

태양광 보급의 결정요인 연구: 자기상관 패널데이터 분석

김광수 · 최진수 · 윤용범 · 박수진*

에너지정책학과, 한국전력국제원자력대학원대학교, 울산광역시, 45014

A Study on Determinants of Photovoltaic Energy Growth: Panel Data Regression with Autoregressive Disturbance

Kwangsu Kim · Jinsoo Choi · Yongbeum Yoon · Soojin Park*

Department of Energy Policy and Engineering, KEPCO International Nuclear Graduate School, Ulsan, 45014, Korea

Received February 24, 2022; Revised March 16, 2022; Accepted March 17, 2022

ABSTRACT: Climate change is among the most important issues facing mankind in modern society. However, global PV energy expansion has been driven mainly by OECD countries. We investigate the determinants of PV energy growth by panel data of selected OECD countries from 1991 to 2018. We investigate four categories of driving factors: socioeconomic, technological, country specific, and policy factors. The test results support that PV capacity growth is significantly driven by technology development and multidimensional environmental policy factors. Socioeconomic factors such as CO₂, GDP, and electricity price are statistically significant on the growth of PV energy, too. Whereas, country-specific solar potential factor is the least related. As most of the socioeconomic factors are exogenous, we need to focus more on PV technology development and policy measures.

Key words: Photovoltaic energy, panel data, autoregressive disturbance, Fixed effects model, Random effects model, EPS Index

Subscript

AR(1) : First-order auto-regressive process
EPS Index : Environmental policy stringency index
FE_AR : Fixed effects with autoregressive process
FIT : Feed-in tariff
LCOE : Levelized cost of energy
NDC : Nationally determined contribution
OECD : Organization for Economic Cooperation and Development
PPP : Purchasing power parity
RE_AR : Random effects with autoregressive process
RPS : Renewable Portfolio Standards

1. 서론

UN이 1992년에 UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)를 발표한 이후 기후변화는 전 세계적으로 중요한 화두로 떠올랐다. 이는 2015년 파리 기후협약으로 연결되었고, 회원국들은 국가별 NDC (Nationally Determined

Contributions) 의무를 이행하기로 하였다. 이와 관련하여 태양광은 2009년에 불과 23 GW 였던 용량이 2020년에는 약 716 GW 까지 증가하는 등 중요한 역할을 담당하여 왔다¹⁾.

하지만, 최근까지 대부분 신재생에너지 보급은 OECD 국가들을 중심으로 추진되어 지역별, 국가별로 불균형을 보이고 있다. 또한, 태양광 발전의 보급요인에 관한 연구도 2000년부터 시작되었지만, 실증자료를 바탕으로 한 계량적 연구는 2010년대부터 본격적으로 이루어졌다. 대표적인 연구들은 Marques *et al.* (2010)²⁾, Zhao *et al.* (2013)³⁾, Kim and Heo (2016)⁴⁾, Geng *et al.* (2016)⁵⁾, García-Álvarez *et al.* (2017)⁶⁾, Zhang *et al.* (2011)⁷⁾, Escoffier *et al.* (2021)⁸⁾, Lim and Jo (2017)⁹⁾, Aguirre and Ibikunle (2014)¹⁰⁾, 그리고 Anton and Nucu (2020)¹¹⁾ 등이 있다.

비록 위와 같은 선행연구들이 수행되었지만 같은 주제에 대하여 보다 개선된 연구가 수행되어야 하는 필요성은 다음과 같이 3가지로 제시할 수 있다. 우선 과거의 연구들은 대부분 2010년 초반까지의 자료를 바탕으로 수행되었다. 본격적으로 태양광이 보급되기 시작한 시점이 2000년대 중반부터인 것을 감안하면 과거 연구들은 너무 짧은 시계열을 가지는 패널데이터에 기반하여 수행되었으며, 각 국가들이 동질적이지 않은 속성 (heterogeneity)을 함께 고려할 때 신뢰하기 어려운 통계적 결론

*Corresponding author: sugini1144@gmail.com

을 도출했을 가능성이 있다. 둘째, 대부분의 연구들은 FIT 또는 RPS 와 같은 정책변수의 존재 유·무를 더미변수로 사용하였다. 이는 다른 주요 환경정책들(환경세, 탄소배출 규제, 신재생에너지 R&D 투자 등)을 고려하지 못해 내생성(endogeneity) 문제를 가졌을 수 있다. 그리고, 각 국가별, 시기별로 정책의 강도가 다른 점을 반영하지 못하여 잘못된 정책효과를 도출했을 수도 있다. 셋째, 기술진보 항목을 주요 관심사로 포함시킨 연구가 많지 않으며, 비록 포함시켰다고 하더라도 특허출원 수 등 태양광 시설의 보급률을 직접적으로 설명하기 어려운 변수를 사용한 점 등이다.

따라서, 본 연구의 목적은 태양광 보급률이 높은 OECD 국가들의 패널자료에 근거하여 어떤 요인들이 유의미한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석하고, 지속 가능한 태양광 전원확대의 정책적 시사점을 도출하기 위한 것이다. 특히, 과거 연구들의 한계점을 극복하기 위하여 정책변수로 EPS (Environmental Policy Stringency) 지수를 사용하였고, 기술발전 요인을 반영하기 위하여 태양광 모듈가격의 장기변동추세(trend)를 변수로 도입하였다. 그리고, 28년(1991~2018년)간의 비교적 충분한 분석 기간을 확보하여 연구결과의 신뢰성을 제고하고자 한다.

분석방법론 측면에서는 고정효과모형과 변동효과모형을 기본으로 적용하지만, 자료의 성격 상 대부분의 설명변수들이 1계 시계열 자기상관 관계를 가지는 것이 확인되므로, 자기상관 패널데이터 분석 방법(panel regression with autoregressive disturbance)을 적용한다.

구성은 서론에 이어 2. 신재생 전원 보급의 결정요인 검토, 3. 데이터 및 분석방법, 4. 테스트 결과 및 논의, 5. 결론으로 이루어진다.

2. 신재생 전원 보급의 결정요인 검토

Marques *et al.*²⁾과 Aguirre and Ibikunle¹⁰⁾의 연구들은 신재생 전원 보급의 결정요인들을 제시하였으며, 이후 유사한 주제의 연구들에 많은 영향을 끼쳤다. 이 연구들은 신재생 전원의 보급 요인들을 정책적(political), 사회경제적(socioeconomic), 그리고 국가고유(country specific)의 그룹으로 제시하였다.

Şener *et al.*¹²⁾은 규제, 정책, 환경, 사회, 경제, 잠재력, 현재 기술수준의 7가지 요인들을 제안하였다.

보다 최근 연구인 Gibadullin *et al.*¹³⁾은 신재생 전원의 보급 결정요인으로 경제, 기술, 정부지원, 그리고 시스템을 제시하였다.

본 연구는 위 연구들을 종합적으로 고려하여 태양광 전원 보급의 결정 요인들을 사회경제(socioeconomic), 정책(policy), 기술(technology), 그리고 국가 고유(country-specifics) 그룹으로 분류하고, 각 분류별로 개별 요인들을 검토하고자 한다.

2.1 사회경제적(socioeconomic) 요인

대부분의 선행연구들에 의하면 GDP 또는 1인당 GDP로 대표되는 소득수준이 태양광을 포함하는 신재생 전원의 확대에 유의미한 영향을 끼친다는 결과를 보고하고 있다. 이러한 결과를 보고하고 있는 대표적인 연구들을 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Research on GDP and renewable energy growth

Research	Scope	Period	Methodology	Result
Marques <i>et al.</i> (2010) ²⁾	European countries	1990-2006	FEVD regression	S(+)
Son <i>et al.</i> (2017) ¹⁴⁾	South Korea	2006-2015	FE regression	S(+)
Şener <i>et al.</i> (2018) ¹²⁾	Worldwide	N/A	Literature review	S(+)

Note. S means statistically significant, NS means non-significant; (+) means positive, (-) means negative correlation.

Table 1의 결과로부터 시민들이 보다 나은 경제적 수준을 누릴수록 깨끗한 환경을 위한 비용에 투자하고자 하는 지불의사가 높아진다는 것을 추론할 수 있다. 또한 신재생 전원의 도입을 위해서는 초기투자비용이 수반되는 바, 소득수준이 높은 국가일수록 이를 위한 재정적 여력이 있다는 해석도 가능할 것이다. 본 연구에서도 이러한 결과를 참고하여 1인당 GDP를 사회경제적 요소 중 하나의 변수로 테스트 모형에 포함한다.

많은 선행연구들에서 신재생 전원 보급에 영향을 미치는 사회경제적 요인으로 제시한 두 번째 요인은 에너지 가격이다. 좀 더 세부적으로는 원유가격으로 대변된다. 2개의 연구결과를 요약하면 Table 2와 같다.

Table 2. Research on oil price and renewable energy growth

Research	Scope	Period	Methodology	Result
Lin and Omoju (2017) ¹⁵⁾	46 countries	1980-2011	Panel co-integration	S(+)
Escoffier <i>et al.</i> (2021) ⁸⁾	OECD, BRICS	1997-2016	Panel smooth transition regression	S(+)* NS(+)

Note. S means statistically significant, NS means non-significant; (+) means positive, (-) means negative correlation; *Statistically significant when oil price changes over 6.7%.

모든 연구에서 항상 유의미한 인과관계가 나타나지는 않았지만, 대체로 유가가 상승하면 신재생 전원의 보급률이 올라가는 효과가 있다고 보고하였다. 다만, 최근 연구인 Escoffier *et al.*은 연간 유가변동 폭이 6.7% 이상이 될 정도로 높은 경우에만 신재생 전원 보급에 영향을 미치므로 연관성이 제한적이라고 주장하였다. 유가는 신재생 전원과 대체재의 관계를 가지는 것으로 이해할 수 있으므로, 대체재의 가격변동이 신재생 전원의 공급곡선을 이동시킬 수 있다는 가정은 타당할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서도 쿠르드 오일의 배럴 당 단가를 독립변수 중 하나로 채택한다.

선행연구들에서 신재생 전원의 보급에 영향을 미치는 것으로 제시하는 세 번째 사회경제적 요인은 에너지(전력)가격이다. 이러한 연구결과들을 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3. Research on electricity price and renewable energy growth

Research	Scope	Period	Methodology	Result
Carley (2009) ⁽⁶⁾	US 50 States	1998-2006	FE FEVD	NS(+) NS(+)
Chang <i>et al.</i> (2009) ⁽¹⁷⁾	OECD	1997-2006	Panel threshold regression	S(+)* ¹ NS(+)

Note. S means statistically significant, NS means non-significant; (+) means positive, (-) means negative correlation; *Statistically significant in countries with high economic growth.

Carley는 전력가격이 높을수록 기존 발전회사들이 비싼 신재생 전원에 투자할 유인이 적을 것이라고 가정하고 연구를 수행하였다. 하지만 결과는 그 반대로 나타났으며, 통계적으로도 유의하지 않았다. 이는 오히려 전력가격이 높을 경우에는 신재생 전원에 투자하여도 미래에 수익을 올릴 수 있을 것이라는 기대가 더 긍정적으로 작용했기 때문일 것이라고 결론을 내렸다. Chang *et al.*은 높은 경제성장률을 가진 국가에서는 전력가격이 신재생 전원 보급에 유의미한 영향을 미쳤지만, 낮은 성장률의 국가에서는 그렇지 않은 결과를 제시했다. 전력가격은 태양광 전원의 산출물의 가격이므로 재화의 가격과 투자의 관계로 볼 수 있다. 재화의 가격이 상승할 경우 투자가 증가하는 것은 합리적인 가정이므로 본 연구에서도 전력가격(가정용, 소매가 기준)을 설명변수로 채택한다.

선행연구에서 신재생 전원 확대에 영향을 미칠 것으로 제시한 네 번째 사회경제적 요인은 CO₂ 배출량이다. 이러한 연구결과들을 요약하면 Table 4와 같다.

Table 4. Research on CO₂ emission and renewable energy growth

Research	Scope	Period	Methodology	Result
Sadorsky (2009) ⁽¹⁸⁾	G7 countries	1980-2005	Panel co-integration	S(+)
Aguirre and Ibikunle (2014) ⁽¹⁰⁾	EU, OECD, BRICS	1990-2006	FEVD	S(+)
Marques <i>et al.</i> (2010) ⁽²⁾	European countries	1990-2006	FEVD	S(-)
Lim and Jo (2017) ⁽⁹⁾	104 countries	1990-2014	REM, Tobit	S(-)

Note. S means statistically significant, NS means non-significant; (+) means positive, (-) means negative correlation.

선행연구들에서는 특정 국가의 CO₂ 배출량이 높을수록 환경 문제에 대한 경각심이 높을 것이므로 신재생 전원을 보다 적극

적으로 도입할 것이라는 가설을 실험하였다. Table 4에서 볼 수 있듯 CO₂ 배출량이 신재생에너지 보급에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구들은 그 결론이 일치하지 않는다. 유의한 상관관계 결과를 얻은 연구들은 온실가스 문제에 대한 시민들의 경각심이 높을수록 신재생에너지에 대한 주민수용성이 높기 때문이라고 이유를 설명한다. 반면, 그 반대의 결과를 얻은 연구들은 통상적으로 1인당 CO₂ 배출량이 높은 국가들은 중공업 비중이 높은 국가들이므로 신재생 전원을 쉽게 확장하기 어렵기 때문에 오히려 부의 상관관계를 나타낸다는 설명을 제시한다. 본 연구에서도 1인당 CO₂ 배출량을 독립변수 중 하나로 포함하여 모형을 테스트 한다.

논의한 변수들 외에도 선행 연구들에서 주민수용성(social acceptance) 항목이 신재생 에너지 확장의 결정요인으로 제시된 바 있다. 하지만 이 항목은 대부분 질적 분석에 의한 연구를 통하여 제시되었다. 왜냐하면 계량적 분석을 위한 관련 변수를 찾기가 어려운 항목이기 때문이다. 또한 주민수용성 변수는 전력가격 또는 환경정책의 엄격성 변수에 간접적으로 기 반영되었을 가능성이 높으므로 본 연구에서는 분석을 생략하기로 한다.

2.2 정책(policy) 요인

최근까지 신재생에너지의 보급은 정부의 정책이 지대한 영향을 끼쳤음은 누구나 주지하는 사실일 것이다. 따라서 많은 선행연구들에서도 신재생 전원 확대에 정부정책이 미치는 영향을 연구하였다. 하지만, 이 영향을 학문적으로 분석함에 있어서는 신중할 필요가 있다.

기존 연구는 대부분 신재생 전원 확대에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 기대되는 FIT (Feed-in tariff) 또는 RPS (Renewable portfolio standard) 제도에 초점을 맞추었다. 이러한 연구들의 결과를 요약하면 Table 5와 같다.

Table 5. Research on policy and renewable energy growth

Research	Scope and period	Policy variable	Method	Result
Marques <i>et al.</i> (2012) ⁽¹⁹⁾	EU 1990-2007	FIT	PCSE	S(+)
Aguirre and Ibikunle (2014) ⁽¹⁰⁾	EU, OECD, BRICS 1990-2006	FIT	FEVD	NS(+)
Lim and Jo (2017) ⁽⁹⁾	104 countries 1990-2014	FIT	Tobit	S(+)
Carley (2009) ⁽⁶⁾	US 50 States 1998-2006	RPS	FE, FEVD	S(+)
Zhao <i>et al.</i> (2013) ⁽³⁾	122 countries 1980-2010	RPS	PPML	S(-)

Note. S means statistically significant, NS means non-significant; (+) means positive, (-) means negative correlation.

하지만 연구결과들은 다른 결론들을 제시하였다. 이는 유사한 제도라고 하더라도 각 국가별, 시기별로 다른 시행방식과 정

책강도 때문일 것으로 사료된다. 그리고 앞서 논의한바와 같이, 정책변수를 그 강도를 나타낼 수 있는 변수가 아닌 2단계의 이산 변수로 처리한 경우에도 국가 간, 시계열 간 정책효과를 제대로 비교하기 어려웠을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점을 보완하기 위하여 EPS 를 정책변수로 사용한다. EPS는 OECD가 1990년대부터 국가 별 환경정책의 강도를 종합적으로 측정하여 매 년마다 발표하고 있는 지수이다. 28개의 OECD 국가들과 6개 BRICS 국가들을 지수에 포함하고 있다. 가장 약한 정도가 0이고 가장 강한 정도가 6이다. 지수는 시장정책과 비 시장 정책들을 포함하는데, 시장정책은 환경세, 배출권 거래제도, 구매가격 제도(FIT), 예치 제도(DRS) 등을 포함한다. 비환경 정책으로는 배출기준 제도, 신재생 R&D 투자보조금 제도를 포함한다²⁰⁾. EPS를 정책변수로 사용함으로써 주요 변수의 누락(omitted variable)으로 인한 내생성(endogeneity) 문제를 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

2.3 기술(technology) 요인

기술발전이 신재생 전원 확대에 미치는 영향을 연구한 Popp *et al.*²¹⁾과 같은 선행연구들은 대부분 기술발전 변수로 누적 특허 수를 사용하였다. 연구 결과 누적 특허 수는 신재생 전원 확대와 (효과의 크기는 다소 약하지만) 정의 상관관계를 나타내는 것이 확인되었다. 하지만, 모든 특허가 제품에 활용되는 것이 아니며, 활용되더라도 상당한 개발과 사업화 기간이 소요되기 때문에 신재생 전원 확대를 직접적으로 설명하기 어려운 변수라는 지적을 받기도 하였다⁴⁾.

본 연구에서는 장기 기술발전 추세를 반영하기 위하여 태양광 모듈가격을 변수로 사용한다. 물론, 모듈가격은 시장의 물량 수급에 의하여 결정되는 면이 있지만, 연구에 사용되는 패널 데이터 기간이 28년으로 충분히 길기 때문에 계량분석 과정에서 단기적 시장불균형에 의한 가격 변동은 오차항으로 반영되고, 가격변동의 장기추세(trend)가 기술발전의 대용변수(proxy) 역할을 해 줄 수 있을 것으로 기대한다.

2.4 국가 고유(country-specific) 요인

신재생 전원은 전통적인 발전원들 보다 환경적 요인에 영향을 더 많이 받는다. 따라서 국가 별로 다른 환경적 요인은 신재생 전원 보급의 경쟁우위 또는 제약조건으로 작용할 수도 있다. 기존 연구들을 살펴보면 이러한 조건을 대표할 수 있는 변수로 연간 일조시간⁷⁾, 국토면적²⁾, 태양광 잠재량⁸⁾ 등의 변수를 사용하였다.

이 중 태양광 잠재량 변수는 국토면적과 일조량, 그리고 태양광 시스템의 효율을 종합적으로 고려할 수 있으므로 본 연구에서는 이를 국가 고유요인으로 사용하기로 한다.

3. 데이터 및 분석방법

3.1 연구 데이터

분석을 수행하기 위하여 OECD 국가 중 상대적으로 높은 태양광 전원 보급률을 보이는 13개 국가들의 데이터를 수집하였다. 호주, 벨기에, 프랑스, 캐나다, 독일, 이탈리아, 일본, 네덜란드, 스페인, 터키, 영국, 미국, 한국. 데이터의 가용성을 고려하여 연구 데이터의 시계열은 1991년부터 2018년 까지 28년간으로 설정하였다. 본 연구에 사용될 데이터는 균형 패널자료이므로 총 관찰 개수는 364개이다. 그 기초통계량을 확인하여 보면 Table 6과 같다.

Table 6. Basic statistics

Variables	observation	average	variance	min	max
PVCAP	364	2.29	4.65	0	19.81
EPS	364	2.09	1.11	0.21	5.25
MODULEP	364	3.79	2.33	0.41	7.96
CO2t-1	364	10.12	4.41	2.58	20.47
Ln_GDP	364	10.42	0.46	8.81	10.94
ELECP	364	175.10	76.89	56.63	415.89
OILP	364	49.54	32.58	12.72	111.67
Ln_SPOTEN	364	11.58	1.96	8.55	14.76

본 연구의 종속변수는 국가별 태양광 전원이 차지하는 발전 용량의 비율(PVCAP)이다. 이 변수는 식 (1)로 나타낼 수 있을 것이다.

$$PVCAP(\%) = \frac{\text{Cumulative PV Capacity}_t}{\text{Total Installed Electricity Capacity}_t} \quad (1)$$

이미 검토한 바와 같이 본 연구의 주요 관심변수인 정책효과(EPS)는 OECD가 공표한 국가 별, 연도 별 EPS index를 사용한다. 또 다른 관심변수 중 하나인 기술발전의 정도(MODULEP)는 2019년 기준가격으로 측정된 W 당 태양광 모듈가격이다. 국가 별 CO₂ 배출량(CO_{2,t-1}) 변수는 1인 당 metric ton으로 측정하였으며, 종속변수(PVCAP)와 혹시 발생할 수 있는 인과관계의 순환성을 고려하기 위하여 1기 전 변수(lagged variable)로 사용하였다. 소득(Ln_GDP) 변수는 2010년 기준 USD로 측정된 1인 당 GDP를 적용하였으며, 국가 별 이분산성을 완화하고 분석결과 해석을 용이하게 하기 위하여 자연로그를 취하였다. 유가(OILP) 변수는 브렌트유 기준의 불변가격을 적용하였다. 전력가격(ELECP)은 각 국가 별 구매력지수(PPP)로 환산된 불변가격 기준 가정용 소매 전력가격을 사용하였다. 국가 별 고유요인인 태양광 잠재량(SPOTEN)은 선행연구¹⁰⁾를 준용하여 다음 식 (2)와 같이 산정하였다. GHI는 Global horizontal irradiance를, S_g는 PV 시스템의 효율을 의미한다. 그리고 태양광 잠재량

(*SPOTEN*) 변수도 1인당 GDP와 같은 이유로 자연로그를 취하였다.

$$Solar\ Potential_{annual} = Total\ area(km^2) \times S_{ef} \times GHI(kWh/km^2/day) \times 365\ days \quad (2)$$

지금까지 논의한 변수들을 요약하면 다음 Table 7과 같다.

Table 7. Definition and source of variables

Variables	Definition	Source
PVCAP	PV energy capacity (in %) to total electricity capacity	bp ²⁶⁾ EIA ^{27, 28)}
EPS	environmental policy stringency index	OECD ³⁶⁾
MODULEP	solar module price (in 2019 USD per W)	OWID ^{34, 35)}
CO _{2,t-1}	CO ₂ emission per capita, lagged by one year	WB ²⁹⁾
Ln_GDP	log of GDP per capita (constant in 2010 USD)	WB ³⁰⁾
ELECP	household electricity price (US\$/MWh)	IEA ^{32, 33)}
OILP	Crude oil price (US\$ per barrel)	bp ²⁶⁾
Ln_SPOTEN	log of solar energy potential (TWh per year)	WB ³¹⁾

3.2 분석방법

데이터의 특징을 파악하고, 이에 적합한 분석 방법을 결정하기 위하여 몇 가지 데이터 테스트를 사전적으로 실시하였다.

우선 Walad F-test와 Breusch & Pagan’s LM (Lagrangian Multiplier) test를 수행하여, 패널 모형(고정효과 및 임의효과)과 Pooled-OLS 모형 중 어느 쪽이 효과적인지를 확인하였다. 두 결과 모두에서 고정효과(Fixed Effects) 모형 또는 임의효과(Random Effects) 모형이 Pooled-OLS 보다 효과적이라는 것을 확인하였다.

두 번째로 고정효과 모형을 기반으로 하여 Wooldridge test for serial-autocorrelation을 실시하였다. 그 결과 충분히 큰 F 값(206.89)을 확인하여 귀무가설(H₀: no first-order autocorrelation)을 기각하였다. 따라서 분석대상 패널 데이터는 시계열 자기상관이 있는 것을 확인하였다.

셋째, 데이터의 시계열 자기상관의 존재를 변수 별로 재확인하고, 몇 계 자기상관인지를 파악하기 위하여 Hadri LM (Lagrange Multiplier) test를 수행하였다. 검증결과 EPS, MODULEP, CO_{2,t-1}, Ln_GDP, ELECP, OILP의 대부분 설명변수들이 시계열 자기상관이 있는 것을 확인하였다. 하지만, 모든 변수를 1차 차분한 후에는 시계열 자기상관이 사라졌으므로, 1계 자기

상관(AR(1))관계임을 확인할 수 있었다. 따라서 분석모형 설정 시 1계 자기상관 모형으로 구축할 예정이다. 다만, SPOTEN 변수는 국가 별 고유 특징이므로 시간에 따라 변하지 않는 (time-invariant) 특징을 가지며, 시계열 자기상관 파악이 의미가 없다.

넷째, 일단 모든 변수를 포함하여 모형을 구축한 후 Hausman test를 수행하였다. 그 결과 설명변수와 그룹 별 오차항은 통계적으로 유의미한 상관관계가 없다는 귀무가설(H₀: cov(X_{it}, u_i)=0)이 기각되었다. 이는 임의효과(RE) 모형 사용 시 불일치 추정량이 나올 수 있다는 의미이므로 고정효과(FE) 모형이 지지되었다.

따라서 분석의 시작은 1계 자기상관 고정효과모형을 시작으로 한다. 하지만, 모형설정(model specification) 과정에서 통계적 유의수준이 떨어지는 변수들을 추가하거나 제외함에 따라 Hausman test 결과는 변할 수 있다. 따라서 모든 모형에서 각각 Hausman test 분석을 실시하고, 임의효과(RE) 모형과 고정효과(FE) 모형 중 보다 지지되는(효율적인) 모형의 결과를 각각 선택하기로 한다.

시계열 자기상관 패널 회귀모형은 일반적으로 식 (3) 및 (4)와 같이 나타낼 수 있다(Baltagi, 2008)³⁷⁾.

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + z'_{it}\gamma + u_i + \mu \quad (3)$$

$$\mu_{it} = \rho\mu_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

위 식에서 *i*는 횡단면 개체 변수인 OECD 국가이며 *t*는 연도를 나타낸다. *y_{it}*는 실험대상 종속변수이며, *x'_{it}*는 *K* 차원의 변동시계열 설명변수 행벡터, *z'_{it}*은 *M* 차원의 고정시계열 설명변수 행벡터이다. *α*는 상수항 추정치이며, *β*는 *K* 차원의 상관계수 추정치 열벡터를, *γ*는 *M* 차원의 상관계수 추정치 열벡터이다. *u_i*는 관찰되지 않는 국가 별 영향(특징)이 반영된 오차항이며, *μ_{it}*는 남은 잔차항으로, 식 (3)과 같이 표시된다. 추가로, *μ_{it}*는 AR (1) 프로세스를 따르며, $|\rho| < 1$ 이고 $\varepsilon_{it} \sim iid(0, \delta_\varepsilon^2)$ 의 조건을 만족해야 한다. 이때 *u_i*는 *μ_{it}*와 독립적이며 $\mu_i \sim (0, \delta_\varepsilon^2 / (1 - \rho^2))$ 의 관계를 가진다³⁸⁾.

식 (3)내지 (4)와 같이 설정한 시계열 자기상관 모형은 다시 *u_i*에 대한 가정에 따라 고정효과 자기상관 모형(이하 ‘FE_AR’로 표기)과 변동효과 자기상관 모형(이하 ‘RE_AR’로 표기)으로 구축할 수 있다.

$$E(u_i | x_i) = c_i \text{ and thus, } Cov(x_{it}, u_i) \neq 0 \quad (5)$$

만약, 개별 모형에서 Hausman test 결과 특정 모형의 *u_i*가 위의 식 (5)를 만족할 경우에는 FE_AR 추정치를 선택하여 보고할 것이다. 반대의 경우에는 RE_AR 추정치를 보고할 것이다.

위와 같은 모형실험을 반복적으로 수행하여 유의미한 시사점을 도출할 수 있는 4가지 모형을 식 (6) 내지 (9)와 같이 선정

하였다. 테스트는 모든 설명변수를 포함하는 (Model 1)로부터 시작한다. 그리고 설명계수의 통계적 유의성이 떨어지는 OILP와 SPOTEN 변수를 순차적으로 제거하여 추정한 (Model 2)와 (Model 3)의 결과를 확인한다. 마지막으로, 주요 관심사인 정책 변수(EPS)의 영향을 추가로 살펴보기 위하여 장기적 기술 발전 (MODULEP) 변수까지 추가로 제외한 (Model 4)의 결과를 추정한다.

$$(Model\ 1)\ PVCAP_{it} = \alpha_0 + \beta_1 EPS_{it} + \beta_2 MODULEP_{it} + \beta_3 CO2_{it-1} + \beta_4 Ln_GDP_{it} + \beta_5 ELECP_{it} + \beta_6 OILP_{it} + \beta_7 Ln_SPOTEN_{it} + u_i + \mu_{it} \quad (6)$$

$$(Model\ 2)\ PVCAP_{it} = \alpha_0 + \beta_1 EPS_{it} + \beta_2 MODULEP_{it} + \beta_3 CO2_{it-1} + \beta_4 Ln_GDP_{it} + \beta_5 ELECP_{it} + \beta_6 Ln_SPOTEN_{it} + u_i + \mu_{it} \quad (7)$$

$$(Model\ 3)\ PVCAP_{it} = \alpha_0 + \beta_1 EPS_{it} + \beta_2 MODULEP_{it} + \beta_3 CO2_{it-1} + \beta_4 Ln_GDP_{it} + \beta_5 ELECP_{it} + u_i + \mu_{it} \quad (8)$$

$$(Model\ 4)\ PVCAP_{it} = \alpha_0 + \beta_1 EPS_{it} + \beta_3 CO2_{it-1} + \beta_4 Ln_GDP_{it} + \beta_5 ELECP_{it} + u_i + \mu_{it} \quad (9)$$

마지막으로, 모든 변수를 포함하여 3가지 방법론(FE_AR, RE_AR, GLS_AR)에 의하여 설명계수를 추정하여 부호, 계수 절대값 크기, 및 통계적 유의수준 등을 전반적으로 비교하여 전반적인 모형의 강건성(robustness)을 확인한다.

4. 테스트 결과 및 논의

4.1 테스트 결과

본 분석에 앞서 우선 각 변수 간 피어슨 상관관계를 파악하였다. 그 결과를 요약하면 Table 8과 같다.

Table 8. Pearson correlation

Variables	PVCAP	CO2t-1	Ln_GDP	OILP	ELECP	MODULEP	Ln_SPOTEN	EPS
PVCAP	1.00							
CO2t-1	-0.13 (0.00)	1.00						
Ln_GDP	0.23 (0.00)	0.54 (0.00)	1.00					
OILP	0.38 (0.00)	-0.02 (0.61)	0.22 (0.00)	1.00				
ELECP	0.65 (0.00)	-0.55 (0.00)	-0.12 (0.01)	0.43 (0.00)	1.00			
MODULEP	-0.62 (0.00)	0.05 (0.28)	-0.26 (0.00)	-0.75 (0.00)	-0.56 (0.00)	1.00		
Ln_SPOTEN	-0.13 (0.00)	0.55 (0.00)	0.08 (0.11)	-0.00 (1.00)	-0.36 (0.00)	-0.00 (1.00)	1.00	
EPS	0.56 (0.00)	-0.04 (0.37)	0.42 (0.00)	0.70 (0.00)	0.43 (0.00)	-0.83 (0.00)	-0.11 (0.02)	1.00

Note. p-value in parenthesis.

사전적으로 피어슨 상관관계를 파악해 본 바, CO₂, 태양광 모듈가격(MODULEP), 잠재량(SPOTEN)은 태양광 전원 비중(PVCAP)과 음의 상관관계를 가지며, 소득수준(GDP), 유가(OILP), 환경정책(EPS)과는 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

위에서 제시된 식 (6) 내지 (9)의 모형 모두에서 FE_AR 및 RE_AR 모형으로 각각 추정하였다. Wald(F) test를 통하여 FE와 Pooled-OLS의 효율성을 비교하였으며, Breusch and Pagan LM (Lagrangian Multiplier) test를 통하여 RE와 Pooled-OLS의 효율성을 비교하였다. 4개의 모든 모형에서 패널분석이 Pooled-OLS보다 효율적이라는 것을 확인하였다. 마지막으로 Hausman test를 통하여 각 모형 별로 일치 추정량인지를 확인하고 FE_AR 또는 RE_AR을 선택하였다: Model 1 내지 3은 RE_AR이 선택

Table 9. Test result (Model 1~2)

VARIABLE	Model (1)		Model (2)	
	FE_AR	RE_AR	FE_AR	RE_AR
EPS	0.346*	0.343**	0.347*	0.345**
	(0.182)	(0.175)	(0.182)	(0.174)
MODULEP	-0.388**	-0.422***	-0.387**	-0.417***
	(0.151)	(0.111)	(0.151)	(0.111)
CO2t-1	-0.354**	-0.319***	-0.344**	-0.314**
	(0.153)	(0.124)	(0.151)	(0.124)
Ln_GDP	5.575**	4.000***	5.935**	4.153***
	(2.596)	(1.259)	(2.477)	(1.237)
ELECP	0.011***	0.012***	0.011***	0.013***
	(0.004)	(0.003)	(0.004)	(0.003)
OILP	0.002	0.002	-	-
	(0.004)	(0.003)		
Ln_SPOTEN	omitted	-0.085	omitted	-0.088
	-	(0.376)	-	(0.375)
Constant	-51.514***	-34.860**	-55.440***	-36.458***
	(1.310)	(13.717)	(1.251)	(13.492)
Observation	351	364	351	364
Number of country	13	13	13	13
r ² _adj.	0.0353	N/A	0.0378	N/A
rho_AR	0.954	0.954	0.954	0.954
sigma_u	1.905	0	1.975	0
Walad (F)	Ho: rejected 1.62	N/A	Ho: rejected 1.61	N/A
LM2 Chbar ²	N/A	Ho: rejected 56.5	N/A	Ho: rejected 45.14
Hausman (Chi ²) model selection	Ho: accepted 7.32 RE_AR		Ho: accepted 7.71 RE_AR	

Note. ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1; standard errors in parenthesis.

되었고, Model 4에서는 FE_AR이 선택되었다.

EPS 변수의 설명계수 추정치는 Model 1에서 3까지 0.343에서 0.346 수준으로 안정되게 산출되었다. 신뢰수준도 95%로 모든 모형에서 양호한 결과를 얻었다. 따라서 종합적 환경정책 요인은 태양광 전원의 비율 향상에 상당한 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다. MODULEP의 영향을 확인해 보기 위한 모형인 Model 4에서는 EPS의 설명계수가 0.462로 훨씬 높게 추정되었다. 이는 주요 설명변수인 MODULEP의 누락에 따른 편이 때문인 것으로 판단된다. 따라서 Model 3의 추정모형이 다른 모형들에 비하여 효율적인 결과로 사료된다. Model 3의 결과를 기준으로 보았을 때, EPS index가 1 개선되면 태양광 전원의 비중이 0.346%p 정도 높아질 것으로 추론할 수 있다.

MODULEP 변수의 설명계수는 예상한 바와 같이 부의 상관관계인 -0.414에서 -0.422 사이의 추정 결과를 얻었다. 그리고

통계적 신뢰수준도 상당히 높은(99%인) 것으로 나타난다. 따라서 약 28년 정도의 장기적인 관점에서 보았을 때, 기술 진보가 태양광 전원 확대에 매우 강한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Model 3의 추정결과를 기준으로 볼 때, 다른조건이 일정하다면, 글로벌 태양광 모듈가격이 1 USD/W 하락하면 태양광 전원 보급률이 약 0.414%p 정도 증가한다고 추론해 볼 수 있다.

CO₂ 배출량의 설명계수 추정치는 -0.314에서 -0.417 수준을 나타낸다. EPS에서 논의된 바와 마찬가지로 Model 3의 추정치가 상대적으로 효율적인 것으로 보인다. 통계적 신뢰수준 역시 95% 또는 99% 수준으로 유의하였다. 이는 국민 1인당 CO₂ 배출량이 높은 국가일수록 태양광 발전 용량의 비중이 작은 것을 의미한다. 이는 아마도 시계열 효과보다는 국가간 CO₂ 배출량 및 태양광 전원비율(between-effect) 차이에 기인한 결과로 사료 된다.

Ln_GDP의 계수 추정결과를 살펴보면 Model 1에서 3까지 4.000에서 4.172까지 매우 안정적인 결과를 보고하고 있다. 그리고 통계적 유의수준도 99%이다. MODULEP 변수를 제외한 Model 4에서는 5.249의 추정계수를 보여, 역시 MODULEP가 통계적으로 유의미한 역할을 함을 알 수 있다. 따라서 Model 3을 기준으로 살펴보면, 다른조건이 일정할 경우, 2010년 물가 기준 1인당 GDP의 자연로그 값이 1 증가하면(1인당 GDP가 약 2.71 배가 되면) 태양광 전원의 비중이 약 4.172%p 증가할 것으로 추정된다.

ELECP 변수의 추정 결과는 4가지 Model에서 모두 0.011에서 0.013으로 유사한 결과를 얻었다. 통계적으로도 99%로 가장 신뢰성이 높았다. 타 조건이 동일할 때, 가정용 기준으로 전기요금 1 USD/MWh 높아질 경우 태양광 전원용량의 비율이 약 0.013%p 증가할 것으로 추정된다.

기대와 달리, 유가와 태양광 발전 잠재량은 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다.

Table 10. Test result (Model 3~4)

VARIABLE	Model (3)		Model (4)	
	FE_AR	RE_AR	FE_AR	RE_AR
	pvcap	pvcap	pvcap	pvcap
EPS	0.347*	0.346**	0.316*	0.462***
	(0.182)	(0.174)	(0.183)	(0.174)
MODULEP	-0.387**	-0.414***	-	-
	(0.151)	(0.110)		
CO _{2,t-1}	-0.344**	-0.324***	-0.417***	-0.390***
	(0.151)	(0.115)	(0.149)	(0.117)
Ln_GDP	5.935**	4.172***	3.897	5.249***
	(2.477)	(1.232)	(2.389)	(1.234)
ELECP	0.011***	0.013***	0.011***	0.016***
	(0.004)	(0.003)	(0.004)	(0.003)
OILP	-	-	-	-
Ln_SPOTEN	-	-	-	-
Constant	-55.440***	-37.606***	-31.748***	-50.694***
	(1.251)	(12.565)	(1.159)	(12.439)
Observation	351	364	351	364
Number of country	13	13	13	13
r ² _adj.	0.0378	N/A	0.0187	N/A
rho_AR	0.954	0.954	0.955	0.955
sigma_u	1.975	0	1.853	0
Walad (F)	Ho: rejected 1.61	N/A	Ho: rejected 1.61	N/A
LM2 Chbar ²	N/A	Ho: rejected 42.56	N/A	Ho: rejected 48.60
Hausman (Chi ²) model selection	Ho: accepted 6.95 RE_AR		Ho: rejected 16.35 FE_AR	

Note. ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1; standard errors in parenthesis.

4.2 강건성 분석

위 결과 중 모든 변수를 포함한 Model 1의 결과를 바탕으로 3가지 분석 방법(위의 2가지 방법론에 더하여 1계 자기상관 GLS

Table 11. Test results comparison among methodologies

Variable	FE_AR	RE_AR	GLS_AR
CO _{2,t-1}	(-)**	(-)**	(-)**
Ln_GDP	(+)**	(+)**	(+)**
OILP	(+)	(+)	(+)
ELECP	(+)**	(+)**	(+)**
MODULEP	(-)**	(-)**	(-)**
Ln_SPOTEN	N/A	(-)	(-)
EPS	(+)*	(+)**	(+)**
constant	(-)**	(-)**	(-)**

Note. ***p<0.01, **p<0.05, *p<0.1

방법론 추가) 들을 사용하여 얻은 추정계수의 부호, 통계적 유의성 등의 일관성을 검토하였다.

Table 11 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 다른 방법론들을 사용한 추정계수들 간의 부호 및 통계적 유의성이 유사한 수준을 유지하였다.

또한, Table 9 내지 10에서 볼 수 있는 바와 같이 설명변수의 개수를 다르게 적용하여도 각 모형들 간의 추정결과(계수값 및 부호 등)가 안정적으로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 얻은 추정 결과는 결론을 뒷받침할 수준의 강건성을 가진다고 사료 된다.

4.3 논의

Table 9 내지 10의 파라미터 추정 결과를 살펴보면 우선 환경정책변수(EPSC)의 유효성이 본 연구가 우선적으로 테스트하고자 목적인 바를 제시해 준다. 종합적인 환경정책의 강도는 태양광 발전 비율 증가에 통계적으로 유의하면서도 큰 규모로 영향을 미친다는 가설을 계량적으로 확인할 수 있었다.

앞서 논의 한 바와 같이 본 연구에서 사용한 정책변수는 선행 연구들에서 사용된 FIT 또는 RPS와 같은 단일정책 변수들의 한계를 최소화하고 신뢰성 있게 정책변수의 효과를 확인할 수 있도록 한다. 신재생 발전의 확대 요인을 연구한 많은 선행 문헌들은 정책효과를 측정하기 위하여 이산(터미) 변수를 사용하였다. 이는 유사한 정책을 실행하고는 있지만 정책 강도의 차이가 있는 국가들 간의 차이를 반영하지 못하는 문제점이 있다. 심지어 정책이 너무 약할 경우에는 타 변수들의 영향으로 인하여 반대의 추정 결과를 얻을 위험도 있다. 더 심각한 문제는 가격보조 정책 외의 타 환경 관련 정책들이 중요한 영향을 가질 경우, 다른 변수들의 추정치들을 왜곡시킬 수 있다는 문제점이다. 본 연구에서는 EPSC 지수를 정책변수로 사용하여 주요 정책 수단 누락에 의한 설명변수 추정의 왜곡 가능성 문제를 최소화 하였다. EPSC 지수는 국가별 환경정책의 강도를 종합적으로 반영하여 측정된 결과이다. 그리고, OECD가 측정 대상 국가들에 일관성 있는 기준을 적용하여 상당 기간 동안 발표한 인덱스(index)라는 장점이 있다.

본 연구의 환경정책 변수 분석 결과로부터 지속적인 태양광 전원 확대를 달성하기 위해서는 가격보조 정책뿐 아니라 다양한 환경정책 수단이 종합적으로 추진되어야 한다는 시사점을 얻을 수 있다. EPSC 지수와 태양광 전원 보급 사이에 유의미하면서도 강건성 있는 상관관계가 확인되었는데, 그 지수 평가 항목에는 환경세, 오염물질 배출 한도 제한, 배출권 거래제도, 신 환경 기술에 대한 R&D 투자정책 등이 종합적으로 반영되어 있기 때문이다. 또한 본 연구의 분석 기간(28년)을 고려하면, 위 정책들은 장기적인 관점에서 지속적이고 일관성 있게 추진되어야 실효성을 확보할 수 있을 것이라는 시사점도 얻을 수 있다.

두 번째 관심 변수인 MODULEP의 설명변수 추정 결과도 모든 모형에서 통계적으로 유의하며, 중요성도 높은 것으로 추정

되었다. 따라서, 장기적인 기술수준 발전과 이로 인한 태양광 시스템 가격하락이 태양광 전원 확대를 위한 주요 요인이라는 것을 계량적으로 확인할 수 있었다.

KEEI³⁹⁾의 연구에 의하면 태양광 모듈가격 하락의 원인을 폴리실리콘 가격 하락, 효율성 향상과 기술발전, 그리고 신재생 전원 확대에 의한 규모의 경제 달성으로 보았다. 본 연구에서는 모듈 가격(MODULEP)을 장기 기술 발전 변수로 채용하고, 충분히 긴 기간(28년)의 패널데이터를 사용하였다. 특히 1계 시계열 자기상관(AR(1))을 고려한 방법론을 적용하여 모듈가격의 장기 하락 추세(trend)를 장기 기술발전 요인 변수로 사용할 수 있도록 하였다.

이러한 결과로부터 유추하여 볼 때 시스템 비용 하락에 기여할 수 있는 기술발전 뿐 아니라 전반적인 태양광 시스템의 LCOE 하락을 위한 개발 및 운영의 효율화도 태양광 전원 보급에 긍정적으로 기여할 수 있을 것이다.

마지막으로 논의하고자 하는 주제는 ELECP 변수의 설명계수 추정 결과이다. 모든 모형에서 전기요금에 높은 국가일수록 태양광 전원의 비율이 유의미한 수준으로 높았음을 알 수 있다.

이는 선행연구에서 언급한 바와 같이 신재생전원 공급자 입장에서는 충분한 수준의 전력요금이 주어지야 사업화의 유인이 있기 때문일 것이다. 반대로, 수요자 입장에서 볼 때에는 환경 친화적인 전기를 사용하기 위해서 기존 전원을 대체하기 위하여 상대적으로 높은 신규 투자비를 지불할 의사(사회적 공감대)가 필요하다는 것을 보여준다. 이를 뒷받침하듯 1인당 국민소득도 태양광 전원의 용량 비율과 신뢰성 있게 정의 상관관계를 보였다. 신규로 태양광 전원을 확충하기 위해서는 투자재원이 필요한데, 이는 정부 또는 민간 부문에서 부담할 수밖에 없다. 소득수준이 높을수록 친환경적인 전원에 대한 선호도가 높아질 것이기 때문에 같은 조건이라면 태양광 전원 확충이 더 수월했을 것이다. 즉, 1인당 GDP가 높을수록 친환경화적인 에너지에 대한 한계 소비성향이 높아질 것이다. 하지만 태양광 전원의 비율이 이미 높은 국가들에서는 최근 전력가격 상승 비율이 완화되고 있다. 이는 이미 신재생 에너지 시스템이 그리드 패러티를 달성하였기 때문일 것으로 추정된다.

예상과 달리 유가(OILP)는 국가별 태양광 전원 비중에 유의한 영향을 끼치지 않았던 것으로 추정되었다. 이는 태양광 전원의 공급량이 유가에 직접적인 영향을 받는 대용재 관계에 있지는 않다는 것을 의미한다. 전통적인 전원들 중에서도 석탄, 가스, 원자력 등 다양한 대용재가 있기 때문에 유가에 의한 영향은 제한적인 것으로 사료된다.

그리고, 태양광 발전 잠재량(SPOTEN)도 국가별 전원 비중에 유의한 영향을 끼치지 않았던 것으로 나타났다. 이는 OECD 국가들에서도 아직 태양광 전원 보급이 포화단계까지는 도달하지 않았기 때문에 발전 잠재량(SPOTEN)이 아직은 제약조건으로 작용하지 않기 때문으로 보인다.

5. 결론

기후변화에 대한 대응은 현재 전 세계가 당면하고 있는 가장 중요한 과제이다. 그리고 이 문제를 해결하기 위하여 태양광 전원은 중요한 역할을 담당해야 한다. 하지만 최근까지 신재생에너지 보급은 OECD 국가들을 중심으로 추진되어 왔다. 따라서 본 연구는 총 발전량 대비 태양광 발전 용량 비율을 결정하는 요인을 13개 OECD 국가의 28년간 패널데이터를 사용하여 분석하였다.

분석 결과 EPS 변수로 대표된 종합 환경정책 요인은 태양광 전원의 보급에 가장 중요한 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 따라서 종합적인 정부의 환경정책 수립과 이의 실효성 있는 추진이 태양광 전원 확대를 결정한다는 결론을 얻을 수 있었다.

두 번째로는 기술발전과 이로 인한 장기 시스템 가격의 하락 요인이다. 태양광 발전의 공급곡선을 고려할 때, LCOE로 대표되는 시스템 설치와 운영비용은 당연히 태양광 보급량에 영향을 미친다. 시스템 설치비용 등은 단기적으로는 재료가격의 부침에 영향을 받겠지만 장기적 추세는 꾸준한 기술개발에 의하여 결정된다. 따라서 태양광 전원의 성장을 장기적·지속적으로 뒷받침하기 위해서는 정책적으로 R&D에 꾸준히 투자하는 것이 가장 실효성 있는 방법이라는 것을 실증적으로 확인하였다.

세 번째로는 전력가격 요인이다. 모형에 의한 분석 결과 높은 전기요금을 가진 국가일수록 높은 비율의 태양광 전원을 갖춘 것을 확인할 수 있었다. 이는 신규로 태양광을 투자한 후 수익을 창출해야 하는 공급자 입장에서 볼 때 합리적 결과이다. 또한, 최근까지도 태양광 시설은 전통적인 발전시설보다 상대적으로 LCOE가 높았으므로 초기 투자 시에는 더 많은 재정적 부담이 되었을 것이다. 따라서, 같은 정책적 지원이 있었다더라도 상대적으로 전기요금이 높은 국가들에서 태양광 보급이 보다 활발했을 것이다. 소비자의 입장에서 볼 때에는 신재생 전원의 초기 확대를 위해서는 어느 정도 재정적 부담이 필요할 것이고, 이에 대한 사회적 합의가 필요하다는 것을 시사한다. 이를 뒷받침하듯 1인당 소득수준이 높을수록 태양광 전원 비율도 높았다.

본 연구는 13개 OECD 국가의 데이터를 활용하여 수행하였다. 하지만, 이 중 8개가 유럽 국가들이므로 유럽의 특징이 과도하게 반영되었을 가능성이 있다. 그리고 타 대륙과 다른 특성을 비교할 수 없었던 연구의 한계를 지닌다. 향후 연구에서는 보다 많은 국가를 포함한 패널데이터를 사용하면 이러한 연구의 한계가 극복될 수 있을 것이다. 또한, 선행연구와 달리 본 연구에서 장기 모듈가격의 변동을 기술진보의 대용 변수로 사용하였다. 이는 KEEI의 연구³⁹⁾등을 바탕으로 하였다. 하지만, 기술진보 또는 효율성 향상에 대한 명확한 정의와 장기 모듈 가격 하락과의 통계적 연계성에 대해서는 다소 미진한 부분이 남는다. 이는 향후 추가적인 연구가 되어야 할 부분이다.

후 기

본 연구는 2019년 산업통상자원부의 지원 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 에너지신사업글로벌 인재양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 사업 성과입니다(과제번호: 20194010000090); 이 논문은 KINGS의 지원을 받아 연구되었습니다.

References

1. ARENA, "Renewable Energy Statistics 2021," Abu Dhabi: The International Renewable Energy Agency, 40 (2021).
2. Marques, António C., José A. Fuinhas, and J.R. PiresManso, "Motivations driving renewable energy in European countries: Apanel data approach," *Energy Policy* 38, no. 11, 6877-6885 (2010).
3. Zhao, Yong, Kam Ki Tang, and Li-li Wang, "Dorenwable electricity policies promote renewable electricity generation? Evidence from panel data," *Energy Policy* 62, 887-897 (2013).
4. Kim, Eunsung, and Eunnyeong Heo, "Analysis on the Effects of Renewable Policies in OECD Countries Using Dynamic Panel Model," *Environmental and Resource Economics Review* 25, no. 2, 229-253 (2016).
5. Geng, Bin, Xiaoling Zhang, Ying Liang, and Haijun Bao, "Do favorable land price policy affect renewable energy industry? Evidence from photovoltaics," *Journal of Cleaner Production* 119, 187-195 (2016).
6. García-Álvarez, María Teresa, Laura Cabeza-García, and Isabel Soares, "Analysis of the promotion of onshore wind energy in the EU: Feed-in tariff or renewable portfolio standard?" *Renewable Energy* 111, 256-264 (2017).
7. Zhang, Yu, Junghyun Song, and Shigeyuki Hamori, "Impact of subsidy policies on diffusion of photovoltaic power generation," *Energy Policy* 39, no. 4, 1958-1964 (2011).
8. Escoffier, Margaux, Emmanuel Hache, Valérie Mignon, and Anthony Paris, "Determinants of solar photovoltaic deployment in the electricity mix: Do oil prices really matter?" *Energy Economics* 97 (2021).
9. Lim, Hyungwoo, and Hahyun Jo, "Analysis on the effects of RPS and FIT policies on the renewable energy supply - Panel tobit analysis of 104 countries," *Korea Energy Economics Institute* 16, no. 2, 1-31 (2017).
10. Aguirre, Mariana, and Gbenga Ibikunle, "Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis," *Energy Policy* 69, 374-384 (2014).
11. Anton, Sorin Gabriel, and Anca Elena Afloarei Nucu, "The effect of financial development on renewable energy consumption. A panel data approach," *Renewable Energy* 147, no. Part 1, 330-338 (2020).
12. Şener, Şerife Elif Can, Julia L. Sharp, and Annick Anctil, "Factors impacting diverging paths of renewable energy: A

- review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, no. 2, 2335-2342 (2018).
13. Gibadullin, A., M. Sadriddinov, Z. Kurbonova, Yu Shedko, and V.V. Shamraeva, "Assessment of factors ensuring sustainable development of the electric power industry in the context of transition to renewable energy sources of the national economy," (2020).
 14. Minhee Son, Yongsung Cho, Kyung Nam Kim, and Byoung Koun Min, "Panel Data Analysis on the Determinants of Regional Photovoltaic," *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers* 54, no. 2, 8 (2017).
 15. Lin, Boqiang, and Oluwasola E. Omoju, "Focusing on the right targets: Economic factors driving non-hydro renewable energy transition," *Renewable Energy* 113, 52-63 (2017).
 16. Carley, Sanya, "State renewable energy electricity policies: An empirical evaluation of effectiveness," *Energy Policy* 37, no. 8, 3071-3081 (2009).
 17. Chang, Ting-Huan, Chien-Ming Huang, and Ming-Chih Lee, "Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price: Evidence from OECD countries," *Energy Policy* 37, no. 12, 5796-5802 (2009).
 18. Sadorsky, Perry, "Renewable energy consumption and income in emerging economies," *Energy Policy* 37, no. 10, 4021-4028 (2009).
 19. Marques, António Cardoso, and José Alberto Fuinhas, "Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries," *Renewable Energy* 44, 109-118 (2012).
 20. OECD, oecd.org, n.d. <https://www.oecd.org/fr/economie/ecoverte/how-stringent-are-environmental-policies.htm> (accessed on Jan 28, 2022).
 21. Popp, David, Ivan Hascic, and Neelakshi Medhi, "Technology and the diffusion of renewable energy," *Energy Economics* 33, no. 4, 648-662 (2011).
 22. OECD, oecd.org, n.d. <https://www.oecd.org/fr/economie/ecoverte/how-stringent-are-environmental-policies.htm> (accessed on Feb. 1, 2022).
 23. Popp, David, Ivan Hascic, and Neelakshi Medhi, "Technology and the diffusion of renewable energy," *Energy Economics* 33, no. 4, 648-662 (2011).
 24. Shaw Vincent and Hall Max. *PV magazine*. July 30, 2021. <https://www.pvmagazine.com/2021/07/30/chinese-pv-industry-brief-longi-leapfrogs-jinko-for-first-half-module-shipments> (accessed on November 9, 2021).
 25. María Teresa García-Álvarez, Laura Cabeza-García, and Isabel Soares, "Analysis of the promotion of onshore wind energy in the EU: Feed-in tariff or renewable portfolio standard?" *Renewable Energy* 111, 259 (2017).
 26. bp, "bp Statistical Review of World Energy," July 2021. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed on October 11, 2021).
 27. EIA. U.S. Energy Information Administration. n.d. <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-capacity> (accessed on August 21, 2021).
 28. EIA. U.S. Energy Information Administration. n.d. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/prices-and-factors-affecting-prices.php> (accessed on October 22, 2021).
 29. WBG. The World Bank. n.d. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC> (accessed on December 11, 2021).
 30. WBG. The World Bank. n.d. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD> (accessed on August 30, 2021).
 31. WBG, "Global Photovoltaic Power Potential by Country," The World Bank. n.d. <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0038379/Global-Photovoltaic-Power-Potential-by-Country> (accessed on September 20, 2021).
 32. IEA. International Energy Agency. n.d. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=OECDTOT&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel> (accessed on December 13, 2021).
 33. IEA. *OECD Energy Prices and Taxes quarterly*. Paris: OECD Publishing, 2021.
 34. OWID. Our World in Data. n.d. <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices> (accessed on December 10, 2021).
 35. OWID. Our World in Data. n.d. https://ourworldindata.org/grapher/levelized-cost-of-energy?country=~OWID_WRL (accessed on December 1, 2021).
 36. OECD. oecd.org. n.d. <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EPS> (accessed on October 11, 2021).
 37. Baltagi, B. *Economics Analysis of Panel Data*. Wiley & Sons, 2008.
 38. Baltagi, B., and P. X. Wu, "Unequally spaced panel data regression with AR(1) disturbances," *Economic Theory* 15, 814-823 (1999).
 39. KEEI (Korea Energy Economics Institute), *International comparative analysis of equalization cost through solar cost analysis, Ul-san: KEEI* (2017).