

# 신재생에너지의 R&D 생산성과 배출권거래제의 연관관계 분석: OECD 특허데이터를 중심으로<sup>†</sup>

김수이\*

**요약** : 본 연구는 신재생에너지의 R&D 생산성과 배출권거래제의 연관관계를 OECD의 국가별 특허건수와 R&D 투입액 데이터를 사용하여 분석하였다. 즉 배출권거래제의 실시 전후하여 이러한 R&D 생산성이 실질적으로 향상되었는지를 살펴봄으로써 배출권거래제가 신재생에너지 연구개발 성과를 촉진하였는지를 계량경제학적으로 분석한 것이다. 본 연구에 사용한 분석 방법은 Hausman et al. (1984)가 제시한 Negative Binomial Models을 사용하였다. 분석결과에 의하면 배출권거래제가 신재생에너지의 R&D생산성을 향상시키는 것으로 나타났으며, 이는 99%의 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다. 또한 부속서 1국가인가의 여부가 신재생에너지의 R&D생산성을 더욱 촉진하는 것으로 나타났다. 본 연구는 단순한 신재생에너지에 대한 연구개발투자의 상호 비교를 통하여 시사점을 도출하기 보다는 실질적인 R&D 생산성을 배출권거래제와 상호 연계하여 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

**주제어** : 특허, R&D, 신재생에너지, 배출권거래제

**JEL 분류** : Q55, Q58, O32, O38

접수일(2013년 2월 25일), 수정일(2013년 3월 20일), 게재확정일(2013년 3월 25일)

<sup>†</sup> 본 논문은 에너지경제연구원의 2012년 기본과제인 '녹색선진국 진입을 위한 Post-2012 에너지·산업부문 저탄소 전략 연구'의 일부를 개선하여 발표한 것입니다.

\* 홍익대학교 상경대학 상경학부(suyikim@hongik.ac.kr)

# The Analysis on the Relationship between R&D Productivity of Renewable Energy and Emission Trading Scheme; Using OECD Patent Data

Suyi Kim\*

**ABSTRACT :** This paper analyzed on the relationship between R&D productivity of renewable energy and the Emissions Trading Scheme using OECD's country-specific patents and R & D input data. We empirically tested whether this R & D productivity has been substantially improved before and after the implementation of the emissions trading scheme and whether emission trading scheme has been promoted technology progress of renewable energy. Analytical methods used in this study, Negative Binomial Models which was proposed by Hausman et al. (1984). According to the results of this analysis, the R & D productivity of renewable energy was improved by emissions trading scheme, which was statistically significant at the 99% confidence interval [CI]. The R&D productivity of renewable energy was higher in Annex I countries. This research is significant in that R&D productivity was analyzed in associated with the emission trading scheme rather than it was analyzed by simply comparing R&D productivity.

**Keywords :** Patent, R&D, Renewable Energy, Emission Trading Scheme

---

Received: February 25, 2013, Revised: March 20, 2013, Accepted: March 25, 2013,

\* Hongik University, College of Business Management(e-mail: suyikim@hongik.ac.kr)

## I. 서론

우리나라는 2011년 온실가스 배출권거래제를 입법화하였으며, 온실가스 배출권 거래제 시행령이 2012년 말 국회를 통과하였다. 이러한 법률안에 의해 우리나라는 2015년부터 온실가스 배출권거래제를 실시할 예정이다. 이러한 온실가스 배출권거래제라는 제도가 실질적으로 온실가스를 감축하는 정책으로서의 실효성을 거둘 것으로 예상되고 있다. 그러나 이러한 가시적인 온실가스 감축이외에 배출권거래제를 통한 기술혁신을 통한 온실가스 감축도 예상할 수 있다. 따라서 배출권거래제는 온실가스 감축 기술혁신도 촉진할 것으로 이론적으로 알려져 있다. 하지만 이러한 배출권거래제를 통한 기술혁신에 대한 실증분석은 그리 많지 않다. 국내 온실가스 배출권거래제가 실시된다면 가장 영향을 많이 받는 부문이 전력부문이 될 것이다. 그리고 국내 산업부문 중에서 전력부문에 할당되는 배출권도 가장 많을 것으로 사료된다.<sup>1)</sup> 신재생에너지는 전력의 안정적 공급이라는 측면도 있지만 기후변화 대응과 관련하여 전력부문의 온실가스 감축 수단으로 가장 많이 활용되고 있으며, 우리나라도 RPS라는 제도를 통해 신재생에너지 의무보급비율을 단계적으로 확대하고 있다. Popp et al.(2010)에 의하면 온실가스 감축에 대한 노력들은 신재생에너지에 대한 투자를 가져왔다. 본 연구의 목적은 온실가스 배출권거래제가 단순히 온실가스 감축의 수단으로서 뿐만 아니라 신재생에너지의 기술혁신에 기여할 수 있는가에 초점이 맞추어져 있다.

다양한 종류의 환경정책 수단은 기술변화의 방향이나 기술변화율에 각각 다른 영향을 미친다고 알려져 있다(Orr 1976). 지금까지 환경정책수단과 기술변화 사이의 연관관계에 대한 이론적인 연구는 주로 시장기반 수단 (오염부담금, 보조금, 배출권 거래)와 직접규제와의 기술 효용성에 중점을 맞추어 왔다. 일반적으로 시장기반 수단들이 더 비용 효과적으로 온실가스를 감축할 수 있으며 더 적은 비용과 더 효과적인 오염 감축 기술을 유도할 수 있다고 알려져 있다(Jaffe et al. (2002), Stavins (2001)).

1) 이는 우리나라의 배출량 통계를 보았을 때 발전부문의 배출량은 20,000 TOE 이상 배출사업장중 발전 부문의 비중이 57%를 차지하고 있다. 에너지경제연구원 정책연구보고서 09-XX, “국내 배출권거래제 수립연구” 참조.

일반적으로 환경정책과 기술혁신에 대한 실증적인 분석은 다수 있지만 대부분 일반적인 환경오염정책과 환경오염감축 기술에 대한 것으로 다음과 같다. Lanjauw and Mody (1996)은 특허건수와 거시적인 수준의 오염감축비용의 측면에서 추정된 환경정책의 정도에 대한 상관관계를 분석하였다. 분석대상은 일본, 미국, 독일로 한정되었으며, 분석기간은 1971년에서 1988년까지를 대상으로 하였다. 이 분석에서 1-2년의 시차를 두고 오염감축비용이 특허건수에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 이 분석에서는 기술혁신에 영향을 미치는 다른 요소들을 충분히 고려하지 않았다. Jaffe and Palmer (1997)는 Lanjauw and Mody (1996)의 연구를 더욱 발전시켜 환경부문의 혁신에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 고려하였다. 그리고 혁신의 지표로서 R&D지출과 특허 모두를 고려하였다. 이 연구에서는 더 강도 높은 환경정책이 R&D를 증가시키는 것으로 나타났다. 하지만 특허수를 증가시킨다는 증거는 도출하지 못하였다. Brunnermeier and Cohen (2003)은 Jaffe and Palmer (1997)의 연구에서 혁신의 지표를 “환경 특허(envoronmental patents)”에 한정하였다. 이 연구에서는 미국의 제조업 데이터를 사용하였으며, 배출량 감축은 국내 규제 당국에서만 기인하는 것이 아니라 국제적인 경쟁에서도 기인한다는 것을 고려하였다. 그들은 국제적인 경쟁이 환경적인 혁신을 가속화한다는 것을 발견하였다.

Taylor et al. (2003)은 SO<sub>2</sub> 규제강도와 혁신정도를 연구하였다. 1887에서 1995년 동안의 데이터를 분석하여 그들은 특허 등록 건수와 SO<sub>2</sub> 규제와의 연관관계를 분석하였다. Popp (2006)는 미국, 독일, 일본의 전력부문을 대상으로 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub> 부문에 대해서 환경규제가 기술혁신과 확산에 영향을 미쳤는지를 분석하였다. 이 연구에서는 혁신활동을 촉진하는 요인으로는 국내 혁신 활동이라는 것이다. Vries and Withagen (2005)는 SO<sub>2</sub>에 대한 환경정책과 관련 특허와의 연관관계를 분석하였다. Crabb and Johnson (2007)은 1980년에서 1999년 기간 동안 미국에서 자동차 연료 효율 기술에서의 혁신에 대한 연료가격의 영향을 산정하였다. 자동차 제품에 대한 특허 건수는 국내 가솔린 정제비용에 비례한다는 사실을 발견하였다. Rübhelke(2011)에서는 신 재생에너지기술과 환경정책과의 관계를 윈드터빈(Wind Turbines)의 사례를 통하여 분석하였다. 이 연구에서는 환경세 수입(Environmental Tax Revenues)이 윈드터빈의 특허건수에 매우 높은 영향을 미친다는 결과를 발견하였다.

위에서 언급한 바와 마찬가지로 지금까지의 연구는 주로 특정 오염물질에 대하여 그에 해당하는 규제와 기술혁신과의 상관관계를 분석하였다. 하지만 온실가스 배출권거래제와 신재생에너지와의 구체적인 연관성에 대한 연구는 일천하다. 일반적으로 온실가스 배출권거래제가 실시되면, 신재생에너지의 수요가 증대되면서 이 시장이 확대될 것으로 예견된다. 하지만 신재생에너지의 시장 확대가 신재생에너지의 기술혁신으로 바로 이어질지는 미지수다. 따라서 본 연구는 온실가스 배출권거래제라는 특정 환경정책이 신재생에너지의 기술혁신으로 이어질 수 있는가에 대한 실증 분석이다. 특히 온실가스 감축과 관련된 다양한 국제환경과 배출권거래제라는 특정한 정책에 대한 상호연관하에서 분석한 연구는 본 연구가 처음 시도하는 바이다. 본 연구에서는 신재생에너지에 대한 R&D데이터가 가능한 OECD 28개국을 대상으로 하여 패널데이터를 구축하였다. 그외에도 본 연구에서는 특허건수에 가장 중요한 영향을 미치는 요소로서 R&D 스톡을 Grossman & Helpman (1995)가 제시한 방법으로 직접 산출하였다. 그리고 신재생에너지 R&D스톡이 동 특허에 영향을 미친다는 기본적인 설정하에 배출권거래제라는 구체적인 정책변수를 도입하였다. 그 외에도 교토의정서 부속서 I 국가인가의 여부, G7국가인가의 여부 등 정책변수를 아울러 고려하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 우리나라를 비롯한 OECD국가들의 신재생에너지에 대한 R&D현황과 특허건수의 특징에 대해서 살펴본다. III장에서는 주요 연구방법 및 분석결과를 제시하고 IV장에서는 결론 및 시사점을 제시한다.

## II. 신재생에너지의 R&D 현황

### 1. 신재생에너지 R&D 현황

신재생에너지(Renewable Energy)에 대한 주요 OECD국가들의 R&D지출액은 <표 1>에 나타나 있다. <부그림 1>은 한국, 일본, 미국, 프랑스, 영국, 독일 등 주요 6개국만을 비교하여 그래프에 나타낸 것이다. 이들 주요 6개국은 시기에 따라서 비

록 편차가 있기는 하지만 OECD 전체의 에너지 에너지에 대한 R&D지출액의 약 60%~70%를 차지하고 있다.

우선 OECD 국가 전체적으로 신재생에너지에 대한 R&D 지출이 1995년 이래로 꾸준히 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 1995년에는 8억 7,700만 달러였으나 2009년에는 37억 7,500만 달러에 이르고 있다. 즉 2009년에는 1995년에 비해 신재생 에너지에 대한 R&D지출액이 약 4.3배 증가한 수치이다. 우리나라의 경우에는 1991년부터 2001년까지 신재생에너지에 대한 R&D투자가 전혀 없었으나 2002년부터 이에 대한 투자를 늘려 2010년에는 2억 1,190억 달러에 이르고 있다. 그리고 이러한 신재생에너지에 대한 R&D 투자액은 전체 OECD국가에서 6.79%를 차지하고 있다. 2001년 이전까지 우리나라의 신재생에너지 정책은 보급 확대에 초점을 맞추어 왔다. 따라서 외국의 신재생기기를 국내에 수입하여 보급을 촉진하는데 사용되었다. 하지만 이러한 신재생에너지 정책도 현재와 같은 RPS제도가 존재하지 않아서 보급 확대에도 한계가 있었다. 하지만 2000년대 들어와서 전 세계적으로 신재생에너지 시장이 선진국을 중심으로 형성되고 급속히 파급되어 감에 따라서 국내에서도 신재생에너지에 대한 기술개발의 중요성을 깨닫고 신재생에너지에 대한 기술개발을 시작하게 되었다. <부그림 2>에서 보는 바와 같이 2009년 기준으로 OECD국가에서 미국의 R&D지출액이 가장 많으며, 독일, 프랑스가 그 뒤를 잇고 있다. 우리나라는 1억 6,900만 달러로 4위를 차지하고 있다.

이에 반해 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국 등 주요 국가들은 90년대부터 꾸준히 신재생에너지에 대한 기술개발에 노력하고 있다. 특히 미국의 경우에는 <표 2>에서 보는 바와 같이 2009년 기준으로 전체 OECD 국가의 신재생에너지에 대한 R&D 투자액의 59%를 차지하고 있다. 그 다음으로 독일, 프랑스, 한국, 영국, 캐나다, 일본 등이 각각 6.10%, 4.61%, 4.48%, 3.75%, 3.26%, 3.02%로 그 뒤를 잇고 있다. 여기에서 중요한 사실은 <부그림 1>에서 보는 바와 같이 미국의 신재생에너지에 대한 R&D 투자액이 2009년에서 2010년 기간 동안 감소하였지만 2006년 이후로 신재생에너지에 대한 과감한 투자를 실시해 왔다는 것이다. 일본의 경우에는 1990년~2000년대를 통해 신재생에너지에 대한 R&D투자가 일정수준을 유지하고 있다는 사실이다. 즉 우리나라가 신재생에너지에 대한 투자를 전혀 하지 않는 1990년대에도

일본은 1억~2억 달러 이상의 신재생에너지에 대한 R&D투자를 지속해 왔다는 것이다. 그 외에도 독일은 1990년대부터 신재생에너지에 대한 과감한 기술투자를 하였다. 독일 역시 1990년부터 1억~2억 달러에 달하는 R&D투자를 신재생에너지에 하였다. 그리고 이러한 독일의 투자양상은 최근 들어 위축되는 일본의 R&D 투자양상과 다르게 가속화되고 있다. 그 외에도 캐나다, 프랑스, 이탈리아 등도 꾸준히 신재생에너지에 대한 R&D 투자를 확대하여 왔다.

이상에서 살펴본 바와 같이 우리나라는 미국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 일본 등 주요 선진국들에 비해서는 신재생에너지에 대한 R&D 투자가 늦었지만, 최근에 들어서 과감히 신재생에너지에 대한 R&D투자를 확대하여 2010년 현재 전체 OECD의 신재생에너지 R&D투자액의 6.79%를 차지하였다는 사실은 주목할 만하다.

〈표 1〉 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)에 대한 R&D 지출액  
단위: 백만 달러(2010 PPP)

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
한국	0.00	0.00	68.27	94.93	100.20	117.28	169.27	211.90
일본	101.18	143.78	218.76	238.70	179.07	175.75	114.19	186.51
미국	370.85	263.28	277.12	217.78	579.36	456.74	2228.14	1310.00
캐나다	16.90	30.12	43.33	70.59	61.93	75.57	123.12	145.58
프랑스	6.80	18.04	53.12	65.07	83.23	105.53	174.08	0.00
영국	20.27	8.70	63.75	83.77	120.98	74.81	141.73	253.17
독일	98.66	101.31	120.03	115.65	117.52	150.80	230.31	233.26
이탈리아	66.08	36.44	70.46	50.32	72.85	104.69	80.47	73.45
스페인	26.77	30.97	38.73	42.17	43.73	52.38	53.82	40.41
호주	5.66	0.00	23.54	30.14	36.55	32.14	61.63	64.90
뉴질랜드	1.57	1.72	3.24	3.09	3.96	12.23	11.90	11.43
OECD 합계	877.00	826.00	1159.00	1253.00	1688.00	1664.00	3775.00	3119.00

자료 : OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, www.oecd.org.

<표 2> 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)에 대한 R&D 지출 비중

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
한국	0.00	0.00	5.89	7.58	5.94	7.05	4.48	6.79
일본	11.54	17.41	18.87	19.05	10.61	10.56	3.02	5.98
미국	42.29	31.87	23.91	17.38	34.32	27.45	59.02	42.00
캐나다	1.93	3.65	3.74	5.63	3.67	4.54	3.26	4.67
프랑스	0.78	2.18	4.58	5.19	4.93	6.34	4.61	0.00
영국	2.31	1.05	5.50	6.69	7.17	4.50	3.75	8.12
독일	11.25	12.26	10.36	9.23	6.96	9.06	6.10	7.48
이탈리아	7.53	4.41	6.08	4.02	4.32	6.29	2.13	2.36
스페인	3.05	3.75	3.34	3.37	2.59	3.15	1.43	1.30
호주	0.64	0.00	2.03	2.41	2.17	1.93	1.63	2.08
뉴질랜드	0.18	0.21	0.28	0.25	0.23	0.73	0.32	0.37
OECD 합계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

자료 : OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, www.oecd.org.

## 2. 신재생에너지의 관련 특허 건수

신재생에너지에 대한 주요 OECD 국가의 특허 건수는 <표 3>에 나타나 있다. <부그림 3>은 주요 OECD국가의 특허 건수를 그림으로 나타낸 것이다. 2008년 기준으로 주요 OECD국가의 특허 건수를 보면 미국의 특허 건수가 가장 많으며, 그 다음으로 독일, 일본, 덴마크, 프랑스, 영국, 네델란드, 이탈리아, 한국, 스페인, 스웨덴 등 순으로 많다(<부그림 4> 참조). 그리고 <부그림 4>에서 보는 바와 같이 상위 3개국 즉 미국, 독일, 일본이 특허건수가 차지하는 비중이 전체 OECD특허 건수의 57%를 차지하고 있다. EU27 의 경우에는 1,409건으로 전체 OECD국가의 특허 건수의 54%에 이르고 있다. 우리나라의 경우에는 약 84건으로 일본의 26%, 미국의 14%, 독일의 15%에 불과하다. 이는 일본과 미국이 일찍부터 신재생에너지에 대한 기술투자에 노력을 기울여 왔다는 것을 의미하며, 신재생에너지에 대한 기술이 이들 3개국에 밀집되어 있다는 것을 의미한다. <부그림 3>에서 보는 바와 같이 전세계적으로 신재생에너지에 대한 기술이 급격히 증가하기 시작한 것은 1998년을 전후



해서이다. 즉 교토의정서가 체결되면서 부속서 I 국가들은 온실가스를 감축해야 하는데 가장 쉽게 온실가스를 감축할 수 있는 방법이 신재생에너지 보급증대였기 때문이다. 그리고 이러한 신재생에너지의 특허건수로 볼 때 신재생에너지에 대한 기술개발은 급속히 확대되고 있는 양상을 보이고 있다. 신재생에너지에 대한 기술은 그 혁신패턴이 최근 들어 가속화되는 양상을 보이고 있다. 이는 교토의정서 부속서 I 국가를 중심으로 신재생에너지에 대한 시장이 지속적으로 확대되는 것과 밀접한 관련을 가지고 있다. 우리나라의 경우에도 2002년을 기점으로 신재생에너지에 대한 특허 건수가 급속히 확대되고 있다.

〈표 3〉 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)특허 건수 현황  
단위: 건수

	1995	2000	2005	2006	2007	2008
한국	2.00	1.00	22.57	28.63	49.85	83.94
일본	41.00	111.00	154.50	181.25	233.67	323.30
미국	44.90	54.62	257.48	417.33	487.22	608.30
캐나다	0.60	1.00	24.70	29.99	31.92	36.42
프랑스	5.00	16.00	51.64	53.83	93.87	131.73
영국	11.00	20.65	67.33	75.97	99.15	114.49
독일	36.55	124.25	243.96	305.49	428.07	558.02
이탈리아	1.00	11.00	27.50	51.67	76.30	86.30
스페인	3.00	5.80	35.57	63.53	77.92	66.30
호주	6.00	10.50	21.08	15.83	27.00	24.62
네델란드	4.00	22.20	32.27	46.94	67.88	95.34
EU 27	86.13	260.60	582.26	777.53	1112.46	1409.79
OECD 합계	198.00	466.05	1106.61	1498.59	2029.15	2619.56

자료: OECD, OECD Patent Statistics, www.oecd.org.

### III. R&D 생산성에 대한 계량 분석 결과

신재생에너지에 대한 R&D투자액과 관련 특허(Patent)사이의 연관관계를 분석하기 위해서는 우선 각 연도의 R&D 투자액을 기반으로 R&D 자본스톡(Capital

Stock)을 계산해야 한다. R&D 자본 스톡을 계산하기 위해서는 당해연도의 R&D 투자액 뿐만 아니라 과거의 R&D투자액을 모두 고려하여야 한다. 단지 과거의 R&D 투자액에 대해서는 적당한 감가상각이 필요하다. 본 연구에서는 구체적으로 Grossman & Helpman (1995)이 제시한 방법으로 구한다.

$$D_t = (1 - \delta)D_{t-1} + R_t$$

여기에서  $D_t$ 는  $t$ 기의 자본 스톡을,  $D_{t-1}$ 은  $t-1$ 기의 자본스톡을 의미한다. 그리고  $R_t$ 는  $t$ 기의 R&D투자액을 의미한다. 여기에서  $\delta$ 는 0.05를 가정한다. Grossman & Helpman (1995)에서도 이와 동일한 할인율을 적용하였다. 그리고 초기의 벤치마크  $D_0$ 는 1990년 각 국가의 R&D 투자액을 상정한다. 이와 같이 하는 이유는 신재생 에너지부문에서의 R&D투자액은 1974년부터 OECD에서 데이터를 제공하고 있는데 우리가 관심이 있는 데이터는 1990년부터이므로 1974년부터 위와 같은 방법으로 R&D 자본스톡을 계산하면 별 무리가 없다고 사료된다. 따라서 이와 같은 방법으로 계산한 OECD 각 국가의 신재생에너지의 R&D 자본 스톡은 <표 4> 와 <표 5>에 주어져 있다.

본 연구에 사용한 분석 방법은 Hausman et al.(1984)가 제시한 negative binomial model을 사용하기로 한다. 내생변수(dependant variable)가 특허와 같은 count 변수의 경우에는 Poisson model 혹은 negative binomial model을 사용하고 있다. Poisson 분포에서는 조건부 평균과 조건부 분산이 동일해야 한다는 가정이 요구된다. 그러나 본 연구에서 사용하는 데이터는 이 조건이 충족되지 않는다. 이 경우에 만약 Poisson 모형으로 추정할 경우, 분산을 과소 추정하여 이로 인해 가설 검정에서 낮은 검정력을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 과다산포문제(overdispersion problem)와 횡단면 자료에서의 이질성을 고려한 Neagative binomial 모형을 이용하였다. Johnstone & Hascic (2008)의 경우에도 negative binomial model을 사용하고 있다.

$n_{it}$ 를  $t$  기에  $i$  번째 국가에서 발생하는 특허수라고 규정하자. 그리고  $n_{it}$ 는

Poisson 분포를 따르는데 이때 기댓값은  $\lambda_{it}$ 이다. 즉  $E(n_{it}|X_{it}) = \lambda_{it}$ 이다. 그리고 이때 모수  $\lambda_{it}$ 는 계수(parameters)가  $(\gamma, \delta)$ 인 감마분포(Gamma Distribution)를 따른다고 가정한다. 이때 우리는 국가별로 시기별로 공통의  $\delta$ 를 가진  $\gamma = e^{X_{it}\beta}$ 로 규정한다. 이러한 경우  $\lambda_{it}$ 에 대한 가정을 바탕으로  $n_{it}$ 의 분포는 계수  $(\gamma_{it}, \delta)$ 를 가진 negative binomial distribution을 나타내는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} pr(n_{it}) &= \int_0^\infty \frac{1}{n_{it}!} e^{-\lambda_{it}} \lambda_{it}^{n_{it}} f(\lambda_{it}) d\lambda_{it} \\ &= \frac{\Gamma(\gamma_{it} + n_{it})}{\Gamma(\gamma_{it})\Gamma(n_{it} + 1)} \left( \frac{\delta}{1 + \delta} \right)^{\gamma_{it}} (1 + \delta)^{-n_{it}} \end{aligned} \quad (1)$$

변수  $n_{it}$ 에 대한 평균과 분산을 보면,

$$E(n_{it}) = e^{X_{it}\beta} / \delta, \quad V(n_{it}) = e^{X_{it}\beta} (1 + \delta) / \delta^2,$$

으로 분산과 평균의 비(variance to mean ratio) 즉  $V(n_{it})/E(n_{it}) = (1 + \delta)/\delta > 1$ 로 그 값이 1보다 크다. 따라서 negative binomial 모형에서는 과다산포(overdispersion)의 문제가 발생하지 않는다는 것을 보여준다.

이제 국가별 고정효과(Fixed Effects)를 분석하기 위해서는 식(1)의 분포를 바탕으로 T기 전체에 대한 결합확률분포를 구해보면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} pr(n_{i1}, \dots, n_{iT} | \sum n_{it}) \\ = \left( \prod_t \frac{\Gamma(\gamma_{it} + n_{it})}{\Gamma(\gamma_{it})\Gamma(n_{it} + 1)} \right) \left( \frac{\Gamma(\sum_t \gamma_{it})\Gamma(\sum_t n_{it} + 1)}{\Gamma(\sum_t \gamma_{it} + \sum_t n_{it})} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

이 경우,  $n_{it}$ 의 분포는 계수  $(\gamma_{it}, \delta_i) = (e^{X_{it}\beta}, \phi_i/e^{\mu_i})$ 를 가지는데  $\phi_i$ 와  $\mu_i$ 는 국가별로 상이한 값을 가진다.

이 경우에 변수  $n_{it}$ 에 대한 평균과 분산을 보면,

$$E(n_{it}) = e^{X_{it}\beta + \mu_i / \phi_i}, \quad V(n_{it}) = e^{X_{it}\beta + \mu_i / \phi_i} (1 + e^{\mu_i / \phi_i}),$$

으로 분산과 평균의 비 즉  $V(n_{it})/E(n_{it}) = (e^{\mu_i} + \phi_i)/\phi_i$ 로 그 값이 1보다 크며, 각 국가별로 상이한 분산과 평균의 비(variance to mean ratio)를 나타낸다.

R&D 자본 스톡 및 배출권거래제 등 이 특허에 미치는 영향을 분석하기 위한 신재생에너지에 대한 구체적인 패널 분석식은 다음과 같다.

$$Patent\ Count = \beta_1 RD_{it} + \beta_2 PELE_{it} + \beta_3 CELE_{it} + \beta_4 G7_{it} + \beta_5 AI_{it} + \beta_6 ET_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it} \quad (3)$$

$i = Australia, \dots, United\ States.$

$t = 1990, \dots, 2008.$

*Patent Count*는 특허건수를 나타낸다.  $RD_{it}$ 는  $i$ 국가의  $t$ 기의 R&D 자본 스톡을 나타내며,  $PELE_{it}$ 는  $i$ 국가의  $t$ 기의 전력가격을 나타낸다.  $CELE_{it}$ 는  $i$ 국가의  $t$ 기의 전력소비를 나타내며,  $G7_{it}$ 는 G7국가의 더미변수를,  $AI_{it}$ 는 부속서 I 국가에 대한 더미변수를 나타낸다. 그리고  $ET_{it}$ 는 EU 국가의 배출권거래제 시기에 대한 더미변수를 나타낸다.

본 연구에서 고려한 각각의 변수<sup>2)</sup>는 다음과 같은 함의를 가지고 있다.

첫째, 신재생에너지 R&D 자본 스톡은 신재생에너지의 특허 즉 혁신에 가장 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다. 한 국가의 혁신 능력을 구체적으로 측정하는 것은 매우 어려운 문제이지만 본 연구에서는 각국의 R&D지출액을 기반으로 하여 신재생에너지의 R&D 자본스톡을 추정하였다. 이 변수에 대해서는 우리는 부호가 양의 값을 가질 것으로 추정이 된다.

둘째, 전력소비량은 시장의 크기를 의미한다. 즉 전력시장의 크기가 크면 클수록

2) 본 연구에서는 신재생에너지 보급정책 즉 RPS, FIT 등은 분석 변수에서 제외하기로 한다. 이러한 정책들은 대부분 신재생에너지의 수요 확대 정책으로서 신재생에너지의 기술생산성에 영향을 미친다고 보기 힘들기 때문이다. 이러한 수요 확대 정책은 전력소비량이라는 신재생에너지 시장 변수에 포함되어 있다고 볼 수 있으며, 그 외 신재생에너지의 기술 지원정책은 신재생 R&D 자본 스톡에 이미 일부 반영되어 있다고 볼 수 있다.

신재생에너지에 대한 수요도 증가할 것으로 예상된다. 따라서 전력시장이 크면 클 수록 신재생에너지 혁신에 대한 인센티브가 증가할 것이다. 이 변수에 대해서도 우리는 부호가 양의 값을 가질 것으로 추정된다. 전력소비량은 IEA의 “Energy Balances of OECD Countries”데이터의 최종에너지 전력소비량을 이용하기로 한다.

셋째, 전력가격 역시 신재생에너지 혁신 인센티브를 가속화할 것이다. 신재생에너지 수요는 전력가격이 상승하면 상승할수록 증가할 것이다. 대부분의 각 국가의 실정을 보면 신재생에너지 발전단가가 다른 에너지원에 의한 발전단가보다도 훨씬 높다. 따라서 전반적인 전력가격이 상승하면 신재생에너지의 발전유인이 증가할 것으로 예상된다. 따라서 이 변수에 대해서도 우리는 부호가 양의 값을 가질 것으로 추정된다. 전력가격은 IEA의 “Energy Prices and Taxes”데이터 중에서 가정용 전력가격을 이용하기로 한다. 가정용전력가격과 산업용 전력가격의 격차가 각 국가별로 존재하는 건 사실이지만 대부분의 신재생에너지의 전력은 가정용으로 사용되는 것으로 파악되고 있다.

넷째, OECD국가의 R&D 자본 스톱을 보면 G7국가와 다른 국가와의 격차가 매우 큼을 알 수 있다. 따라서 다른 연구에서와 마찬가지로 이러한 G7국가 효과가 나타나는지를 더미변수를 고려하여 살펴볼 필요가 있다.

다섯째, 교토의정서 부속서 I 국가의 경우에는 온실가스 감축 의무부담국이다. 따라서 이러한 국가들은 온실가스를 감축시키기 위하여 비교적 이른 시기부터 신재생에너지 개발 및 보급에 적극적으로 임하고 있다. 이러한 효과를 보기 위하여 부속서 I 국가에 대한 더미 변수의 영향을 살펴볼 필요가 있다.

여섯째, EU 국가들의 경우에는 2005년부터 배출권거래제를 실시해오고 있다. 비록 2005년에서 2008년까지는 배출권거래제 시범기간이기는 하지만 이러한 EU의 기후변화 대응 정책이 신재생에너지의 개발 및 보급을 촉진하였을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 효과 분석을 위하여 EU국가들에 대해서 2005년 이후 기간에 대해서는 더미변수를 부여하여 분석해 볼 필요가 있다.

〈표 4〉 OECD 국가의 신재생에너지부문의 R&D 자본스톡 (1990~1998)

단위: 백만 달러

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Australia	78.16	74.25	70.54	78.93	74.98	76.89	73.05	77.77	73.88
Austria	80.87	83.07	84.28	87.33	92.32	98.76	102.41	107.72	116.09
Belgium	111.97	106.83	104.19	102.08	100.25	100.47	99.37	98.79	95.65
Canada	539.02	526.61	516.96	506.06	498.06	490.06	482.36	471.23	461.06
Czech Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Denmark	75.78	91.68	108.22	125.55	139.07	150.71	158.23	169.75	182.60
Finland	2.84	5.00	7.23	13.15	19.46	25.54	33.19	45.96	54.17
France	99.38	104.63	109.33	111.16	112.47	113.65	114.37	112.60	112.28
Germany	1250.95	1334.97	1422.91	1520.55	1556.10	1576.95	1621.14	1636.83	1664.04
Greece	167.52	166.96	166.99	164.60	159.58	157.32	154.79	158.27	150.36
Hungary	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	1.28	1.21	1.23
Ireland	25.58	24.31	23.09	21.94	20.84	19.80	18.81	17.87	16.97
Italy	683.41	707.00	671.65	680.89	695.28	726.59	752.32	771.77	786.41
Japan	1431.31	1468.63	1499.62	1533.42	1557.34	1580.65	1604.42	1626.05	1657.40
Korea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Luxembourg	0.00	0.02	0.07	0.19	0.24	0.27	0.37	0.86	1.04
Netherlands	419.36	447.65	454.48	461.00	474.46	483.41	498.59	525.58	556.23
New Zealand	51.77	49.83	47.34	46.20	45.26	44.57	44.35	44.13	44.26
Norway	58.30	69.07	80.69	88.62	94.01	95.74	96.92	97.95	99.97
Poland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portugal	45.20	46.39	48.68	49.23	47.87	46.53	46.46	45.22	45.40
Slovak Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spain	482.59	489.14	506.64	519.07	520.78	521.51	522.20	522.83	530.01
Sweden	456.36	446.29	454.98	447.65	443.88	436.07	423.47	411.77	406.55
Switzerland	190.36	215.02	245.15	275.65	302.37	326.94	348.49	371.09	391.33
Turkey	6.36	6.04	9.29	9.52	10.06	9.74	9.59	14.70	18.48
United Kingdom	443.96	464.17	479.42	490.64	486.90	482.83	471.93	457.30	441.10
United States	6169.24	6082.77	5964.00	5835.11	5849.60	5927.97	5905.00	5867.51	5890.96

신재생에너지의 R&D 생산성과 배출권거래제의 연관관계 분석

<표 5> OECD 국가의 신재생에너지부문의 R&D 자본스톡 (1999~2008)

단위: 백만 달러

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Australia	83.80	79.61	90.08	85.57	95.52	123.76	141.11	164.19	192.54	215.05
Austria	123.25	126.11	130.54	136.93	143.15	148.40	156.44	165.93	175.81	196.58
Belgium	92.28	87.67	83.29	79.12	75.17	71.41	67.84	64.45	79.13	75.17
Canada	454.24	461.64	465.16	471.42	493.09	499.44	517.80	562.50	596.30	642.06
Czech Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	2.34	4.47	7.08	8.99	18.75
Denmark	191.95	200.99	211.80	211.82	211.75	225.55	242.30	260.07	285.51	314.16
Finland	63.17	70.81	77.28	85.17	104.17	120.21	128.84	159.16	189.70	220.02
France	124.08	135.92	153.37	183.05	206.72	235.31	276.67	327.91	394.75	480.54
Germany	1676.99	1694.44	1706.25	1722.89	1729.16	1717.67	1751.82	1779.87	1808.40	1868.78
Greece	142.84	138.95	136.83	135.67	128.89	122.45	125.50	129.66	123.18	117.02
Hungary	1.21	2.34	4.93	9.30	12.21	18.19	25.65	33.81	42.16	49.64
Ireland	16.12	15.32	14.55	14.52	15.56	18.03	21.17	29.72	38.04	59.51
Italy	747.09	746.17	768.83	810.32	845.25	876.77	903.39	908.54	935.96	993.86
Japan	1694.51	1753.57	1796.55	1872.12	1913.79	2111.50	2224.68	2352.14	2413.60	2468.68
Korea	0.00	0.00	0.00	17.76	38.16	88.89	152.71	240.00	328.20	429.07
Luxembourg	1.75	2.19	2.08	1.97	1.87	1.78	1.69	1.61	1.53	1.45
Netherlands	587.56	602.39	628.91	655.92	686.22	651.91	669.55	693.21	739.64	758.69
New Zealand	43.65	43.20	44.06	44.03	44.87	45.94	46.88	47.62	49.19	58.96
Norway	101.79	103.51	103.65	103.55	102.86	102.66	102.16	102.49	107.47	113.47
Poland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portugal	45.74	44.99	43.50	43.67	41.94	42.04	40.82	39.39	38.72	37.21
Slovak Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	7.17
Spain	532.01	536.37	538.49	539.97	547.87	556.15	567.07	580.89	595.57	618.17
Sweden	401.18	410.16	420.95	429.24	431.87	449.79	442.95	457.90	467.03	478.06
Switzerland	411.60	419.91	426.99	435.67	445.44	449.00	450.50	450.46	450.62	458.22
Turkey	20.64	23.07	23.30	24.97	25.46	25.26	26.17	27.78	28.53	29.90
United Kingdom	428.25	415.54	406.58	405.98	406.82	421.42	464.10	524.66	619.41	663.25
United States	5926.42	5893.38	5904.66	5906.74	5896.87	5879.84	5862.97	5787.59	6077.57	6230.43

본 연구에서 사용한 변수에 대한 기본적인 데이터는 <표 6>에서 보는 바와 같이

대부분 OECD 및 IEA데이터에서 추출하였다.

〈표 6〉 연구 데이터 출처

변수	데이터 출처	단위
patent count	OECD Patent Statistics	건수
R&D	IEA Energy Technology R&D Statistics	10 <sup>9</sup> 달러(2010년 PPP)
CELE	IEA World energy Statistics and Balances	백만 GWh
PELE	IEA Energy Prices and Taxes Statistics	달러/1000unit

본 연구에서 사용한 주요 내생변수들간의 상관계수(CORRELATION COEFFICIENT)를 살펴보면 <표 7>과 같다. 이 결과에 의하면 R&D변수와 CELE간에 상관계수값이 0.9682로 거의 1에 가까워 다중 공선성이 존재할 가능성이 높아 차후 분석에서는 CELE변수를 내생변수에서 제외하고 분석하기로 한다.

〈표 7〉 주요 변수들간의 상관계수

	R&D	CELE	PELE	ET	AI	G7
R&D	1.0000					
CELE	0.9682	1.0000				
PELE	-0.1159	-0.1806	1.0000			
ET	-0.0687	-0.0917	0.4535	1.0000		
AI	0.2265	0.1581	-0.1724	0.0146	1.0000	
G7	0.5623	0.5566	-0.0776	-0.0486	0.3015	1.0000

주: RD는 R&D 자본 스톡을 나타내며, PELE는 전력가격을 나타낸다. CELE는 전력소비를 나타내며, G7는 G7국가의 더미변수를, AI는 부속서 I 국가에 대한 더미변수를 나타냄.

신재생에너지에 대한 배출권거래제의 R&D효과성에 대한 분석결과는 <표 7>에 제시된 바와 같다. 독립변수(independant variable)의 조합에 따라서 총 8개의 모델을 설정하였다<sup>3)</sup>. 전체 모형에 걸쳐서 Wald  $\chi^2$ 값을 비교해본 결과 모든 모형이

3) 정책더미 중 ET를 제외한 AI와 G7 정책더미만을 쓴 모형은 없습니다. 이는 이 연구의 중심이 배출권 거래제와의 상호 연관관계 하에서 분석하는 것이 주된 연구목적이기 때문입니다.



95% 유의수준에서 유효한 것으로 나타났다. 특히 모델 I을 제외하고는 모든 모형에서 99% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다.

각 변수별 계수값을 살펴보면, R&D투자 스톡의 경우, 이 변수의 값이 증가할수록 특허건수가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 모형 I은 95% 유의수준에서, 모형 II, 모형 III, 모형 IV, 모형 V에서는 99% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났다. 특히 모형 II, 모형 III, 모형 IV에서는 계수값이 0.08~0.20로 비교적 높게 나타나고 있다. 가령 예를 들면 모형 II의 경우 R&D스톡이 10억 달러 증가할 경우 특허건수가 0.2건 증가하는 것으로 해석될 수 있다. 하지만 모형 VI, 모형 VII, 모형 VIII에서는 계수값이 통계적으로 유의하지 못한 값이 도출되었는데 이는 정책변수를 다수 고려함으로써 다수의 정책변수 터미 값이 R&D변수 값에 영향을 미쳤기 때문이다. 따라서 이후 정책변수를 동시에 고려한 모형은 정책변수 값의 해석에 있어 보완적으로 고려한다.

다음으로 전력가격이 기술혁신에 미친 영향을 살펴보기로 하자. 전력가격(PELE)의 경우에는 모든 모형에서 양의 값을 나타내고 있으며, 그 계수 값도 6.8에서 14.7로 매우 높은 값을 나타내고 있다. 이는 전력가격이 10달러 증가할 경우 신재생에너지 특허건수는 6.8에서 14.7건 증가하는 것으로 해석된다. 통계적으로도 모두 1% 수준에서 계수값이 유의한 것으로 나타났다. 이는 전력가격이 상승할수록 신재생에너지에 대한 기술혁신의 인센티브가 증가하고 다른 화석연료에서 발생하는 전력가격과의 가격격차가 감소한다는 것을 나타낸다.

다음으로 정책변수가 기술혁신에 미치는 영향을 보기로 하자! 여기에서는 3가지의 정책변수를 고려하였다. 첫 번째 정책변수(ET)는 배출권거래제를 실시하느냐의 여부이다. 모형 III에서 보는 바와 같이 ET의 경우에는 양을 계수값을 가지고 있다. 따라서 배출권거래제를 실시하는 국가와 시기의 경우에는 신재생에너지의 기술진보를 가속화한다고 볼 수 있다. 모형 VI, 모형 VII, 모형 VIII에서도 역시 양(+의) 계수 값을 확인할 수 있었으며, 이러한 계수 값은 모두 1%수준에서 유의한 값을 나타내고 있다. 그리고 고려하고 있는 모든 모형에서 계수 값이 모두 1을 넘는 높은 상관관계를 보이고 있다.

두 번째 정책변수(AI)는 부속서 I 국가인가의 여부가 신재생에너지의 기술진보에

영향을 미치는가이다. 모형 IV를 통해서 보면 부속서 I 국가의 경우 신재생에너지의 기술혁신을 더 가속화하는 것으로 볼 수 있다. 이는 부속서 I 국가들은 온실가스의 무부담국으로서 대부분의 국가가 신재생에너지의 보급 및 산업의 활성화에 적극적으로 나서기 있기 때문인 것으로 파악된다. 특히 모형 VI은 배출권거래제와의 상호 연관관계하에서 양의 계수값을 나타내고 있으며, 모형 VIII의 경우에는 배출권거래제, G7국가라는 변수와의 상호연관관계하에서 양의 값을 나타내고 있다.

그리고 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국, 캐나다, 이탈리아 등 대국(large countries)의 효과를 점검해 보기 위해 G7국가에 더미변수를 부여해본 결과, 모형 V에서 보면 0.3966이라는 양의 계수값을 보이고 있다. 이는 앞서 살펴본바와 같이 ET의 계수값이나 AI의 계수값보다는 낮게 나타나고 있다. 이는 대국의 효과보다는 정책적으로 배출권거래제나 부속서 I 국가 등 온실가스 감축 정책이 많은 국가군에서 신재생에너지의 기술진보가 더 빨리 일어날 수 있다는 사실을 보여주고 있다. 또한 모형 VII에서 양(+)의 계수값을 보이고 있는데 이는 배출권거래제와의 상호 연관관계속에서 나온 결과라서 의미가 있다. 모형 VIII에서는 너무 많은 정책변수를 고려함으로써 일부 변수(RD, G7)의 경우 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 신재생에너지에 대한 기술혁신은 R&D스톡, 전력가격, 배출권거래제 실시여부, 교토의정서 부속서 I 국가인가의 여부, G7국가 여부에 따라서 영향을 받는다고 할 수 있으며, 전력가격에 따라서 기술혁신이 가장 큰 영향을 받았으며, 그 외 배출권거래제 실시여부, 부속서 I국가인가의 여부에 따라서 많은 영향을 받았다. 이상에서 살펴본 바와 같이 배출권거래제와 같은 정책적인 변수들이 기술혁신에 많은 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 이는 당연한 결과로 여겨질 수 있지만 향후 온실가스 감축 의무국가가 증대할 경우 신재생에너지에 대한 기술혁신이 더욱 가속화되리라고 예측할 수 있으며 이를 계량 경제학적으로 분석하였다는 데 그 의의가 있다.

〈표 8〉 OECD국가의 신재생에너지에 대한 R&D효과성 분석  
(내생변수: PatentCount)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
RD(r)	0.1042** (0.045)	0.2042*** (0.047)	0.0838*** (0.047)	0.1698*** (0.049)	0.1528*** (0.053)	0.0269 (0.050)	0.0237 (0.056)	0.0088 (0.569)
PELE(s)		14.2658*** (1.194)	6.6979*** (1.226)	14.7010*** (1.159)	14.6730*** (1.185)	7.1343*** (1.170)	6.8421*** (1.221)	7.1654*** (1.172)
ET(t)			1.2980*** (0.0957)			1.2832*** (0.089)	1.2989*** (0.096)	1.2843*** (0.089)
AI(x)				1.0750*** (0.2614)		1.4515*** (0.262)		1.4027*** (0.2715)
G7(g)					0.3966** (0.187)		0.4237** (0.199)	0.1420 (0.206)
Log Likelihood	-1563.20	-1435.68	-1435.68	-1502.66	-1509.04	-1420.19	-1433.47	-1419.96***
Wald chi2	5.40**	147.94***	524.72***	171.93***	158.38***	626.03***	544.09***	628.14***
obs	532	532	532	532	532	532	532	532

주: (1) ( )안은 표준 편차임.

(2) \* 10% 유의수준에서 유의; \*\* 5%유의수준에서 유의; \*\*\* 1% 유의수준에서 유의

### III. 결론 및 시사점

이상에서 우리나라를 비롯한 OECD국가들의 신재생에너지 R&D 투자현황, 그리고 R&D 기술성과를 특허데이터를 중심으로 살펴보았다. 이에 의하면 우리나라의 경우 1991년부터 2001년까지 신재생에너지에 대한 R&D투자가 전혀 없었으나 2002년부터 이에 대한 투자를 늘려 2010년에는 2억 1,190억 달러에 이르고 있다. 그리고 이러한 신재생에너지에 대한 R&D 투자액은 전체 OECD국가에서 6.79%를 차지하고 있다. 신재생에너지 특허건수의 경우, 우리나라는 약 84건으로 일본의 26%, 미국의 14%, 독일의 15%에 불과하다. 이와 같이 우리나라의 신재생에너지 기술성과는 다른 OECD 선진국에 비해 매우 일천한 수준이다.

본 연구에서는 신재생에너지의 기술혁신 구체적으로는 신재생에너지 기술 특허

의 생산성에 영향을 미치는 다양한 요인들을 살펴보았다. 본 연구에서는 R&D생산성에 영향을 미치는 요인으로 전력가격, R&D투자액 등 기술적이고 경제적인 특성 뿐만 아니라 배출권거래제 실시여부, 교토의정서 부속서 I국가인가의 여부, G7국가 여부 등의 정책적인 요인들을 아울러 고려하였다는데 그 의의가 있다.

특히 OECD 패널데이터를 사용하여 배출권거래제와 신재생에너지 기술개발과의 연관성에 대한 분석은 본 연구에서 처음 시도되는 바이다. 2015년부터 온실가스 배출권거래제가 한국에서도 도입될 예정이므로 배출권거래제와 신재생에너지의 기술혁신과의 연관성은 향후 국내 배출권거래제 정책과 신재생에너지 정책 설계에 유익한 시사점을 줄 것으로 보인다.

분석결과에 의하면, 배출권거래제 실시 여부가 신재생에너지의 기술혁신을 촉진시키는 것으로 실증적으로 분석되었다. 따라서 배출권거래제는 단지 온실가스 감축 규제수단으로서 뿐만 아니라 신재생에너지 기술혁신을 통한 부차적인 온실가스 감축도 기대할 수 있다. G7 국가 여부에 따라서도 기술혁신이 큰 영향을 받았다. 이는 전반적으로 G7국가인 경우 전반적인 기술스톡이 이미 형성되어 있어 신재생에너지에 기술혁신의 성과성이 그 만큼 높다고 할 수 있다. 그리고 부속서 I국가의 경우에 전반적으로 신재생에너지의 기술혁신이 높게 나타나고 있다. 이는 당연한 결과로 여겨질 수 있지만 향후 온실가스 감축 의무국가가 증대할 경우 신재생에너지에 대한 기술혁신이 더욱 가속화되리라고 예측할 수 있다. 그 외에도 전력가격이 높을수록 신재생에너지의 기술혁신이 높게 나타나고 있다. 높은 전력가격은 신재생에너지의 수익을 더 많이 가져오기 때문인 것으로 사료된다. 이상에서 살펴본 바와 같이 주로 정책적인 변수들이 기술혁신에 많은 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

향후 온실가스 감축 의무 부담국이 늘어날 경우 전세계 신재생에너지 수요는 더욱 확대될 것으로 예상되며, 신재생에너지 기술개발 경쟁은 더욱 치열해질 것으로 예상된다. 우리나라의 기후변화 대응정책 차원에서 입법화된 온실가스 배출권거래제는 환경규제수단으로서의 역할뿐만 아니라 신재생에너지의 기술혁신에도 일정부분 기여할 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점은 신재생에너지 정책에 대하여 명시적으로 분석하지 않았다는 것이다. 신재생에너지 정책은 각 국가별로 상이한 정책을 추진하고 있으며, G7국가

나 Annex I 국가의 경우 비교적 신재생 보급정책이 잘 추진되고 있는 것으로 간주할 수 있다. 신재생에너지 정책에 대한 정량화로 인한 효과분석은 추후 과제로 남겨두기로 한다.

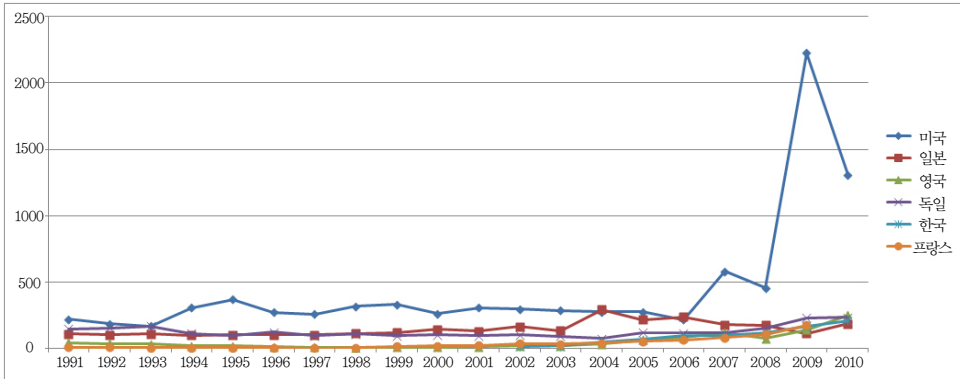
### [참고문헌]

1. 김진영·윤유진, “기업규모와 특허생산성”, 『한국응용경제연구』 제11권 제1호, 2009. 6.
2. Brunnermeier, S. B. and M. A. Cohen “Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 45, 2003, pp. 278~293.
3. Crabb, J. M. and D. K. N. Johnson, “Fueling the Innovation Process: Oil Prices and Induced Innovation in Automotive Energy-Efficient Technology,” Working Paper, Colorado Department of Economics and Business, May 2007.
4. De Vries, F. P. and C. Withagen, “Innovation and Environmental Stringency: The Case of Sulfur Dioxide abatement,” Center Discussion Paper #2005-18, Tilburg University, 2005.
5. Jaffe A. B., R. Newell, and R. N. Stavins, “Technological Change and the Environment,” *Environmental and Resources Economics*, Vol. 22, 2002, pp. 41~69.
6. Jaffe A. B. and R. N. Stavins, “Dynamic Incentives of Environmental Regulations: The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, 1995, pp. 43~63.
7. Jaffe, A. B. and K. Palmer, “Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 79, No. 4, 1997, pp. 610~619.
8. Lanjouw, J. O. and A. MODY, “Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology,” *Research Policy*, Vol. 25, 1996, pp. 549~571.
9. Griliches, Z., R&D, Patents and Productivity. Chicago, University of Chicago Press, 1984.
10. Griliches, Z., “Patent Statistics as economic indicators; a survey,” *Journal of Economic Literature*, Vol. 28, 1990, 1661-1707.
11. Griliches, Z., “R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues,” In P. Stoneman (ed), *Handbook of the Economics of Innovation and*

- Technological Change*, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 52 ~ 89.
12. Hausman, J. and Z. Griliches. "Economic Models for Count Data with an Application to the Patents-R&D Relationship," *Econometrica*, Vol. 52, 1984, pp. 909 ~ 938.
  13. Hausman, J. and H. Bronwyn, Z. Griliches, "Econometric Models for Count Data with an Application to the Patents- R&D Relationship," *Econometrica*, Vol. 52, No. 4, 1984, pp. 1661 ~ 1707.
  14. Mullahey, J., "Specification and Testing of Some Modified Count Data Models," *Journal of Econometrics*, Vol. 33, 1986, pp. 341 ~ 365.
  15. OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
  16. OECD/IEA, IEA World energy Statistics and Balances, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
  17. OECD/IEA, IEA Energy Prices and Taxes Statistics, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
  18. OECD, OECD Patent Statistics Manual, 2009.
  19. OECD, OECD Patent Statistics, [www.oecd.org](http://www.oecd.org).
  20. OECD, "Environmental Policy, Technological Innovation and Patents," OECD Studies on Environmental Innovation 2008.
  21. Pakes, A. and Z. Griliches. "Patents and R&D at the Firm Level: A First Look," 1980, NBER Working Papers 0561.
  22. Popp, D., I. Haščič and N. Medhi, "Technology and the Diffusion of Renewable Energy," *Energy Economics*, 2010, forthcoming
  23. Grossman, G. and E. Helpman, *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge, 1991.
  24. Rübhelke, D. and P. Weiss, "Environmental Regulation, Market Structure and Technology Progress in Renewable Energy Technology - A Panel Data Study on Wind Turbines," *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper Series* 32. 2011.
  25. Taylor, M. R., E. S. Rubin, and D. H. Hounsell, "Effect of Government Actions on Technological Innovation for SO<sub>2</sub> Control," *Environmental Science and Technology*, Vol. 37, pp. 4527-4534.

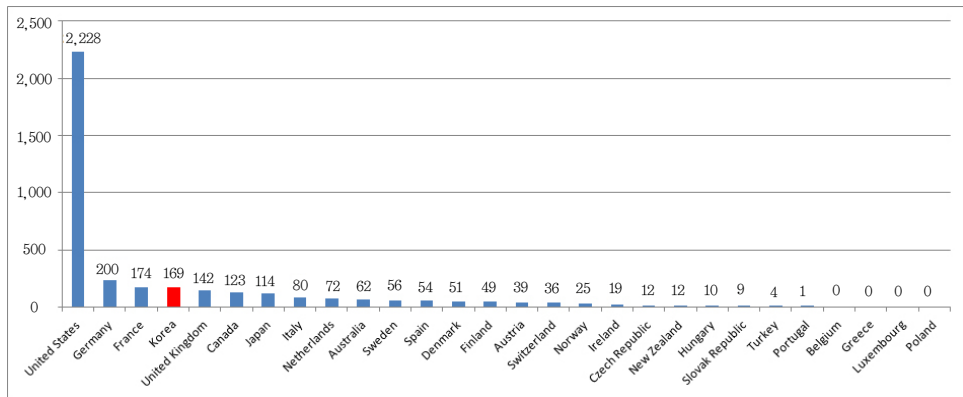
신재생에너지의 R&D 생산성과 배출권거래제의 연관관계 분석

〈부그림 1〉 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)에 대한 R&D 지출액  
단위: 백만달러(2010 PPP)



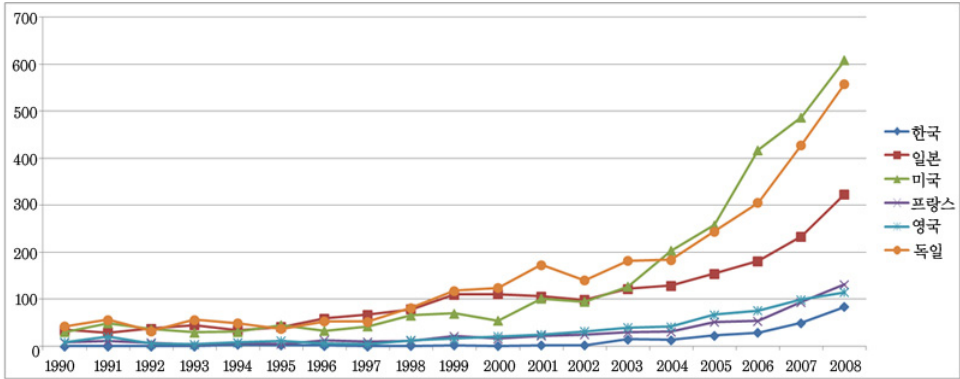
자료 : OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, www.oecd.org.

〈부그림 2〉 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)에 대한 R&D 지출  
(2009년) 단위: 백만달러(2010 PPP)



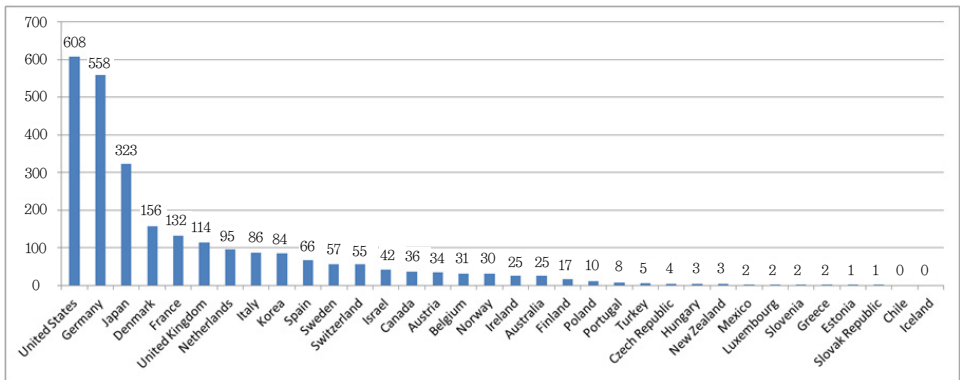
자료 : OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, www.oecd.org.

〈부그림 3〉 주요 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)특허 건수 추이  
단위: 건수



자료: OECD, OECD Patent Statistics, www.oecd.org.

〈부그림 4〉 OECD국가의 신재생에너지(Renewable Energy)특허 건수 국가별 비교  
(2008년)  
단위: 건수



자료: OECD, OECD Patent Statistics, www.oecd.org.