 된다. 온실가스 감축정책과 신·재생에너지 정책들은 재생에너지생산비율(*alte*)에 직·간접적인 영향을 미친다는 점에서 재생에너지생산비율에 관한 방정식을 포함시켰다. 각 방정식별로 추가되는 외생변수에 따라 <sim2>, <sim3>, <sim4>가 결정되며, <sim1>과 <sim2>은 온실가스 규제정책의 단일 효과를 추정함을 목적으로 하고, <sim3>와 <sim4>는 온실가스 직접규제 정책과 간접정책인 신·재생에너지 확대 정책 간의 중복효과를 추정하기 위함이다. 이들 연립방정식들은 3SLS(Three Stage Least Square)에 의해 추정하였다. 연립방정식의 파라미터를 추정하기 위해서는 2SLS, 3SLS, FIML(Full Information Maximum Likelihood), GMM(Generalized Method of Moment) 등을 이용할 수 있다(Green, 2008). 2SLS는 연립방정식을 단축형(reduced form)으로 치환하여 단일 방정식의 파라미터를 추정하기 때문에 추정의 효율성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 일반적으로는 3SLS, FIML, GMM 등을 많이 사용하는 데 이는 연립방정식의 파라미터들을 동시에 추정함으로써 효율성을 높일 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 3SLS를 이용하여 연립방정식의 해를 추정하였다.

7) 세계은행 데이터에는 재생에너지뿐만 아니라 원자력에너지 생산량도 포함되어 있으나, 재생에너지생산분만 따로 추출할 수 없기 때문에, 본 연구에서는 이를 재생에너지생산변수로 보았다. 보다 정확한 분석을 위해서는 재생에너지생산분만 따로 추출할 필요가 있다.

IV. 데이터 및 추정결과

1. 데이터와 기술통계량

대상 연도는 1990~2009년이고, 대상 국가는 1990년에 83개국에서 2009년 기준 110개국을 대상으로 하는 불균형 패널데이터를 이용하였다. 온실가스 배출량과 GDP, 인구, 인구밀도, 에너지소비량, 수출액, 수입액, 외국인직접투자액 등은 세계은행에서 자료를 수집하였고, ETS, 탄소세, 신·재생에너지 정책들에 대한 국가별 연도별 시행 여부에 대한 자료는 부록에서 상세하게 기술하였다. 다만 주별로 온실가스 감축정책이 시행된 나라들은 호주, 벨기에, 인도, 캐나다, 미국이며, 정책이 시행되는 주의 누적 총생산의 합이 국가 GDP 대비 50% 이상인 경우에는 국가 전체로 제도가 시행되는 것으로 간주하였다. 이에 따라 미국의 경우 RPS가 2004년, 벨기에의 경우 RPS가 2002년, 캐나다의 경우 RPS가 2004년, 호주는 RPS가 2002년, 인도는 FIT가 2006년부터 시행되는 것으로 간주하였다.

주요 변수들에 대한 기술통계량을 살펴보면, 우선 일인당 온실가스 배출량은 평균값이 5TCO_2 이고, 최소 0.0097TCO_2 에서 최대 59톤에 이르는 것으로 나타났다. 일인당 국내총생산은 평균 7,538달러이고, 최소 83달러, 최대 56,285달러이다⁸⁾. 온실가스 총배출량은 평균 2.16억 톤, 최소 14,668톤, 최대 77억 톤에 이르는 것으로 나타났다.

ETS를 시행하는 국가는 6.09%, 탄소세 시행국가는 전체 대비 6.18%, RPS 시행국가는 3.41%, RFS 시행국가는 1.2%, FIT 시행국가는 15.14%로 나타났다. 한편 탄소세와 ETS를 병행하여 시행하는 국가들은 1.57%로 나타났고, ETS와 RPS를 중복 시행하는 국가는 1.43%, ETS와 FIT를 중복시행하는 국가는 4.25%, ETS와 RFS를 중복시행하는 국가는 0.09%, 탄소세와 RPS를 중복시행하는 국가는 0.69%, 탄소세와 RFS를 중복시행하는 국가는 0.09%, 탄소세와 FIT를 중복시행하는 국가는 1.52%로 나타났다.

한편 신·재생에너지 정책을 중복하여 시행 중인 국가들을 살펴보면, RPS와 FIT

8) 일인당 국내총생산액은 2000년 기준 불변가격을 기준으로 나타낸 것이다.

를 중복시행하는 국가는 0.92%, RPS와 RFS를 중복 시행하는 국가는 0.32%, RFS와 FIT를 중복시행하는 국가는 0.32%로 나타났다. RPS, RFS, FIT 모든 제도를 동시에 시행하는 국가는 없는 것으로 나타났다.

〈표 2〉 기술통계량

변수 설명	변수 명	평균	표준편차	최솟값	최댓값
인당 CO ₂ 배출량(TCO ₂)	<i>pco2</i>	4.9925	5.1899	0.0097	58.7694
신·재생+원자력 생산비중(%)	<i>alter</i>	9.5719	13.2265	0.0000	81.7376
일인당 GDP(US\$ ⁹⁾)	<i>pgdp</i>	7538	10248	83	56285
인구밀도(명/km ²)	<i>pdensity</i>	195.4459	739.2966	1.5522	7125.1430
일인당 에너지소비량(TOE)	<i>penergyd</i>	2,161.3550	2,225.2210	116.5115	17,619.9600
GDP 대비 외국인직접투자비중(%)	<i>fdi</i>	3.7614	6.7946	-63.4124	172.7155
ETS와 RPS 중첩	<i>ets_rps</i>	0.0143	0.1188	0	1
ETS와 FIT 중첩	<i>ets_fit</i>	0.0425	0.2017	0	1
RPS와 FIT 중첩	<i>rps_fit</i>	0.0092	0.0956	0	1
ETS와 RFS 중첩	<i>ets_rfs</i>	0.0009	0.0304	0	1
RPS와 RFS 중첩	<i>rps_rfs</i>	0.0032	0.0568	0	1
RFS와 FIT 중첩	<i>rfs_fit</i>	0.0032	0.0568	0	1
에너지집약도	<i>effd</i>	0.7315	0.8040	0.0575	5.8812
수입대비 수출비중	<i>tot</i>	0.9711	0.3402	0.1111	3.9839
RPS	<i>rps</i>	0.0341	0.1817	0	1
FIT	<i>fit</i>	0.1514	0.3585	0	1
ETS	<i>ets</i>	0.0609	0.2392	0	1
RFS	<i>rfs</i>	0.0120	0.1089	0	1
탄소세	<i>ctax</i>	0.0618	0.2409	0	1
탄소세와 ETS 중첩	<i>ets_ctax</i>	0.0157	0.1243	0	1
탄소세와 RFS 중첩	<i>ctax_rfs</i>	0.0009	0.0304	0	1
탄소세와 FIT 중첩	<i>ctax_fit</i>	0.0152	0.1225	0	1
탄소세와 RPS 중첩	<i>ctax_rps</i>	0.0069	0.0829	0	1

9) 2000년 기준 US\$ 불변가격.

2. 개별효과모형 추정 결과

기본 모형인 <모형 1>을 우선 살펴보면, 재생에너지 생산비중이 증가함에 따라 온실가스 배출이 줄어드는 것을 알 수 있고, 일인당 GDP에 대해서는 역U자형의 관계에 있음을 알 수 있다. 또한 인구밀도가 증가할수록 온실가스 배출량이 감소함을 알 수 있다. 이들 변수들은 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 다만 수입 대비 수출 비중인 교역조건이 개선됨에 따라 온실가스 배출량이 감소하지만 통계적으로는 유의하지 않았다. 모형 전체의 적합도를 나타내는 R^2 는 16.6%로 낮은 편임을 알 수 있다.

이어서 일인당 에너지 수요 변수를 추가한 <모형 2>의 추정결과를 살펴보면, <모형 1>에서 사용된 변수들에 대한 추정결과가 기본적으로 유사하게 나타났고, 다만 교역조건이 개선됨에 따라 온실가스 배출량도 늘어나는 것으로 나타났지만 여전히 통계적으로 유의하지는 않아 ‘공해안식처 가설(Pollution haven hypothesis)’을 확신할 수 없었다. 또한 일인당에너지수요(*penenergyd*)가 증가함에 따라 온실가스 배출량은 증가하며, 이 변수의 추가로 인해 R^2 값은 37%로 크게 증가함을 알 수 있다.

<모형 3>은 <모형 2>에 해외직접투자(*fdi*)를 추가한 것으로, 추정결과 교역조건과 더불어 해외직접투자변수도 통계적으로 유의하지 않음을 알 수 있다. 이는 선진국의 해외직접투자자로 인해 개도국에 온실가스 배출량이 증가 자체가 그리 크지 않거나, 배출량이 증가했다 하더라도 개별 생산시설에 적용된 온실가스 감축 기술로 인해 순(純)배출량은 통계적으로 유의할 정도로 증가하지 않았다는 것으로 유추할 수 있다. <모형 4>에서는 국내총생산 대비 에너지사용량을 나타내는 에너지원단위(*effd*)와 온실가스 감축 정책에 대한 터미변수들을 추가해 보았는데, 에너지원단위가 증가할수록 온실가스 배출량이 증가함을 알 수 있었다. 즉, 에너지효율이 악화될수록 온실가스 배출량이 증가한다는 것이다. 한편 RPS와 RFS 시행국가들은 온실가스가 오히려 증가하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았고, FIT를 시행하는 국가의 경우 시행하지 않는 국가보다 온실가스가 추가적으로 감축됨을 알 수 있다. 이처럼 신·재생에너지 확대 정책의 경우에는 화석연료를 대체하는 효과가 있는 반면에, 다양한 경로를 통해 간접적으로 온실가스 배출량에 영향을 미치기 때문에 실증연구 결과가 보여주듯이 반드시 온실가스를 감소시킨다고 할 수는 없다는 결론에 도달하였다.

한편 ETS와 탄소세를 시행하는 국가들의 경우 온실가스가 추가적으로 감축되며, 특히 ETS의 경우에는 통계적으로도 유의하게 나타났다. 현실적으로 ETS는 조세저항의 문제도 없고, 보다 유연한 대응이 가능하다는 점에서 많은 국가들이 채택하고 있고, 실증적으로도 이 정책이 탄소세에 비해 온실가스 저감에 더 유리함을 보여준다 하겠다. 특히 FIT와 ETS제도는 부호도 가설과 부합할 뿐만 아니라 통계적으로도 10% 이내에서 유의한 것으로 나타나, 온실가스 감축수단으로 가장 유효한 정책임을 알 수 있다.

〈표 3〉 개별효과모형 추정결과 비교

변수 \ 모형	모형 1	모형 2	모형 3	모형 4
<i>alte</i>	-0.0496*** (0.0081)	-0.0592*** (0.0067)	-0.0595*** (0.0067)	-0.0536*** (0.0069)
<i>pgdp</i>	0.0006*** (0.0000)	0.0003*** (0.0000)	0.0003*** (0.0000)	0.0004*** (0.0000)
<i>pgdp2</i>	-0.0000*** (0.0000)	-0.0000*** (0.0000)	-0.0000*** (0.0000)	-0.0000*** (0.0000)
<i>pdensity</i>	-0.0048*** (0.0003)	-0.0041*** (0.0002)	-0.0041*** (0.0002)	-0.0045*** (0.0002)
<i>tot</i>	-0.0056 (0.1009)	0.0223 (0.0832)	0.0305 (0.0837)	0.0389 (0.0829)
<i>penergyd</i>		0.0011*** (0.0000)	0.0011*** (0.0000)	0.0010*** (0.0000)
<i>fdi</i>			0.0029 (0.0030)	0.0047 (0.0030)
<i>effd</i>				0.1390* (0.0781)
<i>rps</i>				0.0611 (0.1154)
<i>rfs</i>				0.0733 (0.1644)
<i>fit</i>				-0.1300* (0.0686)
<i>ets</i>				-0.5732*** (0.0883)
<i>ctax</i>				-0.1259 (0.1592)
상수	3.6509*** (0.2004)	3.0138*** (0.1666)	3.0106*** (0.1666)	2.3857*** (0.2048)
R ²	0.1657	0.3687	0.3679	0.4003

* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01

3. 중복효과 모형 추정 결과

중복효과 모형에서는 개별효과 모형의 <모형 4>를 기준으로 하여, <모형 5>에서는 ETS와 재생에너지 정책이 중복되는 경우, <모형 6>에서는 탄소세와 재생에너지 정책이 중복되었을 경우, <모형 7>에서는 ETS와 탄소세가 중복될 경우, <모형 8>에서는 재생에너지 정책들이 중복되었을 경우에 추정결과를 보여준다.

모든 모형에서 정책들이 중복되는 경우 온실가스 배출량을 증가시킴을 알 수 있고, 통계적으로 유의하지 않고, R^2 가 개별 효과 모형(40%)보다 개선되지 않았기 때문에 이들 변수들의 추가 설명 효과가 없음을 알 수 있다.

〈표 4〉 중복효과 모형추정결과 비교

변수 \ 모형	모형 5	모형 6	모형 7	모형 8
<i>alte</i>	-0.0539*** (0.0069)	-0.0551*** (0.0069)	-0.0534*** (0.0069)	-0.0535*** (0.0069)
<i>pgdp</i>	0.0004** (0.0000)	0.0004** (0.0000)	0.0004** (0.0000)	0.0004** (0.0000)
<i>pgdp2</i>	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000
<i>pdensity</i>	-0.0044*** (0.0002)	-0.0045*** (0.0002)	-0.0045*** (0.0002)	-0.0045*** (0.0002)
<i>tot</i>	0.0406 (0.0829)	0.0440 (0.0829)	0.0393 (0.0829)	0.0388 (0.0829)
<i>penergyd</i>	0.0010*** (0.0000)	0.0010*** (0.0000)	0.0010*** (0.0000)	0.0010*** (0.0000)
<i>fdi</i>	0.0048 (0.0030)	0.0045 (0.0030)	0.0049 (0.0030)	0.0047 (0.0030)
<i>effd</i>	0.1402* (0.0781)	0.1392* (0.0781)	0.1394* (0.0781)	0.1365* (0.0782)
<i>rps</i>	0.1070 (0.1355)	0.1009 (0.1247)	0.0632 (0.1155)	0.0157 (0.1440)
<i>rfs</i>	0.1247 (0.1721)	0.1162 (0.1722)	0.0690 (0.1645)	(0.0767) (0.2532)
<i>fit</i>	(0.1146) (0.0706)	-0.1252* (0.0692)	-0.1251* (0.0691)	-0.1573** (0.0706)

〈표 4〉 중복효과 모형추정결과 비교 (계속)

변수 \ 모형	모형 5	모형 6	모형 7	모형 8
<i>ets</i>	-0.3086* (0.1800)	-0.5522*** (0.0888)	-0.6020*** (0.0998)	-0.5744*** (0.0883)
<i>ctax</i>	-0.1110 (0.1611)	0.1036 (0.1949)	-0.1497 (0.1638)	-0.1187 (0.1596)
<i>ets_rps</i>	(0.2165) (0.2280)			
<i>ets_rfs</i>	(0.6700) (0.5824)			
<i>ets_fit</i>	(0.2954) (0.1850)			
<i>ctax_rps</i>		(0.3569) (0.2928)		
<i>ctax_rfs</i>		(0.5747) (0.5871)		
<i>ctax_fit</i>		(0.4153) (0.2568)		
<i>ets_ctax</i>			0.1096 (0.1775)	
<i>rps_rfs</i>				(0.0178) (0.4158)
<i>rps_fit</i>				0.1799 (0.2344)
<i>rfs_fit</i>				0.5334 (0.3886)
상수	2.3991*** (0.2049)	2.4000*** (0.2048)	2.3771*** (0.2053)	2.3771*** (0.2055)
R ²	0.4002	0.3983	0.4011	0.3995

*p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01

4. 연립방정식 모형 추정 결과

온실가스 배출량과 경제성장 간에는 내생성 문제가 나타날 수 있으므로 연립방정식 모형을 구성하여 내생성 문제를 제거하고자 하였다. 연립방정식 모형 내에서 내생변수로는 일인당 온실가스배출량(*pco2*), 일인당 GDP(*pgdp*), 재생에너지비중(*alte*)

이 설정되었다. <표 5>의 세 개의 방정식으로 구성된 연립방정식 모형의 결과로 1)은 일인당 온실가스배출량($pco2$)을 내생변수로 한 방정식, 2)는 일인당 GDP($pgdp$)를 내생변수로 한 방정식, 3)은 재생에너지비중($alte$)을 내생변수로 한 방정식의 추정결과이다.

<sim1>~<sim4> 모형은 일인당 온실가스 배출 모형과 재생에너지비중 모형에 포함된 설명변수에 따라서 결정되었고, <sim1>과 <sim2>는 개별효과모형이고, <sim3>과 <sim4>는 중복효과 모형에 관한 연립방정식 모형 추정결과이다.

우선 <sim1> 모형의 온실가스 배출모형을 살펴보면, 일인당 GDP는 개별효과모형과 마찬가지로 온실가스 배출량과 역U자형의 관계에 있고, 인구밀도가 증가할수록, 에너지원단위가 증가할수록 온실가스가 감소되는 것으로 나타났다. 개별효과모형의 추정결과 교역조건 유의하지 않기 때문에 연립방정식 모형에서는 이들 변수를 온실가스 배출에 대한 설명변수로 포함시키지 않았다. 그러나 해외직접투자의 경우 일인당 GDP에 대한 설명변수로 포함시킴으로써, 해외직접투자가 GDP를 통해 간접적으로 온실가스 배출에 영향을 미치는지를 검토하였다. 즉, 해외직접투자가 온실가스 배출에 미치는 영향은 연립방정식 모형에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial pco2_{i,t}}{\partial fdi_{i,t}} &= \left(\frac{\partial pco2_{i,t}}{\partial pgdp_{i,t}} \right) \left(\frac{\partial pgdp_{i,t}}{\partial fdi_{i,t}} \right) \\ &= (\hat{\alpha}_1 + 2\hat{\alpha}_2 pgdp_{i,t}) (\hat{\beta}_3) \end{aligned}$$

sim1~sim4의 추정결과를 대입하여 외국인 직접투자가 일인당 온실가스 배출량에 미친 영향을 계산해 보면 외국인 직접투자가 GDP 대비 1% 증가하면, 일인당 온실가스 배출량은 0.2~0.21CO₂톤 증가하는 것으로 나타났다. 이는 공해안식처 가설을 어느 정도 뒷받침하는 결과라고 하겠다.

내생성 문제를 제거하고 추정한 결과 ETS와 탄소세 정책을 시행하는 국가들은 그렇지 않은 국가들보다 온실가스를 추가적으로 감소시킴을 알 수 있었다. 특히 탄소세의 경우 ETS보다 추정계수가 2배 이상 크게 나타나 탄소세가 ETS보다 온실가스 감축 효과가 더 우수함을 알 수 있다. 다음으로 <sim1> 모형에서 일인당 GDP 모형 추정결과를 살펴보면, 수출이 증가할수록, 수입이 감소할수록 일인당 GDP가

증가하고, 해외직접투자가 증가할수록, 일인당에너지소비량이 증가할수록 일인당 GDP가 증가함을 알 수 있다. 한편 재생에너지비중 모형 추정결과를 보면, FIT 정책만이 유의하게 나타남을 알 수 있다.

한편 <sim2> 모형의 추정결과를 살펴보면, <sim1>의 추정결과와 대부분 유사하게 나타나고, 신·재생에너지와 원자력 비중 모형의 경우 ETS와 탄소세를 추가한 결과, 탄소세만이 통계적으로 유의하게 총에너지에서 재생에너지비중을 증가시킴을 알 수 있다. 특히 FIT 정책과 추정계수를 비교해 보면, 탄소세의 경우 6배 정도 더 높게 나타났다.

다음으로 <sim3> 모형의 추정결과를 보면, <sim1>이나 <sim2>와 달리 일인당 온실가스 배출모형에서 ETS 정책의 효과가 유의하지 않게 나타났고, 중복효과를 검증한 결과 ETS와 RPS를 중복 시행하는 국가들의 경우 추가적인 온실가스 감소가 통계적으로 유의하게 나타남을 알 수 있다. 특히 온실가스 감축효과가 탄소세 다음으로 높게 나타났다. 또한 재생에너지비율의 경우 FIT와 탄소세 정책만이 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

마지막으로 <sim4> 모형을 살펴보면, <sim3>와 대체로 유사하게 나타났고, 중복효과의 경우 ETS와 RPS 중복효과와 탄소세 및 FIT 중복효과가 통계적으로 유의하게 나타났다. 즉, 이들 중복 정책들의 경우 온실가스를 추가적으로 감축시키는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 개별모형 추정결과와 상반된 것으로 이는 연립방정식 모형을 통해 내생성 문제를 제거했기 때문인 것으로 볼 수 있다.

<sim4> 모형의 결과에 기초하여 탄소세가 온실가스 저감에 미치는 영향과 탄소세가 FIT와 결합하여 온실가스 저감에 미치는 영향을 비교하면, 전자의 경우 탄소세가 채택될 확률이 1% 증가하면, 일인당 온실가스는 4.67톤 감소하고, 후자의 경우 온실가스는 4.88톤 감소한다. 따라서 탄소세와 FIT가 중복 실시되면 온실가스가 추가로 일인당 0.21톤 감소되는 것으로 추정되었다.

ETS의 개별효과와 ETS 및 RPS의 중복효과를 비교하면, 전자의 경우 ETS 실시 확률이 1% 증가하면, 온실가스가 1.06톤 감소하지만, ETS가 RPS와 함께 실시되면 온실가스는 1.14톤 감소한다. 따라서 ETS와 RPS를 중첩하여 실시한 경우 추가적인 온실가스 저감량은 일인당 0.075톤이 된다.

〈표 5〉 연립방정식 모형 추정 결과 비교

1) 첫 번째 방정식(종속변수: *pco2*)

변수 \ 모형	sim1	sim2	sim3	sim4
<i>pgdp</i>	0.0014*** 0.0000	0.0014*** 0.0000	0.0014*** 0.0000	0.0014*** 0.0000
<i>pgdp2</i>	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000	-0.0000*** 0.0000
<i>pdensity</i>	-0.0011*** (0.0001)	-0.0012*** (0.0001)	-0.0012*** (0.0001)	-0.0012*** (0.0001)
<i>ets</i>	-1.6031*** (0.3670)	-1.7454*** (0.3796)	-0.9414 (0.8138)	-1.0638 (0.8210)
<i>ctax</i>	-4.0424*** (0.3940)	-5.0740*** (0.4062)	-5.0758*** (0.4134)	-4.6704*** (0.4777)
<i>effd</i>	2.1691*** (0.1267)	2.1115*** (0.1252)	2.1188*** (0.1251)	2.1312*** (0.1252)
<i>ets_rps</i>			-2.3408** (0.9120)	-2.1976** (0.9538)
<i>ets_rfs</i>			0.5622 (2.7669)	0.8937 (2.8759)
<i>ets_fit</i>			(0.3693) (0.8364)	(0.1281) (0.8576)
<i>ctax_rps</i>				(0.7978) (1.2212)
<i>ctax_rfs</i>				-
<i>ctax_fit</i>				-1.4000* (0.7914)
상수	-2.9149*** (0.2272)	-2.7747*** (0.2258)	-2.7850*** (0.2255)	-2.8110*** (0.2256)
R ²	0.3483	0.3597	0.3626	0.3626

2) 두 번째 방정식(종속변수: *pgdp*)

변수 \ 모형	sim1	sim2	sim3	sim4
<i>export</i>	6070.6838 ^{***} (1078.1352)	5418.0455 ^{***} (1077.1501)	5406.5189 ^{***} (1078.4222)	5414.3207 ^{***} (1079.3102)
<i>import</i>	-4.81e+03 ^{***} (1143.9848)	-4.11e+03 ^{***} (1142.7610)	-4.15e+03 ^{***} (1144.1398)	-4.17e+03 ^{***} (1145.1036)
<i>fdi</i>	150.8826 ^{**} (22.3990)	146.3787 ^{**} (22.3921)	146.6463 ^{**} (22.4145)	146.3794 ^{**} (22.4319)
<i>penergyd</i>	3.1437 ^{***} (0.0694)	3.2462 ^{***} (0.0699)	3.2461 ^{***} (0.0699)	3.2421 ^{***} (0.0699)
상수	(226.2090) (286.7037)	(462.1834) (287.1822)	(442.0826) (287.4387)	(428.4900) (287.6035)
R²	0.5602	0.5604	0.5606	0.5606

3) 세 번째 방정식(종속변수: *alte*)

변수 \ 모형	sim1	sim2	sim3	sim4
<i>fit</i>	2.2149 ^{***} (0.7538)	1.8222 ^{**} (0.7859)	1.7616 ^{**} (0.7905)	1.8426 ^{**} (0.7919)
<i>rfs</i>	0.2845 (2.4819)	0.9614 (2.3977)	0.8677 (2.4074)	0.8611 (2.4063)
<i>rps</i>	0.3606 (1.4961)	(0.6939) (1.5045)	0.1058 (1.5333)	0.1343 (1.5355)
<i>ets</i>		1.6432 (1.2973)	1.5134 (1.2987)	1.4589 (1.2991)
<i>ctax</i>		11.8827 ^{***} (1.1593)	11.8494 ^{***} (1.1594)	11.8489 ^{***} (1.1594)
상수	9.2209 ^{***}	8.4733 ^{***}	8.4663 ^{***}	8.4565 ^{***}
R²	0.0115	0.0700	0.0703	0.0704

V. 결론

온실가스 감축에 영향을 미치는 다양한 정책들에 대한 단일 효과와 중복 효과를 패널고정효과 모형과 연립방정식 모형을 이용하여 분석한 결과, 연립방정식 모형에서 중복효과가 온실가스 추가 감축에 일부 기여함을 알 수 있었다. 즉, ‘ETS 정책과

RPS정책'을 동시에 시행하는 국가들과 '탄소세제와 FIT정책'을 동시에 시행하는 국가들의 경우 각각의 정책들을 시행함에 따른 온실가스 감축효과와 더불어 동시에 시행함에 따른 일종의 시너지 효과가 추가적으로 발생하여 온실가스가 추가적으로 감축됨을 알 수 있었다. 그러나 ETS정책과 RFS정책의 중첩, ETS와 FIT정책의 중첩 그리고 탄소세와 RFS정책의 중첩의 추가적 온실가스 감축효과는 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다.

이 밖에도 몇 가지 중요한 결론들을 도출할 수 있었는데, 우선 기존의 환경쿠르네츠곡선 가설이 전 세계를 대상으로 한 100여 개 국가들에 대해 성립함을 알 수 있었다. 또한 온실가스 감축 정책이나 재생에너지개발 비중을 증가시키는 정책도 중요하지만 에너지 효율을 높여 에너지 원단위를 개선하는 것이 온실가스 저감에 매우 중요한 역할을 함을 알 수 있었다. 한편 인구 밀도가 높을수록 온실가스 감축에 기여한다는 점에서는 도시의 구조를 고밀도로 구성할 필요가 있음을 보여주었다. 물론 이에 대해서는 교통혼잡비용이나 범죄증가 등 다양한 외부효과를 고려하여 결정해야 할 것이다. 또한 연립방정식 모형 추정 결과 외국인직접투자의 증가는 일인당 온실가스 배출량을 GDP 증가를 통해 간접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 공해안식처 가설을 간접적으로 뒷받침한다고 하겠다.

온실가스 감축을 위한 대표적인 두 정책인 ETS와 탄소세 정책에 대해 실증 분석한 결과 내생성 문제를 내포하고 있는 단일방정식 모형에서는 ETS가 유효한 것으로 나타난 반면에 내생성 문제를 제거한 연립방정식 모형에서는 탄소세와 ETS가 모두 유효하였고, 특히 탄소세가 더 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 온실가스 감축을 위한 단일 정책의 경우 탄소세가 매우 효과적임을 알 수 있다.

한편 신·재생에너지 확대 정책의 경우 모든 개별 모형에서 FIT 정책만이 유의한 것으로 나타났다. 반면에 연립방정식 추정모형에서는 일부 FIT와 탄소세 정책이 유의하게 나타났다. 따라서 의무화에 의한 신·재생에너지 확대 정책은 일부 유효하게 나타나지만 개도국과 같이 재생에너지 시장이 아직 초기 단계에 있는 경우에는 FIT 정책이 더 적절하다는 것을 시사한다. 또한 탄소세 정책을 실시함으로써 화석에너지 가격이 높은 나라의 경우 재생에너지 시장이 보다 성공적으로 성장할 수 있음을 보여주었다. 다만 본 실증 분석에서 사용된 재생에너지비중 관련 데이터가 원자력

생산량을 포함하고 있어서 신·재생에너지 정책에 의한 효과를 엄밀하게 추정하기에는 한계가 있었다. 향후 재생에너지 생산량을 별도로 분리한 데이터를 수집하여 이에 대한 보완이 필요할 것으로 보인다.

본 실증연구의 또 다른 한계는 정책 더미 변수에 있다. 대체로 선진국의 경우 이러한 정책들이 시행될 경우 효과적인 모니터링과 피드백을 통해 정책이 제대로 시행될 가능성이 높지만 개도국의 경우 정책만 있고, 실제 집행력이 떨어지는 경우가 많기 때문에 단순히 정책이 도입되었다는 정보만으로는 그 국가가 온실가스 감축정책이나 신·재생에너지 확대정책을 제대로 실행하고 있는지를 평가하기에는 한계가 있다. 따라서 정책의 집행력에 대한 질적인 정보가 추가로 필요하며, 향후 추가적인 데이터 확보를 통해 이러한 질적인 정보를 추가함으로써 정책의 효과를 보다 정확하게 평가할 수 있을 것이다.

[References]

1. 정경화, 2011, “RPS와 환경규제가 탄소저감기술 R&D에 미치는 영향에 대한 이론적 분석,” 에너지경제연구, 제10권, 제2호, pp. 1~26.
2. Abrell, J. and H. Weigt, 2008. “The Interaction of Emissions Trading and Renewable Energy Promotion”. Working Paper No. WP-EGW-05. Dresden, Germany: Dresden University of Technology.
3. Aiken, D. V., R. Färe, S. Grosskopf, and C. A. Jr. Pasurka, “Pollution Abatement and Productivity Growth: Evidence from Germany, Japan, The Netherlands, and the United States,” *Environmental Resource and Economics*, Vol. 44, 2009, pp. 11~28.
4. Amundsen, E. S. and J. B. Mortensen, 2001. “The Danish Green Certificates Scheme: Some Simple Analytical Results.” *Energy Economics*, Vol. 23, No. 5, pp. 489~509.
5. Ang, B. W. and F. Q. Zhang, “Inter-Regional Comparisons of Energy-Related CO₂ Emissions Using the Decomposition Technique,” *Energy* 24, 1999, pp. 297~305.
6. Arcelus, F. J. and P. Arocena, “Productivity Differences Across OECD Countries in The Presence of Environmental Constraints,” *Journal of the Operational Research Society* 56, 2005, pp. 1352~1362.

7. Barassi, M. R. and N. Spagnolo, 2012, Linear and Non-linear Causality between CO₂ Emissions and Economic Growth, *The Energy Journal*, Vol. 33, No. 3, pp. 23~38.
8. Böhringer, C. and K. E. Rosendahl, 2010. “Green Promotes the Dirtiest: On the Interaction between Black and Green Quotas in Energy Markets”. *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 37, pp. 316~325.
9. Cole, M. A., 2003, “Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: Examining the linkages. *Ecological Economics*, Vol. 48, No. 1, pp. 71~81.
10. De Jonghe, C., R. B. Delarue, and W. D'haeseleer, 2009. “Interactions between Measures for the Support of Electricity from Renewable Energy Sources and CO₂ Mitigation.” *Energy Policy*, Vol. 37, No. 11, pp. 4743~4752.
11. Eskeland, G. S. and A. E. Harrison, 2003. “Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis,” *Journal of Development Economics*, Vol. 70, pp. 1~23.
12. Fischer, C. and L. Preonas, 2010. “Combining Policies for Renewable Energy: Is the Whole Less Than the Sum of Its Parts?” *International Review of Environmental and Resource Economics*, Washington, DC. Vol. 4, pp. 51~92.
13. Greene, W., 2008, *Econometric Analysis*, Pearson Education.
14. Grossman, G. M. and A. B. Kruger, 1991, “Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. National Bureau of Economics Research Working Paper 3914. NBER. Cambridge, MA.
15. Morris, J. F., 2009. “Combining a Renewable Portfolio Standard with a Cap-and-Trade Policy: A General Equilibrium Analysis”. M.S. Thesis. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
16. Paltsev, S. et al. 2009. “The Cost of Climate Policy in the United States.” *Energy Economics*, Vol. 31, No. 2, pp. S235~S243.
17. Pethig, R. and C. Wittlich, 2009. “Interactions of Carbon Reduction and Green Energy Promotion in a small Fossil-Fuel Importing Economy”. CESifo Working Paper Series No.2749. Munich, Germany.
18. Roberts, M. and M. Spence, 1976, Effluent Charges and Licenses Under Uncertainty, *Journal of Public Economics* 5, pp. 193~208.

19. Sorrell, S. 2003. “Who owns the Carbon? Interactions between the EU Emission Trading Scheme and the UK Renewables Obligation and Energy Efficiency Committee”. Science and Technology Policy Research, SPRU Electronic Working Paper Series no.100, University of Sussex, Brighton.
20. Unger, T. and E. O. Ahlgre, 2005. “Impacts of the German Support for Renewable Energy on Electricity and CO₂-Emission markets in the Nordic countries”. Energy Policy, Vol. 33, No. 16, pp. 2152~2163.

[Appendice]

〈부록 표 1〉 연도별 RPS 시행 국가¹⁾

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
벨기에	주	'01	Flanders
		'02	Wallonia
캐나다	주	'04	Nova Scotia, Ontario, Prince Edward Island
		'10	British Columbia
미국	주	'83	Iowa
		'94	Minnesota
		'96	Arizona
		'97	Maine, Massachusetts, Nevada
		'98	Connecticut, Pennsylvania, Wisconsin
		'99	New Jersey, Texas
		'00	New Mexico
		'02	California
		'04	Colorado, Hawaii, Maryland, New York, Rhode Island
		'05	DC, Delaware, Montana
		'06	Washington
		'07	Illinois, New Hampshire, North Carolina, Northern Mariana Islands, Oregon
		'08	Michigan, Missouri, Ohio
'09	Kansas		
'10	Puerto Rico		
UAE ³⁾	주	'08	* Renewable energy policy
호주	국가	'02	* MRET(Mandatory Renewable Energy Target) * Renewable Energy Act(2000)
이스라엘	국가	'11	
이탈리아	국가	'01	* 신규 입법(1999)
일본	국가	'03	* 신규 입법(2003)
폴란드	국가	'04	
포르투갈 ²⁾	국가	'06	* Biofuel quota obligations
대한민국	국가	'12	
스웨덴	국가	'03	
영국	국가	'02	* Renewables Obligation Order 2002 (2006년 개정)
칠레	국가	'08	
중국	국가	'12 ⁸⁾	* China's 12th Five Year Plan내에 renewable resource power quota targets 수립(2012년 11%, 2014년 12%, 2029년 15%)

〈부록 표 1〉 연도별 RPS 시행 국가¹⁾ (계속)

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고	
말레이시아 ⁴⁾	국가	'09	* Malaysia National Renewable Energy Policy & Action Plan 2011년 Renewable Energy Act 2011를 통해 Feed-in Tariff로 전환	
팔라우 ⁵⁾	국가	'09	* Energy Sector Strategic Action Plan	
루마니아	국가	'08		
인도 ⁹⁾	주	'08	Karnataka	* Renewable Purchase Obligation
		'10	Assam, Bihar, Gujarat, Haryana, JERC (Goa & UT), Jharkhand, Himachal Pradesh, Jammu & Kashmir, Jharkhand, Madhya Pradesh, Maharashtra, Manipur & Mizoram (Joint), Meghalaya, Orissa, Rajasthan, Tamil Nadu, Tripura, Uttar Pradesh, Uttarakhand	
		'11	Chhattisgarh, Kerala, Nagaland, Punjab	
		'12	Andhra Pradesh, Arunachal Pradesh	
필리핀	국가	'08		
스리랑카 ⁶⁾	국가	'07	* Energy Policy (20110년까지 재생에너지를 사용한 국가 전력 생산 비중을 6%, 2015년까지10%로 높임)	
키르기스스탄 ⁷⁾	국가	'08	* Law On Renewable Energy	

<자료>

- 1) REN21. 2012. “RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT”. p.70~72,119.
- 2) RES2020. 2009. “PORTUGAL RENEWABLE ENERGY POLICY REVIEW”.
- 3) Toufic Mezher et al. 2011. “Renewable energy policies implementation drivers and barriers for Abu Dhabi”. World Renewable Energy Congress1.
- 4) Sustainable Energy Development Authority Malaysia. <http://seda.gov.my/>
- 5) Koror, Republic of Palau. 2009. “Republic of Palau Strategic Action Plan Energy Sector”.
- 6) Renewable Energy Policy-SriLanka.
- 7) Ruslan Botpaev et al. 2011. “RENEWABLE ENERGY IN KYRGYZSTAN: STATE, POLICY AND EDUCATIONAL SYSTEM”. Electricity and gas prices for population in Kyrgyzstan 2011.
- 8) Briefing note. 2011.10. Renewable energy development targets in China’s ‘12th Five Year Plan’ adjusted upwards.
- 9) Renewable Energy Certificate Registry of India. https://www.recregistryindia.nic.in/index.php/general/publics/Reference_Documents
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/AndraRECREgulation.pdf>

- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/8-FinalRPPONotification.pdf>
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Bihar.pdf>
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Chhattisgarh_Final.pdf
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Gujarat.pdf>
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Haryana_fineal.pdf
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/HPERC_Notification.pdf
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/J_K.pdf
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/JERC_for_Goa_UT.pdf
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Jharkhand.pdf>
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Kerala.pdf>
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Madhya_pradesh_final.pdf
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Maharashtra.pdf>
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/JERC_Mizoram_Manipur.pdf
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Meghalaya_final.pdf
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/TamilNadu.pdf>
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Tripura_Final.pdf
- https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/UP_RPO_REC_Regulations.pdf
- <https://www.recregistryindia.nic.in/pdf/RPO/Uttarakhand.pdf>

〈부록 표 2〉 연도별 FIT 시행 국가¹⁾

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
호주 ⁶⁾	주	'08	South Australia, Queensland
		'09	Australian Capital Territory, Victoria
		'10	New South Wales, Tasmania, Western Australia
캐나다	주	'04	Prince Edward Island
		'06	Ontario
		'11	Nova Scotia
미국	주	'08	California
		'09	Florida ²⁾ , Hawaii, Maine ³⁾ , Oregon, Vermont
		'11	Rhode Island
		'13	New York ⁴⁾
오스트리아	국가	'02	
크로아티아	국가	'07	
키프로스	국가	'03	
체코	국가	'02	
덴마크	국가	'93	
에스토니아	국가	'03	
핀란드	국가	'07	
프랑스	국가	'01	
독일	국가	'90	* The Renewable Energy Sources Act
그리스	국가	'94	

〈부록 표 2〉 연도별 FIT 시행 국가¹⁾ (계속)

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
헝가리	국가	'03	
아일랜드	국가	'05	
이스라엘	국가	'04	
이탈리아	국가	'92	
일본	국가	'09	
룩셈부르크	국가	'94	
몰타	국가	'10	
네덜란드	국가	'11	
포르투갈	국가	'99	
슬로바키아	국가	'03	
슬로베니아	국가	'99	
스페인	국가	'94	
스위스	국가	'91	
영국	국가	'10	
알제리	국가	'02	
아르헨티나	국가	'06	
보스니아- 헤르체코비나	국가	'10	
불가리아	국가	'07	
중국	국가	'05	
도미니카공화국	국가	'07	
에콰도르	국가	'05	
이란	국가	'08	
카자흐스탄	국가	'09	
라트비아	국가	'01	
리투아니아	국가	'02	
마케도니아	국가	'07	
말레이시아	국가	'10	
세르비아	국가	'09	
타이	국가	'06	
터키	국가	'05	
인도	국가	'06 ⁵⁾	* TARIFF POLICY
아르메니아	국가	'01	
인도네시아	국가	'02 ⁸⁾	* Ministerial Decree No. 1122/K/30/MEM on Small-Scale Power Purchase Agreement (2002) * Ministerial Regulation No.2 on Medium Scale Power Generation from Renewable Energy Sources (2006) * Indonesia energy vision 25/25 ⁷⁾ (2012) 내에 Feed-in tariff (지열) 수립

<부록 표 2> 연도별 FIT 시행 국가¹⁾ (계속)

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
몰도바	국가	'07	
몽골	국가	'07	
니카라과	국가	'04	
파키스탄	국가	'06	
팔레스타인	국가	'12	
필리핀	국가	'08	
스리랑카	국가	'97	
시리아	국가	'11	
우크라이나	국가	'08	
케냐	국가	'08	
탄자니아	국가	'08	
우간다	국가	'07	

<자료>

- 1) REN21. 2012. “RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT”. p.70~72,119.
- 2) Transatlantic Climate Policy Group. 2009. “Feed-in Tariffs in America: Driving the Economy with Renewable Energy Policy that Works”.
- 3) “Summary”.Janus.state.me.us.
<http://janus.state.me.us/legis/LawMakerWeb/summary.asp?LD=1450&SessionID=8>.
- 4) NYSREC market put on hold.
<http://www.sretrade.com/blog/srec-markets/ny-srec-market-put-on-hold> nited States Agency for International Development(USAID). 2007. “INDONESIA COUNTRY REPORT”.
- 5) Ministry of Power. Government of India(Website: www.powermin.gov.in).
<http://www.orierc.org/documents/National%20Electricity%20Tariff%20Policy.pdf>.
- 6) Parliament of Australia. <http://parlinfo.aph.gov.au/>
- 7) MINISTRY OF ENERGY AND MINERAL RESOURCES REPUBLIC OF INDONESIA. 2012. “Geothermal Development in Indonesia”.
<http://www.exportinitiative.bmw.de/EEE/Redaktion/PDF/2012-09-24-iv-geothermie-indonesien-harsopravitno,property=pdf,bereich=eee,sprache=de,rwb=true.pdf>
- 8) United States Agency for International Development(USAID). 2007. “INDONESIA COUNTRY REPORT”.

〈부록 표 3〉 연도별 RFS 시행 국가

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고	
캐나다	주	'08	British Columbia ⁶⁾	* Greenhouse Gas Reduction (Renewable and Low Carbon Fuel Requirements) Act (RLCFR Act) • 2010년까지 재생연료 5%를 포함하는 휘발유와 디젤을 판매
		'10	Ontario	
		'12 ⁹⁾	Quebec	
미국 ¹⁾²⁾³⁾	국가	'05	US: renewable fuel standard (RFS) ²⁾ * Energy Policy Act of 2005(RFS ¹⁾ • 휘발유와 바이오연료(주로 에탄올)를 혼합 • 2006년 40억 갤런, 2009년 61억 갤런, 2012년 75억 갤런까지 * Energy Independence and Security Act of 2007(EISA)(RFS2) • 휘발유 외에 디젤을 포함하는 RFS 프로그램 확장 • 2022년 360억 갤런까지 수송연료로 혼합되어야 하는데 필요한 신·재생연료의 양을 증가 • 신·재생연료의 새로운 종류를 설정하고, 각각에 대한 별도의 불륨을 설정 • 신·재생연료는 대체 석유연료보다 적은 온실가스를 방출하도록 라이프 사이클 온실가스 성능 임계값 기준을 적용(EPA)	
		'08	Hawaii, Missouri, Washington, Oregon	
	주	'10	California ⁴⁾ , Florida	
		'11	LCFS Initiatives ⁵⁾ : Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont, Mid-Atlantic	* California low-carbon fuel standard (LCFS) ⁴⁾ • 2020년까지 캘리포니아 수송 연료의 탄소 강도의 최소 10% 감축(2006년 기준으로). 즉, 석유에 대한 국가의존도를 줄이고, 저탄소 연료의 생산과 사용을 촉진
		'13 ⁹⁾	Minnesota	

〈부록 표 3〉 연도별 RFS 시행 국가 (계속)

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
독일 ⁹⁾	국가	'10	* EU LCFS (low-carbon fuel standard, 2007) ⁷⁾ • 2011~2020년 사이에 온실가스 배출 감축을 목표로 수송연료의 10%를 저탄소 연료 및 바이오 연료의 사용 및 개발을 장려 * 연료품질지침(European Fuel Quality Directive, 2008) ⁵⁾
프랑스 ⁹⁾	국가	'10	
오스트리아 ⁹⁾	국가	'10	
루마니아 ⁹⁾	국가	'10	
스페인 ⁹⁾	국가	'10	
노르웨이 ⁹⁾	국가	'10	
네덜란드 ⁹⁾	국가	'10	
헝가리 ⁹⁾	국가	'10	• 2020년까지 10% 온실가스 배출을 줄이기 위해 도로 수송연료의 온실가스 배출량을 모니터링하고 줄일 수 있는 메커니즘의 도입 • 2010년 화석연료의 온실가스 배출량 대비 2020년까지 최소 6% 감축 • 환경친화적인 탄소포집 및 저장 기술과 전기자동차를 통한 2% 감축 • 교토의정서 CDM 체계에서 크레딧 구입을 통한 추가로 2% 감축
영국 ⁸⁾	국가	'08	* UK RTFO (Renewable Transport Fuel Obligation) ⁸⁾ • 2010년까지 영국 모든 도로 차량 연료의 5%가 지속가능한 재생에너지원으로부터 공급하기 위한 수송 연료 공급자에 대한 요구사항 • 재생 운송연료 인증서(RTFCs)를 받기 위해, 바이오 연료 공급 업체는 탄소 절감과 연료의 지속가능성을 보고해야 함
브라질 ⁹⁾	국가	'02	
아르헨티나 ⁹⁾	국가	'10	
콜롬비아 ⁹⁾	국가	'06	
코스타리카 ⁹⁾	국가	'10	
에콰도르 ⁹⁾	국가	'08	
페루 ⁹⁾	국가	'10	
중국 ⁹⁾	국가	'10	
태국 ⁹⁾	국가	'07	
파라과이 ⁹⁾	국가	'97	
필리핀 ⁹⁾	국가	'11	
인도 ⁹⁾	국가	'08	

<자료>

- 1) EPA. 2013. “EPA Issues Final Rule for Additional Qualifying Renewable Fuel Pathways under the RFS Program”.
- 2) U.S. Environmental Protection Agency.
http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/index.htm
- 3) Randy Schnepf and Brent D. Yacobucci. 2013. “Renewable Fuel Standard(RFS): Overview and Issues”.
- 4) California Air Resources Board. 2009. “Low-Carbon Fuel Standard Program”.
- 5) California Air Resources Board. 2009. “Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard. Volume I: Staff Report: Initial Statement of Reasons”.
- 6) Gray, E. Taylor et. al. 2008.09.22. “Canada: Climate Change Law Update: Recent North American Developments”.
- 7) Environment News Service. 2007.01.31. “EU Government Proposes Low Carbon Transport Fuel Standard”.
- 8) Department of Transport, United Kingdom. 2008. “Carbon and Substantiality Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation”.
- 9) 김재곤 외. 2011. “해외주요국 수송용 바이오 연료의 혼합의무정책 비교 분석 연구”.

〈부록 표 4〉 연도별 ETS 시행국가

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고	
미국	주	'05 ⁵⁾	* RGGI(코네티컷, 델라웨어, 메인, 뉴햄프셔, 뉴저지, 뉴욕, 버몬트, 로드아일랜드, 매사추세츠, 메릴랜드)	* RGGI
		'07 ⁷⁾	* 캘리포니아	* California's Global Warming Solutions Act of 2006
		'10 ⁶⁾	* WCI(애리조나, 캘리포니아, 뉴멕시코, 오리건, 워싱턴, 유타)	* WCI
캐나다	주	'10 ⁶⁾	* WCI(브리티쉬콜롬비아, 미나토바, 온타리오, 퀘벡)	
일본	주	'10	* 동경도 배출권거래제	
오스트리아	국가	'05	* EU-ETS ¹⁾²⁾³⁾	
벨기에	국가	'05	* EU-ETS	
키프로스	국가	'05	* EU-ETS	
체코	국가	'05	* EU-ETS	
덴마크	국가	'05	* EU-ETS	
에스토니아	국가	'05	* EU-ETS	
핀란드	국가	'05	* EU-ETS	
프랑스	국가	'05	* EU-ETS	
독일	국가	'05	* EU-ETS	
그리스	국가	'05	* EU-ETS	

<부록 표 4> 연도별 ETS 시행국가 (계속)

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
헝가리	국가	'05	* EU-ETS
아일랜드	국가	'05	* EU-ETS
이탈리아	국가	'05	* EU-ETS
룩셈부르크	국가	'05	* EU-ETS
몰타	국가	'08	* EU-ETS
네덜란드	국가	'05	* EU-ETS
폴란드	국가	'05	* EU-ETS
포르투갈	국가	'05	* EU-ETS
슬로바키아	국가	'05	* EU-ETS
슬로베니아	국가	'05	* EU-ETS
스페인	국가	'05	* EU-ETS
스웨덴	국가	'05	* EU-ETS
영국	국가	'05	* EU-ETS
아이슬란드	국가	'08	* EU-ETS
리히텐슈타인	국가	'08	* EU-ETS
노르웨이	국가	'08	* EU-ETS
크로아티아	국가	'13	* EU-ETS(2013년 7월 1일부터 EU 회원국)
뉴질랜드	국가	'08	* NZ-ETS <ul style="list-style-type: none"> • 2008년1월부터 산림부문 시행 • 2010년7월부터 에너지, 운송, 산업공정부문 시행 • 2013년1월부터 합성가스, 폐기물시행 • 2015년1월부터 농업부문 시행
호주	국가	'15	* 탄소가격메커니즘(Carbon Pricing Mechanism, CPM): 2012년 7월부터 초기 3년간은 탄소배출업체에 대해 톤당 AU\$32의 탄소세를 부과하고, 2015년 7월부터 배출권 거래제로 전환하여 시행할 계획
불가리아	국가	'08	
라트비아	국가	'05	
리투아니아	국가	'05	
루마니아	국가	'08	

<자료>

- 1) European Commission. “Emissions Trading System (EU-ETS)”.
<http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/>
- 2) Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/>
- 3) European Commission Press Release. 2008. “Emissions trading: 2007 verified emissions from EU-ETS businesses”.
- 4) 김용건 외. 2012. “주요국 온실가스 감축정책 동향 및 시사점”. 한국환경정책·평가연구원.
- 5) RGGI State Statutes & Regulations. (<http://www.rggi.org/design/regulations>).
- 6) WCI Program Design. (<http://www.westernclimateinitiative.org/designing-the-program>).
- 7) AB32, Climate Change Scoping plan document.
<http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/document/ado>

〈부록 표 5〉 연도별 탄소세 시행국가

국가	주/국가 단위	시작 연도	비고
캐나다	주	'07	Quebec
		'08	British Columbia
미국	지역	'07	Colorado-Boulder
		'08	California-San Francisco
		'10	Maryland-Montgomery
호주 ⁹⁾	국가	'12	
뉴질랜드	국가	'07	
덴마크	국가	'92	
핀란드	국가	'90	
프랑스	국가	'10	
독일	국가	'99	
아일랜드	국가	'10	
일본	국가	'12	
네덜란드	국가	'90	
스웨덴	국가	'91	
노르웨이	국가	'91	
스위스	국가	'08	
영국	국가	'01	
코스타리카	국가	'97	
남아프리카공화국	국가	'10	
인도	국가	'10	

<자료>

- 1) 강만옥 외. 2011. “탄소세 도입 및 에너지 세계개편 방안 연구”. 한국환경정책·평가연구원.
- 2) 일본 환경성 홈페이지. (<https://www.env.go.jp/kr/>)
- 3) carbon share 홈페이지. (<http://www.carbonshare.org/californiaAB32.html>)
- 4) Clean Energy Future-Appendix A: Carbon pricing mechanism. <http://www.cleanenergyfuture.gov.au>
- 5) Minister of Climate Change Issues, The Beehive, NZ Parliament. <http://www.beehive.govt.nz/?q=node/22886>
- 6) French Constitutional Council. 2009. “Décisionn°2009-599DCdu29”.
- 7) Revenue: Irish tax and customs. 2010. “Guide to Natural Gas Carbon Tax”.