

광역시·도별 자료를 이용한 에너지, 경제성장, 온실가스 배출 간의 관계 분석

이재석* · 이근대** · 유복근***

요약 : 본 연구는 2010~18년 동안의 우리나라 16개 광역시·도(세종시 제외)별 자료와 패널 벡터자기회귀(Panel VAR) 모형을 이용하여 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 간의 관계를 실증분석하였다. 분석 결과, 에너지 소비 증가가 신재생에너지 생산 및 지역 내 총생산을 증가시키는 효과는 제한적인 가운데 온실가스 배출을 증가시키는 것으로 나타났다. 신재생에너지 생산 증가는 지역 내 총생산을 증가시킬 수 있는 반면 에너지 소비 및 온실가스 배출량 저감에는 대체로 유의미한 영향을 미치지 않았다. 이러한 분석 결과는 국가 온실가스 저감과 지역 경제성장 목표 달성을 위해서는 에너지 소비 감소와 함께 신재생에너지 보급 확대가 중요함을 보여준다.

주제어 : 에너지 소비, 신재생에너지, 경제성장, 온실가스, 패널 벡터자기회귀

JEL 분류 : E20, O13, Q40

접수일(2021년 8월 9일), 수정일(2021년 9월 8일), 게재확정일(2021년 9월 9일)

* 에너지경제연구원 부연구위원, 제1저자(e-mail: leejs@keei.re.kr)

** 에너지경제연구원 선임연구위원, 공동저자(e-mail: kdlee@keei.re.kr)

*** 한국은행 팀장, 교신저자(e-mail: bokyu@bok.or.kr)

Analysis of the Relationships among Energy, Economic Growth and Greenhouse Gas Emissions Using Metropolitan City/Province Level Data

Jaeseok Lee*, Keun-Dae Lee**, and Bok-Keun Yu***

ABSTRACT : This paper analyzes the relationships among the energy consumption, renewable energy production, real gross regional domestic product (GRDP), and greenhouse gas (GHG) emissions. It uses the metropolitan city and province level data for Korea from 2010 to 2018, employing a panel vector autoregressive (VAR) model. We find that an increase in energy consumption has a limited impact on boosting renewable energy production or gross regional domestic product, while it leads to an increase in greenhouse gas emissions. A rise in renewable energy production can increase gross regional domestic product, but it has no meaningful effects on energy consumption and the reduction of greenhouse gas emissions. Our finding indicates that it is crucial to expand the supply of renewable energy as well as to decrease energy consumption in order to achieve the goal of reducing greenhouse gas emissions and reaching economic growth.

Keywords : Energy consumption, Renewable energy, Economic growth, Greenhouse gases (GHG), Panel VAR

Received: August 9, 2021. Revised: September 8, 2021. Accepted: September 9, 2021.

* Associate Research Fellow, Korea Energy Economics Institute, First author (e-mail: leejs@keei.re.kr)

** Senior Research Fellow, Korea Energy Economics Institute, Co-author (e-mail: kdlee@keei.re.kr)

*** Team Head, Bank of Korea, Corresponding author (e-mail: bokyu@bok.or.kr)

I. 서론

국제사회는 기후변화의 심각성을 인식하고 보다 효율적인 대응을 위해 오랜 기간 협상을 걸쳐 국가 당사자들 간 합의라는 획기적인 신기원을 달성한 파리협정(Paris Agreement)을 2015년에 채택(2016년 11월 발효)하였다. 파리협정에서는 기후위기 대응을 위해 지구 평균온도 상승폭을 산업혁명 이전보다 2°C 아래로 유지하되, 1.5°C로 제한하는 목표를 제시하였다.¹⁾ 또한 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 2018년에 발간한 특별보고서에서 2100년 지구평균온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위해서는 2030년까지 2010년 대비 온실가스 배출량을 45% 이상 감축 및 2050년경 탄소중립(net-zero)²⁾을 제안하였다.

이에 각 국 정부는 온실가스 감축, 나아가 탄소중립 목표 달성을 위한 다양한 정책을 수립·운영하고, 특히 에너지를 생산하는 과정에서 온실가스를 배출하지 않는 재생에너지를 온실가스 저감을 위한 핵심 수단으로 적극적으로 활용하기 시작하였다. 그 결과, 전 세계 재생에너지 보급이 태양광과 풍력을 중심으로 빠르게 확대되었다. 1990년부터 2018년까지 재생에너지의 1차 에너지 공급 연평균 증가율을 보면, 전 세계 재생에너지 공급은 1차 에너지 공급(Total Energy Supply, TES) 증가율 1.8%보다 0.2%p 높은 연평균 2.0% 증가한 것으로 나타났다(IEA, 2020).

이러한 신재생에너지의 보급확대 추세는 향후에도 계속될 것으로 전망되고 있다. 최근 미국, 중국, 영국 등 세계 주요국들이 2050~60년까지 탄소중립을 선언하는 등 온실가스 감축정책을 더욱 강화하고 있는 가운데, 각 국은 자국의 온실가스 배출 저감을 위해 친환경 신재생에너지로의 전환을 적극적으로 추진하고 있다. 그리고 신재생에너지는 2020년 초반에 발생한 코로나19 팬데믹으로 인한 경기침체를 극복하기 위한 경기부양책 중의 하나로서, 많은 국가들이 청정에너지 기술과 산업에 대한 투자 확대를 추진하고 있다(조일현·이재석, 2020). 이러한 재생에너지에 대한 보급과 투자 확대는 온실가스 저감 목표 달성뿐만 아니라 신성장 동력의 일환으로 관련 기술과 산업의 발전은 국가 경제

1) 기존 기후변화협약(1992)에서의 온실가스 감축목표는 위험한 영향을 미치지 않을 수준으로 대기 중 농도를 안정시키는 것을 목표로 하여 그 수준이 어느 정도인지에 대한 설명이 없었으나, 파리협정에서는 2°C 및 1.5°C 목표를 명문화하였다.

2) 인간 활동에 의한 온실가스 순배출량(배출량-흡수·제거량)이 “0”이 되는 것을 의미한다.

성장 측면에서도 매우 중요하다고 볼 수 있다.

전 세계적으로 신재생에너지로의 전환은 발전단가 하락에 따른 비용적 측면과 각국 정부의 규제 및 지원 등 정책적 이유로 빠르게 이루어지고 있다. 먼저 신재생에너지는 기술발전 등으로 빠르게 가격경쟁력을 확보하였다. 신재생에너지 발전단가의 경우 태양광 및 풍력의 균등화 발전비용(Levelized Cost of Electricity, LCOE)은 각각 2010년 0.378\$/kWh와 0.086\$/kWh에서 2019년 0.068\$/kWh와 0.053\$/kWh로 82% 및 38% 하락하였다(IRENA, 2020). 또한 많은 국가들은 신재생에너지 공급의무화 제도(Renewable Portfolio Standard, RPS),³⁾ 발전차액지원 제도(Feed in Tariff, FIT⁴⁾ / Feed in Premium, FIP)⁵⁾ 등 정책 규제와 지원을 통해 신재생에너지 보급을 늘리고 있다. 아울러 신재생에너지원이 가격경쟁력을 확보해나감에 따라 시장기반(market-based)의 경매 제도를 도입하는 국가가 점차 증가하고 있는데 아직도 많은 국가들이 신재생에너지 보급 확대를 위해 직접적인 규제 및 지원 제도를 채택하고 있는 것으로 보인다.⁶⁾ 향후에도 세계 신재생에너지 생산은 다수 국가들의 중·장기 에너지전환 정책 계획 등을 통해 적극적인 보급 확대 목표를 수립·추진함에 따라 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

한편, 국제사회의 신재생에너지 중심으로의 에너지 전환이 빠르게 진행됨에 따라 우리나라도 온실가스 감축과 재생에너지 보급 확대 기조를 강화해오고 있다. 우리 정부는 국가 에너지계획상의 신재생에너지 보급 확대 목표를 달성하기 위해 2012년부터 RPS 제도를 신재생에너지 보급 확대를 위한 주요한 정책으로 추진해오고 있다. RPS 제도는 시장 매커니즘을 활용하여 신재생에너지원별 기술경쟁을 통한 보급가격 하락과 보급 확대를 목적으로 하고 있다. RPS 제도 시행 이전인 2002년부터 2011년까지는 FIT 제도가 시행되었으나 정부의 예산 부담 증대 등의 이유로 중단되었다(소진영, 2013). RPS 제도하에서 의무공급자는 직접 신재생에너지 설비를 설치하여 에너지를 생산하거나 신재

3) RPS는 일정 규모 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자를 대상으로 총발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하는 제도이다.

4) FIT는 발전사업자가 신재생에너지로 생산한 전기의 거래가격이 기준가격보다 낮을 경우 그 차액에 대해 정부가 지원해주는 제도이다.

5) FIP는 신재생에너지 발전사업자가 시장가격에 전기판매할 경우 프리미엄 가격으로 보조금을 가산해주는 제도이다.

6) REN21(2009-2020)에 따르면 FIT/FIP제도를 채택한 국가는 2010년 49개국에서 2019년 89개국으로 증가하였으며, RPS 제도를 채택한 국가도 2010년 15개국에서 2019년 34개국으로 늘어났다.

생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC)를 구매하는 방법으로 할당된 의무를 이행할 수 있다. RPS 의무량은 2012년 6,420MWh(2.0%)에서 2020년 31,401MWh(7.0%)로 크게 증가하였다.⁷⁾

그리고 최근 들어서는 지역 에너지 분권 및 자립, 지역에너지 정책의 중요성이 높아짐에 따라 소규모 분산형 전원이라는 구조적 특성을 가진 신재생에너지의 중요성이 높아지고 있다. 그에 따라, 세계 주요국들은 강도 높고 속도감 있는 온실가스 감축을 위해 기존의 중앙정부 차원에서의 중앙집권적이고 획일적인 에너지 정책에서 벗어나 지역별로 차별화된 특성을 고려한 에너지 정책을 추진하고 있다(Holley and Lecavalier, 2017; Yu et al., 2019). 이러한 기조에 따라 국내에서도 지역 특성을 고려한 에너지 정책 수립의 중요성이 높아지게 되었고, 에너지 정책의 지방 분권화를 통한 지역에너지 정책에 대한 수요가 증가하고 있다. 예를 들면, 서울시 등 지자체들이 에너지 조례를 제정하고, 지역에너지 계획 및 에너지 전환계획도 자체적으로 수립하고 있다.⁸⁾ 또한 에너지 전환을 적극적으로 추진하고 있는 지자체는 에너지 전담기관 설립·운영을 추진하고 있는데, 서울에너지공사, 제주에너지공사 등의 지방공기업이 설립되었으며, 공공위탁의 형태로 인천시의 기후환경연구소, 충남도의 서해안기후환경센터가 운영되고 있다. 전국 시·도별로 구성되어 있는 총 19개의 테크노파크도 지역 내 에너지 관련 기업 발굴·육성과 에너지 전환 업무를 수행하고 있다.⁹⁾

이러한 배경하에서 본 연구에서는 에너지 소비와 신재생에너지 생산이 지역 경제와 환경에 미치는 영향을 전국 단위로 분석하여 우리나라 에너지 시장의 친환경 구조전환을 위한 에너지 정책의 방향성 및 시사점을 도출하고자 한다. 또한 에너지 수요뿐만 아니라 공급 측면에서의 지역별 특성을 고려한 분석을 위해 에너지 수급상 초과공급을 하고 있는 5개 도(충남, 강원, 전남, 경북, 경남)를 대상으로 전국 16개 광역시·도와의 비교분석을 통해 이들 지역에 대한 정책적 시사점을 별도로 제시하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 먼저 2장에서는 에너지 및 환경 관련 기존연구들에 대한 개관 및 기존연구와의 차별성에 대해 서술하였다. 3장에서는 실증분석에 사용

7) 한국에너지공단a(검색일: 2021.05.07.)

8) 서울특별시(녹색에너지과, 2017), 서울특별시 에너지 조례(검색일: 2021.05.07.)

9) 한국테크노파크진흥회 홈페이지(검색일: 2021.09.03.)

된 변수 및 자료, 분석모형 등에 대해 논의하고, 4장에서는 실증분석 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 중요한 분석 결과들을 정리하고, 향후 친환경 지속가능한 발전을 위한 정책적 시사점에 대해 서술하였다.

II. 기존연구

에너지는 노동, 자본, 중간재와 더불어 기업 생산과정과 소비자의 경제활동에 있어 필수적인 요소로 경제성장에 매우 중요한 역할을 한다. 또한 에너지 소비는 환경에도 많은 영향을 미치는데, 발전과 산업부문에서 주로 이용되는 석유·석탄 등의 화석에너지는 연소 과정에서 각종 오염물질들을 배출하고, 이는 대기환경에 악영향을 미친다. 급속한 경제성장과 에너지 소비 증가로 환경오염 문제가 점점 더 심각해지면서 에너지 요소와 경제성장 및 환경 간의 관계에 대한 연구 수요가 증가하였고, 관련 연구도 꾸준히 진행되어왔다. Tiwari(2011)는 인도를 대상으로 한 사례연구를 통해 에너지 소비, 경제성장과 이산화탄소 배출량 사이의 관계를 분석하였는데, 에너지 소비와 경제성장 간에는 그랜저 인과관계(Granger causality)가 없는 반면 경제성장은 환경 악화(environmental degradation)와 인과관계가 있음을 보여주었다. Al-mulali et al.(2013)은 1980~2009년 중 중동·북아프리카(Middle East and North Africa, MENA) 지역 국가들을 대상으로 도시화, 에너지 소비, 이산화탄소 배출량 사이의 관계를 분석하였는데, 이들 3개 변수 사이에는 서로 간에 장기적 관계가 존재하는 것을 보여주었다.

이후 환경에 대한 이슈, 특히 기후변화에 대한 관심이 높아진 가운데 이에 대응하기 위한 신재생에너지로의 전환에 대한 중요성이 증대되면서 신재생에너지와 환경 간의 관계를 분석하는 연구가 다양하게 수행되었다. Bilgili et al.(2016)은 17개 OECD 국가를 대상으로 Fully Modified Ordinary Least Squares(FMOLS)와 패널 Dynamic Ordinary Least Squares(DOLS) 모형을 이용하여 신재생에너지 소비가 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것을 보였으며, 1인당 총생산과 이산화탄소 배출량 사이에 환경 쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)가설¹⁰⁾이 성립하는 것도 확인하였다. Dong et

10) 경제발전 초기에는 제조업 위주의 산업구조로 인해 환경의 질이 악화되지만, 어느 수준의 임계점(turning point) 이후부터는 경제가 발전함에 따라 환경의 질이 좋아지는, 경제발전과 환경오염 간의 역U자형 관계를 설명하는 가설이다.

al.(2018)은 128개 국가를 대상으로 신재생에너지, 인구 및 경제성장, 이산화탄소 배출량 간의 관계를 분석하였는데, 인구와 경제성장은 이산화탄소 배출량을 통계적으로 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다. 그리고 일부 지역에서는 신재생에너지 보급 확대가 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것을 보였다. Charfeddine and Kahia(2019)는 MENA 지역의 24개 국가들을 대상으로 패널 VAR(Vector Autoregressive,) 모형을 이용하여 에너지 소비가 경제성장과 이산화탄소 배출량에 유의한 영향을 미치지 않는 것을 보였다. 이처럼 기존의 환경 관련 연구가 다수의 국가와 지역을 대상으로 수행된 가운데, 자료 획득이 가능한 일부 국가에 대해서는 국가 단위의 분석이 수행되었다. Twumasi(2017)는 미국을 대상으로 이산화탄소 배출량과 신재생에너지 생산과의 상관관계를 분석하였는데, 두 변수 사이에 유의미한 관계가 발견되지 않아 신재생에너지 생산이 이산화탄소 저감에 기여하지 못한다고 주장하였다. Shahbaz et al.(2017)은 미국 내에서 주요 재생에너지 원료로 사용되어온 바이오매스와 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석한 결과, 바이오매스 소비 증가가 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타났다.

우리나라를 대상으로 한 연구로는, 김재화·김현석(2015)이 국내 에너지 소비량 및 경제성장이 환경에 미치는 영향에 대해 자기회귀분배시차(autoregressive distributed lag, ARDL) 모형을 이용하여 분석하였다. 이들은 소득과 이산화탄소 배출량 사이에 EKC 가설이 성립하는 것을 보였으며, 에너지 소비량 증가는 이산화탄소 배출량을 증가시킨 반면 재생에너지 발전량은 이산화탄소 배출량을 감소시킨 것을 보였다. 정용훈·김수이(2015)는 에너지요소, GDP, 이산화탄소 배출량 변수들 상호 간의 상관관계를 분석하였다. 특히 GDP와 이산화탄소 배출량 변수들간의 내생성 문제를 해결하기 위해 도구 변수(총통화, 연령 의존성 비율)를 활용하여 분석 결과의 신뢰성을 높이는 방법을 적용하였다. 분석 결과, 우리나라의 경우 환경 쿠즈네츠 곡선 가설이 성립하였으며, 에너지요소가 경제성장과 이산화탄소 배출량을 결정하는 중요한 요소임을 확인하였다. 김수이(2017)는 1991년부터 2013년까지의 우리나라 제조업을 대상으로 에너지 소비, 생산, 수출 간의 인과관계(Granger causality)를 분석하였는데, 생산과 수출은 에너지 소비에 영향을 주는 반면 에너지 소비는 생산과 수출에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한 Koc and Bulus(2020)는 1971년부터 2017년까지 우리나라의 에너지 및 신재생에너지 소비, 무역개방도, GDP가 국가 이산화탄소 배출량에 어떤 영향을 주는지 ARDL 모형을

이용하여 분석하였는데, 에너지 소비 및 GDP 증가는 이산화탄소 배출량을 증가시키고, 신재생에너지 소비 증가와 무역개방도 확대는 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타났다. 배정환 정서림(2020)은 신재생에너지 변수가 각종 대기오염물질에 미치는 영향을 분석하였는데, 신재생에너지 생산량의 증가는 일산화탄소, 질소산화물, 초미세 먼지 농도를 유의하게 저감시키는 것을 보였다. 또한 경제성장(GDP)과 대기오염물질 간의 관계분석을 통해 일산화탄소, 황산화물, 질소산화물의 경우 EKC(역U자형 관계)이 성립하는 것을 보였다.

상기에서 이미 언급하였듯이, 환경문제에 대한 경제학자들의 관심이 높아지면서 경제 성장과 환경과의 관계 분석에 대한 다수의 연구들이 수행되어왔다. 하지만 대부분의 기존 연구들은 국가 단위 혹은 그 이상의 지역 단위를 대상으로 하였기 때문에 국가 경제와 환경에 중요한 영향을 미칠 수 있는 세부 지역 단위의 특성을 고려하지 못했다. 우리나라의 경우에도 국내 지역별 에너지 및 환경 관련 자료 등의 부족으로 지역별 패널자료를 이용한 분석은 충분히 이루어지지 못하고 국가 단위의 분석이 주를 이루었으며, 지역 에너지 자료의 확보가 가능해진 이후부터 지역 단위 분석이 시작되었다(손민희 외, 2017; 이성로, 2017; 이성로·하종현, 2019). 그러나 최근까지 신재생에너지를 포함한 지역 내 에너지 및 환경 특성을 고려한 실증분석은 아직까지 수행되지 않은 것으로 파악된다. 본 연구는 지역 내 신재생에너지 생산 및 온실가스 배출량 자료 등을 활용하여 지역 특성을 고려한 지역별 패널모형을 구축하고 분석하였다는 점에서 기존연구와 차별성을 가진다.

III. 분석자료 및 모형

1. 분석자료

본 연구에서는 우리나라의 16개 광역시·도(세종시 제외)를 대상으로 2010~18년까지의 패널 자료를 이용하였다. 분석 대상 변수는 크게 에너지 변수, 경제 변수, 환경 변수로 이루어져 있으며, 에너지 변수는 에너지 소비량과 신재생에너지 생산량을, 경제 변수는 실질 지역 내 총생산, 환경 변수는 온실가스 배출량을 각각 사용하였다. 또한 모형에 사용된 모든 변수들은 지역별 인구 규모에 따른 영향을 고려하였다. 우리나라의 행정구

역은 기존 특별시 1개(서울), 광역시 6개(부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산), 도 8개(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남), 특별자치도 1개(제주)를 포함하여 16개 광역시·도가 존재하였으나, 2012년 7월 1일 세종시가 특별자치시로 출범하면서 17개 광역시·도가 되었다. 세종시는 2012년 7월 1일 출범하였는데, 관련 통계 자료가 2013년부터 존재하여 분석 대상 지역에서 제외되었다.¹¹⁾ <표 1>은 분석 대상 변수의 통계적 특성을 보여준다.

<표 1> 분석 대상 변수의 통계적 특성(Data Description)

	1인당 에너지 소비		1인당 신재생에너지 생산량		1인당 RGRDP		1인당 GHG 배출량	
	(TOE)		(TOE)		(백만 원)		(Mg CO2eq)	
	전국	5개 도	전국	5개 도	전국	5개 도	전국	5개 도
Mean	5.906	9.815	0.329	0.606	31.410	35.596	18.669	37.714
Max	24.154	22.124	1.703	1.703	62.983	52.044	74.586	74.586
Min	1.453	2.579	0.022	0.048	17.564	23.174	2.945	20.040
Std. Dev	6.601	6.819	0.355	0.406	10.812	7.852	18.405	18.846
Skewness	1.615	0.516	1.539	0.905	1.492	0.445	1.486	0.895
Kurtosis	4.058	1.705	5.479	3.873	4.797	2.426	4.657	2.305
Obs	128	40	128	40	128	40	128	40

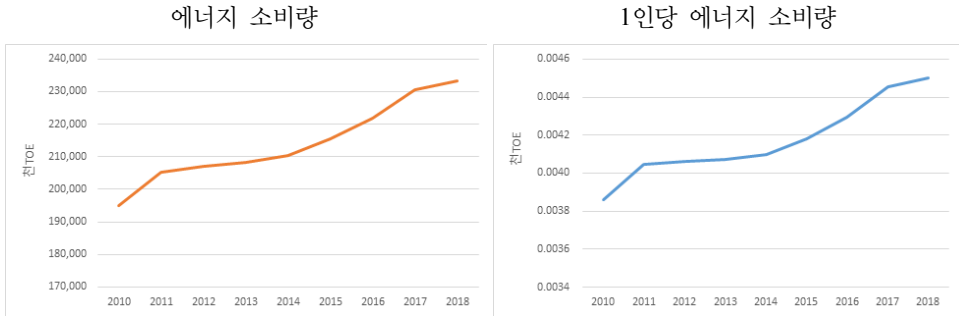
주: 5개 도는 온실가스 다배출 지역이면서 전력자립도가 100% 이상인 도(충남, 강원, 전남, 경북, 경남).

1) 에너지 소비량

에너지 소비량 자료는 에너지경제연구원의 「지역에너지통계연보」 자료를 사용하였다. <그림 1>은 2010~18년 중 국내 에너지 소비량 추이를 보여준다. 국내 에너지 소비량은 꾸준히 증가하고 있다는 것을 알 수 있는데, 2010년 194,971천TOE에서 2018년 233,368천TOE로 19.7% 증가하였다.

11) 본 고의 분석 대상 기간(2010~18년) 중 2010~12년의 경우 세종시 관할 지역(연기군 전역 및 공주시와 청원군의 일부)이 충남에 포함되어 있어 관련 통계치가 과대 계상될 수 있음을 밝혀두며, 다만 충남 대비 세종시의 에너지 소비 비중(2018년 기준 1.7%, 2019 지역에너지 통계연보) 등이 극히 미미한 점을 고려할 때 분석상의 문제는 없는 것으로 판단된다.

〈그림 1〉 국내 에너지 소비량 추이(2010~18년)

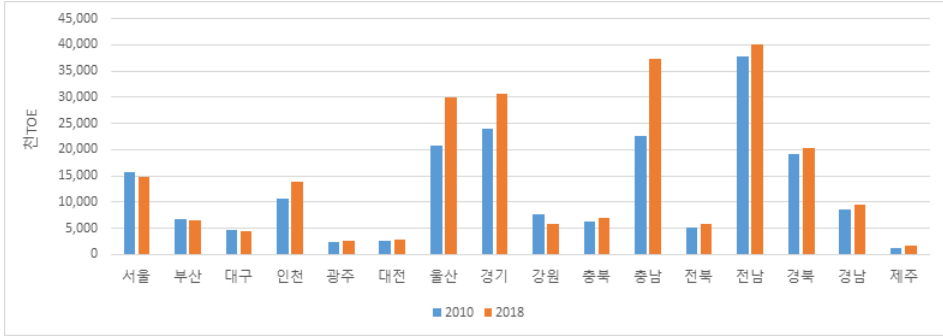


출처: 에너지경제연구원, 「지역에너지통계연보」(2019).
 주: 저자 재구성.

<그림 2>를 통해 지역별 에너지 소비량을 살펴보면, 에너지 소비가 가장 많은 지역은 전남으로 2018년 기준 40,103천TOE 만큼의 에너지를 소비하였으며, 에너지 소비가 가장 적은 지역은 제주로 2018년 기준 1,168천TOE로 나타났다. 전남의 에너지 다소비는 산업부문에 주로 기인하는 것으로 나타났는데, 특히 1차금속(포스코광양제철소), 석유화학(GS칼텍스, LG화학 등) 부문에서의 많은 석유소비량이 영향을 미친 것으로 보인다. 지역별로 에너지 소비량이 가장 크게 증가한 지역은 충남으로 2010년 22,644천TOE에서 2018년 37,364천TOE로 65.0% 증가하였는데, 충남의 에너지 소비량 증가율은 전국 에너지 소비량 증가율 19.7%보다 3배 이상 높았다. 최종에너지 부문별로는 산업 부문에서의 에너지 소비가 충남지역 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중이 가장 높은 것으로 나타났다(지역에너지통계연보, 2019). 즉, 충남지역은 산업, 수송, 가정·상업, 공공·기타 중 산업 부문의 에너지 소비가 전체 에너지 소비의 88.2%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 산업부문 에너지 소비는 2010년 22,048천TOE(전체 최종에너지 소비의 84.9%)에서 2018년 32,930천TOE(전체 최종에너지 소비의 88.2%)로 크게 증가하여 충남지역 에너지 소비 증가를 견인한 것으로 나타났다.¹²⁾ 특히 연간 1천톤 이상 에너지를 소비하는 에너지 다소비 업체들이 충남지역 석유, 석탄, 전력 소비량의 80% 내외를 각각 차지하는 것으로 나타났다(여형범, 2017).

12) 2018년 기준 충남도의 최종에너지 부문별 소비는 총 37,346천TOE로 산업(32,930천TOE), 수송(2,362천TOE), 가정·상업(1,837천TOE), 공공·기타(216천TOE)의 순으로 나타났다.

〈그림 2〉 지역별 에너지 소비량 비교(2010년 및 2018년)



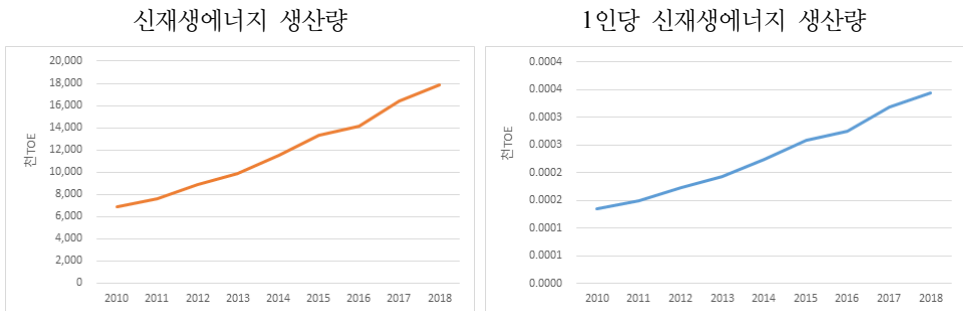
출처: 에너지경제연구원, 「지역에너지통계연보」(2019).

주: 저자 재구성.

2) 신재생에너지 생산량

신재생에너지 생산량은 한국에너지공단에서 제공하는 2010년부터 2018년까지의 전국 시·도별 신재생에너지원별 생산량 자료를 사용하였다. <그림 3>을 통해 살펴보면 신재생에너지 생산비용 하락과 정부의 정책적 지원으로 신재생에너지 생산량은 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 신재생에너지 생산량은 2010년 6,856천TOE에서 2018년 17,838천TOE로 160.2% 증가하였다.

〈그림 3〉 국내 신재생에너지 생산량 추이(2010~18년)

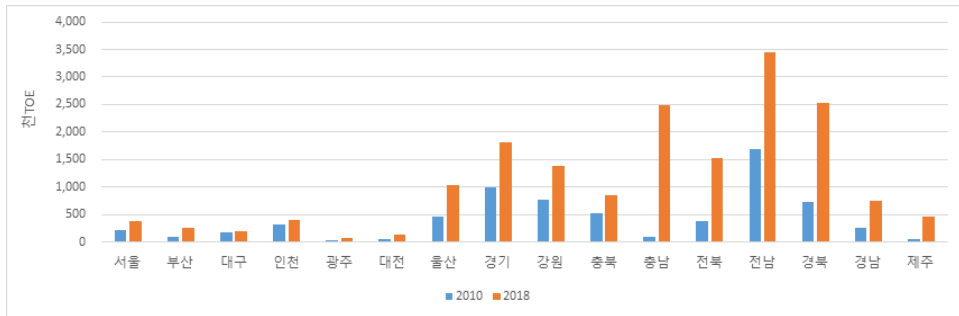


출처: 통계청 「신 재생에너지원별(열량) 생산량(시도), 한국에너지공단, 「신재생에너지보급실적조사」.

주: 저자 재구성.

<그림 4>는 2010년과 2018년의 16개 광역시·도별 신재생에너지 생산량을 보여준다. 2018년 기준 신재생에너지 생산량이 많은 지역으로는 전남(3,460천TOE), 경북(2,524천TOE), 충남(2,499천TOE), 전북(1,532천TOE) 순으로 나타났는데, 이들 4개 지역의 신재생에너지 생산량은 우리나라 전체 신재생에너지 생산의 56%를 차지하였다. 충남은 2010년 대비 2018년 신재생에너지 생산량 증가율이 16개 광역시·도 중 가장 높은 지역으로 나타났는데, 2010년 101천TOE에서 2018년 2,493천TOE로 매우 큰 폭으로 증가(2,380.5%)하였다.

<그림 4> 지역별 신재생에너지 생산량 비교(2010년 및 2018년)

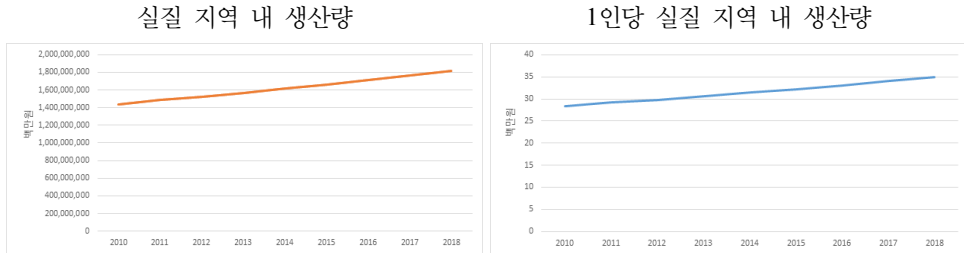


출처: 통계청 「신·재생에너지원별(열량) 생산량(시도), 한국에너지공단, 「신재생에너지보급실적조사」.
 주: 저자 재구성.

3) 실질 지역 내 총생산

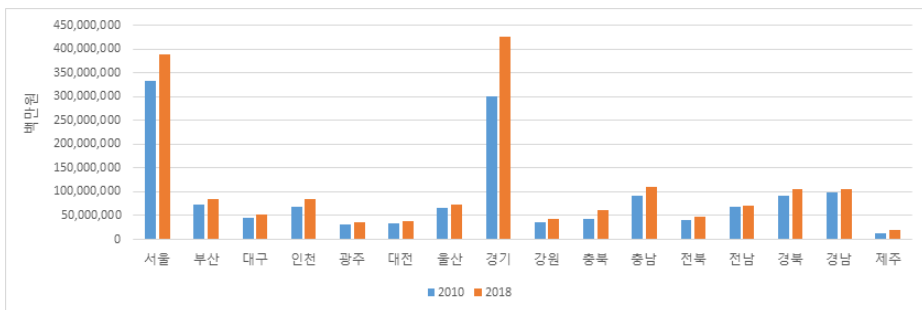
지역 경제의 수준을 나타내는 변수로는 통계청의 실질 지역 내 총생산(Real Gross Regional Domestic Product, RGRDP) 자료를 사용하였다. <그림 5>는 2010~18년 중 우리나라의 실질 지역 내 총생산 추이를 보여주는데, 2010년 1,432.7조 원에서 2018년 1,814.1조 원으로 381조 원(26.6%) 증가하였다. 1인당 실질 지역 내 총생산도 2010년 2천 8백만 원에서 3천 5백만 원으로 23.4% 증가한 것으로 나타났다. <그림 6>을 통해 지역별로 살펴보면, 실질 지역 내 총생산이 가장 많은 지역은 경기(451.9조 원)였으며, 가장 적은 지역은 제주(19.0조 원)로 나타났다.

〈그림 5〉 국내 실질 지역 내 총생산 추이(2010~18년)



출처: 통계청.
주: 저자 재구성.

〈그림 6〉 지역별 실질 지역 내 총생산 비교(2010년 및 2018년)



출처: 통계청.
주: 저자 재구성.

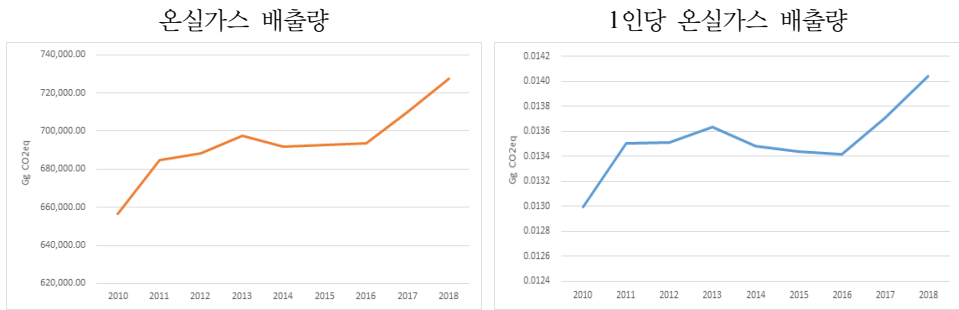
4) 온실가스 배출량

본 연구에서 지역별 온실가스 배출량은 환경부 온실가스종합정보센터에서 작성한 「2020년 국가 온실가스 인벤토리(1990-2018) 보고서(2021)」의 온실가스 총배출량¹³⁾ 자료를 활용하였다. 국가 온실가스 배출량에서 에너지부문 배출량이 약 87%를 차지하는 가운데, 에너지 부문에서 배출되는 온실가스(CO_2 , CH_4 , N_2O) 중에서 이산화탄소(CO_2)의 비중이 98.5%를 차지하고 있는 것으로 나타난다.

13) LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry) 부문을 제외한 에너지, 산업공정, 농업 폐기물 분야 배출량의 합이며, 집계 대상은 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6) 등 6개 직접 온실가스이다(환경부 온실가스종합정보센터, 2020년 국가 온실가스 인벤토리(1990-2018) 보고서).

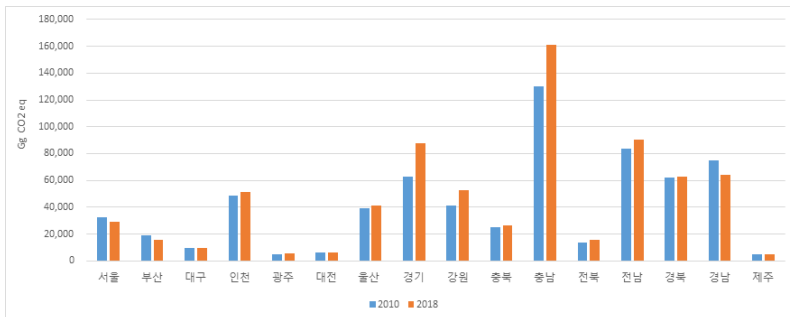
<그림 7>은 2010년부터 2018년까지의 국내 온실가스 배출량 추이를 보여준다. 전국 온실가스 배출량은 2010년 656,323 Gg CO₂eq¹⁴⁾에서 2018년 727,633 Gg CO₂eq로 약 10.8% 증가한 것으로 나타났다. <그림 8>을 통해 지역별 온실가스 배출량을 살펴보면, 충남은 2018년 기준 전국에서 가장 많은 161,300 Gg CO₂eq로 나타났다. 2010년부터 2018년까지 온실가스 배출량 증가율이 가장 높았던 지역은 63,039 Gg CO₂eq에서 87,897 Gg CO₂eq로 39.4% 증가한 경기도로 나타났으며, 강원(27.46%), 충남(23.92%)이 그 뒤를 이었다.

<그림 7> 국내 온실가스 배출량 추이(2010~18년)



출처: 환경부 온실가스종합정보센터.
주: 저자 재구성.

<그림 8> 지역별 온실가스 배출량 비교(2010년 및 2018년)



출처: 환경부 온실가스종합정보센터.
주: 저자 재구성.

14) CO₂eq(Carbon dioxide equivalent)는 이산화탄소 환산톤으로 온실가스 종류별 지구온난화 기여도를 수치로 표현한 지구온난화지수(Global Warming Potential GWP)에 따라 주요 직접온실가스 배출량을 이산화탄소로 환산한 단위이다(온실가스종합정보센터, 2020).

2. 단위근 및 공적분 검정

본 연구에서는 지역 내 인구규모를 각각 고려한 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 등 4개 변수에 대한 각각의 패널 시계열 자료를 이용하여 실증분석을 수행하고자 한다. 한편 시계열 자료에 단위근(unit root)이 존재하는 비정상 시계열 자료를 정상시계열로 변화시키지 않고 그대로 사용할 경우 실제로는 변수 간에 아무런 상관관계가 없지만 상관관계가 있는 것처럼 나타나는 가성회귀(spurious regression) 현상이 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 각각의 변수에 대해 LLC(Levin-Lin-Chu) 단위근 검정을 시행하였다. LLC 패널 단위근 검정은 먼저 수준(level)에서 수행한 후, 1차 차분(first difference)으로도 검정하였다.

<표 2>는 LLC 패널 단위근 검정 결과를 보여준다. 이에 따르면 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 온실가스 배출량 변수는 단위근을 가지지 않는 것으로 나타났다. 지역 내 총생산 변수의 경우에는 수준에서는 단위근을 가지고 있는 것으로 나왔으나, 1차 차분에서는 단위근을 가지지 않았다. 이에 따라 모든 변수들이 공통적으로 귀무가설을 기각할 수 있는 1차 차분한 자료를 패널 VAR 모형에 사용하였다.¹⁵⁾ 본 연구에서 최적시차(optimal lag length)는 Akaike Information Criterion(AIC), Bayesian Information Criterion(BIC), Hannan-Quinn Information Criterion(HQIC) 등 세가지 평가 기준을 모두 고려하였다. 최적시차 평가결과 AIC, SIC, HQIC 모두 1기가 가장 적합한 시차로 나타나 최적시차를 1기로 설정하였다.

〈표 2〉 LCC 패널 단위근 검정 결과

	Stationary	
	Level	First Difference
에너지소비량(1인당)	Stationary	Stationary
신재생에너지 생산량(1인당)	Stationary	Stationary
실질 지역 내 총생산(1인당)	non-Stationary	Stationary
온실가스 배출량(1인당)	Stationary	Stationary

15) 실질 지역 내 총생산(1인당) 변수의 경우 통상 경제규모가 커짐에 따라 추세를 갖고 있어 수준(level)보다는 차분한 자료를 많이 사용하고 있으며, 여타 변수와의 정합성도 고려하였다.

단위근 검정 이후에는 변수들 간의 안정적인 장기균형 관계가 존재하는지 여부에 대해서도 점검하였다. 만약 두 개 혹은 그 이상의 변수가 단위근을 가지고 있지만, 이들 변수의 선형 결합이 단위근을 가지지 않는다면 공적분 관계가 있다고 정의한다. 공적분 관계의 존재는 변수들 간에 장기균형 관계(long-run equilibrium relationship)가 있다는 것을 의미하는데, 이 경우에는 벡터자기회귀 모형(Vector Autoregressive model, VAR model)보다는 벡터오차수정 모형(Vector Error Correction model, VECM)을 활용하는 것이 분석에 더 적절하다. 본 연구에서는 Pedroni(1999) 패널 공적분 기법을 이용하여 변수들 간의 공적분 관계 유무를 확인하였다. Pedroni 패널 공적분 검정 결과, 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 사이에 공적분 관계가 없는 것으로 확인되었다. 일부 기존 연구에서는 에너지 요소 변수들 간에 공적분 관계가 있음을 발견하기도 하였다(Serletis and Herbert, 1999; Theodore and Emilie, 2007). 에너지 소비량과 신재생에너지 생산량 등 두 변수 간에 공적분 관계가 있는지에 대해서도 추가적으로 검정하였는데, 공적분 관계가 없는 것으로 확인되었다.¹⁶⁾ 이에 따라 본 연구에서는 VAR 모형을 이용하여 실증분석을 수행하였다.

3. 분석모형

일반적으로 VAR 모형은 특정 경제이론에 입각하지 않고 자료가 주는 정보만을 기반으로 주요 변수들 간의 관계를 분석할 수 있어 다양한 변수들 간의 복잡한 관계를 분석하는데 널리 활용되고 있다. 본 연구에서는 우리나라의 광역시·도별 자료 및 패널 VAR 모형을 활용하여 에너지 요소, 경제성장 그리고 환경 변수 간의 동태적 상호연관성(dynamic interrelationship)을 분석하고자 한다. 패널 VAR 모형은 일반적인 VAR 모형과 유사하지만 패널자료를 활용하기 때문에 시계열 자료만을 활용하는 VAR 모형보다 통계적 유의성 측면에서 우수하다고 할 수 있다(오병기, 2012). 통상적인 패널 VAR 모형(order 1)은 아래의 식 (1)과 같다.

이미 잘 알려진 바와 같이, VAR 모형은 변수들의 순서 및 시차의 길이에 따라 분석결과가 달라질 수 있어 이에 대한 확인이 필요하다. 먼저 본 연구에서의 동시적인 효과

16) Modified Philips-Perron 검정(통계량: 1.7297), Phillips-Perron 검정(통계량: -5.1898), Augmented Dickey-Fuller 검정(통계량: -7.7191) 모두에서 공적분 관계가 없는 것으로 나타났다.

(contemporaneous effect) 분석을 위해 설정한 변수의 순서는 변수의 외생성 정도에 따라 설정하였다. 국내 에너지 소비에서 석탄, 석유, 천연가스 소비 비중이 75.5%¹⁷⁾에 달하고, 이들 화석연료의 대부분은 해외에서 수입되고 있는 구조이기 때문에 국내 에너지 소비시장은 국내 신재생에너지 시장보다 외부 충격에 더 많은 영향을 받을 수 있다. 이러한 점을 고려하여 에너지 소비 변수를 신재생에너지 생산 변수 이전으로 순서를 설정하였다. 실질 지역 내 총생산과 온실가스 배출량 변수는 다른 내생변수들에게 영향을 미치지 않는 것으로 설정하였다. 이에 따라 VAR 모형 내에서 3번째와 4번째 변수로 각각 순서를 설정하였다. 외생성 정도에 따라 설정한 이번 연구에서의 에너지 소비, 지역 내 총생산, 환경 변수들 간의 배열순서는 선행연구에서 적용한 순서와도 부합한다. 예를 들면, Silva et al.(2012)은 전력생산 중 신재생에너지 비중, 국내 총생산, 온실가스 배출량의 순서로 배열하였으며, Tiwari(2011)도 신재생에너지 소비량, 국내 총생산, 온실가스 배출량의 순서로 설정하였다.

$$y_{it} = A_0 + \sum_{i=1}^p A_i y_{it-1} + \mu_{it} \quad (1)$$

$$y_{it} = \begin{bmatrix} Energy\ Consumption_{it} \\ Renewable\ Energy_{it} \\ RGRDP_{it} \\ Environment_{it} \end{bmatrix} \quad A_0 = \begin{bmatrix} a_{1it} \\ a_{2it} \\ a_{3it} \\ a_{4it} \end{bmatrix} \quad \mu_{it} = \begin{bmatrix} \mu_{1it} \\ \mu_{2it} \\ \mu_{3it} \\ \mu_{4it} \end{bmatrix}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

y_{it} 는 i 지역 t 년도의 (4 x 1) 내생변수 벡터, y_{it-1} 는 이전 연도로부터의 변동(marginal change)을 보여주는 (4 x 1) 벡터를 의미한다. A_i 는 (4 x 4)로 이루어진 자기회귀 계수

17) 2018년 최종에너지소비(열량)기준으로 총 소비량은 232,740천TOE으로 석유, 석탄, 천연가스가 각각 116,831천TOE, 32,424천TOE, 26,444천TOE이었다(에너지경제연구원 지역에너지통계연보, 2019).

(autoregressive coefficient)로 정의되며, μ_{it} 는 (4 x 1)로 이루어진 오차항(error) 벡터이다. 각각의 변수는 최적시차가 1기이며, 공적분 관계가 없어 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Energy Consumption}_{it} \\ &= a_{1it} + \sum_{i=1}^p a_{11} \text{Energy Consumption}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{12} \text{Renewable Energy}_{it-1} \\ &+ \sum_{i=1}^p a_{13} \text{RGRDP}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{14} \text{Environment}_{it-1} + \mu_{1it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Renewable Energy}_{it} \\ &= \alpha_{2it} + \sum_{i=1}^p a_{21} \text{Energy Consumption}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{22} \text{Renewable Energy}_{it-1} \\ &+ \sum_{i=1}^p a_{23} \text{RGRDP}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{24} \text{Environment}_{it-1} + \mu_{2it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{RGRDP}_{it} \\ &= \alpha_{3it} + \sum_{i=1}^p a_{31} \text{Energy Consumption}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{32} \text{Renewable Energy}_{it-1} \\ &+ \sum_{i=1}^p a_{33} \text{RGRDP}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{34} \text{Environment}_{it-1} + \mu_{3it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Environment}_{it} \\ &= \alpha_{4it} + \sum_{i=1}^p a_{41} \text{Energy Consumption}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{42} \text{Renewable Energy}_{it-1} \\ &+ \sum_{i=1}^p a_{43} \text{RGRDP}_{it-1} + \sum_{i=1}^p a_{44} \text{Environment}_{it-1} + \mu_{4it} \end{aligned}$$

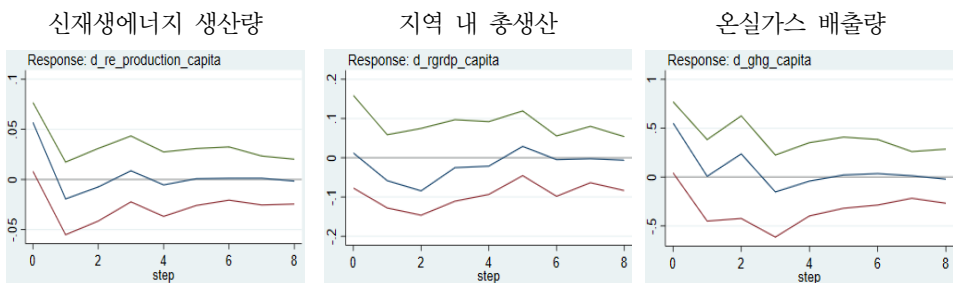
IV. 실증분석 결과

본 연구는 패널 VAR 모형을 통해 충격반응함수(Impulse Response Function, IRF)를 추정하여 어떤 한 변수의 변화가 시스템 내에서 다른 변수들에 미치는 동태적 효과를 분석하였다. 일반적으로 VAR 모형을 통한 분석에서는 도출된 계수추정치를 기반으로 한 변수의 오차항에 충격이 발생할 경우 다른 변수들에 미치는 영향을 보여주는 충격반응함수를 많이 활용한다.

먼저<그림 9>~<그림 12>는 전국 16개 광역시·도를 대상으로 2010~18년 간 충격반응함수에서의 계수(coefficient)를 추정한 결과이다. 동 그림에서 중간에 위치한 실선은 기댓값(expected value)을 나타내며, 그 위와 아래의 실선 사이 공간(area)은 95% 신뢰구간(confidence interval)을 나타낸다. 충격반응함수의 가로축은 기간을, 세로축은 각 기간 중 충격반응함수의 기댓값을 보여준다.

<그림 9>는 에너지 소비량 한단위 충격(one standard deviation shock)에 대한 다른 변수들의 충격반응(impulse response)을 보여준다. 에너지 소비 증가는 당기를 포함해 2년 정도까지 온실가스 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 석탄, 석유 등 화석연료가 국내 에너지 소비 시장에서 높은 비중을 차지하는 데 기인하는 것으로 보인다. 즉, 에너지 소비가 증가하면 화석연료 소비도 증가하게 되는데, 화석연료가 연소되는 과정에서 다량의 온실가스가 배출되기 때문이다. 반면, 에너지 소비량 증가가 신재생에너지 생산과 실질 지역 내 총생산(RGRDP)을 증가시키는 효과는 제한적인 것으로 나타났다.

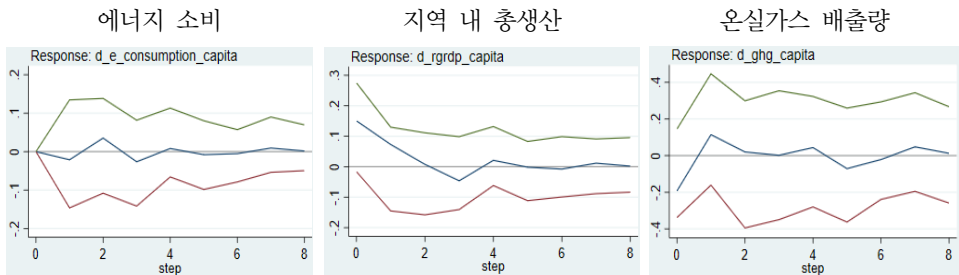
<그림 9> 에너지 소비 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)



<그림 10>은 신재생에너지 생산량 한단위 충격에 대해 다른 변수들이 어떻게 반응하는지를 보여준다. 신재생에너지 생산량에 양(+)의 충격이 가해질 경우 지역 내 총생산을 약 2기에 걸쳐 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이는 신재생에너지 보급 확대에 따른 생산량의 증가가 지역의 경제성장에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 신재생에너지 보급과 이에 대한 투자가 경제성장으로 이어질 수 있음을 보여준 기존연구와 부합한다(김기환·서유정, 2019; 서한결 외, 2019).

반면, 신재생에너지 생산량 증가는 에너지 소비 및 온실가스 배출량에는 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 주요 원인으로서는 국내 에너지 시장에서의 낮은 신재생에너지 비중을 꼽을 수 있다. 정부는 재생에너지 3020, 제3차 에너지 기본계획 및 제5차 신재생에너지 기본계획 등 다양한 에너지 계획과 정책들을 펼치면서 신재생에너지 보급 확대를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만 한국에너지공단의 신재생에너지 보급통계(2019)에 따르면, 2019년 기준 국내 신재생에너지 발전량은 33,029GWh로 총 발전량(587,981GWh) 대비 5.6% 수준에 그치는 것으로 나타난다.¹⁸⁾ 이에 따라 국내 신재생에너지 시장의 충격이 국내 전체 에너지 소비 및 국가 온실가스 배출량 저감에 크게 기여하지 못하는 결과가 도출된 것으로 보인다.

<그림 10> 신재생에너지 생산량 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)

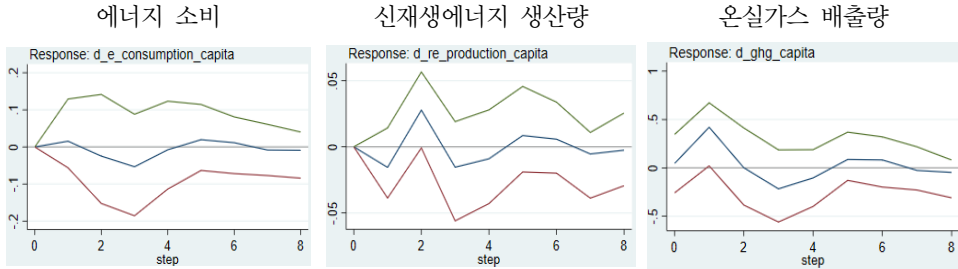


<그림 11>은 실질 지역 내 총생산(RGRDP)의 변화에 따른 다른 변수들의 반응을 보여준다. 그림을 통해 확인할 수 있듯이 지역 내 총생산 증가는 온실가스 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 지역 내 다양한 경제활동 과정에서 화석연료 중심의 에너지

18) 한국에너지공단b(검색일: 2021.05.07.)

소비가 수반되고, 이 과정에서 온실가스 배출량이 증가한 것으로 해석된다.

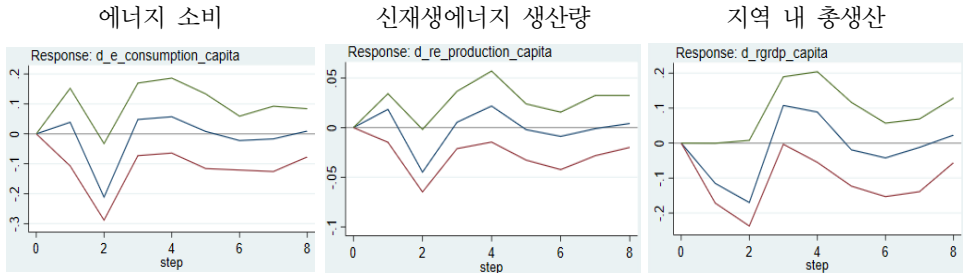
〈그림 11〉 지역 내 총생산 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)



<그림 12>는 온실가스 배출량 충격에 대한 다른 변수들의 반응을 보여준다. 온실가스 배출량 증가는 에너지 소비를 감소시키는 것으로 나타났다. 이는 온실가스 저감목표 달성을 위해 정부가 추진하고 있는 다양한 에너지 절약 및 효율 제고를 위한 정책적 노력의 결과가 일부 나타난 결과일 수 있다. 예를 들면, 정부는 에너지 효율 향상을 위해 건축물 온실가스·에너지 목표관리제(건물부문), 자동차 에너지소비효율 및 등급제(수송부문), 에너지 소비 효율등급 표시제(기기부문) 등을 도입·운영하고 있다.¹⁹⁾ 그리고 온실가스 배출량 증가에 대비하여 신재생에너지 생산량이 증가할 것이라는 기대와는 반대로, 온실가스 배출량 증가는 신재생에너지 생산량을 감소시키는 것으로 나타났다. 온실가스 배출량 증가 시 에너지 소비 감소가 발생하고 이는 전체 에너지의 공급 감소로 이어지게 되는데, 이 과정에서 신재생에너지 생산이 이러한 공급 감소의 영향을 가장 크게 받은 데 기인하는 것으로 보인다. 마지막으로, 온실가스 배출량 충격은 실질 지역 내 총생산(RGRDP)에 음(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 환경의 질 악화가 노동자들의 의료비 증가나 노동생산성 악화, 농작물 등의 생산량 감소 등으로 이어질 수 있기 때문인 것으로 추측된다.

19) 한국에너지공단c(검색일: 2021.05.07.)

〈그림 12〉 온실가스 배출량 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)



또한 패널 VAR 모형의 강건성 검증(robustness check)을 위해 그랜저 인과검정(Granger causality test)과 분석 대상 변수의 순서를 바꿔서 도출한 결과와의 비교 등을 수행하였다. 먼저 그랜저 인과검정 결과에 따른 변수 순서는 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량의 순으로 나타났다. 또한 신재생에너지가 정책 규제 및 지원의 영향을 많이 받는다는 점을 고려하여 변수의 순서를 신재생에너지 생산량, 에너지 소비량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량으로 구성하고 분석을 시행하였는데, 기존의 분석 결과와 유사함을 확인하였다. 즉, 에너지 소비 증가가 온실가스 배출량을 증가시키고, 신재생에너지 생산량 증가는 실질 지역 내 총생산을 그리고 실질 지역 내 총생산 증가는 온실가스 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다.

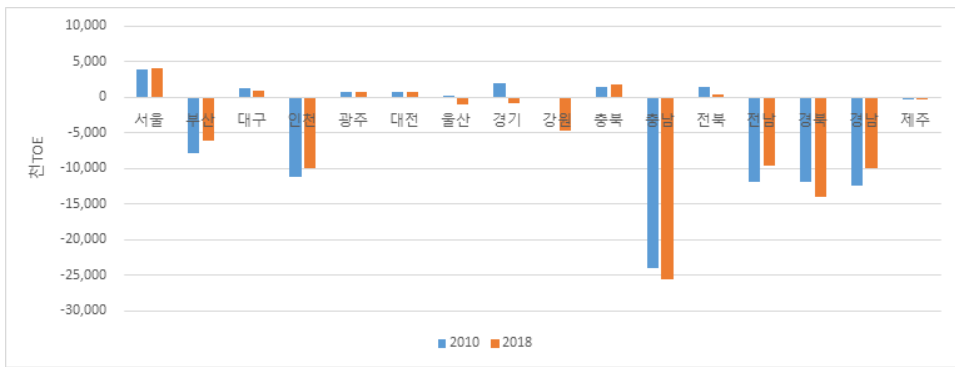
다음으로 본 연구는 에너지 수요뿐만 아니라 공급 측면에서의 지역별 특성을 고려한 분석을 위해 추가적인 실증분석을 수행하였다. 이를 위해 온실가스 다배출 지역이면서 전력자립도(전력생산/전력소비)가 100% 이상인 5개도(충남, 강원, 전남, 경북, 경남)²⁰⁾를 대상으로 에너지 요소, 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 간의 관계를 분석하였다. 특히 충남(2018년 기준)은 전국 광역시·도 중에서 온실가스 배출과 전력자립도에서 각각 1위를 차지하고 있다.

한편, 추가적인 분석 대상인 5개 도는 공통적으로 지역 내에서 생산한 유휴 전력을 수도권, 인근 광역시 등 다른 지역으로 공급하고 있다. 이러한 지역 에너지 수급구조의 특성을 반영하기 위해 에너지 소비 부문과 함께 에너지 공급 부문도 함께 고려하였다. 특히

20) 9개 도 중에서 2018년 기준 온실가스 배출량은 충남, 전남, 경기, 경남, 경북, 강원 순으로 많았으며, 전력자립도가 100% 이상인 지역은 충남(249%), 전남(176%), 강원(184%), 경북(166%), 경남(151%) 등 5개 지역이었다(환경부 온실가스종합정보센터, 에너지경제연구원 지역에너지통계연보).

에너지 소비량과 에너지 공급량의 차이를 나타내는 ‘에너지 순소비량’ 개념을 활용하여 에너지 순소비량 변수를 패널 VAR 모형에 포함하였다. 에너지 순소비량은 특정 지역에서 에너지 소비와 에너지 공급의 차이를 보여주는 지표로 지역 내에서의 전체 에너지 소비 및 공급의 순증가 혹은 순감소를 보여준다. 예를 들면, 에너지 공급이 소비보다 많은 충남과 같은 지역은 에너지 순소비가 다른 지역보다 작게 나타난다. 지역별로는 <그림 13>에서 알 수 있듯이 2018년 기준 에너지 순소비가 마이너스(-)인 지역은 충남, 경북, 경남, 전남, 부산, 강원, 제주 등으로 나타났다. 추가 분석 대상인 5개 도는 모두 에너지 순소비가 마이너스(-) 값을 가지고 있다.

<그림 13> 지역별 에너지 순소비 비교

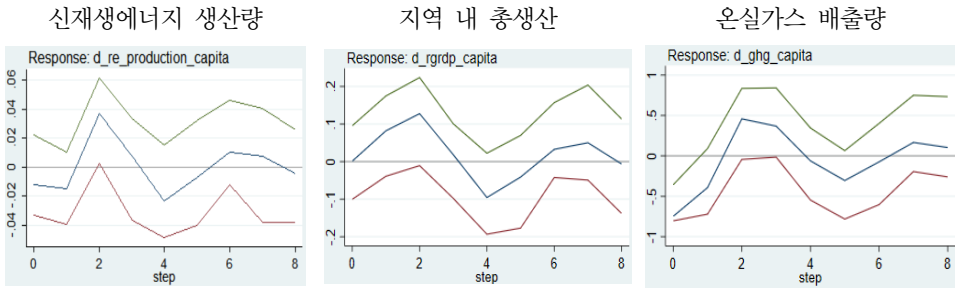


출처: 에너지경제연구원, 「지역에너지통계연보」(2019).
 주: 저자 재구성.

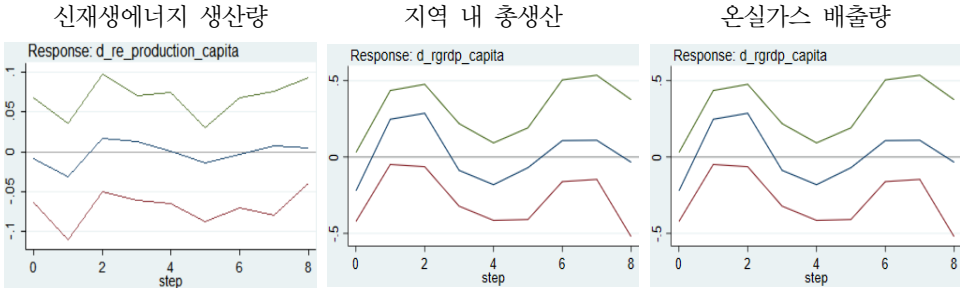
<그림 14>와 <그림 15>는 16개 광역시·도와 온실가스 배출이 많고 전력자립도가 100% 이상인 5개 도의 에너지 순소비량 충격에 대한 다른 변수들의 충격반응을 각각 보여준다. 먼저 전국 단위에서는 에너지 소비와 공급을 함께 고려한 에너지 순소비(에너지 소비량-에너지 공급량) 증가가 일부 기간(2기 후)에 신재생에너지 생산을 유의하게 증가시키는 반면, 5개 도의 경우에는 신재생에너지 생산에 유의미한 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이는 5개 도의 경우 에너지 순소비가 주로 에너지 공급에 의해 결정되고 있음을 고려할 때, 이들 지역에서의 에너지 공급이 재생에너지보다는 석탄, 석유 등 화석연료에 크게 의존하기 때문인 것으로 보인다.

또한 에너지 순소비 증가는 16개 광역시·도와 5개 도에서 공통적으로 온실가스 배출을 감소시킬 수 있는 것으로 나타난 가운데, 특히 5개 도에서 효과의 정도가 전국보다 더 큰 것으로 나타났다.

<그림 14> 에너지 소비 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)

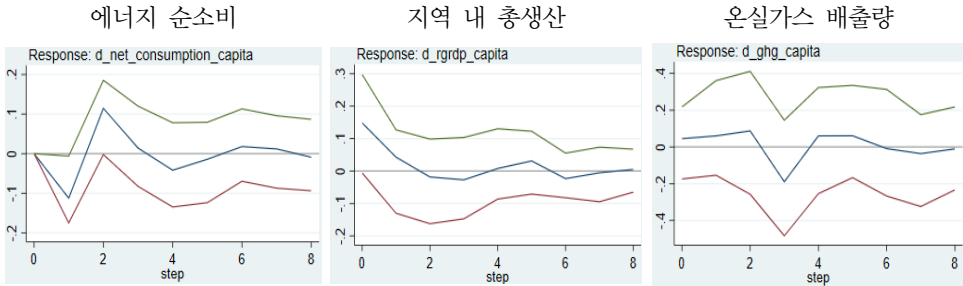


<그림 15> 에너지 순소비 충격에 따른 반응(5개 도)

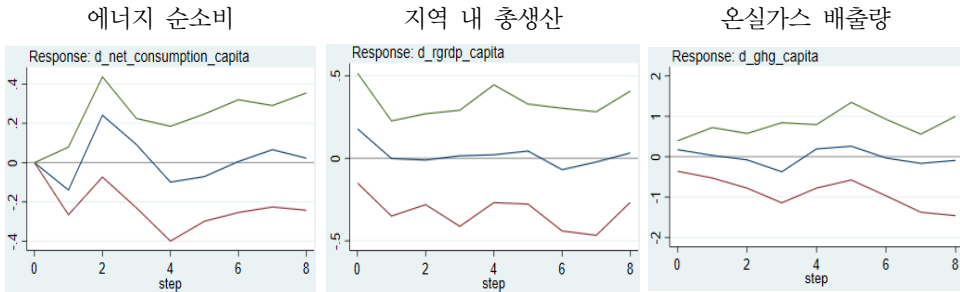


<그림 16>과 <그림 17>은 신재생에너지 생산 한단위 충격에 대한 에너지 순소비, 지역 내 총생산, 온실가스 배출 등 다른 변수들의 반응을 보여준다. 16개 광역시·도와 5개 도 모두에서 신재생에너지 생산 증가가 당기 및 1~2기에 걸쳐 지역 내 총생산을 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

〈그림 16〉 신재생에너지 생산량 충격에 따른 반응(16개 광역시·도)



〈그림 17〉 신재생에너지 생산량 충격에 따른 반응(5개 도)



V. 결론 및 정책적 시사점

본 연구는 2010년부터 2018년까지 우리나라의 16개 광역시·도(세종시 제외)별 자료와 패널 벡터자기회귀(Panel VAR) 모형을 이용하여 에너지 소비량, 신재생에너지 생산량, 실질 지역 내 총생산, 온실가스 배출량 간의 관계를 실증분석하였다. 또한 본 연구에서는 최근 지역 중심의 에너지 계획 및 정책의 중요성이 높아지는 상황을 고려하여 지역의 에너지 공급구조 특성을 반영한 추가분석도 수행하였다. 즉, 온실가스 다배출 및 에너지 공급상 초과공급을 나타내는 전력자립도 100% 이상 지역권 5개 도(충남, 강원, 전남, 경북, 경남)를 대상으로 추가적으로 전국과 비교분석하였다.

먼저 전국 16개 광역시·도별 자료를 이용하여 분석한 결과, 에너지 소비량 증가는 신재생에너지 생산량이나 지역 내 총생산에는 유의미한 영향을 미치지 않은 가운데 온실

가스 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다. 신재생에너지 생산량 증가는 지역 내 총생산을 증가시킬 수 있는 것으로 나타났으나, 에너지 소비와 온실가스 배출 저감에는 유의한 영향을 미치지 않았다. 지역 내 총생산 증가는 에너지 소비량과 신재생에너지 생산량에는 별 영향을 주지 않으나 온실가스 배출량은 증가시키는 것으로 나타났다. 다만, 에너지 소비량 충격과 지역 내 총생산의 증가가 신재생에너지 생산량에 유의미한 영향을 미치지 않는다는 결과에 대한 해석에는 주의가 필요하다. 앞에서 이미 언급하였듯이 신재생에너지가 우리나라의 전체 에너지믹스에서 차지하는 비중이 매우 낮아 신재생에너지 요소의 영향력이 작게 나타난 것이지, 신재생에너지 요소 자체의 중요도가 낮은 것은 아닌 것으로 판단된다. 향후 재생에너지 중심의 분산형 공급 구조가 정착될 경우 상기의 결과는 달라질 수도 있을 것으로 보인다. 온실가스 다배출 및 에너지 에너지 수급상 초과 공급이 많은 5개 도의 에너지 순소비(총소비-총공급) 증가는 전국에 비해 온실가스 배출량을 더 크게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 전국을 대상으로 한 분석 결과와 마찬가지로 5개 도에서도 신재생에너지 생산 증가는 지역 내 총생산에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 우리나라의 친환경 에너지 구조전환을 위한 정책적 시사점을 다음과 같이 도출할 수 있다. 각 지자체는 에너지 저소비 및 저탄소 배출 산업을 적극적으로 발굴·육성할 필요가 있다. 예를 들면, 전국 16개 광역시·도 중 온실가스 배출을 가장 많은 충남의 경우, 석탄화력발전소가 다수 입지²¹⁾한 데다 철강, 석유화학, 자동차부품 등 주력제조업이 온실가스 다배출 업종인데 기인한다. 이는 지역 경제를 발전시키면서 온실가스 배출량을 감축하기 위해서는 지역 내 석탄화력발전소의 축소²²⁾와 LNG 및 신재생에너지 연료사용 발전소로의 전환과 더불어 주력산업에서의 에너지 효율 제고 및 온실가스 저감 노력이 긴요함을 시사한다. 다른 한편으로는 지속가능한 경제 성장을 위해서는 보다 친환경적인 기술중심 산업 등을 지역의 대표 산업으로 적극 유치할 필요가 있다.

21) 2018년 기준으로 충남지역에 운영 중인 석탄화력발전소는 30개(전국 61개)로 설비용량이 18,085MW(전국 35,408MW; 51.1%)이며, 발전량은 111,948,119MWh(전국 231,653,042MWh; 48.3%)에 달한다(여형범, 2020).

22) 충남도는 제9차 전력수급 기본계획 등을 반영하여 2020년 12월 석탄화력발전소 2기(보령화력 1, 2호기)를 조기폐쇄하였으며, 2032년까지 12기를 단계적으로 폐쇄하고 2050년까지 모든 석탄화력발전소의 폐쇄를 추진할 예정이다.

다음으로 에너지 공급 측면에서는 신재생에너지 생산 증가가 지역 내 경제성장에도 긍정적인 영향을 미친다는 점을 고려할 때, 화석에너지에서 신재생에너지 중심으로의 구조적 전환 노력이 매우 중요하다. 이를 위해 정부와 지자체는 신재생에너지 보급 확대를 위한 다양한 인센티브를 도입하는 동시에 화석연료 사용에 대해서는 규제를 강화할 필요가 있다. 또한 지역 내 신재생에너지 보급을 가속화하기 위한 방안 중 하나로 신재생에너지원의 다양화를 고려해볼 수 있다. 먼저 보다 적극적인 신재생에너지 보급 확대를 위해서는 다양한 에너지원을 활용하는 것이 중요하다. 국내 신재생에너지 생산(2019년 기준)을 에너지원별로 살펴보면 폐기물(43.4%)과 태양광(17.2%)의 비중이 상대적으로 높은 것으로 나타나는데, 우리나라의 지리적 특성을 고려할 때 해양풍력 발전 확대도 좋은 방안의 하나로 생각된다. 다른 한편으로 가정, 건물 및 산업 부문에서의 열수요에 대응하기 위해 태양열, 지열과 같은 재생열에너지 보급을 확대할 필요가 있다. 해외 주요국들은 기후변화 대응을 위한 탈탄소화 정책 수단 중 하나로 열 부문에서의 재생에너지 비중을 적극적으로 높이고 있는 사례를 참고해볼 만하다. 또한 신재생에너지원 중에서 가장 빠르게 비용경쟁력을 확보해가고 있는 태양광 발전은 신재생에너지 보급 확대에 있어 여전히 중요한 역할을 할 수 있다. 특히 기존 부지를 활용한 지붕·건물·영농형 태양광의 확대도 적극 고려할 필요가 있다.

한편, 본 연구는 지역 내 에너지, 경제성장 그리고 온실가스 배출 간의 관계분석을 통해 지역 에너지 시장 변화가 지역경제 및 대기환경에 미치는 영향에 대해 의미 있는 결과와 정책적 시사점을 제시하고 있음에도 불구하고 다음과 같은 한계가 있음을 밝혀둔다. 먼저 일반적으로 에너지 소비와 경제성장, 혹은 환경요소 간의 관계 분석 시 잠재적인 내성성 문제로 인해 편향되고 일관되지 않은 추정치를 초래할 가능성이 있는데, 지역경제 및 환경에 종합적으로 영향을 미칠 수 있는 자본, 노동과 같은 요소들이 모형에 포함될 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 16개 광역시·도를 대상으로 2010~18년까지의 연간자료를 활용하였는데, 국가 단위 패널모형 분석을 위한 정보로는 충분할 수 있으나 시·도별 분석을 위해서는 다소 부족한 수준이다. 일반적으로 VAR 모형 추정을 위한 자료는 시계열의 길이가 충분하고 밀도가 높을수록 회귀모수 추정치의 신뢰성 확보와 예측의 정확성이 높아진다(김명중·김상겸, 2018). 향후 시·군·구별 자료를 활용할 수 있다면 개별 광역시·도 수준에서도 분석이 가능할 것으로 보인다. 다른 한편으로는 환경 관련 변

수로 온실가스 배출량 대신 미세먼지 농도 변수를 포함하여 에너지 및 경제 변수와 미세먼지 농도 간의 상관관계에 대한 분석도 향후 연구로 의미가 있을 것으로 생각된다.

[References]

- 김기환·서유정, “재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석(1/4)”, 『에너지경제연구원 기본 연구보고서』, 2019, pp. 19~22.
- 김명중·김상겸, “패널벡터자기회귀모형을 이용한 대형유통의 지역 경제 파급효과 분석”, 『사회과학연구』, 제44권 제3호, 2018, pp. 91~116.
- 김수이, “국내 제조업부문의 에너지소비, 생산, 수출간의 인과관계 분석” 『자원·환경경제연구』, 제16권 제1호, 2017, pp. 37~56.
- 김재화·김현석, “신재생에너지 발전이 우리나라 CO₂ 배출에 미치는 영향분석” 『에너지경제연구』, 제14권 제3호, 2015, pp. 185~201.
- 배정환·정서립, “신재생에너지의 확산이 대기오염 배출 저감에 미치는 영향 분석” 『신재생에너지』, 제16권 제3호, 2020, pp. 13~26.
- 서한결, “신재생에너지 가치사슬 산업의 경제적 파급효과 비교분석: 2010, 2015년 산업연관표를 활용하여”, 『경영교육연구』, 제34권 제6호, 2019, pp. 583~599.
- 소진영, “RPS 대응 국내외 바이오·폐기물에너지원 잠재량 분석 및 확보방안, 『에너지경제연구원 기본연구보고서』, 2013, pp. 13~22.
- 손민희 외, “패널분석을 이용한 지역별 태양광발전량 보급요인 분석”, 『한국자원공학회지』, 제54권 제2호, 2017, pp. 149~159.
- 여형범, 『노후석탄화력발전소의 단계적 폐쇄와 친환경에너지(발전소) 전환 타당성 연구(1차년도)』, 충남연구원, 2020.
- 여형범, 『충청남도 에너지전환 비전 수립 연구용역』, 충남연구원, 2017.
- 오병기, “동태적 패널 분석을 이용한 광역자치단체 투자적 지출의 지역경제 성과 분석”, 『지방행정연구』, 제26권 제1호, 2012, pp. 137~160.
- 이성로, “수도권과 지방권 수요예측모형을 통한 전국 도시가스 수요전망의 예측력 향상”, 『자원·환경경제연구』, 제26권 제4호, 2017, pp. 519~547.

이성로·하중현, “지역별 산업용 도시가스 수요예측모형”, 『에너지경제연구』, 제18권 제2호, 2019, pp. 137~166.

정용훈·김수이, “한국의 CO₂ 배출, 경제성장 및 에너지믹스와의 관계 분석” 『자원·환경경제연구』, 제21권 제2호, 2015, pp. 271~299.

조일현·이재석, “국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석”, 『에너지경제연구원 기본연구보고서』, 2020, pp. 20~27.

충청남도, 『충청남도 제6차 지역에너지계획』, 2020.

환경부 온실가스종합정보센터, 『2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서』, 2021.

서울특별시(녹색에너지과), 서울특별시 에너지 조례 (검색일: 2021.05.07.)

<https://www.law.go.kr/LSW/ordinInfoP.do?ordinSeq=1287259&gubun=KLAW#AJAX>

에너지경제연구원, 지역에너지통계연보 (2019) (검색일: 2021.05.16.)

http://www.kesis.net/sub/sub_0003.jsp

통계청, 성장과 안정 - GDP(시/군/구) (검색일: 2021.05.16.)

https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_GTITLE01&menuId=M_01_03_01&outLink=Y&entrType=#content-group

통계청, 환경-신·재생에너지원별(열량) 생산량(시도) (검색일: 2021.05.16.)

https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_GTITLE01&menuId=M_01_03_01&outLink=Y&entrType=#content-group

한국에너지공단a, 공급의무화(RPS) (검색일: 2021.05.07.)

https://www.knrec.or.kr/business/rps_guide.aspx

한국에너지공단b, 2019년 신·재생에너지 보급통계(2020년 공표) (검색일: 2021.05.07.)

<https://www.knrec.or.kr/pds/statistics.aspx>

한국에너지공단c, 에너지효율향상 (검색일: 2021.05.07.)

https://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/machine_01.asp

환경부 온실가스종합정보센터, 2020년 국가 온실가스 인벤토리(1990-2018) 보고서 (검색일: 2021.05.17.)

<http://www.gir.go.kr/home/board/list.do?maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&boardMasterId=2&menuId=36&condition.boardCategoryId=&pageNumberOffset=0>

한국테크노파크진흥회 홈페이지 (검색일: 2021.09.03.) <http://www.technopark.kr/>

- Al-mulali, U., Fereidouni, H., Lee, J., and C. Sab, “Exploring the Relationship between Urbanization, Energy Consumption, and CO₂ Emissions in MENA Countries,” *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 23, 2013, pp. 107~112.
- Bilgili, F., Kocak, E., and U. Bulut, “The Dynamic Impact of Renewable Energy Consumption on CO₂ Emissions: A Revisited Environmental Kuznets Curve Approach,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, 2016, pp. 838~845.
- Charfeddine, L., and M. Kahia, “Impact of Renewable Energy Consumption and Financial Development on CO₂ Emissions and Economic Growth in the MENA Region: A Panel Vector Autoregressive (PVAR) Analysis,” *Renewable Energy*, Vol. 139, 2019, pp. 198~213.
- Dong, K., G. Hochman, Y., Zhang, R., Sun, H., Li, and H. Liao, “CO₂ Emissions, Economic and Population Growth, and Renewable Energy: Empirical Evidence across Regions,” *Energy Economics*, Vol. 75, 2018, pp. 180~192.
- Holley, C., and E. Lecavalier, “Energy Governance, Energy Security and Environmental Sustainability: A Case Study from Hong Kong,” *Energy Policy*, Vol. 108, 2017, pp. 379~389.
- IEA, *Statistics Report Renewables Information Overviews*, 2020a.
- IEA, *Sustainable Recovery*, 2020b.
- IRENA, *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019*, 2019.
- IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2019*, 2020.
- Koc, S. and G. Bulus, “Testing Validity of the EKC Hypothesis in South Korea: Role of Renewable Energy and Trade Openness,” *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, 2020, pp. 29043~29054.
- Masson-Delmontte, V. et al., *Global Warming of 1.5°C*, IPCC, 2018.
- Pedroni, P., “Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors,” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61, 1999, pp. 653~670.
- REN21, *Global Status Report*, 2009-2020.
- Serletis, A., and J. Herbert, “The Message in North American Energy Prices,” *Energy Economics*, Vol. 21, 1999, pp. 471~483.
- Shahbaz, M., S. A. Solarin, S. Hammoudeh, and S. Shahzad, “Bounds Testing Approach to Analyzing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis with Structural Breaks: The Role of Biomass Energy Consumption in the United States,” *Energy Economics*, Vol. 68, 2017,

pp. 548~565.

Silva, S. and C. Pinho, “The Impact of Renewable Energy Sources on Economic Growth and CO₂ Emissions – A SVAR Approach,” *European Research Studies*, Vol. 15, No. 4, 2012, pp. 133~144.

Theodore, P., and R. Emilie, “Oil and Gas Markets in the UK: Evidence from a Cointegrating Approach,” *Energy Economics*, Vol. 29, No. 2, 2007, pp. 329~347.

Tiwari, A., “Energy Consumption, Emissions and Economic Growth: Evidence from India,” *Journal of International Business and Economy*, Vol. 12, No. 1, 2011, pp. 85~122.

Twumasi, Y., “Relationship between CO₂ Emissions and Renewable Energy Production in the United States of America,” *Archives of Current Research International*, Vol. 7, No. 1, 2017, pp. 1~12.

Yu, S., Y. Zheng, and L. Longxi, “A Comprehensive Evaluation of the Development and Utilization of China’s Regional Renewable Energy,” *Energy Policy*, Vol. 127, 2019, pp. 73~86.