

에너지효율의 기술진보와 배출권거래제: OECD 특허데이터를 중심으로*

김수이*

본 연구는 에너지 효율 부문의 기술진보와 배출권거래제의 연관관계를 OECD의 국가별 특허건수와 R&D 자본스톡을 사용하여 분석하였다. 즉 배출권거래제의 실시 전후하여 이러한 기술진보가 향상되었는지를 살펴봄으로써 배출권거래제가 에너지효율 부문의 연구개발 성과를 촉진하였는지를 계량경제학적으로 분석하였다. 본 연구에 사용한 분석 방법은 Hausman et al. (1984)가 제시한 Negative Binomial Models을 사용하였다. 분석결과에 의하면 배출권거래제가 에너지효율 부문의 기술진보를 향상시키는 것으로 나타났으며, 이는 99%의 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다. 또한 부속서 I국가인가의 여부가 에너지효율의 기술진보를 더욱 촉진하는 것으로 나타났다. 본 연구는 실질적으로 에너지효율부문의 기술진보를 배출권거래제와 상호 연계하여 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

Key Words: 특허, R&D, 배출권거래제

JEL Classification: Q55, Q58, O32, O38

* 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)

I. 서론

우리나라는 2011년 온실가스 배출권거래제를 입법화하였으며, 온실가스 배출권거래제 시행령이 2012년 말 국회를 통과하였다. 이러한 법률안에 의해 우리나라는 2015년부터 온실가스 배출권거래제를 실시할 예정이다. 온실가스 배출권거래제는 배출량 할당량을 시장에서 거래하도록 함으로써 산업부문의 효과적인 감축목표를 달성할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 아울러 이러한 가시적인 온실가스 감축이외에 배출권거래제를 통한 감축기술혁신을 통한 온실가스 감축도 예상할 수 있다. Barrett (2009)은 다음과 같이 말하고 있다 “stabilizing atmospheric concentrations will require fundamental and comprehensive changes in technology” 이에 의하면 새로운 기술 개발을 지원하는 정책을 골라내는 것은 지구 온난화 문제를 해결하는 핵심이다.

이론적으로는 온실가스 배출권거래제는 온실가스 감축 기술혁신도 촉진할 것으로 알려져 있다. 하지만 이러한 배출권거래제를 통한 감축 기술혁신에 대한 실증분석은 그리 많지 않다. 본 연구의 목적은 온실가스 배출권거래제가 단순히 온실가스 감축의 수단으로서 뿐만 아니라 에너지효율의 기술혁신에 기여할 수 있는가에 초점이 맞추어져 있다.

다양한 종류의 환경정책 수단은 감축기술변화의 방향이나 기술변화에 각각 다른 영향을 미친다고 알려져 있다 (Orr 1976). 지금까지 환경정책수단과 감축기술변화 사이의 연관관계에 대한 이론적인 연구는 주로 시장기반 수단 (오염부담금, 보조금, 배출권거래)과 직접규제간의 기술효용성에 중점을 맞추어 왔다. 일반적으로는 시장기반 수단들이 더 비용효과적으로 온실가스를 감축할 수 있으며 더 적은 비용과 더 효과적인 오염 감축 기술을 유도할 수 있다고 알려져 있다. Jaffe et al. (2002), Stavins (2001), Fischer et al. (1998), Ulph (1998)은 환경세 (pollution taxes)와 직접규제 (command and control standards)의 감축기술 R&D에 대한 효과를 분석하였는데 이러한 효과는 두가지 상반되는 효과에 의해서 R&D 수준이 달라지게 된다고 설명하고 있다. 한가지 효과는 비용상승에 의해 비용 절약 오염 감축 방법을 개발하기 위한 R&D투자에 대한 인센티브의 증가가 있고 다른 하나는 R&D투자를 감소시키는 생산감소 효과가

있다. Carro and Soubeyran (1996)는 환경세와 감축기술 R&D 보조금을 상호 비교하였는데 만약 세금에 의한 생산 위축이 작다면 R&D 보조금이 보다 바람직하다고 분석하고 있다. Montero (2000)는 과점시장에서 무상 배출권, 유상배출권 (옥션), 환경세, 표준 (Standard) 등 여러 가지 환경정책수단이 감축기술 R&D에 미치는 효과를 분석하였다. 이는 과점시장이 Cournot 경쟁을 하는가? Bertrand 경쟁을 하는가에 따라서 달라진다고 분석하고 있다. 그 외에도 Letier et al. (2011)에서는 환경규제와 투자사이의 연관관계에 대해서 유럽의 산업데이터를 통하여 분석하였는데 환경규제의 강도는 해당 국가, 해당 산업의 환경보호에 대한 지출 혹은 환경세수로 측정하였다. 연구결과, 환경규제는 기업들의 투자에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

지금까지 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 (environmental 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 SO₂ 규제강도와 혁신정도를 연구하였다. 1887에

서 1995년동안의 데이터를 분석하여 그들은 특허 등록 건수와 SO₂ 규제와의 연관관계를 분석하였다. Popp (2006)는 미국, 독일, 일본의 전력부문을 대상으로 SO₂와 NO_x 부문에 대해서 환경규제가 기술혁신과 확산에 영향을 미쳤는지를 분석하였다. Vries and Withagen (2005)는 SO₂에 대한 환경정책과 관련 특허와의 연관관계를 분석하였다. Crabb and Johnson (2007)은 1980년에서 1999년 기간 동안 미국에서 자동차 연료 효율 기술혁신에 대한 연료가격의 영향을 산정하였다. 자동차 제품에 대한 특허 건수는 국내 가솔린 정제비용에 비례한다는 사실을 발견하였다. Johnston and Popp (2010)은 신재생에너지 정책과 기술혁신과의 연관관계를 특허 데이터를 사용하여 분석하였다. Rübhelke (2011)에서는 신재생에너지기술과 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 선행 연구는 주로 특정 오염물질에 대하여 그에 해당하는 규제와 기술혁신과의 상관관계를 분석하였다. 하지만 온실가스 배출권거래제와 에너지효율 부문의 기술진보 (혁신)의 구체적인 연관성에 대한 연구는 아직 없다. 일반적으로 온실가스 배출권거래제가 실시되면, 에너지 효율이 가속화될 것으로 예견된다. 따라서 본 연구는 온실가스 배출권거래제라는 특정 환경정책이 에너지효율의 기술혁신으로 이어질 수 있는가에 대한 실증분석이다.¹⁾ 특히 온실가스 감축과 관련된 다양한 국제환경과 배출권거래제라는 특정한 정책에 대한 상호연관하에서 분석한 연구는 본 연구가 처음 시도하는 바이다. 본 연구에서는 에너지효율에 대한 R&D데이터가 가능한 OECD 28개국을 대상으로 하여 패널데이터를 구축하였다. 그 외에도 본 연구에서는 특허건수에 가장 중요한 영향을 미치는 요소로서 R&D 스톡을 Grossman and Helpman (1995)이 제시한 방법으로 직접 산출하였다. 그리고 에너지효율 R&D스톡이 동특허에 영향을 미친다는 기본적인 설정하에 배출권거래제라는 구체적인

1) 본 연구에서 대상으로 하는 배출권거래제는 국가적 단위의 배출권거래제이다. 따라서 연구 대상기간 동안에 배출권거래제를 실시한 OECD국가는 EU 27개 회원국이다. 따라서 본 연구는 온실가스 배출권거래제로 인하여 EU회원국들의 에너지효율에 대한 특허 건수가 배출권거래제 실시하는 동안 실질적으로 증가하였는가를 계량경제학적으로 분석하는 것이다.

정책변수를 도입하였다. 그 외에도 교토의정서 부속서 I 국가인가의 여부, G7국가인가의 여부 등 정책변수를 아울러 고려하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 본 연구에서 사용한 데이터와 주요 분석방법을 제시한다. III장에서는 분석결과를 설명하고 IV장에서는 결론 및 시사점을 제시한다.

II. 데이터 및 분석 모형

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 Neegative binomial 모형을 이용하였다. Johnstone and 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 λ_{it} 이다. 즉 $E(n_{it}|X_{it}) = \lambda_{it}$ 이다. 그리고 이때 모수 λ_{it} 는 계수 (parameters)가 (γ, δ) 인 감마분포 (Gamma Distribution)를 따른다고 가정한다. 이 때 우리는 국가별로 시기별로 공통의 δ 를 가진 $\gamma = e^{X_{it}\beta}$ 로 규정한다. 이러한 경우 λ_{it} 에 대한 가정을 바탕으로 n_{it} 의 분포는 계수 (γ_{it}, δ) 를 가진 negative binomial distribution을 나타내는 식 (1)과 같다.

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

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.

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

이 경우, n_{it} 의 분포는 계수 $(\gamma_{it}, \delta_i) = (e^{X_{it}\beta}, \phi_i / e^{\mu_i})$ 를 가지는데 ϕ_i 와 μ_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 에너지효율에 대한 구체적인 패널 분석식은 다음과 같다.

$$Patent\ Count = \beta_1 RD_{it} + \beta_2 OIL_{it} + \beta_3 PELE_{it} + \beta_4 CELE_{it} + \beta_5 G7_{it} + \beta_6 AI_{it} + \beta_7 ET_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it} \quad (3)$$

i = Australia, ... , United States.

t = 1990, ... 2009.

*Patent Count*는 특허건수를 나타낸다. RD_{it} 는 i 국가의 t 기의 R&D 자본 스톡을 나타내며, OIL_{it} 는 i 국가의 t 기의 석유가격을 나타낸다. $PELE_{it}$ 는 i 국가의 t 기의 전력가격을 나타내고 $CELE_{it}$ 는 i 국가의 t 기의 전력소비를 나타내고, $G7_{it}$ 는 G7국가의 더미변수를, AI_{it} 는 부속서 I 국가에 대한 더미변수를 나타낸다. 그리고 ET_{it} 는 EU 국가의 배출권거래제 시기에 대한 더미변수를 나타낸다. 본 연구의 분석대상국은 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 체코, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 일본, 한국, 룩셈부르크, 네델란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 폴란드, 포르투갈, 슬라바키아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 터키, 영국, 미국 등 28개국이며, 분석기간은 1990년부터 2008년까지이다.

본 연구에서 고려한 각각의 변수는 다음과 같은 함의를 가지고 있다. 첫째, 에너지효율 R&D 자본 스톡은 에너지효율의 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 에너지효율의 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 에너지효율에 대한 수요도 증가할 것으로 예상된다. 따라서 전력시장이 크면 클수록 에너지효율 혁신에 대한 인센티브가 증가할 것이다. 이 변수에 대해서도 우리는 부호가 양의 값을 가질 것으로 추정이 된다. 전력소비량은 IEA의 “Energy Balances of OECD Countries”데이터의

최종에너지 전력소비량을 이용하기로 한다.

셋째, 전력가격 역시 에너지효율 혁신 인센티브를 가속화할 것이다. 에너지효율은 전력가격이 상승하면 상승할수록 증가할 것이다. 따라서 이 변수에 대해서도 우리는 부호가 양의 값을 가질 것으로 추정된다. 전력가격은 IEA의 “Energy Prices and Taxes”데이터 중에서 가정용 전력가격을 이용하기로 한다.

넷째, 석유가격의 상승도 에너지효율을 늘릴 것이다. 왜냐하면 석유가격의 상승은 비용절감을 위해 소비자들이 석유수요를 줄이도록 할 것이 때문이다. 석유가격은 IEA의 “Energy Prices and Taxes”데이터에서 가정용 경유가격을 기준으로 한다.

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

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

일곱째, EU 회원국들의 경우에는 2005년부터 배출권거래제를 실시해 오고 있다. 비록 2005년에서 2008년까지는 배출권거래제 시범기간이기는 하지만 이러한 EU의 기후변화 대응 정책이 에너지효율의 개발 및 보급을 촉진하였을 것으로 예상된다. 그리고 2009년부터는 EU ETS II기에 해당하는 시기로 본격적으로 EU ETS가 시작되는 시기이다. 따라서 이러한 효과 분석을 위하여 EU 국가들에 대해서 2005년 이후 기간에 대해서는 더미변수를 부여하여 분석하였다.

기술진보를 분석하기 위해서는 다양한 지표가 사용될 수 있지만 특허 데이터가 가장 광범위하게 사용되고 있다. 따라서 특허에 영향을 미치는 다양한 변수들에 대한 데이터 축적이 필요하다. 그 중에서도 R&D투자액은 특허라는 종속변수에 가장 큰 영향을 미치는 변수이다. 따라서 R&D 투자액과 특허출연건수의 기본적인 상관관계하에서 배출권거래제를 비롯한 다양한 정책변수가 도입되어야 할 것이다. 따라서 에너지효율에 대

한 R&D투자액과 관련 특허 (Patent)사이의 연관관계를 분석하기 위해서는 우선 각 연도의 R&D 투자액을 기반으로 R&D 자본스톡 (Capital Stock)이 구축되어야 한다. R&D 자본 스톡은 당해연도의 R&D 투자액 뿐만 아니라 과거의 R&D투자액이 모두 고려된 개념이다. 과거의 R&D 투자액에 대해서는 δ 라는 감가상각을 다음과 같이 고려하였다. 본 연구에서는 구체적으로 Grossman and Helpman (1995)이 제시한 축차적 방법으로 R&D 자본스톡을 계산하였다. 즉 t 기의 R&D자본스톡은 전기의 자본스톡 D_{t-1} 을 δ 만큼 감가상각하고 t 기의 R&D지출액을 더해준 것이다. 이와 같이 자본 스톡을 추정하면 과거의 R&D지출이 모두 현재의 특허 출원에 영향을 미치므로 따로 과거 R&D지출액을 내생변수에 포함시킬 필요가 적어진다.

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

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 δ 는 0.05를 가정한다. 그리고 초기의 벤치마크 D_0 는 1990년 각 국가의 R&D 투자액을 상정한다. 이와 같이 하는 이유는 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 에너지효율의 R&D 자본 스톡은 <표 1>과 <표 2>에 주어져 있다.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Netherlands	594.17	643.47	673.32	728.83	761.12	795.87	839.68	884.25	926.41	967.28
New Zealand	24.89	24.58	23.35	22.89	22.34	22.17	21.90	21.55	20.86	20.65
Norway	113.80	124.93	138.68	150.88	154.34	149.23	144.13	139.14	134.28	129.57
Poland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portugal	31.24	31.92	31.40	31.70	30.88	30.91	30.69	30.36	29.05	27.97
Slovak Republic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spain	246.77	313.63	321.12	313.96	312.75	308.35	299.80	291.59	289.77	281.26
Sweden	546.02	548.73	555.15	554.42	552.19	547.71	547.35	540.09	529.98	528.71
Switzerland	155.16	170.45	187.94	206.23	227.56	246.39	262.37	271.61	279.24	288.76
Turkey	15.26	14.49	13.77	16.32	15.62	15.32	15.10	14.53	14.38	14.19
United Kingdom	841.56	833.03	832.96	838.26	801.62	764.81	729.38	695.02	661.33	629.72
United States	3542.18	3685.92	3913.89	4153.50	4538.62	4999.25	5299.62	5541.99	5810.37	6132.45

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Netherlands	975.08	1004.46	1010.75	998.90	948.95	946.69	949.92	975.23	978.22	1031.79
New Zealand	20.47	20.00	19.68	19.96	20.93	21.82	22.14	22.15	22.13	21.81
Norway	125.14	120.74	117.09	113.76	110.23	107.62	104.56	103.33	101.80	104.58
Poland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Portugal	26.98	26.25	25.13	24.03	24.80	24.64	23.42	22.30	21.30	20.54
Slovak Republic	0.00	0.00	0.20	0.61	0.95	0.90	0.86	0.82	2.65	5.00
Spain	275.02	265.61	255.82	249.94	241.36	234.17	230.56	230.40	232.60	231.98
Sweden	533.43	547.05	569.96	593.31	599.19	591.31	593.14	604.98	614.04	652.34
Switzerland	292.51	296.78	299.21	302.30	303.24	304.42	306.05	307.78	312.32	319.47
Turkey	14.80	18.30	18.35	18.34	17.82	17.72	17.39	19.12	18.79	18.41
United Kingdom	601.08	571.03	542.47	515.35	489.58	465.10	447.71	439.37	455.16	566.46
United States	6499.06	6884.73	7235.30	7334.47	7402.69	7570.93	7642.72	7831.53	8115.37	9854.92

본 연구에서 사용한 변수에 대한 기본적인 데이터는 <표 3>에서 보는 바와 같이 대부분 OECD 및 IEA 데이터에서 추출하였다. 특허데이터는 EPO/OECD PATSTAT 데이터베이스를 이용하였으며, 특허건수는 EPO (European Patent Office)에 제출된 특허 신청건수를 기준으로 하였으며 Priority date, inventor country, Practional counts를 기준으로 하였다. 최근 OECD 국가의 기술혁신 수준을 상호 비교하기 위해서 PATSTAT (World Patent Statistical Database) EPO 데이터를 보편적으로 사용하기 시작하였다. PATSTAT 데이터베이스는 정부기관, 학술적인 연구기관 등의 사용에 최적화되어 있으며 특허 데이터의 통계적인 분석에 최적화되어 있다 [Rollison and Heijnar (2006)]. R&D 데이터는 앞에서 지적한 바와 마찬가지로 IEA Energy Technology R&D Statistics의 데이터를 사용하였다. 전력소비량은 IEA World energy Statistics and Balances의 가정용 전력소비량을 기준으로 하였다. 전력가격은 IEA Energy Prices and Taxes Statistics의 가정용 전력가격을 기준으로 하였다. 이는 가정용 전력가격과 산업용 전력가격이 서로 같이 움직이는 경향이 있어 둘 중 가정용 전력가격을 기준으로 하였다. 석유가격 역시 IEA Energy Prices and Taxes Statistics의 데이터를 사용하였는데 가정용 경유 (light oil) 가격을 기준으로 하였다. 이 역시 산업용 경유가격과 가정용 경유가격이 비슷한 추세를 보여 가정용 경유 가격을 지표로 하였다. 이와 같이 에너지가격 데이터는 다양한 종류의 데이터가 가능하지만 편의상 대표적인 데이터를 하나의 대리지표로 사용하였다. 이와 같이 하더라도 본 연구의 분석에 커다란 변화를 초래하지는 않을 것으로 사료된다. 그리고 본 연구에서 사용한 데이터의 기초통계량은 <표 4>에서 보는 바와 같다.

<표 3> 연구 데이터 출처

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

<표 4> 기초 통계량

변수	관측수	평균	표준편차	최소값	최대값
Patent Count	560	84.3584	201.54	0	1229
R&D	560	0.5388	1.29	0	9.85
OIL	560	0.5949	0.38	0.11	2.99
CELE	560	0.2778	0.62	0.004	3.82
PELE	560	0.1687	0.18	0.036	1.49
ET	560	0.1875	0.39	0	1
AI	560	0.7857	0.41	0	1
G7	560	0.2500	0.43	0	1

한편 본 연구에서 사용한 주요 변수들간의 상관관계를 살펴보면 <표 5>와 같다. 이 결과에 의하면 R&D지출액 (R&D)과 전력소비량 (CELE) 간에는 상관계수값이 0.9380으로 매우 높게 나와 다중공선성이 존재할 가능성이 높아 차후 분석에서는 전력소비량을 제외하고 분석하기로 한다. 그 외 상관관계가 비교적 높은 변수들은 차후 분석하면서 고려하기로 한다.

<표 5> 주요 변수들간의 상관계수

	Patent Count	R&D	OIL	CELE	PELE	ET	AI	G7
Patent Count	1							
R&D	0.5905	1						
OIL	-0.1181	-0.0969	1					
CELE	0.5168	0.9380	-0.1181	1				
PELE	0.0211	-0.0033	0.3899	-0.0424	1			
ET	-0.0161	-0.0910	0.4285	-0.1087	0.3562	1		
AI	0.2029	0.2080	-0.4975	0.1577	-0.0888	0.0265	1	
G7	0.6100	0.5248	-0.1574	0.5554	-0.0281	-0.0647	0.3029	1

Ⅲ. 분석 결과

에너지 효율의 R&D생산성과 배출권거래제의 상호 연관관계에 대한 연구결과는 <표 6>과 <표 7>에 제시된 바와 같다. 여기에서는 독립변수 (independant variable)의 조합에 따라서 총 9개의 모델을 설정하였다. 이 때 고려한 독립변수는 R&D, OIL, PELE, ET, AI, G7 등 6개이다. 예를 들면 모델 I-VI의 경우에는 R&D, OIL, PELE, AI 등 3개의 설명변수를 고려하였다. 전체 모형에 걸쳐서 Wald χ^2 값을 비교해 본 결과 모든 모형이 1% 유의수준에서 유효한 것으로 나타났다. <표 6>은 고정효과 모형 (Panel Negative Binomial Model with Fixed Effects)을 사용하였고 <표 7>는 확률효과 모형 (Panel Negative Binomial Model with Random Effects)을 사용하였다. Hausman Test 결과 모형 I-VII, 모형 I-IX의 경우에는 고정효과 모형이 적합하지만 나머지 모형의 경우에는 확률효과 모형이 더 적합한 것으로 나타났다. 따라서 일관적인 결과를 보이기 위해 두 유형의 분석을 모두 결과에 제시하였다.

본 연구결과에 의하면 배출권거래제를 실시하는 각 국가와 각 연도에 대하여 더미변수를 부여한 결과 <표 6>의 모형 I-V와 모형 I-VIII, <표 7> 모형 I-V와 모형 I-VIII, I-IX에서 통계적으로 유의한 결과를 얻었다. 예를 들면 <표 6>의 모형 I-V의 경우에는 변수 ET가 1% 유의수준에서 유효한 것으로 나타났고 모형 I-VIII의 경우에는 10%유의수준에서 유의한 것으로 나타났다. 그리고 이상의 모형에서 배출권거래제의 계수 값이 모두 양의 값을 보이고 있다. 배출권거래제를 실시한 국가가 그렇지 않는 국가보다 특허건수가 많이 등록되었음을, 통계적으로 확인할 수 있었다. 즉 이 경우 배출권거래제가 에너지효율 기술혁신을 가속화하였다고 말할 수 있다. <표 6>의 모형 I-IX에서는 변수 ET가 유의하지 않는 결과가 나왔지만 계수값은 0.204로 양의 값을 가지고 있다. <표 6>의 모형 I-VIII의 경우에는 부속서 I 국가의 효과와 배출권거래제의 효과를 동시에 고려하였음에도 불구하고 배출권거래제의 효과가 유의한 것으로 나타났다는 것은 매우 의미 있는 결과이다. 부속서 I 국가 중에서 배출권거래제를 실시하지 않는 국가는 미국, 일본, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 등으로 이 중 일부국가는 에너지효율 분야의 R&D 자본스톡이 많이

축적된 국가들이다. 따라서 이러한 국가들의 효과를 모두 배제하고 배출권거래제의 효과가 긍정적으로 나온 것은 배출권거래제가 에너지효율부문에서의 R&D투자를 촉진하다고 평가할 만 하다.

그 외 각 변수들의 에너지효율의 특허건수에 미친 영향을 보면 다음과 같다. 우선 각 변수별 계수값을 살펴보면 모든 모형에서 R&D투자 스톡이 많을수록 특허건수가 증가하는 것을 발견하였다. 그리고 R&D 투자스톡에 대한 계수값은 모형별로 차이가 있을 수 있으나 모두 양의 값을 나타내고 있다. 즉 <표 6>의 모형 I-II의 경우 R&D스톡이 10억 달러 증가할 경우 특허건수가 0.734건 증가하는 것으로 해석될 수 있다.

그 다음으로 석유가격이 에너지 효율 특허건수에 어떠한 영향을 미쳤는지 살펴보았다. OIL변수가 포함된 모든 모형에서 OIL가격이 증가할수록 에너지효율에 대한 특허건수가 증가하는 것으로 나타났으며, 모든 계수값이 1% 유의수준에서 유효한 것으로 나타났다. 이는 석유가격이 상승할수록 기술혁신에 대한 유인이 커진다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다. 하지만 전력가격의 경우에는 <표 6>과 <표 7>의 모형 I-III을 제외하고는 그다지 특허건수와 연관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 예상한 결과를 다소 벗어나는 것이긴 하지만 OECD 국가들의 경우 전력가격이 안정적으로 유지되어온 결과라고 볼 수 있다.

그 외 배출권거래제 효과를 제외한 다른 정책변수인 교토의정서 부속서 I 국가 (AI)의 경우에는 모든 모형에서 통계적으로 유의한 결과를 보이고 있으며, 이 역시 계수값이 1을 넘는 높은 상관관계를 보이고 있다. 이는 교토의정서 부속서 I 국가의 경우에는 온실가스 감축을 위해 에너지효율 개선을 위한 기술개발사업을 일찍부터 해온 결과로 보인다. 이는 당연한 결과로 여겨질 수 있지만 향후 온실가스 감축 의무국가가 증대할 경우 에너지효율에 대한 기술혁신이 더욱 가속화되리라고 예측할 수 있다. 마지막으로 미국, 일본 등 대국의 효과를 점검해 보기 위해 G7국가에 더미변수를 부여해본 결과 역시 모든 모형에서 대국의 효과가 나타나는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 본 바와 같이 전반적으로 G7국가인 경우 전반적인 기술스톡이 이미 형성되어 있어 에너지 효율에 기술혁신의 성과성이 그 만큼 높다고 할 수 있다.

<표 6> OECD국가의 에너지효율에 대한 R&D 생산성 분석 I (Fixed Effects)

	I - I	I - II	I - III	I - IV	I - V	I - VI	I - VII	I - VIII	I - IX
R&D	0.205*** (0.021)	0.734*** (0.025)	0.171*** (0.239)	0.073*** (0.025)	0.099*** (0.028)	0.051*** (0.024)	0.061*** (0.025)	0.072*** (0.027)	0.089*** (0.027)
OIL		1.275*** (0.086)		1.268*** (0.088)	1.036*** (0.135)	1.262*** (0.084)	1.273*** (0.089)	1.085*** (0.137)	1.031*** (0.137)
PELE			0.467*** (0.135)	0.039 (0.114)	-0.034 (0.120)	-0.030*** (0.110)	0.022 (0.112)	-0.797 (0.117)	-0.055*** (0.122)
ET					0.199*** (0.084)			0.135* (0.081)	0.204 (0.049)
AI						2.197*** (0.254)		2.137*** (0.253)	
G7							0.398*** (0.188)		0.402** (0.186)
Log Likelihood	-1772.65	-1679.51	-1767.80	-1697.45	-1694.59	-1658.17	-1695.27	-1656.79	-1692.33
Wald χ^2	94.57***	302.49***	105.32***	302.16***	305.41***	394.46***	308.77***	404.68***	315.25***
Hausman test (χ^2)	1.792	2.846	2.131	6.255	6.823	6.151	12.179***	6.741	12.878***
obs	558	558	558	558	558	558	558	558	558

주: (1) ()안은 표준 편차임.

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

(3) 하우스만 테스트 결과 모형 I -VII, I -IX의 경우에는 귀무가설이 기각되어 고정효과가 더 적합하다고 나타났다. 이 두 모형을 제외한 나머지 모형은 귀무가설이 채택되어 확률효과가 더 적합한 것으로 나타났다.

<표 7> OECD국가의 에너지효율에 대한 R&D 생산성 분석 I (Random Effects)

	I - I	I - II	I - III	I - IV	I - V	I - VI	I - VII	I - VIII	I - IX
R&D	0.208*** (0.021)	0.076*** (0.023)	0.175*** (0.023)	0.078*** (0.025)	0.108*** (0.027)	0.056*** (0.024)	0.064*** (0.025)	0.079*** (0.026)	0.096*** (0.027)
OIL		1.255*** (0.086)		1.248*** (0.089)	0.989*** (0.136)	1.248*** (0.084)	1.252*** (0.089)	1.051*** (0.137)	0.978*** (0.138)
PELE			0.453*** (0.135)	0.037 (0.112)	-0.045 (0.121)	-0.033 (0.110)	0.017 (0.112)	-0.088 (0.117)	-0.072 (0.123)
ET					0.222*** (0.106)			0.150** (0.081)	0.230*** (0.085)
AI						2.254*** (0.246)		2.183*** (0.246)	
G7							0.489*** (0.185)		0.496*** (0.183)
Log Likelihood	-1986.65	-1914.36	-1982.19	-1914.30	-1910.78	-1870.87	-1910.94	-1869.14	-1907.23
Wald χ^2	100.73***	299.43***	110.67***	299.09***	303.92***	400.41***	309.78***	412.66***	319.35***
obs	558	558	558	558	558	558	558	558	558

주: (1) ()안은 표준 편차임.

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

한편, <표 6>과 <표 7>의 상당수의 모형에서 전력가격(PELE)이 특허건수에 별 영향을 미치지 않고 있다. 따라서 이 변수를 제외한 나머지 내생 변수들의 특허건수에 미친 영향을 정책변수와의 상호연관관계하에서 다시 한번 살펴보기 위해 R&D, OIL, ET, AI, G7의 변수를 고려하여 <표 8>과 <표 9>에 제시하였다. <표 8>은 고정효과 모형 (Panel Negative Binomial Model with Fixed Effects)을 사용하였고 <표 9>는 확률효과 모형 (Panel Negative Binomial Model with Random Effects)을 사용하였다. 여기에서도 ET변수의 경우에는 <표 8>의 모형 II - I 과 모형 II - V, <표 11>의 모형 II - I, II - IV, 모형 II - V의 경우 배출권거래제 실시가 특허건수를 증가시키는 것으로 나타났다. 단지 <표 8>의 II - IV의 경우에는 고정효과모형보다는 확률효과 모형이 더 적절하므로 <표 9>의 II - IV의 모형으로 해석하

여도 되므로 해석에서 고려하지 않아도 무방하다. 따라서 전반적으로 배출권거래제가 에너지효율부문의 기술혁신을 촉진하였다고 사료된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 에너지 효율의 특허건수는 R&D 자본스톡이 기본이 되긴 하지만 그외에도 배출권거래제 실시여부, 석유가격, 교토의정서 부속서 I국가인가의 여부 등에 따라서 많은 영향을 받는다고 할 수 있다. 특히 배출권거래제의 경우 비록 소수 모형에서 유의하지 않는 결과를 얻었지만 전반적으로 배출권거래제 실시가 에너지효율 기술진보를 촉진시킨다고 말할 수 있다.

<표 8> OECD국가의 에너지효율에 대한 R&D 생산성 분석 II (Fixed effects)

	II - I	II -III	II -III	II -IV	II -V
R&D	0.0979**** (0.027)	0.050** (0.024)	0.062*** (0.025)	0.063*** (0.026)	0.086*** (0.027)
OIL	1.037*** (0.135)	1.256*** (0.082)	1.277*** (0.087)	1.089*** (0.137)	1.034*** (0.137)
ET	0.193*** (0.081)			0.120 (0.078)	0.194*** (0.082)
AI		2.194*** (0.254)		2.135*** (0.255)	
G7			0.401** (0.188)		0.395** (0.185)
Log Likelihood	-1694.64	-1658.21	-1695.29	-1657.03	-1692.44
Wald χ^2	305.04***	393.92***	309.08***	402.24***	314.21***
Hausman test (χ^2)	2.65	2.50	8.77**	2.39	8.43**
obs	538	538	538	538	538

주: (1) ()안은 표준 편차임.

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

(3) 하우스만 테스트 결과 모형 II-III, II-V의 경우에는 귀무가설이 기각되어 고정효과가 더 적합하다고 나타났다. 이 두 모형을 제외한 나머지 모형은 귀무가설이 채택되어 확률효과가 더 적합한 것으로 나타났다.

<표 9> OECD국가의 에너지효율에 대한 R&D 생산성 분석 II (Random Effects)

	II - I	II -III	II -III	II-IV	II - V
R&D	0.106*** (0.026)	0.055** (0.023)	0.065*** (0.024)	0.074*** (0.026)	0.092*** (0.026)
OIL	0.991*** (0.136)	1.241*** (0.081)	1.255*** (0.087)	1.055*** (0.137)	0.982*** (0.138)
ET	0.214*** (0.082)			0.134*** (0.078)	0.216*** (0.082)
AI		2.250*** (0.246)		2.181*** (0.247)	
G7			0.491*** (0.185)		0.487*** (0.182)
Log Likelihood	-1910.85	-1870.92	-1910.95	-1869.43	-1907.41
Wald χ^2	303.39	399.78	310.03	409.78	317.74
obs	538	538	538	538	538

주: (1) ()안은 표준 편차임.

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

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 에너지효율의 기술혁신 구체적으로는 에너지효율에 대한 특허건수와 R&D 스톡의 상호연관관계하에서 다양한 정책변수들이 R&D의 특허생산성에 미치는 양향을 살펴보았다. 본 연구에서는 R&D생산성에 영향을 미치는 요인으로 R&D 자본스톡, 석유가격, 전력가격 등 기술적이고 경제적인 특성 뿐만 아니라 배출권거래제 실시여부, 교토의 정서 부속서 I국가인가의 여부, G7국가 여부 등의 정책적인 요인들을 아울러 고려하였다는데 그 의의가 있다.

특히 OECD 패널데이터를 사용하여 배출권거래제와 에너지효율 특허건수와의 상호 연관성에 대한 분석은 본 연구에서 처음 시도되는 바이

다. 2015년부터 온실가스 배출권거래제가 우리나라에서도 도입될 예정이므로 배출권거래제와 에너지효율 부문의 기술혁신과의 연관성은 향후 국내 배출권거래제 정책과 에너지효율 정책 설계에 유익한 시사점을 줄 것으로 보인다.

분석결과에 의하면, 배출권거래제 실시 여부가 에너지효율의 기술혁신을 촉진시키는 것으로 실증적으로 분석되었다. 따라서 배출권거래제는 단지 온실가스 감축 규제수단으로서 뿐만 아니라 에너지효율 기술혁신을 통한 부차적인 온실가스 감축도 기대할 수 있다. G7 국가들의 경우에는 다른 국가들보다 에너지효율 부문의 기술혁신이 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 전반적으로 G7국가인 경우 전반적인 기술스톡이 이미 형성되어 있어 에너지효율에 기술혁신의 성과성이 그 만큼 높다고 할 수 있다. 그리고 부속서 I국가의 경우에 전반적으로 에너지효율의 기술혁신이 높게 나타나고 있다. 이는 당연한 결과로 여겨질 수 있지만 향후 온실가스 감축 의무국가가 증대할 경우 에너지효율에 대한 기술혁신이 더욱 가속화되리라고 예측할 수 있다. 그 외에도 석유가격이 높을수록 에너지효율의 특허 건수가 증가하는 것으로 나타났다. 높은 석유가격은 에너지효율 기술의 수익을 더 많이 가져오기 때문인 것으로 보인다. 이상에서 살펴본 바와 같이 주로 정책적인 변수들이 기술혁신에 많은 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

향후 온실가스 감축 의무가 강화될수록 기술진보를 통한 온실가스 감축에 대한 요구는 더욱 증가할 것으로 보인다. 그리고 기술혁신 없이는 증가하는 한계감축비용은 의무감축국의 경제적인 부담으로 확대될 것이다. 따라서 향후 온실가스 감축 기술개발을 촉진하는 방향으로 기후변화 대응정책이 마련되어야 할 것이며, OECD사례에서 살펴본 바와 같이 배출권거래제는 이러한 기술개발에 일조할 것으로 보인다. 우리나라의 기후변화 대응정책 차원에서 입법화된 온실가스 배출권거래제는 환경규제 수단으로서의 역할 뿐만 아니라 에너지효율의 기술혁신에도 일정부분 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김진영·윤유진 (2009), “기업규모와 특허생산성,” 『한국응용경제』, 제11권 제1호, 177-194.
2. Brunnermeier, S. B., and M.A. Cohen (2003), “Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries,” *Journal of Environmental Economics and Management* 45(2), 278-293.
3. Carraro, C., and A. Soubeyran (1996), “Environmental Policy and the Choice of Production Technology”, in: C. Carraro et al., eds., *Environmental and Market Structure* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht), 151-180.
4. Crabb, Joseph M. and D.K.N. Johnson (2007), “Fueling the Innovation Process: Oil Prices and Induced Innovation in Automotive Energy-Efficient Technology”, Working Paper, Colorado Department of Economics and Business, May 2007.
5. De Vries, P. F., and C. Withagen (2005), “Innovation and Environmental Stringency: The Case of Sulfur Dioxide Abatement”, Center Discussion Paper #2005-18, Tilburg University.
6. Fischer, C., I. W. H. Parry, and W. A. Pizer (1998), “Instrument Choice for Environmental Protection When Technological Innovation is Endogenous,” *Journal of Environmental Economics and Management* 45(3), 423-545.
7. Jaffem A. B., R. G. Newell, and R. N. Stavins (2002), “Technological Change and the Environment” *Environmental and Resources Economics* 22(1), 461-516.
8. Jaffe, A. B. and R. N. Stavins. (1995), “Dynamic Incentives of Environmental Regulations: The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion,” *Journal of Environmental Economics and Management* 29(3), 43-63.
9. Jaffe, A. B. and K. Palmer (1997), “Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study,” *The Review of Economics and Statistics* 79(4), 610-619.
10. Johnstone, N., I. Haščič and D. Popp (2010), “Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts,” *Environmental and Resource Economics* 45(1), 133-155.
11. Lanjouw, J. O., and A. Mody (1996), “Innovation and the International Diffusion of Environmentally Responsive Technology,” *Research Policy* 25(4), 549-571.
12. Griliches, Z., ed. (1984), *R&D, Patents and Productivity* Chicago, University of Chicago Press.
13. Griliches, Z. (1990), “Patent Statistics as Economic Indicators; a survey,” *Journal of Economic Literature* 28(4), 1661-1707.

14. Griliches, Z. (1995), "R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues." In P. Stoneman (ed), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford, 52-89.
15. Hausman, J. A., H. Bronwyn, and Z. Griliches (1984), "Econometric Models for Count Data with an Application to the Patents- R&D Relationship," *Econometrica* 52(4), 909-938.
16. Leiter, A. M., and A. Parolini, and H. Winner (2011), "Environmental Regulation and Investment: Evidence from European Industry data," *Ecological Economics* 70(4), 759-770.
17. Montero, J.P. (2000), "Market Structure and Environmental Innovation," mimeo Catholic University of Chile.
18. Mullahey, J. (1986), "Specification and Testing of Some Modified Count Data Models," *Journal of Econometrics* 33(3), 341-365.
19. OECD/IEA, IEA Energy Technology R&D Statistics, www.oecd.org.
20. OECD/IEA, IEA World energy Statistics and Balances, www.oecd.org.
21. OECD/IEA, IEA Energy Prices and Taxes Statistics, www.oecd.org.
22. OECD (2009), OECD Patent Statistics Manual.
23. OECD, OECD Patent Statistics.
24. OECD (2008), Environmental Policy, Technological Innovation and Patents, OECD Studies on Environmental Innovation.
25. Orr, L. (1976), "Incentive for Innovation as the Basis for Effluent Charge Strategy," *American Economic Review* 66(2), 441-447.
26. Pakes, A., and Z. Griliches (1980), "Patents and R&D at the Firm Level: A First Look," NBER Working Papers 561.
27. Popp, D., I. Haščič and N. Medhi, (2011), "Technology and the Diffusion of Renewable Energy," *Energy Economics* 33(4), 648-662.
28. Grossman, G. and E. Helpman (1991), *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge.
29. Rübhelke, D., and P. Weiss (2011), "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.
30. Taylor, M. R., E. S. Rubin, and D. A. Hounshell (2003), "Effect of Government Actions on Technological Innovation for SO₂ Control," *Environmental Science and*

Technology 37(20), 4527-4534.

31. Ulph, D. (1998), "Environmental Policy and Technological Innovation," in C. Carraro and D. Siniscalaco, eds., *Frontiers of Environmental Economics* (Edward Elgar, Cheltenham, U.K.)

ABSTRACT

Technology Progress of Energy Efficiency and Emission Trading Scheme; Using OECD Patent Data

Suyi Kim

Hongik University

This paper analyzed on the relationship between technology progress of Energy Efficiency and Emission Trading Scheme using OECD's country specific patents and R&D capital stocks. I empirically tested whether this technological progress has been improved since the implementation of EU emission trading scheme. Analytical econometric method was Negative Binomial Models was proposed by Hausman et al. (1984). According to the results of this analysis, the number of patents (proxy variable of technology progress) has been increased by emission trading scheme, which was significant at the 99% confidence interval in most cases. This paper's contribution is that the technology progress of energy efficiency was analyzed in associated with the emission trading scheme.

Key Words: Patent, R&D, Emission Trading Scheme