

동적 패널 모형을 이용한 재생에너지 정책의 OECD 국가 재생에너지 보급 효과 분석[†]

김은성* · 허은녕**

요약 : 기후변화 대응 및 에너지 안보를 위해 세계 각국에서는 다양한 재생에너지 보급 정책을 수립, 시행하고 있다. 재생에너지 정책이 재생에너지 확산에 미치는 영향을 분석하는 많은 선행 연구들에서는 종속변수로 재생에너지 발전량을 사용하고 있는데 자기상관(autocorrelation) 문제의 발생 가능성에도 불구하고 정태적 모형을 쓰고 있다는 점, 기술채택에 선행되어야 하는 기술혁신의 영향을 고려하지 않았다는 점에서 한계점을 지닌다. 본 연구에서는 동적 패널 모형(dynamic panel model)을 이용하고 기술혁신 변수를 추가함으로써 위의 두 한계점을 극복하고자 하였다. 분석 결과 FIT가 RPS보다 재생에너지 보급에 보다 효과적임을 알 수 있고, 재생에너지 기술혁신 또한 재생에너지 확대에 긍정적으로 기여한다는 사실을 밝혀내었다. 또한 이 결과를 바탕으로 기존 선행연구에서 공통적으로 직관과 어긋난 결과를 도출한 데에는 위의 두 한계점이 원인일 수 있다는 가능성을 확인하였다.

주제어 : 재생에너지정책, 재생에너지, 기술채택, 기술혁신, 동적 패널 모형

JEL 분류 : Q42, Q48, Q55

접수일(2016년 3월 10일), 수정일(2016년 6월 10일), 게재확정일(2016년 6월 20일)

[†] 이 논문은 2015년 한국자원경제학회 대학(원)생·논문경진대회와 2016 한국자원경제학회 경제학공동학술대회에서 발표된 논문을 수정·보완한 논문입니다. 본 논문의 개선을 위해 유익한 논평을 해주신 에너지경제연구원 최봉석 박사님, 포스코경영연구소 박선영 박사님, 그리고 익명의 심사자들에게 감사드립니다.

* 서울대학교 공과대학 기술경영경제정책대학원 박사과정, 제1저자 및 교신저자(e-mail: eunsungk@snu.ac.kr)

** 서울대학교 공과대학 에너지시스템공학부 교수(e-mail: heoe@snu.ac.kr)

Analysis on the Effects of Renewable Policies in OECD Countries Using Dynamic Panel Model

Eunsung Kim* and Eunnyeong Heo**

ABSTRACT : To achieve the socially optimum level of renewable generation, governments should design renewable policies to induce renewable technologies competitive with conventional generation technologies. And to do that, it is needed to understand how each policy has been effective in promoting renewables for power sector. In most of the literatures, there are two key limitations that they did not considered autocorrelation problem using the amount of generation from renewables as a dependent variable and technology innovation which needs to be preceded technology adoption. In this study, I try to overcome these two problems by using dynamic panel model and adding an additional variable for technology innovation. According to the result, FIT has been effective rather than RPS in promoting renewables for generation and I found the possibility that the counterintuitive results which commonly appeared in existing studies might be due to the two limitations mentioned above.

Keywords : Renewable policy, Renewables, Technology adoption, Technology innovation, Dynamic panel model

Received: March 10, 2016. Revised: June 10, 2016. Accepted: June 20, 2016.

* Ph.D Candidate, Technology Management Economics and Policy Program, College of Engineering, Seoul National University, Corresponding author(e-mail: eunsungk@snu.ac.kr)

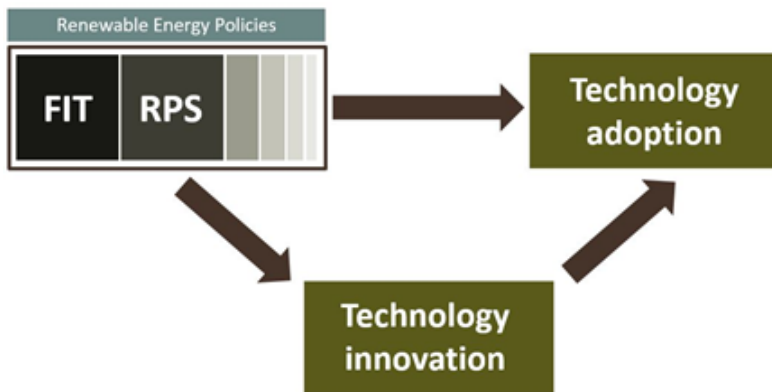
** Professor, Department of Energy System Engineering, College of Engineering, Seoul National University (e-mail: heoe@snu.ac.kr)

I. 서론

기후변화 대응 및 에너지 안보를 위해 세계 각국에서는 다양한 재생에너지 보급 정책을 수립, 시행하고 있다. 전력부문에 적용되는 재생에너지 보급 정책으로는 발전차액지원제도(FIT, Feed-in tariff), 재생에너지공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard), 입찰제도(tendering), 요금상계제도(net metering) 등이 있으며, 특히 FIT와 RPS가 전세계적으로 가장 널리 사용되고 있다(REN21, Global Status Report 2013). 이러한 정책적 지원이 필요한 이유는 재생에너지 기술이 화석연료 발전 기술과 경쟁관계에 놓여 있지만 산출물로는 전기라는 동질재를 생산해내기 때문이다. 재생에너지 기술은 화석연료 발전 기술에 비해 효율성이나 신뢰도가 낮으므로 동일한 품질과 용량의 전기를 생산함에 있어 화석연료 발전 기술보다 높은 비용이 소요되며, 이는 기업들의 과소진입의 원인이 된다. 따라서 정책적 지원은 재생에너지 보급에 필수적이나, 정책의 시행 그 자체가 사회적 최적 수준의 재생에너지 발전을 보장하는 것은 아니다. 정책을 시행하기 위해서는 행정비용이 소요되고 정부의 예산은 제약되어 있기 때문에 기술의 경제성 확보를 고려하지 않은 보급정책은 태생적으로 한계를 지니게 된다. 기술수준이 향상되지 않는다면 같은 비율의 재생에너지 보급을 하기 위해 미래에는 현재보다 더 높은 비용이 소요될 수 있기 때문에 지속적이고 일관적인 정책 시행이 어려울 뿐만 아니라 궁극적으로 달성하고자 했던 사회적 최적의 재생에너지 비율을 달성하지 못할 확률 또한 높아진다. 따라서 재생에너지 정책은 궁극적으로 재생에너지 기술이 전통적 발전기술에 대해 경쟁력을 갖출 수 있도록 설계되어야 하며, 보다 구체적으로는 기술혁신을 촉진하고 기술적 학습효과(technological learning processes)를 가속화해야 한다(Menanteau, 2003; Ederington and McCalman, 2006).

따라서 본 연구에서는 대표적 재생에너지 보급 정책인 FIT와 RPS가 재생에너지 기술 채택에 어떠한 영향을 미쳤는지 살펴보고자 한다. 재생에너지 기술 채택에 미친 정책의 영향에 대한 연구는 여러 학자들에 의해 다양하게 시도되어 왔는데, 본 연구는 다음과 같은 두 가지 점에서 차별점을 갖는다. 첫째, 계량경제학적 분석을 수행한 기존 선행연구들에서 고려하지 않았던 자기상관(autocorrelation) 문제를 해결하였다. 재생에너지 기술채택에 대한 대리변수로는 주로 발전량(renewable generation)이나 설치용량(installed

capacity)이 사용되는데, 두 변수 모두 이전 기(period)의 값에 의존하는 경향이 있다. 특히 재생에너지원의 경우 전반적으로 전력 생산 초기의 고정비용에 비해서 생산비용이 상당히 낮기 때문에 발전설비를 설치한 이상 이를 다시 철거할 유인은 매우 낮다. 또한 이러한 초기비용을 회수(recover)하기 위해서 재생에너지로부터의 전력 생산은 상당기간 계속될 것이며, 특히 정책적으로 금전적 지원을 해주는 경우 이러한 경향이 더욱 심화된다. 따라서 본질적으로 자기상관(autocorrelation)이 발생할 수밖에 없고, 이를 고려하지 않은 정태적 모형(static model)은 분석의 편의(bias)를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 독립변수로 종속변수의 과거값을 사용하는 동적 패널 모형(dynamic panel model)을 사용함으로써 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 둘째, 본 연구에서는 재생에너지 정책이 기술채택에 미친 영향을 분석함에 있어 ‘기술혁신’이라는 요인을 고려하였다. 대다수의 연구에서 재생에너지의 기술채택과 기술혁신을 분리해서 다루고 있으나, 사실 이 두 과정은 서로 긴밀하게 연결되어 있다(Popp, 2010). 재생에너지 정책이 기술혁신을 유도한다는 선행연구가 다수 존재했음에도 불구하고(Johnstone et al., 2010; Wangler et al., 2013), 기존 연구들은 재생에너지 보급정책이 기술혁신을 촉진시키고 이것이 다시 발전량을 증가시키는 간접효과를 고려하지 않았다는 한계점이 있다. 특히 신기술의 경우 기술의 채택은 해당 기술이 혁신에 의해 개발되기 전에는 일어날 수 없기 때문에(Popp, 2010) 기술혁신은 기술채택에 반드시 선행하여야 하며, 따라서 재생에너지 정책이 실제로 재생에너지 보급에 얼마나 효과적이었는지 분석하는 데 있어 기술혁신



〈그림 1〉 재생에너지 정책이 기술혁신과 기술채택에 미치는 영향

을 고려하지 않을 경우 변수 누락에 따른 편의(omitted variable bias)가 발생할 수 있다 <그림 1>. 따라서 본 연구에서는 기술혁신을 고려하여 재생에너지 정책의 재생에너지 보급효과를 분석하였다.

위의 방법을 통해 기존의 선행연구들 사이에서 직관과 배치되는(counterintuitive), 일치하지 않은 결과가 나온 원인이 위에서 지적한 두 문제에 있음을 밝혀내고, 실제로 어떤 정책수단이 보다 효과적으로 재생에너지 발전량을 증가시켰는지 규명하고자 한다. 이때 순수한 정책의 효과를 분석하기 위해서는 정책 시행 이외의 환경이 동일한 국가들을 대상으로 하는 것이 가장 좋은 방법이다. 그러나 정치·경제·사회적 상황이 모두 동일한 국가를 찾는 것은 불가능하며, 설령 그런 국가들이 존재한다 하더라도 각 상황을 대표할 수 있는 대리변수(proxy)를 설정하고 각 변수에 대한 데이터를 해당 기간에 대해 빠짐없이 획득하는 것 또한 불가능에 가까운 일이다. 본 연구에서는 이러한 현실적 어려움을 극복하기 위하여, 정책 이외의 환경이 동일한 국가들을 선별하는 대신 1) 분석 대상국가들 OECD 국가로 한정하여 정치·경제·사회적 수준을 일정 수준으로 통제하고, 2) 동태적 패널 모형을 사용하여 개별 국가의 관측되지 않은 영향을 제거하며, 3) 재생에너지 발전량에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들을 통제함으로써 순수한 정책의 효과를 분리해내고자 하였다.

본 연구는 다음과 같은 순서로 이루어져 있다. 2절에서 기존 선행연구들에서 어떻게 재생에너지 정책의 보급효과를 분석해왔는지 살펴보고, 3절에서 변수와 분석모형을, 4절에서 분석 결과를 설명한 뒤 5절에서 정책적 시사점을 제시하도록 한다.

II. 선행연구

재생에너지의 보급 및 확산에 재생에너지 정책이 어떤 영향을 주었는지에 대해 연구한 논문은 다수 존재하며, 이러한 연구들은 2000년대 들어오면서부터 발표되기 시작하였다. 초기 연구들은 대개 계량적 분석기법(econometric analysis)을 사용하지 않고 개별 국가에 대한 사례연구에 집중하였다(Menanteau et al., 2003; Mitchell et al., 2006; Butler and Neuhoff, 2008). Mitchell et al. (2006)과 Butler and Neuhoff (2008))는 독일의 FIT제도와 영국의 quota제도를 비교하였는데, Mitchell et al. (2006)의 경우 재생에너

지 정책의 시행이 재생에너지의 사용에 연관된 다양한 위험을 어떻게 감소시키는지에 대해 각각 가격 위험(price risk), 발전량 위험(volume risk), 밸런스 위험(balancing risk)으로 나누어 정성적으로 분석하였으며, Butler and Neuhoff (2008)의 경우 설문조사(survey) 기법을 활용하였다.

2010년대로 접어들어오면서 계량적 기법을 사용한 연구들이 발표되기 시작하는데 (Yin and Powers, 2010; Schmid, 2012; Dong, 2012; Zhao et al., 2013; Smith and Urpelainen, 2014; Li et al., 2015)), 이는 사용가능한 데이터가 축적되면서 정량적인 연구가 가능해졌기 때문으로 추정된다. 특히 Dong (2012)과 Zhao et al. (2013)의 경우 수십 개 이상의 국가들을 대상으로 패널데이터를 구축하여 철저한 실증분석(rigorous empirical test)를 수행하였고, 두 연구 모두에서 FIT가 재생에너지 확산에 긍정적이며 통계적으로 유의한 효과를 나타내었다. 그러나 계량적 분석을 수행한 연구들 사이에서 FIT와 RPS의 효과(efficacy)에 대한 결론은 모두 일치하지 않는다. Dong (2012)과 Zhao et al. (2013)에서는 모두 FIT는 긍정적이며 유의한 영향을 나타내나 RPS는 음의 효과(negative effect)를 나타낸다는 결론을 얻은 반면, Li et al. (2015)에서는 RPS가 양의 유의한 영향을 미친다는 결과를 얻었다. 이러한 차이는 분석을 대상으로 한 국가나 시기의 차이에서 오는 것일 수도 있고, 같은 제도라고 하더라도 세부적인 지침이 국가별·시기별로 달라질 수 있기 때문일 수도 있다. 그렇지만 그런 점을 모두 차치하고서라도 본 논문의 서론에서 지적한 바와 같이 분석 모형과 설명변수가 달랐다는 점이 가장 큰 이유일 수 있다.

국내에서는 재생에너지 정책에 대해 다양한 측면으로 연구가 존재하나, 계량경제학적 방법론을 이용하여 여러 국가들을 대상으로 재생에너지 보급정책의 실제 재생에너지 보급 효과를 분석한 연구는 매우 드물다. 진상현·황인창(2011)에서는 우리나라 신재생에너지 보급 사업을 대상으로 성과평가를 수행하였는데, 정량적 분석이나 단순 지표의 비교를 통한 분석에 그쳤다. 김수이(2013)에서는 OECD 국가들의 특허데이터를 사용하여 계량경제학적 분석을 수행하였으나 재생에너지 보급정책이 아닌 배출권거래제를 대상으로 R&D 생산성 향상효과를 분석하였다. 오근엽·유진만(2014)에서도 OECD 국가들의 특허 데이터를 이용하여 분석한 바 있으나 재생에너지 정책이 아닌 국가 간 기술 확산 및 수렴에 대하여 초점을 맞추었다. 국내에서 진행된 발전차액지원제도(FIT)에

대한 논의는 주로 행정학적(김태은, 2009) 또는 입법적(이준서, 2010; 신정희, 2011) 관점에서 이루어졌다. 김유진·김수덕(2008)에서는 FIT의 재생에너지 보급 효과에 대해서는 다루고 있지 않지만, 경제학적 분석을 통해 정책의 지속가능성과 발전방향 및 대안에 대하여 논의하였다. 신재생에너지 의무할당제도(RPS)의 경우 FIT에 비해 상대적으로 경제학적 측면에서의 연구가 많이 수행되었으나 재생에너지 보급효과에 대해 고찰하기보다는 RPS의 경제적 효과(김수덕·문춘걸, 2005), 국내 산업에 대한 파급효과(김현제·조경엽, 2010), 지대 발생 효과(권태형, 2012) 또는 기업의 신재생에너지 투자 의사결정에 미치는 영향(박호정, 2012)이나 탄소저감기술 R&D에 미치는 영향(정경화, 2011)에 대해서 분석하였다. 김지효 외(2011)에서는 RPS 도입시 소비자 측면에서 재생에너지 전력에 대한 선호를 연구하기도 하였다. 이러한 점들을 살펴보았을 때 OECD 국가들을 대상으로 재생에너지 보급효과에 대하여 실증분석한 본 연구는 기존 국내 연구에 대해 차별성을 갖는다고 할 수 있겠다.

III. 변수 및 분석모형

본 연구에서는 1990년부터 2011년까지 25개 OECD 국가에 대하여 동적 패널 모형을 적용, 분석을 시행하였다. 분석 국가를 OECD국가로 한정된 이유는 첫째, 재생에너지 관련 자료의 경우 주로 선진국들이 기존의 자료(historical data)를 구축하고 있고 특히 개발도상국의 경우 온전한 시계열의 데이터를 얻기 어렵기 때문이며 둘째, 국가들 간의 발전 상황이나 경제력 등의 이질성(heterogeneity)을 대략적으로라도 통제하기 위함이다¹⁾. Table 1에는 사용된 변수들의 정의와 자료 출처, Table 2에는 각 변수들의 기술적 통계량(descriptive statistics)이 나타나 있다.

1) 국가들 간의 이질성은 이 외에도 국가별 특성을 고려한 변수(3.1 변수 및 가설)와 동적 패널 모형의 사용(3.2 분석모형)으로도 통제되었는데, 각각에 대한 자세한 설명은 해당 부문을 참고하도록 한다.

〈표 1〉 변수들의 정의 및 자료 출처

변수	정의	출처
FIT	그 해에 정책 시행했으면 1, 아니면 0인 더미변수	IEA (2004), REN21 (2005-2014), OECD/IEA (2008), Klein et al. (2007)
RPS	그 해에 정책 시행했으면 1, 아니면 0인 더미변수	IEA (2004), REN21 (2005-2014), OECD/IEA (2008), Klein et al. (2007)
FR	FIT와 RPS의 곱	-
GENRE	재생에너지 발전량(GWh)	IEA (2014)
ECON	총전력소비량(GWh)	IEA (2014)
CPR	총누적특허출원수	OECD/IEA (2014)
GDPPC	1인당 GDP(2010 USD)	World Bank Group (2014)
CO ₂	GDP당 CO ₂ 배출량 (kt/2010 million USD)	World Bank Group (2014)
EIM	순에너지수입(%)	World Bank Group (2014)
LAND	국가 면적(sq. km)	World Bank Group (2014)

1. 변수 및 함의

본 연구에서 사용된 변수들은 크게 1) 분석의 대상이 되는 종속변수, 2) 정책의 효과를 알아보기 위한 ‘설명변수’, 3) 그 외에 발전량에 미칠 수 있는 영향을 통제하기 위한 ‘통제변수’의 3가지로 나눌 수 있다. 먼저 종속변수의 경우, 재생에너지 보급정책의 효과를 분석한 기존 선행연구들에서 재생에너지 설치용량(installed capacity), 재생에너지 발전량, 또는 발전량 중 재생에너지 비율 등 세 변수가 정책 시행의 효과를 나타내는 대리변수(proxy), 즉 종속변수로 사용된 바 있다. 세 변수 중 어느 것을 선택하느냐에 따라 볼 수 있는 결과가 약간 다르다. 설치용량을 쓸 경우 발전 효율에 관계없이 재생에너지 발전에 대한 ‘투자 유인 효과’를 볼 수 있다는 장점이 있다. 같은 용량이 설치되어 있어도 그 해의 기후와 운영효율에 따라 발전량이 조금씩 달라질 수 있기 때문에 이러한 오차를 회피할 수 있기 때문이다. 하지만 실제 정책을 적용받는 것은 설치 용량이 아닌 발전량이다. FIT도 발전된 전력에 대하여 차액을 보전해주는 제도이며, RPS의 경우에도 설치 용량이 아닌 재생에너지 발전량 자체가 해당 발전사업자의 전체 발전량 중 몇 퍼센트를 차지하느냐에 따라 규제 준수 여부가 결정된다. 따라서 정책의 효과를 보는 데에 있어 발전량이 설치 용량에 비해 좀 더 밀접한 관련이 있다고 할 수 있겠다. 재생에너지 발전량 대

신 발전비율을 사용하는 경우 에너지 사용량 증가에 따른 재생에너지 발전량 증가를 통제할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 발전에 지속성(persistence)이 있다고 가정할 때 설비용량과 발전량 사이에는 무시할 수 있는 수준의 차이(ignorable gap)가 존재한다고 볼 수 있으며, 본 논문에서 사용한 동적 패널 모형을 이용하는 경우 발전량을 종속변수로 사용하여도 에너지 사용량 증가에 따른 재생에너지 발전량 증가를 통제할 수 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 재생에너지 발전량을 종속변수로 사용하였다.

설명변수에는 FIT, RPS, FR을 사용하였다. 이들은 모두 더미변수로서, FIT에는 FIT 제도를 시행한 국가에 대하여 시행한 해에는 1, 시행하지 않은 해에는 0을 부여하였다. RPS도 동일한 방식으로 더미변수를 구성하였고, FR은 FIT와 RPS의 곱으로 두 제도를 함께 시행했을 경우의 효과를 보기 위한 변수이다. 만약 분석결과 FR의 계수가 양수일 경우 두 제도의 동시 시행이 동반 상승효과(synergy effect)를 가져온다는 것을 의미하고, 음수일 경우에는 동일한 목적을 가진 제도가 중첩되어 각 제도의 효과의 합보다 감소된 효과가 나타날 수 있다는 것을 의미한다. Zhao et al. (2013)에서는 이러한 현상을 ‘정책 혼잡(policy crowdedness)’이라고 언급하였고, IETA (2015)에서도 EU ETS와 직접적으로 중복되는 정책(overlapping policies)이 존재할 경우 같은 목표를 더 높은 비용으로 달성할 수 있다고 지적한 바 있다.

Smith and Urpelainen (2014)에서는 FIT 하에서 발전차액 수준과 재생에너지 발전량의 내생성을 고려하여 FIT의 효과를 분석한 바 있고, Johnstone et al. (2010)에서도 기술혁신으로 인해 재생에너지 발전비용이 낮아짐에 따라 보다 강도 높은 규제가 발생할 수 있다는 가능성을 들어 정책의 내생성(policy endogeneity)을 언급하였다. 이는 재생에너지 정책의 강도(stringency)와 재생에너지 발전량 사이의 관계를 보았을 때는 가능한 일이다. 재생에너지 발전량이 증가할수록 의무 발전비율 목표가 높아지거나 발전차액지원금 기준이 하향될 가능성이 있기 때문이다. 그렇지만 본 논문에서는 FIT를 시행하였는지의 여부에 초점을 두고 있고, 이때에는 정책이 재생에너지 발전량과의 내생성을 갖는다고 보기 어렵다. 2012년 현재 전 세계 발전량 중 22.1%가 재생에너지로부터 발전되고 있으며, 그 중 수력발전이 약 3/4인 16.4%를 차지한다(REN21, 2014). 따라서 실제로 수력을 제외한 재생에너지로부터의 발전량은 5% 남짓에 불과하며, 이 비율이 아직 사회적 최적에 미치지 못하다고 판단되기 때문에 전 세계 144개 국에서는 더 높은 비

율을 목표로 설정하고 있다. 이러한 상황에서 FIT나 RPS를 시행하지 않고 있는 것은 재생에너지 발전 비율이 충분해서가 아니라 다른 제도를 시행 중이거나 아직 적당한 정책을 수립하지 못한 것이라고 보는 것이 보다 합리적이다. FIT를 시행하지 않거나 시행하다가 중단하는 경우는 대부분 재정적인 요인이 더 크다고 보아야 한다. 실제로 유럽에서는 글로벌 재정위기 이후 그리스나 스페인 등의 국가에서 발전차액비율이 인하되거나 지급이 유예된 바 있다(한전경제경영연구원, 2015). 따라서 FIT나 RPS시행 여부에서 재생에너지 발전량으로의 단방향 인과관계만 있을 뿐, 재생에너지 발전량에서 FIT 또는 RPS 시행 여부로의 인과관계가 있다고 보기 어렵다. 이러한 이유로 본 연구에서는 FIT와 RPS, FR 변수들을 모두 엄격하게 외생적인(strictly exogenous) 변수로 취급하였다.

이러한 설명변수들 외에 통제해 주어야 할 가장 중요한 통제변수는 ‘재생에너지 발전량의 한 기(period) 과거값’이다. 발전사업자는 진입비용을 회수하기 위해서 재생에너지로부터의 전력 생산을 상당기간 계속할 것이다. 또한 재생에너지 발전에 대한 투자 결정은 대규모 투자가 이루어져야 하기 때문에 단기간을 바라보고 이루어질 수 없으며, 선행연구에서도 지속효과(persistency effect)에 대한 강력한 증거를 제시한 바 있어(Marques and Fuinhas, 2011) 자기상관(autocorrelation)이 발생할 확률이 매우 높다. 이 변수의 경우 종속변수인 ‘해당 기의 재생에너지 발전량’과 내생성(endogeneity) 문제를 가지고 있으므로, 2차 이상의 시차를 가지는 과거값들을 도구변수로 이용하는 동적 패널 모형을 이용하여 이를 해결하도록 하였다.

1인당 국민소득(GDPPC)은 개별국가의 특성을 나타내는 대표적인 변수이므로 다양한 경로를 통해 재생에너지 발전량에 영향을 미칠 수 있다. 재정상태가 건전할수록 정의 외부효과(positive externality)가 발생하는 재생에너지 지원정책을 시행할 확률이 높아지며, 전기는 최종소비자의 입장에서 사용하기 쉽고 공해가 없기 때문에 소득이 높아질수록 전력사용량 또한 높아질 것이고 이것이 다시 재생에너지 발전량의 증대에 영향을 미칠 수 있다. 소득이 높다는 것은 산업생산성이 높다는 뜻이므로 기술수준, 즉 R&D 생산성이 높을 가능성도 많다. 따라서 ‘1인당 국민소득’이라는 통제변수를 이용함으로써 재생에너지 발전량에 영향을 미칠 수 있는 관측불가능한(unobservable) 특성을 통제할 수 있다고 판단하였다. 1인당 국민소득은 직·간접적인 경로를 통해 재생에너지 발전량에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

〈표 2〉 변수들의 기술적 통계량

변수	Obs.	Mean	Std. Dev.	Min	Max
FIT	550	0.485	0.500	0.000	1.000
RPS	550	0.196	0.398	0.000	1.000
FR	550	0.069	0.254	0.000	1.000
GENRE	550	10571.830	24678.330	0.000	223296.000
ECON	550	26401.010	57031.340	330.000	331029.000
CPR	550	197.025	550.878	0.000	5471.700
GDPPC	550	31931.930	18469.370	2570.900	114714.800
CO ₂	550	0.438	0.417	0.000	3.760
EIM	550	42.096	48.831	-152.915	99.157
LAND	550	1221584.000	2758955.000	2590.000	9147420.000

총 전력 사용량(ECON)은 전력 시장의 수요를 대변하는 변수로, 전력 수요가 높을수록 재생에너지 발전량도 높아지는 경향을 나타낼 것이라고 예상된다. 수요 측면을 통제할 수 있는 또 다른 변수로는 전력 가격과 화석연료 가격이 있다. 첫째로 전력 가격의 경우 재생에너지 발전비용이 화석에너지 발전비용보다 높기 때문에 전력 가격이 높을수록 재생에너지 발전사에 유리한 경향이 있다. 그러나 각국의 전력 가격을 결측치(missing data) 없이 긴 시계열로 얻는 것이 쉽지 않다. 둘째로 화석연료는 재생에너지와 대체재 관계에 있기 때문에, 유발적 혁신 가설(induced innovation hypothesis)에 의하면 화석연료의 가격이 재생에너지 기술 채택에 영향을 미칠 수 있다. 화석연료 가격의 경우 비교적 구하기 쉽고 온전한 시계열을 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 발전소 건설에 드는 비용이 연료비용에 비해 매우 크며, 이 비용이 고정적이고 매몰되는 속성(fixed and sunk nature)을 가지고 있기 때문에 실제로 재생에너지 기술 채택에 미치는 영향은 그리 크지 않을 것으로 판단된다. 기존 선행연구에서도 가격 변수를 사용하였으나 분석결과가 유의하지 않게 나오거나(Johnston et al., 2010; Yin and Powers, 2010), 위와 같은 이유로 아예 사용하지 않은 바 있다(Dong, 2012). 본 연구의 목적은 수요 측면의 변수들이 재생에너지 발전량에 얼마나 영향을 미치는지 살펴보는 데 있지 않으므로, 수요 측면의 대표적인 통제변수로 총 전력 사용량만을 사용하였다.

서론에서 언급된 바와 같이 재생에너지 정책의 시행은 그것이 직접적으로 재생에너지

지 사용 확대에 영향을 미치기도 하지만 정책의 시행으로 유도된 기술혁신이 재생에너지 사용에 긍정적인 영향을 미치는 간접적인 영향도 나타낼 수 있다. 일반적으로 기술혁신에 대한 대리변수로는 특허 등록수²⁾가 사용된다. 특허의 사용에 여러 단점이 있음에도 불구하고 여전히 기술혁신을 계량화할 수 있는 가장 적합한 변수는 특허라고 할 수 있다(Johnstone et al., 2010). 그러나 특허로 등록된 기술혁신이 모두 출원되는 것은 아니며, 출원된다 하더라도 실제로 사용되기까지는 몇 년의 시간이 더 소요되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 ‘누적 특허 등록수’라는 투박한 척도(rough measure)를 고안하였다. 이 변수는 기준년도인 1990년부터 t년도까지의 재생에너지 분야 전체 특허 등록수를 합한 것으로, 과거의 기술혁신이 많을수록 현재의 기술 채택에 긍정적인 영향을 미친다는 가설을 검증하기에는 무리가 없을 것으로 생각된다. 기준년도를 1990년으로 설정한 것은 본 연구에서 사용된 데이터가 1990년부터 2011년까지를 포함시키기 때문이기도 하지만, 재생에너지에 대한 특허의 등록 및 출원은 1990년대에 들어와서 본격적으로 이루어졌다는 점을 고려할 때 적당한 기준이라고 볼 수 있다. 한 가지 고려해야 할 점은 재생에너지 기술이 지속적으로 사용됨에 따라 학습효과(learning effect)를 통해 기술혁신이 다시 발생할 수 있다는 점이다. Hatch and Mowery (1998)는 대량생산으로 인한 효율성 향상이 기업 생산성에 큰 영향을 미치며, 생산과정에서의 학습효과가 공정혁신(process innovation)으로 이어진다고 언급한 바 있다. 그러나 생산과정으로부터 공정혁신이 발생하기까지는 상당한 시차가 발생할 뿐만 아니라 제품혁신(product innovation)과 달리 공정혁신의 경우 특허로 등록하는 경향이 낮기 때문에(Cohen et al., 2000) 기술채택에서 기술혁신으로의 관계를 명확하게 정의 내리기가 모호한 부분이 있다. 따라서 기술채택의 설명변수로 쓰인 기술혁신이 엄격하게 외생적(strictly exogenous)이라고 할 수 없으며, 오히려 재생에너지 발전량 증 설명변수들로 설명되어지지 않은 현재의 잔차항(error term)이 미래의 기술혁신에 영향을 줄 것이라고 판단하는 편이 보다 합리적이다. 따라서 본 연구에서는 동적 패널모형 추정 과정에서 기술혁신을 선결 변수(predetermined variable)로 간주하고 분석을 시행하였다.

CO₂집약도(CO₂, kt CO₂ per GDP)와 에너지수입의존도(EIM, net energy imports, %)는

2) 기술혁신의 대리변수로 사용하는 특허의 장점과 단점에 대한 자세한 내용은 Johnstone et al. (2010)을 참고하기 바란다.

여러 선행연구에서 통제변수로 사용된 바 있다. 그러나 환경에 미치는 외부효과를 스스로 내재화하고자 노력하는 극히 일부의 발전사업자가 아니라면 발전과정에서 CO₂의 발생은 정부가 규제를 하지 않는 한 사업 운영의 고려 대상이 아니다. Popp (2010)은 발전사업이 통제된(regulated) 시장 내에서 운영되며, 경쟁이 거의 없는 환경에서 특정 지역(dedicated area)만을 대상으로 전력을 공급하기 때문에 친환경적인 기술을 채택함으로써 발전소가 얻을 수 있는 혜택은 규제 준수 밖에 없다고 지적하였다. 따라서 CO₂집약도가 재생에너지 발전량에 영향을 주는 변수라고 생각하기는 힘들다. 이와 비슷하게, 에너지수입의존도가 높을수록 국가적 차원에서는 에너지 안보를 위해 재생에너지 개발에 노력을 기울이나, 발전사업자들도 이와 동일한 입장을 취하는 것은 아니다. 전력생산자들의 입장에서는 에너지수입의존도가 높으면 수입처를 다각화하거나, 장기계약이나 파생상품의 이용 등으로 구매력(buying power)을 높이는 것이 보다 손쉽고 가역적인(reversible) 방법이다. 따라서 재생에너지 산업 진입을 위해 고정적이며 매몰비용의 특성이 있는 투자를 하는 데에 에너지수입의존도가 의미있는 영향을 미치지 않았을 것이라 예상된다. 본 연구에서는 기존 선행연구에서의 결과와 비교를 위해 두 변수를 조합하여 모델을 구성하였다. 단, 재생에너지의 사용과 CO₂배출간의 내생성을 제거하기 위해 CO₂집약도는 과거값을 사용하였다.

마지막으로 국가별 면적(LAND)은 시간 불변(time-invariant) 변수로, 개별 국가의 이질성을 통제하기 위해 포함하였다. 재생에너지의 특성상 국가의 면적이 넓을수록 재생에너지 발전에 적합한 지형이나 기후가 존재할 확률이 높기 때문에 면적이 넓을수록 재생에너지 발전량에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

2. 분석 모형

본 연구에서는 종속변수인 재생에너지 기술채택에 대해 대리변수로 수력을 제외한 재생에너지 발전량을 사용하였다. 앞서 설명한 바와 같이 이 변수는 이전 기의 값에 영향을 받는 자기상관(autocorrelation) 문제를 내재하고 있으며, Marques and Fuinhas(2011)의 풍력발전에 대한 실증분석에서도 발전량의 지속성(persistency)이 존재함을 보인 바 있다. 따라서 본 연구에서는 종속변수의 과거변수(lagged dependent variable)를 설명변수로 포함시키는 동적 패널 모형(dynamic panel model)을 사용하여 자기상관 문제를 해

결하고자 하였다. 동적 패널 모형의 사용은 자기상관으로 인한 내생성(endogeneity) 문제의 해결 외에도 여러 이점을 가지고 있는데, 1) 개별 국가의 관측되지 않은 영향(unobservable effects)을 제거할 수 있고, 2) 변수들 간의 공선성(collinearity)을 통제할 수 있다는 점이 대표적이다(Marques and Fuinhas, 2011).

동적 패널 모형에서 일치추정량(consistent estimator)을 얻는 방법으로 종속변수의 과거값(수준 또는 차분변수)을 도구변수로 사용하는 1차 차분 모형(FD2SLS)을 이용하는 방법이 있는데, 이때 도구변수의 수가 내생적 설명변수의 수보다 많은 과대식별(over-identification) 모형에서는 GMM 추정량이 더 효율적인 것으로 알려져 있다(민인식, 최필선, 2012). 본 연구에서 사용된 모형에서는 도구변수의 수가 내생적 설명변수의 수보다 많기 때문에 GMM 추정방식을 사용하는 것이 더 적합하다고 볼 수 있다.

GMM 추정방식에는 차분 GMM방식(Arellano-Bond estimator)과 시스템 GMM 방식(Arellano-Bover/Blundell-Bond system estimator)이 있다. Anderson and Hsiao (1981)는 종속변수의 과거값 또는 차분값의 과거값을 도구변수로 사용하여 일치추정량을 획득하는 아이디어를 제시하였는데, 이를 바탕으로 Arellano and Bond (1991)는 종속변수의 수준(level) 값들을 차분방정식(differenced equation)의 도구변수로 사용하는 Arellano-Bond estimator를 제안하였다. 이후 Arellano and Bover (1995)가 활용가능한 외생변수가 존재하는 경우 수준값을 도구변수로 활용함으로써 효율성을 높일 수 있음을 보였고, Blundell and Bond (1998)가 이를 발전시켜 종속변수 차분값의 과거값(lagged value)을 수준방정식(level equation)의 추가적인 도구변수로 사용하는 Arellano-Bover/Blundell-Bond system estimator를 제시하였다. Blundell and Bond (1998)는 자기회귀 과정이 지나치게 지속적이거나 개별 고정효과(panel fixed effect)의 분산의 상대적 크기가 지나치게 클 경우 Arellano-Bond estimator의 도구변수들이 약해지는데(weak instruments) 이를 시스템GMM으로 개선할 수 있다는 점을 보였다. 본 연구에서 사용된 종속변수는 자기상관 속성을 가지며 그것이 지속적일 가능성이 높기 때문에 Arellano-Bover/Blundell-Bond system estimator로 추정해야 일치추정량에 보다 가까운 값을 구할 수 있을 것으로 추측된다. 따라서 본 연구에서는 두 방식을 각각 적용한 뒤 그 결과값을 비교해 본다. 추정에 사용된 식은 아래와 같다:

$$y_{i,t} = \alpha y_{i,t-1} + P_{i,t}\beta_1 + X_{i,t}\beta_2 + \Psi_{i,t}\beta_3 + \nu_i + u_t + \epsilon_{i,t}$$

위의 식에서 $y_{i,t}$ 는 종속변수로, 본 연구에서는 i국가에서 t년도에 발생한 수력을 제외한 재생에너지 발전량(GENRE)을 사용하였다. $P_{i,t}$ 는 재생에너지 정책 변수로, FIT와 RPS 시행에 대한 더미변수를 사용하였으며, 재생에너지 발전에 대한 정책 이외의 영향을 통제하기 위하여 $X_{i,t}$ 와 $\Psi_{i,t}$ 라는 통제변수를 사용하였다. $X_{i,t}$ 는 엄격하게 외생적인 (strictly exogenous) 통제변수로, 이는 모든 i와 t에 대하여 $E[X_{i,t}\epsilon_{i,t}] = 0$ 이라는 것을 의미한다. 반면 s를 임의의 년도라고 할 때 $s < t$ 에 대해서 $E[X_{i,t}\epsilon_{i,s}] \neq 0$ 이지만 $s \geq t$ 에 대해서 $E[X_{i,t}\epsilon_{i,s}] = 0$ 인 경우 이러한 변수를 선결변수(predetermined variables)라고 하고(Arellano and Bond, 1991), 위의 식에서는 $\Psi_{i,t}$ 로 나타내었다. 선결변수는 완벽한 외생성이 보장되지 않으며 종속변수의 현재 관측되지 않는 오차가 미래의 선결변수 예측치에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 선결변수는 차분 GMM estimator 또는 시스템 GMM estimator를 추정 시 차분방정식의 GMM-type 도구변수로 사용된다. 본 연구에서는 3.1에서 설명한 바와 같이 누적 특허 등록수(CPR)는 선결변수로, 이를 제외하 나머지 변수들은 엄격하게 외생적인 통제변수로 취급하여 분석을 시행하였다. ν_i 는 패널 수준 효과(panel level effect)를, u_t 는 연도별 고정효과(year fixed effect)를 의미하며 $\epsilon_{i,t}$ 는 오차항이다.

IV. 분석 결과

4절에는 3절에서 설명한 변수와 모델을 통하여 수행한 실증분석의 결과를 나타내었다. 분석에는 STATA 통계 패키지를 사용하였다. 차분 GMM 추정량과 시스템 GMM 추정량을 모두 수행하였는데, 예상했던 바와 같이 시스템 GMM 추정 결과가 보다 높은 유의성을 나타냈다. 패널데이터의 자기상관과 이분산성을 모두 테스트하였고, 1차 자기상관(firs-order autocorrelation)과 이분산성(heterogeneity)의 존재가 통계적으로 유의함을 확인하였다. 따라서 도구변수로 쓰이는 변수들은 2기 이상의 과거값들을 Arellano-bond test 결과에 따라 사용하였고, 이분산성을 고려하여 robust 옵션을 사용하였다. GMM추정의 경우 초기 가중치행렬(initial weight matrix)을 사용하여 추정계수를 구하

는 1단계 추정과, 1단계에서의 결과를 대입하여 다시 목적함수를 최소화하는 2단계 추정이 있다(민인식·최필선, 2012). 본 연구에서 쓰인 데이터의 경우 2단계 추정 시 적률 조건(moment condition)의 공분산 행렬이 특이행렬(singular matrix)이라는 문제점이 있으므로, 1단계 추정 방식을 사용하였다. 각 변수들의 조합에 따라 총 6개의 모델을 설정하였다.

〈표 3〉 차분 GMM 추정 결과

GMM-diff One-step robust	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
GENRE _{t-1}	0.524 ^{***} (0.202)	0.543 ^{***} (0.208)	0.530 ^{***} (0.207)	0.711 ^{***} (0.090)	0.567 [*] (0.192)	0.541 ^{***} (0.202)
FIT	0.046 (0.087)	0.047 (0.087)	0.057 (0.095)	0.051 (0.083)	0.027 (0.090)	0.046 (0.083)
RPS	0.126 (0.080)	0.133 (0.080)	0.164 [*] (0.088)	0.006 (0.102)	0.107 (0.083)	0.060 (0.065)
FR	-0.082 (0.080)	-0.085 (0.100)	-0.099 (0.084)	-0.020 (0.077)	-0.077 (0.080)	-0.112 (0.082)
ECON	0.031 (0.442)	-	0.131 (0.378)	0.106 (0.338)	-0.176 (0.461)	-0.028 (0.413)
GDPPC	0.136 (0.136)	0.142 (0.138)	-	0.250 (0.154)	0.310 ^{**} (0.129)	0.126 (0.146)
CPR	0.049 (0.049)	0.054 (0.104)	0.050 (0.100)	-	0.065 (0.093)	0.052 (0.094)
CO _{2t-1}	-0.229 (0.171)	-0.209 (0.177)	-0.283 [*] (0.147)	0.005 (0.166)	-	-0.170 (0.156)
EIM	-0.024 (0.030)	-0.023 (0.030)	-0.019 (0.034)	-0.035 [*] (0.018)	-0.022 (0.024)	-
Wald chi2	1264.91	1323.29	1293.28	3332.45	1112.43	1034.49
Arellano-Bond test						
AR(1)	-0.69	-0.70	-0.69	-1.55	-0.76	-0.72
AR(2)	-1.90 [*]	-1.90 [*]	-1.89 [*]	-1.38	-1.97 ^{**}	-1.93 ^{**}
AR(3)	-0.41	-0.40	-0.33	0.68	-0.53	-0.33
Sargan test	26.14	25.45	24.63	7.45	27.45	27.71
Hansen test	18.92	20.99	19.65	20.55	19.22	22.33

※ *: 10%, **: 5%, ***: 1% level significance, robust standard errors in parentheses.

※ LAND dropped because of collinearity.

차분 GMM과 시스템 GMM 추정방식으로 각 6개의 모델에 대해 분석한 결과, 종속변수로 사용된 재생에너지 발전량의 과거값은 추정방식에 관계없이 매우 높은 정도로 통계적으로 유의미한 영향을 현재값에 미치는 것으로 나타나 본 연구에서 세웠던 첫 번째 가설인 재생에너지 발전량의 자기상관문제가 존재함을 밝혀내었고, 따라서 동적 패널 모형을 적용한 본 연구는 기존의 선행연구들에 비해 재생에너지 정책의 발전량에 대한 효과를 보다 정확하게 분석하였다고 할 수 있다. 또한 종속변수의 과거값의 계수가 0.7에서 0.9 사이에 있으므로, 이렇게 지속성(persistence)이 강한 경우 도구변수들이 약해지기(weak instrument) 때문에 시스템 GMM 추정방식이 보다 적당하다는 것을 다시 한번 확인할 수 있다.

FIT의 경우 시스템 GMM 추정 결과 대부분의 모델에서 통계적으로 유의한 양의 값을 나타냈는데, 따라서 FIT는 재생에너지 발전량에 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있다. RPS의 경우 대부분의 모델에서 통계적으로 유의하지 않았으며, 통계적 유의성을 차지하고라도 그 계수가 FIT의 계수에 비해 대체적으로 낮게 나타났다. 기존 선행연구 중 본 연구와 가장 유사한 구조와 모델을 이용하여 분석을 수행한 Dong (2012)와 Zhao et al. (2013)의 결과와 비교해보면, 두 선행연구에서 모두 FIT가 RPS보다 높은 긍정적 영향을 미친다고 나왔기 때문에 일치하는 결과라고 할 수 있다. 그러나 Zhao et al. (2013)에서는 RPS의 계수가 음수이며 통계적으로 유의하다는, 다소 직관과 어긋나는 추정치가 나왔다. 또한 Dong (2012)의 경우 종속변수와 방법론을 다양하게 조합하여 분석을 시도했으나 대부분 통계적으로 유의하지 않은 결과를 나타냈고, 특히 RPS의 계수는 Zhao et al. (2013)에서와 마찬가지로 음수이면서 통계적으로 유의한 결과가 나오기도 했다. 물론 본 연구를 포함하여 세 연구에서 사용된 데이터와 모형이 서로 다르기 때문에 이 사실만으로 결론을 내릴 수는 없으나, 기존 선행연구에서 공통적으로 음의 계수를 나타낸 데에는 자기상관 문제를 고려하지 않은 것이 원인일 수 있다는 가능성은 확인할 수 있다.

FIT의 계수가 RPS의 계수보다 높다는 것은 FIT가 재생에너지 발전량 증가에 더 높은 유인을 제공한다는 것으로 해석할 수 있다. 이는 정책의 형태에 따른 차이에서 기인하는 것으로, FIT의 경우 발전사업자들에게 안정적인 수익과 높은 예측가능성을 보장하고, 가격 변동성에 대한 리스크 헷징(risk hedging) 비용을 감소시킨다는 등의 특성을 지닌다. FIT의 이러한 장점은 발전사업자에게 ‘재생에너지 발전’이라는 리스크가 큰 사업에

투자함에 있어 보다 명확하고 손에 잡히는 유인을 제공하였을 것이다. 반면 RPS의 경우, 재생에너지로 생산한 전기에 대해서도 일정 수준 이상의 가격을 보장하지 않는다. 그래서 일부 전력시장의 경우 가격변동성(volatility)이 매우 높기 때문에 발전사업자들은 전력 가격에 대한 일차적인 위험부담을 안게 된다. RPS에서 정한 기준을 초과 달성하였을 경우에는 재생에너지 공급인증서(REC)를 발급, 기준을 달성하지 못한 사업자와 거래가 가능하도록 공급인증서 시장과 연계가 되어있는 경우가 있으나 공급인증서 시장에서 인증서 가격이 일정 수준 이상에 형성되지 않으면 발전사업자에게 긍정적인 유인을 주지 못한다. 뿐만 아니라 공급인증서의 가격 변동성이 높을 경우 발전사업자들에게 목표 추가 달성은 이차적인 위험부담을 지니게 하는데, 이러한 불확실성은 제도의 원활한 실행을 방해하며 이러한 사례는 유럽의 배출권거래제도(EU ETS)에서도 찾아볼 수 있다. 이러한 측면에서 FIT가 RPS에 비해 재생에너지 발전량 증가에 더 높은 유인을 제공하였다고 볼 수 있다.

〈표 4〉 시스템 GMM 추정 결과

GMM-sys One-step robust	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
GENRE _{t-1}	0.742 ^{***} (0.124)	0.745 ^{***} (0.127)	0.749 ^{***} (0.124)	0.886 ^{***} (0.068)	0.747 ^{***} (0.116)	0.800 ^{***} (0.089)
FIT	0.300 [*] (0.155)	0.288 [*] (0.159)	0.313 [*] (0.167)	0.204 (0.128)	0.293 ^{***} (0.146)	0.192 [*] (0.100)
RPS	0.214 (0.146)	0.212 (0.140)	0.257 [*] (0.156)	0.240 [*] (0.125)	0.204 (0.132)	0.028 (0.113)
FR	-0.288 ^{**} (0.126)	-0.277 ^{**} (0.133)	-0.293 ^{***} (0.112)	-0.236 (0.148)	-0.281 (0.125)	-0.224 ^{**} (0.110)
ECON	0.039 (0.084)	-	0.098 (0.092)	-0.075 (0.202)	0.032 (0.088)	0.048 (0.073)
GDPPC	0.269 (0.214)	0.300 (0.221)	-	0.367 (0.286)	0.300 (0.262)	0.205 (0.172)
CPR	0.072 ^{**} (0.034)	0.075 ^{**} (0.035)	0.067 [*] (0.036)	-	0.073 ^{**} (0.033)	0.084 ^{***} (0.030)
CO _{2t-1}	-0.048 (0.165)	-0.023 (0.166)	-0.259 (0.274)	0.063 (0.164)	-	0.025 (0.116)

〈표 4〉 시스템 GMM 추정 결과 (계속)

GMM-sys One-step robust	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
EIM	-0.179 (0.190)	-0.182 (0.190)	-0.180 (0.191)	-0.040 (0.042)	-0.178 (0.188)	-
Wald chi2	67736.78	67798.07	52928.27	54786.19	63316.35	92955.59
Arellano-Bond test						
AR(1)	-0.91	-0.91	-0.90	-1.81*	-0.94	-1.02
AR(2)	-1.92*	-1.94*	-1.88*	-1.44	-1.92*	-1.96*
AR(3)	-0.38	-0.40	-0.27	0.76	-0.40	-0.32
Sargan test	201.07***	201.17***	199.42***	67.22***	200.48***	197.68***
Hansen test	20.18	20.31	20.16	20.54	20.26	21.24

※ *: 10%, **: 5%, ***: 1% level significance, robust standard errors in parentheses.

※ LAND dropped because of collinearity.

시스템 GMM 추정결과를 보면 CPR이라는 기술혁신의 대리변수는 모든 모형에서 통계적으로 유의하며 양의 계수가 나타났다. 이는 본 연구에서 주장한 재생에너지 정책이 기술혁신을 통해 기술채택에 기여하는 간접효과가 존재함에 대한 근거로 볼 수 있다. 또한 CPR이 제외된 model 4의 결과를 보면, 다른 모든 모형들에서와는 다르게 RPS 계수가 FIT 계수보다 커지는 것을 볼 수 있다. 따라서 재생에너지 정책의 보급효과 분석 시 기술혁신을 통한 간접효과를 고려하지 않을 경우 분석에 변수 누락 편의(omitted variable bias)가 발생할 수 있다고 해석할 수 있다. 이처럼 분석결과를 통해 자기상관문제와 변수 누락편의가 모두 존재함을 알 수 있고, 따라서 본 연구에서 사용된 모형이 의의를 갖는다고 할 수 있다. 물론 모든 기술은 시간에 따라 퇴보하기 때문에 CPR이라는 변수 자체는 말 그대로 투박한 척도로, 보다 정교한 변수를 개발하여 사용하면 더 좋을 것으로 판단된다.

FR의 경우 상당히 유의한 수준에서 음의 계수를 나타내어, 동일한 목적을 가진 FIT와 RPS를 동시에 시행할 경우 예상했던 수준에 미치지 못하는 효과가 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다. CO₂ 집약도와 에너지수입의존도는 예상과 마찬가지로 모두 유의하지 않은 결과가 나타났다. 이 두 변수 외에도 기존 선행연구들에서는 전체 인구 중 여성의 비율, 노동가능인구, 외국인직접투자 등이 통제변수로 포함된 바 있으나, 앞서 언급한 바

와 같이 이러한 유인들은 발전사업자의 입장에서 재생에너지 발전량을 증가시키는 데 고려사항이 되지 않으므로, 이러한 변수들을 포함시켜 분석하여도 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

V. 결론

본 연구에서는 재생에너지 정책이 재생에너지 확산에 미치는 영향에 대하여 기술채택의 변수로 사용되는 재생에너지 발전량은 자기상관 문제를 가진다는 점과, 재생에너지 정책이 기술혁신을 통하여 기술채택에 영향을 미치는 간접효과가 존재한다는 점을 고려하여 실증분석을 수행하였다. 이를 통해 재생에너지 정책이 기술혁신을 유도한다는 선행연구가 다수 존재했음에도 불구하고(Johnstone et al., 2010; Wangler, 2013) 기술채택에 선행되어야 할 기술혁신을 고려하지 않았다는 기존 연구들의 한계점과, 발전산업의 초기진입비용이 고정되어 있고 매몰비용의 특성을 갖기 때문에 발전량이 자기상관의 속성을 가지나 지금까지는 정책의 효율성 분석 시 고려되지 않았다는 한계점을 극복하였다. 분석 결과 FIT가 RPS보다 재생에너지 보급에 보다 효과적임을 알 수 있고, 재생에너지 기술혁신 또한 재생에너지 확대에 긍정적으로 기여한다는 사실을 밝혀내었다.

기술의 경제성이 확보되지 않은 상태에서의 보급은 재정상황이 악화되면 언제든지 중지될 수 있다는 한계가 있기 때문에 재생에너지 보급 정책은 궁극적으로 재생에너지 기술이 전통적 발전기술에 대해 경쟁력을 갖출 수 있도록 설계되어야 하며, 보다 구체적으로는 기술혁신을 촉진하고 기술적 학습효과(technological learning processes)를 가속화해야 한다. 그러기 위해서는 무엇보다도 정책의 동태적 효율성(dynamic efficiency)에 대하여 정확하게 평가하여야 하고, 그런 점에서 본 연구가 가지는 두 가지 차별점은 의의를 갖는다고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 이 연구를 보다 정교하게 분석해볼 필요 또한 여전히 존재한다. IEA (2006)에서는 재생에너지 기술을 3세대로 나누어 정의하고 있는데, 1세대는 수력 발전과 바이오매스로, 기술적으로 이미 성숙한 단계인 재생에너지원을 말한다. 2세대는 현재 빠른 진보를 보이고 있는 재생에너지원으로 태양광에너지와 풍력, 그리고 현대적 바이오에너지가 포함된다. 3세대 에너지원은 현재 초기 개발단계에 머물러있는 에너지

원으로 태양열(concentrating solar power), 해양에너지 등이 속한다. 특히 RPS처럼 특정 재생에너지 기술을 지정하지 않는 정책의 경우에는 보다 비용효율적인, 즉 보다 성숙되어 있는 재생에너지 기술을 사용하는 것이 유리하기 때문에 각 제도에 따라, 그리고 어떤 재생에너지원을 사용하느냐에 따라 관계가 달라질 수 있다. 본 연구의 경우 데이터 상의 한계로 인해 각 재생에너지원에 따른 영향을 나누어 분석하지는 않았으나, 이러한 점들을 고려해볼 때 추후 연구해볼 가치가 있다.

본 연구는 다음의 두 가지 한계점도 지니고 있는데, 첫 번째는 국가별 전력시장의 차이를 반영하지 못했다는 점이다. 물론 각국의 전력시장은 전반적으로 독점시장의 개방과 경쟁확대라는 공통점을 지니고 있으나(에너지경제연구원, 2014), 세부적인 전력시장 운영 메커니즘 등의 차이는 재생에너지 정책의 효과에 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 본 연구에서는 위에서 언급한 두 가지 차별점에 주목하기 위해 국가별 전력시장의 차이까지 고려하지는 못했으나, 후속 연구가 진행될 경우 반드시 고려되어야 할 부분이다. 두 번째는 정책의 시행여부만을 고려했을 뿐 정책의 강도(stringency)를 고려하지 않았다는 점이다. 정책을 시행했음에도 불구하고 그 강도가 지나치게 낮아서 정책 수요자에게 어떠한 자극(signal)도 주지 못하는 경우가 존재할 수 있기 때문에 정책의 효과를 평가할 때 그 정책이 적절한 강도로 시행되었는가를 보는 것도 매우 중요한 일이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 FIT와 RPS 두 정책의 강도를 정규화(normalization)하는데 어려움이 있어 시도하지 않았으나, 추후 적절한 방법을 통해 각 정책의 강도를 고려한 분석을 시도한다면 보다 유용한 정책적 시사점을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

[References]

- 권태형, “신재생에너지 지원정책의 지대발생 효과와 규제: 신재생에너지 공급의무화제도 (RPS)를 중심으로”, 「에너지경제연구」, 제11권 제2호, 에너지경제연구원, 2012, pp. 141~163.
- 김수덕·문춘걸, “RPS 도입의 경제적 효과”, 「자원·환경경제연구」, 제14권 제3호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2005, pp. 729~751.

- 김수이, “신재생에너지의 R&D 생산성과 배출권거래제의 연관관계 분석: OECD 특허데이터를 중심으로”, 「자원·환경경제연구」, 제22권 제1호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2013, pp. 53~76.
- 김유진·김수덕, “국내 신재생전원 보급지원제도의 평가 및 개선방향”, 「한국경제연구」, 제20권, 한국경제연구학회, 2008, pp. 107~133.
- 김지효·박정규·김진수·허은녕, “RPS 도입시 재생에너지 전력에 대한 소비자 선호 연구: 지역별 차이를 중심으로”, 「자원·환경경제연구」, 제20권 제4호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2011, pp. 797~826.
- 김태은, “제도변화와 대체요인으로서 딜레마 대응에 관한 연구”, 「한국행정학보」, 제43권 제4호, 한국행정학회, 2009, pp. 179~208.
- 김현재·조경엽, “신재생에너지 의무할당제의 국내산업에 대한 파급효과”, 「자원·환경경제연구」, 제19권 제4호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2010, pp. 805~828.
- 민인식·최필선, 『STATA 패널데이터분석』, 지필미디어, 2012.
- 박호정, “실물업선 모형을 이용한 RPS 와 배출권거래제 연계의 신재생에너지 투자효과”, 「자원·환경경제연구」, 제21권 제2호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2012, pp. 53~76.
- 신정희, “에너지공급에 있어서 국가의 과제와 지속가능한 재생에너지 보급촉진제도”, 「법학연구」, 제52권 제4호, 부산대학교 법학연구소, 2011, pp. 27~51.
- 에너지경제연구원. “최근 주요국 전력산업 구조개편 동향과 시사점”, 세계 에너지시장 인사이트 제14-35호, 2014. 10. 3.
- 오근엽·유진만, “재생에너지 분야 국가 간 기술 확산 및 수렴: OECD 특허 데이터를 이용한 분석”, 「자원·환경경제연구」, 제23권 제1호, 한국환경경제학회·한국자원경제학회, 2014, pp. 67~89.
- 이준서, “발전차액지원제도(FIT)와 의무할당제도(RPS)의 입법적 검토: 일본 RPS법을 중심으로”, 한국법제연구원, 2010.
- 정경화, “RPS와 환경규제가 탄소저감기술 R&D에 미치는 영향에 대한 이론적 분석”, 「에너지경제연구」, 제10권 제2호, 에너지경제연구원, 2011, pp. 1~26.
- 진상현·황인창, “신재생에너지 보급정책의 지역별·에너지원별 성과분석”, 「한국지역개발학회지」, 제23권 제1호, 한국지역개발학회, 2011, pp. 15~32.
- 한전경제경영연구원. “EU, 국가별 에너지 보조금 정책 변화 및 영향”, KEMRI 전력경제

- Review 제38호, 2015. 10.
- Anderson, T. W. and C. Hsiao, "Estimation of Dynamic Models with Error Components," *Journal of the American statistical Association*, Vol. 76, 1981, pp. 598~606.
- Arellano, M. and S. Bond, "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations," *The review of economic studies*, Vol. 58, 1991, pp. 277~297.
- Arellano, M. and O. Bover, "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-components Models," *Journal of econometrics*, Vol. 68, 1995, pp. 29~51.
- Blundell, R. and S. Bond, "Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models," *Journal of econometrics*, Vol. 87, 1998, 115~143.
- Butler, L. and K. Neuhoff, "Comparison of Feed-in Tariff, Quota and Auction Mechanisms to Support wind Power Development," *Renewable Energy*, Vol. 33, 2008, pp. 1854~1867.
- Cohen, W., R. Nelson, and J. Walsh, "Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Firms Patent (or not)," *NBER Working Paper*, No. 7552, National Bureau of Economic Research, 2000.
- Dong, C. G., "Feed-in Tariff vs. Renewable Portfolio Standard: An Empirical Test of Their Relative Effectiveness in Promoting wind Capacity Development," *Energy Policy*, Vol. 42, 2012, pp. 476~485.
- Ederington, J. and P. McCalman, "Endogenous Technology Adoption, Government Policy and Tariffication," *Government Policy and Tariffication* (January 2006).
- Hatch, N. W. and D. C. Mowery, "Process Innovation and Learning by Doing in Semiconductor Manufacturing," *Management Science*, Vol. 44, 1998, pp. 1461~1477.
- International Energy Agency, "Renewable energy-market and policy trends in IEA countries," *IEA*, Paris, 2004.
- International Energy Agency, "Renewable Energy: RD&D Priorities, Insights From the IEA Technology Programmes," *IEA*, Paris, 2006.
- IETA, "Overlapping Policies with the EU ETS," *IETA*, Geneva, Switzerland, 2015. (<http://www.ieta.org>)
- International Energy Agency, "Energy Balances of OECD Countries," *IEA*, Paris, France,

2014. (<http://wds.iea.org>)
- Johnstone, N., I. Haščič, and D. Popp, “Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 45, 2010, pp. 133~155.
- Klein, A., A. Held, M. Ragwitz, G. Resch, and T. Faber, “Evaluation of Different Feed-in Tariff Design Options: Best Practice Paper for the International Feed-in Cooperation,” Karlsruhe, Germany and Laxenburg, Austria: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung and Vienna University of Technology Energy Economics Group, 2007.
- Li, S., H. K. Yoo, M. Macauley, K. Palmer, and J. S. Shih, “Assessing the Role of Renewable Energy Policies in Landfill Gas to Energy Projects,” *Energy Economics*, Vol. 49, 2015, pp. 687~697.
- Marques, A. C. and J. A. Fuinhas, “Drivers Promoting Renewable Energy: A Dynamic Panel Approach,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, 2011, pp. 1601~1608.
- Menanteau, P., D. Finon, and M. L. Lamy, “Prices Versus Quantities: Choosing Policies for Promoting the Development of Renewable Energy,” *Energy policy*, Vol. 31, 2003, pp. 799~812.
- Mitchell, C., D. Bauknecht, and P. M. Connor, “Effectiveness Through risk Reduction: A Comparison of the Renewable Obligation in England and Wales and the Feed-in System in Germany,” *Energy Policy*, Vol. 34, 2006, pp. 297~305.
- OECD/IEA, “Deploying Renewables: Principles for Effective Policies,” *International Energy Agency* (IEA), 2008.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, “OECD Patent Database,” OECD, Paris, 2014. (<http://stats.oecd.org>)
- Popp, D., “Exploring Links Between Innovation and Diffusion: Adoption of NOx Control Technologies at US Coal-fired Power Plants,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 45, 2010, pp. 319~352.
- REN21, “Renewables 2005 Global Status Report,” 2005. (Paris: REN21 Secretariat).
- REN21, “Renewables 2007 Global Status Report,” 2007. (Paris: REN21 Secretariat).

- REN21, “Renewables 2010 Global Status Report,” 2010. (Paris: REN21 Secretariat).
- REN21, “Renewables 2011 Global Status Report,” 2011. (Paris: REN21 Secretariat).
- REN21, “Renewables 2012 Global Status Report,” 2012. (Paris: REN21 Secretariat).
- REN21, “Renewables 2013 Global Status Report,” 2013. (Paris: REN21 Secretariat).
- REN21, “Renewables 2014 Global Status Report,” 2014. (Paris: REN21 Secretariat).
- Schmid, G., “The Development of Renewable Energy Power in India: Which Policies Have Been Effective?,” *Energy Policy*, Vol. 45, 2012, pp. 317~326.
- Smith, M. G. and J. Urpelainen, “The Effect of Feed-in Tariffs on Renewable Electricity Generation: An Instrumental Variables Approach,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 57, 2014, pp. 367~392.
- Wangler, L. U., “Renewables and Innovation: Did Policy Induced Structural Change in the Energy Sector Effect Innovation in Green Technologies?,” *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 56, 2013, pp. 211~237.
- World Bank Group, “World Development Indicators,” *The World Bank, Washington, DC.*, 2014. (<http://databank.worldbank.org>)
- Yin, H. and N. Powers, “Do State Renewable Portfolio Standards Promote In-state Renewable Generation?,” *Energy Policy*, Vol. 38, 2010, pp. 1140~1149.
- Zhao, Y., K. K. Tang, and L. L. Wang, “Do Renewable Electricity Policies Promote Renewable Electricity Generation? Evidence From Panel Data,” *Energy Policy*, Vol. 62, 2013, pp. 887~897.