

연구논문

CO₂ 배출에 대한 경제자유지수, 재생에너지 발전율, 에너지 소비량과 GDP의 영향력 분석

천세원¹⁾ · 김주한¹⁾ · 김진수^{1)*}

An Analysis on the Influence of Economic Freedom Index, Renewable Energy Generation Ratio, Energy Consumption and GDP on CO₂ Emission

Seweon Cheon, Juhan Kim, and Jinsoo Kim*

(Received 31 May 2017; Final version Received 26 June 2017; Accepted 22 June 2017)

Abstract : The importance of reducing CO₂ emissions worldwide has increased after adopting the Paris Agreement. The decoupling between economic growth and CO₂ emissions is also observed from 2013. In view of this situation we wanted to analyze the effect of other variables on CO₂ emissions as well as economic growth. In this study we used panel data to analyze the effect of economic freedom index, renewable energy generation rate, per capita energy consumption and GDP on per capita CO₂ emissions. For the panel analysis, we used panel data from 2005 to 2013 in 111 countries. Three models were investigated: including all variables (Model 1), excluding energy consumption (Model 2), and excluding GDP (Model 3). As results, the economic freedom index was only significant in Model 2. Renewable energy generation rate showed meaningful as negative correlation with CO₂ emissions. GDP and energy consumption showed significant positive correlations in all models.

Key words : CO₂ emission, Energy Consumption, Economic freedom index, Panel analysis

요약 : 파리 협정의 채택으로 전 세계적으로 CO₂ 감축의 중요성이 증대되고 있다. 또한 2013년부터는 경제성장과 CO₂ 배출 사이의 탈동조화현상이 나타나기 시작했다. 이러한 상황에 주목하여 경제성장뿐 아니라 다른 변수의 CO₂ 배출에 대한 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 1인당 CO₂ 배출량에 대해 경제자유지수, 재생에너지 발전율, 1인당 에너지 소비량 및 GDP가 미치는 영향을 파악하기 위해 패널 데이터를 활용하여 실증 분석하였다. 분석기간은 2005년부터 2013년까지이며 총 111개 국가를 대상으로 패널 분석을 수행하였다. 모든 설명변수를 사용한 모형 (Model 1), 1인당 에너지 소비량을 제외한 모형(Model 2), 1인당 GDP를 제외한 모형(Model 3)의 3가지 모형으로 분석을 수행하였다. 그 결과, Model 2에서만 경제자유지수가 유의한 값을 보였다. 재생에너지 발전율은 모든 모형에서 CO₂ 배출과 유의한 음의 상관관계를 보였으며, GDP 및 에너지 소비량의 경우 검토한 모든 모형에서 CO₂ 배출과 유의한 양의 상관관계를 보였다.

주요어 : CO₂ 배출, 에너지 소비, 경제자유지수, 패널 분석

서 론

환경 쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC) 이론에 의하면 국가의 경제 발전이 일정 수준을 넘게 되면 환경오염을 줄이고자 하는 노력을 통해 경제발전과 환경오염도의 관계를 나타낸 곡선이 역U자형의 형태를 띠게 된다.

이러한 가설은 세계 각국의 경제성장 초기의 CO₂를 포함한 오염물질의 배출 정도와 경제성장이 일정 궤도에 오른 후 환경 오염도를 평가하여 확인할 수 있다. 실제 많은 국가들에서 EKC 가설과 부합하는 결과가 나타났다. 더불어 최근 진행된 IEA(2015)와 DIW Econ(2015)에서도 EKC 가설을 확인할 수 있었다. 연구에 따르면 2013년 세계의 경제성장과 CO₂ 배출을 비교하였을 때 EKC 가설과 같이 CO₂ 배출량과 경제성장 간의 비례 관계가 일정 수준의 경제성장 이후에는 탈동조화 된다고 나타났다. 이러한 연구 결과는 EKC 가설을 뒷받침하는 근거가 되지만, 한편으로는 CO₂ 배출에 대한 영향력을 분석하는데 있어서는 GDP

1) 한양대학교 자원환경공학과

*Corresponding Author(김진수)

E-mail; jinsookim@hanyang.ac.kr

Address; Dept. of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

뿐 아니라 탈동조화 현상이 관측되지 않은 다른 변수들을 함께 고려하는 것이 향후 보다 의미 있는 결과를 얻을 수 있음을 시사하고 있다. 그 예로 GDP를 대신할 수 있는 경제변수를 사용하거나 CO₂ 배출과 관련이 있는 에너지믹스, 에너지 소비량 등을 사용하는 방법이 있다. 또, 원자력에너지, 재생에너지와 같은 비화석에너지원에 대해 대부분의 국가들이 관심을 가지고 있음에 따라 이들을 변수로 사용하는 것도 좋은 방안이 될 수 있다.

이러한 차원에서 본 연구에서는 GDP와 더불어 CO₂ 배출에 영향을 미치는 경제변수들을 사용하여 국가의 경제성장뿐 아니라 전체적인 경제 상황에 대해 다루고자 하였다. 먼저, 경제 수준을 나타내는 지표에는 국가의 경제 성장률 등 생산의 중심 지표이자 가장 많이 사용되는 GDP가 있다. 이외에도 경제자유지수, 소비, 소득, 노동력, 물가수준 등 다양한 변수들이 존재한다. 본 연구에서는 이러한 변수들 중에서 GDP와 경제자유지수를 사용하였다.

경제자유지수는 The Heritage Foundation과 Wall Street Journal에서 발표하는 지수로 한 국가 내에서 경제주체들이 얼마나 자유롭게 경제활동을 하는지를 나타낸 지수이다. 지수를 평가하는데 사용되는 요소들은 법치, 정부규모, 규제효율성, 시장개방의 4개의 상위 범주로 구분된다. 법치부문은 다시 재산권, 정부 투명성, 사법효율성으로 나누어진다. 그 중에서 재산권은 물적재산권, 지적재산권, 투자자보호능력, 몰수 위험과 지적행정의 질을 측정한다. 정부 투명성은 정치인에 대한 신뢰, 뇌물, 정책결정의 투명성, 부패 정도와 인식 그리고 행정 조직의 투명성으로 산출된다. 사법효율성은 사법권의 독립, 사법절차의 질, 유리한 사법 결정을 얻을 가능성을 평가하여 얻어진다. 정부규모 부문은 세금부담, 재정건전성, 정부지출로 구성된다. 세금부담은 개별 소득 및 기업 소득에 대한 최고 한계 세율과 총 GDP 대비 조세부담률로 산출된다. 재정건전성은 최근 3년간 GDP 대비 평균 적자와 GDP 대비 부채를 이용하여 계산된다. 정부지출은 0에 가까울수록 유리한 점수를 부여한다. 규제효율성부문은 사업자자유도, 노동자유도, 화폐유통자유도로 구성된다. 기업자유도는 사업시작과 사업자 면허를 얻는데 그리고 사업에 필요한 전기를 얻기 위한 절차의 수, 시간, 비용, 최소자본을 사용한다. 그리고, 폐업까지의 시간, 비용, 회수율까지 활용함으로써 점수를 산출하였다. 노동자유도를 계산하는데 사용된 설명변수는 노동자를 추가로 고용할 때의 방해도, 노동 시간, 노동자 감축의 어려움, 법적 의무 공지 기간, 정년 퇴직 수당, 노동 참여율이다. 화폐유통자유도는 최근 3년간의 가중 평균 인플레이션율과 가격통제 정도로 산출된다. 마지막으로, 시장개방부문은 무역자유도, 투자자유도, 금융자유도로 이루어진다. 무역자유도를 계산하는데 사용된 설

명변수는 무역 가중 평균 관세율과 비관세장벽이다. 투자자유도는 외국인 투자에 대한 국가적 관리, 외국인 투자 법규, 토지 소유에 대한 규제, 부문별 투자 규제, 공정한 보상이 없는 투자 회수, 외환 관리, 자본 관리 분야를 각각 산정한 점수를 활용하여 계산된다. 금융자유도를 산출하는데 사용된 설명변수는 금융 서비스에 대한 정부 규제 정도, 직간접적 소유권을 통한 금융기업과 은행에 대한 국가 개입의 정도, 신용장 개설에 대한 국가의 영향 그리고 금융 및 자본 시장의 발전 정도이다. 이렇게 상위 4개 부문을 세분화한 12개의 항목은 개별 설명변수들을 통해 각 100점 만점으로 평가되며 최종으로 산출되는 경제자유지수는 이들 항목에 동일한 가중치를 부여하여 산출한 평균값이 된다.¹⁾ 지수가 높을수록 해당 국가의 경제활동이 자유롭다는 것을 의미한다. 경제자유지수의 평가에 사용되는 요소들이 경제를 단면적인 부분이 아니라 여러 항목들을 바탕으로 다양한 시각에서 평가하기 때문에 경제상황을 나타내는 변수로서 그 가치가 높다.

교토의정서에서는 감축 의무국이 선진국에 한정되었지만, 파리협정에서는 모든 당사국이 감축의 의무를 가지며 우리나라도 그 대상이 된다는 점에서 그 의미가 남다르다. 특히 우리나라는 2030년까지 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 37%를 감축하는 것을 목표로 삼았으므로, 이를 성실하게 이행하기 위해서는 많은 관심과 준비가 필요할 것으로 보인다. 파리협약의 원활한 이행과 여러 환경문제의 근원이 되는 CO₂ 배출을 저감시키는 정책을 마련하기 위해서는 우선적으로 CO₂ 배출에 영향을 미치는 요인들을 파악하려는 연구의 필요성이 증대될 것이며, 본 연구는 그 기반을 다졌다고 볼 수 있다.

많은 연구들에서 OECD 국가 또는 비 OECD 국가만을 대상으로 하였지만, 본 연구에서는 특정한 기준으로 구분하지 않고 111개국의 개별 변수들의 영향력을 분석하였다는 점에서 기존의 논문들과 구분된다. 또 다른 연구들과 달리 설명변수의 구성에 변화를 주어 설명변수가 모두 포함한 모형, 에너지 소비량을 제외한 모형, GDP를 제외한 모형으로 변수들 간 상관관계를 비교 분석했다는 점에서도 의미가 있다.

본 연구에서는 패널 분석에 활용되는 설명변수들의 2005년부터 2013년까지 데이터를 모두 가지고 있는 111개국을 대상으로 분석을 진행하였다. 경제자유지수는 The Heritage Foundation과 Wall Street Journal에서 매년 발표하는 경제자유지수를 이용하였으며, CO₂ 배출은 EU 산하의 연구 협력체인 Emissions Database for Global Atmospheric Research

1) 경제자유지수 측정 방법에 대해서는 Terry and Anthony(2013) 참조.

(EDGAR)의 자료를, 재생에너지 발전율과 에너지 소비량은 World Energy Balance의 자료를 이용하였다. GDP는 World Bank의 자료를 이용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 경제자유지수와 CO₂ 배출 또는 GDP와 CO₂ 배출 간의 관계와 관련하여 진행된 국내외 연구에 대해 비교 분석하였다. 3장에서는 본 연구에서 사용한 분석방법에 대해서 설명하였으며, 4장에서는 3장에서 기술한 방법을 바탕으로 진행한 패널 분석의 결과를 제시하였다. 마지막으로 5장의 결론에서는 본 연구의 분석 결과에 대한 의미를 간단히 정리하고 결과의 정책적 활용 가능성에 대해 논하였다.

선행연구

경제자유지수와 관련하여 이루어진 연구들은 크게 경제성장과의 관계를 분석한 연구와 CO₂ 배출에 대한 영향력을 분석한 연구로 나눌 수 있다. Gwartney 등(1999)은 선행연구들을 기반으로 경제성장에 긍정적인 영향을 주는 요소들과 국가 성장률에 핵심적으로 기여하는 제도적·정책적 요소들을 찾고자 하였다. 먼저 경제자유도²⁾와 경제성장 사이의 관계를 회귀 분석하였다. 사용된 회귀식은 4가지로 경제자유도와 정치적 자유도를 독립변수로 하는 회귀식, GDP에 대한 투자율(투자/GDP)을 독립변수로 추가한 회귀식, 인적자본의 측정을 추가한 회귀식, 1980~1995년 사이의 부양비의 변화를 모형에 추가한 회귀식이다. 연구결과에 따르면 경제자유도가 높을수록 높은 경제성장률을 보이며 반대 방향으로서는 가설이 성립하지 않는다는 것이 확인되었다. 분석 결과 정치적자유도가 경제자유도 보다 경제성장에 미치는 영향이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 경제성장을 지지하는 제도적 환경은 경제성장의 핵심 결정요인 중 하나라는 것을 시사한다.

경제자유도와 CO₂ 배출과의 관계에 대해 분석한 선행연구인 Carlsson과 Lundström(2000)에서는 정치적·경제적 자유가 CO₂ 배출에 미치는 영향을 고소득 국가와 저소득 국가로 구분하여 비교하였다. Shafik(1994)에서 제안한 환경의 질을 결정하는 요인 중 하나인 환경 공공재의 공급에 대한 사회적 결정을 반영하는 정책에 초점을 맞춰 경제자유도와 정치적 자유도가 CO₂ 배출에 어떠한 영향을 미치는지 실증 분석하였다. 분석결과 정치적 자유도는 CO₂ 배출에 아무런 영향을 미치지 않으며, 경제자유도는 고소득 국가에서는 양의 효과를, 저소득 국가에서는 음의 효과가 나타남을 확인하였다. 연구결과에 따르면 고소득 국가와 저소득 국가 모두에서 경제성장과 환경의 질에 대해 긍정적

인 효과를 나타내는 요소는 찾아볼 수 없었다.

Dawson(2003)은 장기 경제성장과 정치·경제 자유도의 상관관계가 아닌 인과관계에 대해 분석하였다. 이를 위해 연구에서는 성장과 투자 요소 각각에 대해 자유도 전체 값과 개별 평가항목들을 모두 활용한 Granger 인과성 검정을 수행하였다. 분석 결과 경제자유도가 성장을 촉진하고, 자유도의 수준과 변화는 성장과 같이 결정되는 것으로 나타났다. 경제자유도의 평가 항목들 중에서 시장과 재산권이 경제성장에 큰 영향을 미치며, 장기적인 경제 번성에 있어서는 자유로운 시장과 재산권의 역할이 중요함을 보여주었다. 경제성장으로 국제 금융 관련 자유도에 변화가 생기는 것으로 나타났고, 이는 투자를 유발하는 것으로 확인되었다. 재정 및 가격 안정성의 자유는 그 경제성장과 함께 결정되고 변하는 것으로 나타났다. 마지막으로 정치적·시민적 자유는 경제성장에 직접적으로 영향을 미친다고 나타났다.

Lee(2008)는 헤리티지 재단의 경제자유지수와 세계은행의 기업규제지수를 이용하여 두 지수 간의 상관관계와 2003년부터 2007년까지의 지역별·소득수준별 변화를 분석하였다. 경제자유와 규제지수가 각각 경제성장에 어떠한 영향을 미치는지 개별 추정모형을 이용하여 분석하였고, 경제자유지수와 규제지수 사이에는 음의 상관관계가 있음을 확인하였다. 내생성에 따라 기업규제지수와 1인당 GDP 성장률의 관계가 달라질 수 있는 문제 해결을 위해 Durbin-Wu-Hausman 검정을 실시하여 설명변수의 내생성을 검정하였다. 내생성을 교정하기 위하여 도구변수를 사용하지 않은 단순최소사승법에 의한 추정결과와 도구변수를 사용하여 2단계최소제곱법(Two Stage Least Squares regression, 2SLS)을 따른 결과를 모두 제시하고 있다. 이러한 내생성 검정 방식들은 경제자유지수와 1인당 GDP 성장률의 관계 분석에도 동일하게 적용되었다. 분석 결과 기업규제의 강화는 경제성장을 억제하며, 높은 경제 자유는 경제성장에 양의 효과를 불러오는 것을 확인하였다.

Silva 등(2012)은 1960년부터 2004년까지의 기간 동안 발전원에서의 재생에너지 비율이 GDP와 CO₂ 배출에 어떠한 영향을 미치는지를 구조적 벡터 자기회귀 모형(Structural Vector Autoregressive, SVAR)을 사용하여 분석하였다. 분석 대상 국가는 경제적 성과와 재생에너지 발전 비율을 기준으로 선정하였다. 단위근 검정으로 변수의 안정성을 확인한 결과 GDP에 단위근이 존재함을 확인하였고 이는 1차 차분으로 해결하였다. 분산 분해 결과는 발전원에서의 재생에너지 비율이 1인당 GDP와 1인당 이산화탄소의 예측 오차 분산을 제대로 설명하지 못한다는 것을 보여 주었다. 충격 반응 함수(Impulse Response Function, IRF)를 통해 SVAR 추정치가 미국을 제외한 모든 분석 대상 국가에서 발전원 중 재생에너지의 비율이 증가하는 경우 초반에

2) 경제자유네트워크에서 측정

는 1인당 GDP와 1인당 CO₂ 배출량이 모두 감소함을 보였고, 감소 정도는 CO₂ 배출량이 더 크게 나타났다. 이는 재생에너지 발전 초기단계에서는 비용이 많이 들기 때문인 것으로 보이며, 기술이 발전됨에 따라 경제적 측면에서 개선될 수 있음을 시사한다.

Cho 등(2015)은 31개의 OECD 국가와 49개의 비 OECD 국가의 1990년부터 2010년까지의 실질 GDP, 실질 성장 고정 자본 형성, 노동력, 재생 전기 소비 자료를 이용하여 재생에너지 소비와 경제성장 간의 장기적 인과관계에 대해 다변량 패널 벡터 오차 수정 모형(Vector Error Correction Model, VECM)으로 분석하였다. 분석결과 OECD 국가에서는 재생에너지 소비가 경제성장에 있어서 중요한 역할을 하지 않았지만, 경제성장에 따라 재생에너지 소비가 증가하는 양상을 보였다. 비 OECD 국가에서는 재생에너지가 생산요소로서 중요한 역할을 하였고, 경제성장에 따라 재생에너지 소비도 증가하였다. 따라서 재생에너지 관련 정책의 선택에 있어서 OECD 국가들은 전략의 선택과 집중이 필요하고, 비 OECD 국가들은 집중적으로 재생에너지 소비를 증가시키는 정책을 채택해야 한다고 제시하였다.

Cebula 등(2013)은 경제자유도가 높을수록 경제활동 수준이 높기 때문에 실질 GDP 또한 높을 것이라는 가설을 수립하였다. 이를 위해 연구에서는 2002년부터 2006년까지의 OECD 국가의 1인당 실질 GDP에 대해 양의 영향을 미치는 경제자유도의 평가 기준과 영향을 미치지 않는 변수들을 fixed-effects Panel least squares 모형을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 양의 효과가 있는 기준에는 “business freedom”, “freedom from corruption”, “investment freedom”, “monetary freedom”, “government size freedom”, “trade freedom”, “property rights freedom”이 있으며, 나머지 변수들은 아무런 영향을 미치지 않는다는 것을 확인했다.

마지막으로, 경제성장과 에너지 소비와 관련하여 진행한 연구는 다음과 같다. Jung과 Kim(2012)은 1981년부터 2008년까지의 시계열 자료에 대해 CO₂ 배출량과 경제성장 간의 인과관계와 에너지 믹스 영향력을 실증 분석함으로써 기존 환경과 경제성장의 관계 분석의 주요 논란거리였던 내생성과 설명변수 누락 문제를 해결하고자 하였다. 분석 결과 우리나라의 에너지믹스에서 경제성장과 CO₂ 배출량 간에 역 U자형 상관관계가 존재한다는 EKC 가설이 검증되고 있음이 확인되었다. 에너지원들 중에서 원자력 에너지가 CO₂ 배출 감축에 있어 기여도가 가장 큰 것으로 나타났다. 신재생에너지의 경우 원자력에너지와 비교할 때 국내 에너지원에서 차지하는 비중이 다른 에너지원들에 비해 상대적으로 낮기 때문에 배출량 감소 효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 에너지 소비 부문에서는 수송부문만이 CO₂ 배출과 양의 상관관계를 보였다. CO₂ 배출에 대한

영향력 분석에 있어서 GDP, 재생에너지 발전율, 에너지 소비량, 그리고 경제자유도 개별 변수 및 몇 개 변수의 조합으로는 다수의 연구가 이루어졌지만, 위의 모든 변수들을 이용한 연구는 흔하지 않다. 이에 본 연구에서는 경제자유지수, 재생에너지 발전율, 에너지 소비량, GDP라는 설명변수를 모두 이용하여 CO₂ 배출과의 관계 분석을 실시하였다.

Apergis와 Payne(2009)는 1985년부터 2005년까지 OECD 20개국을 대상으로 재생에너지 소비와 경제성장 간의 관계를 패널 공적분과 오차수정모형을 사용하여 분석하였다. 패널 공적분 결과 실질 GDP, 재생에너지소비, 실질 총고정 소득과 노동력 사이에 장기적으로 유의한 양의 상관관계가 존재하였다. 그랜저 검정 결과 재생에너지 소비와 경제성장 사이에는 단기와 장기 모두 양방향의 인과관계가 존재함을 확인하였다.

분석방법

패널 분석은 횡단면 분석과 시계열 분석이 합쳐진 형태의 분석방법으로 여러 시점에 걸쳐 동일한 개체를 관찰한다는 점에서 서로 다른 개체를 관찰하는 합동(Pooled) 횡단면 분석과 구분된다. 패널 분석은 횡단면 분석과 시계열 분석의 성질 모두를 가지고 있기 때문에, 각 분석의 한계점을 극복할 수 있다는 점에서 선호되고 있는 분석 방법이다. 조사 대상인 개체들의 데이터에 시간 갭이 있는지 없는지 그리고 관측 시점이 동일하지 않지 않지에 따라 구분가능하며 시간갭이 없는 균형 패널, 시간갭이 없는 불균형 패널, 시간갭이 있는 균형 패널, 시간갭이 있는 불균형 패널의 4가지 형태로 분류할 수 있다.(Min and Choi, 2009)

패널 단위근 검정

단위근이 존재하는 불안정한 시계열을 아무런 가공 없이 그대로 사용할 경우 표본 수가 증가함에 따라 회귀계수의 t-값이 증가하여 상관관계가 없는 변수 간에도 매우 강한 상관관계가 있는 것으로 나타나는 가상 회귀(spurious regression)와 같은 문제가 발생할 수 있다. Levin 등(2002), Maddala와 Wu(1999) 그리고 Hadri(2000) 등에서 전통적 ADF 검정 방식과 PP 계열의 방식이 귀무가설(단위근이 존재하지 않는다)를 잘 기각하지 못하는 문제가 존재하여 새로운 패널 단위근 검정이 더 높은 설명력을 나타내었다. 본 연구에서는 그중에서도 사용 빈도가 가장 높은 Levin, Lin and Chu(LLC, 2002)와 Im, Pesaran and Shin(IPS, 2003) 방식의 단위근 검정을 이용하였다.

$$\Delta y_{it} = \rho_i y_{it} + \sum_{j=1}^p \theta_{ij} \Delta y_{it-1} + a_i + \varepsilon_{it}$$

$$i = 1, \dots, N(\text{개체수}) \quad t = 1, \dots, T(\text{시계열수}) \quad (1)$$

기본 추정 방정식인 식(1)에서 y_{it} 는 각 패널 개체 i 의 t 기 변수이며, p_i 는 시차, ε_{it} 는 평균이 0인 오차항이다. 그리고 α_i 와 θ_{it} 는 각각 상수항과 시차계수를 나타낸다. LLC 방식의 경우 위 식에 대해 귀무가설 H_0 는 모든 i 에 대해 $\rho_i = 0$, 대립가설 H_1 은 모든 i 에 대해 $\rho_i = \rho < 0$ 을 상정하고 있다. LLC 방식은 대립가설이 모든 패널 i 에 대해 동일한 자기상관계수(Autoregressive coefficient)를 갖는다는 점에서 제한적이다. 반면에 IPS는 각 패널 개체의 이질성을 허용함으로써 LLC와 귀무가설은 동일하지만 대립가설 H_1 은 일부 i 에 대해 $\rho_i < 0$ 으로 설정된다.

하우즈만 검정

패널 분석에 이용되는 기본적인 모형식은 다음 식 (2)과 같다.

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

개별 집단의 고유요인을 반영하기 위해 도입된 α_i 는 관측되지 않는 않지만 모형추정에는 영향을 미친다. 따라서, 실제 추정에서는 아래 식 (3)과 같은 변형을 통해 바뀐 회귀식이 이용된다.

$$\begin{aligned} y_{it} &= \alpha_i + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \\ &= \alpha + x_{it}'\beta + \alpha_i - \alpha + \varepsilon_{it} \\ &= \alpha + x_{it}'\beta + u_i + \varepsilon_{it} \\ &= \alpha + x_{it}'\beta + v_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

패널 모형 분석에서는 α_i 와 설명변수(x_{it}')의 상관관계 여부에 따라 분석 방법이 달라진다. 회귀식 $y_{it} = \alpha + x_{it}'\beta + v_{it}$ 에서 ε_{it} 가 설명변수와 상관관계가 없으면 $E(x_{it}'\varepsilon_{it}) = 0$ 이 성립하고, 설명변수와 관련이 있으면 $u_i = \alpha_i - \alpha$ 와 설명변수는 서로 상관관계가 존재하여 $E(x_{it}'u_i) \neq 0$ 가 된다. 이때, 잔차항 v_{it} 와 설명변수 사이에 상관관계가 존재하기 때문에 관측되지 않는 개별 고유 요인으로 인해서 설명변수와 잔차항 사이에 내생성이 발생하게 된다. 그러므로 개별 고유요인 α_i 를 처리하는 것이 패널 회귀 분석에서 매우 중요하다. α_i 를 어떻게 처리하느냐에 따라 패널 분석 모형은 고정효과 모형(fixed effects model)과 확률효과 모형(random effects model)으로 나뉜다(Min and Choi, 2009).

하우즈만 검정(Hausman test)은 설명변수와 오차항의 상관관계를 살펴봄으로써 추정모형으로 고정효과 모형을 쓸지 확률효과 모형을 쓸지 판단할 수 있는 검정방법이다. 회귀식이 $y = \alpha + x_{it}'\beta + u_i + \varepsilon$ 라고 할 때, 하우즈만 검정에서 귀무가설과 대립가설은 식 (4)와 같이 쓸 수 있다(Min

and Choi, 2009).

$$\begin{aligned} H_0 : cov(x_{it}', u_i) &= 0 \\ H_1 : cov(x_{it}', u_i) &\neq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

귀무가설 H_0 가 참이라면 오차항(u_i)과 설명변수(x_{it}') 간에 상관관계가 존재하지 않는다. 따라서, 고정효과 추정량과 확률효과 추정량이 모두 일치추정량이기 때문에 유사한 결과를 얻을 수 있으며, 이 경우에는 확률효과 모형이 더 효율적이다. 귀무가설 H_0 가 틀리다면 오차항과 설명변수 사이에 상관관계가 존재하므로 확률효과 추정량은 일치추정량이 되지 못하기 때문에 추정 결과에 체계적 차이가 존재하게 된다. 따라서, 이 경우에는 고정효과 모형을 선택해야 한다.

고정효과 모형

고정효과는 개별 요인이 각 개체에 미치는 영향이 고정적이라고 보고 이 영향을 각 개체별로 제거하는 것이다. 패널의 기본 회귀식 $y_{it} = \alpha_i + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it}$ 에서 데이터를 개별 개체(i)에 대해서 시간(t)별로 정렬한 다음 개별 개체에 대한 시간별 평균을 구한 식은 아래의 식 (5)와 같다.

$$\bar{y}_i = \alpha_i + \bar{x}_{it}'\beta + \bar{\varepsilon}_{it} \quad (5)$$

위의 식에서 패널의 기본 회귀식 $y_{it} = \alpha_i + x_{it}'\beta + \varepsilon_{it}$ 을 빼주면 다음과 같은 식 (6)을 구할 수 있다.

$$y_{it} - \bar{y}_i = (x_{it} - \bar{x}_{it})'\beta + \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{it} \quad (6)$$

위의 식에는 내생성을 발생시키는 개별 고유요인 α_i 가 없으므로, 내생성문제를 고려할 필요가 없다. 식 (6)을 추정하는 방법을 고정효과 모형이라고 한다.

본 연구에서 1인당 CO₂ 배출과 설명변수들 간의 상관관계 분석을 위해 사용한 패널 모형의 회귀식은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln CO_{2it} &= \alpha_0 + \beta_1 \ln EF_{it} + \beta_2 \ln RE_{it} + \beta_3 \ln ECONS_{it} + \\ &\quad \beta_4 \ln GDP_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

단, CO₂는 1인당 CO₂ 배출량, EF는 경제자유지수, RE는 재생에너지 발전율, ECONS는 1인당 에너지 소비량, GDP는 1인당 GDP 그리고 ε 는 교란항을 의미한다.

분석결과

분석자료 및 개요

본 연구에서는 경제자유도가 높을수록 경제 또한 성장한다는 Gwartney 등(1999)과 Dawson(2003)의 연구결과에 주목하여, 국가별로 경제의 자유 수준이 다르기에 1인당 CO₂ 배출 역시 이에 따라 달라질 것이라 예상하였다. 따라서, 종속변수로는 CO₂ 배출량을, 설명변수로는 경제자유지수와 GDP를 설정하여 이들 사이에 관계를 명확히 분석하고자 하였다. EKC 가설에 따르면 선진국일수록 상대적으로 CO₂에 대해 관심을 가지고 관리할 것이다. 본 연구에서는 이러한 관심의 척도를 재생에너지 발전율이라는 설명변수로 나타내어 반영하였다. 마지막으로, 경제성장에 따라 증가하는 에너지 소비량이 CO₂ 배출을 증가시킬 것이므로 에너지 소비량을 설명변수로 추가하였다.

분석에는 STATA 14 통계 패키지를 이용하였으며, 분석 자료는 2005년부터 2013년까지 111개국의 1인당 CO₂ 배출량, 경제자유지수, 1인당 에너지 소비량, 재생에너지 발전율, 1인당 GDP 데이터를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 변수들의 의미와 자료의 출처는 Table 1과 같다.

본 연구에서는 변수의 단위가 아닌 상대적 변화를 보기

위해 종속변수와 설명변수에 로그를 취하여 분석을 수행하였다. 로그를 취하게 되면 탄력성 의미로 분석 결과를 해석할 수 있으며 변수의 변동 폭을 줄일 수 있다. 이러한 특성은 본 연구의 패널 자료에서 존재하는 이분산의 문제를 해결해 줄 수 있는 장점이 있다.

패널 단위근 분석 결과

OLS 분석 대상이 되는 패널 자료는 변수들에 정상성이 존재해야 한다. 따라서 분석에 앞서 단위근 검정을 통해 정상성 여부를 확인하였다. 본 논문에서 사용된 변수들을 활용한 기존 연구들 중 Lee(2005), Farhani와 Rejeb(2012) 그리고 Farhani(2015) 등 많은 연구에서 단위근이 존재하며 1차 차분한 변수들에 대해 안정적이었다. 소표본의 경우 단위근이 나타나기 쉬우며, 단위근 검정 방법에 따라 정상성 여부가 다르게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 상호보완적인 단위근 검정을 위해 LLC 검정과 IPS 검정 방식을 함께 사용하였다. LLC 검정과 IPS 검정은 패널 국가 간 상호 의존성이 존재할 수도 있다는 가정을 하고 있는 2세대 패널 단위근 검정방법으로 귀무가설은 패널 자료에 단위근이 존재한다는 것이다. 본 연구에서는 LLC 검정과 IPS 검정 모두 상수항과 추세가 포함된 단위근 검정을 실시하였다.

Table 1. Variables, Definition and Sources

Variables	Definition	Sources
CO ₂	CO ₂ emissions per capita (kton)	Olivier <i>et al.</i> (2015), World Bank (2016)
EF	Index of Economic freedom	Terry and Anthony (2005-2013)
RE	Renewable energy generation rate (%)	World Energy Balances (2015)
ECONS	Energy consumption per capita (ktoe)	World Energy Balances (2015), World Bank (2016)
GDP	GDP per capita (US\$)	World Bank (2016)

Table 2. Panel unit root test results

Data	Methodology	Statistics (p-value)
ln (CO ₂)	LLC	-31.6204 (0.0000)
	IPS	-2.5232 (0.0000)
ln (EF)	LLC	-65.9451 (0.0000)
	IPS	-2.7148 (0.0000)
ln (RE)	LLC	-27.2485 (0.0000)
	IPS	-2.4429 (0.0000)
ln (ECONS)	LLC	-23.5067 (0.0000)
	IPS	-2.4279 (0.0000)
ln (GDP)	LLC	-24.9498 (0.0000)
	IPS	-2.0518 (0.0000)

Table 2의 패널 단위근 검정 결과에 따르면 LLC 검정과 IPS 검정 모두 1% 유의수준에서 귀무가설(단위근이 존재하는 불안정 패널)을 기각하였다. 따라서 본 연구에서 사용된 수준(level) 변수들은 안정적 패널 자료의 특성을 보인다.

합동 OLS 분석 결과

합동(pooled) OLS 분석은 국가의 연도별 자료가 서로 다른 국가의 자료인 것처럼 가정하여 회귀분석을 실시하는 방법이다. 로그를 취한 변수들을 대상으로 합동 OLS를 수행한 결과는 아래의 Table 3과 같다.

합동 OLS 결과, 모든 추정계수는 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 경제자유지수와 재생에너지 발전율이 높을수록 1인당 CO₂ 배출량은 감소한다. 경제자유지수가 1단위 증가하면 1인당 CO₂ 배출량은 0.5363% 감소하며, 재생에너지 발전율이 1% 증가하면 1인당 CO₂ 배출량은 0.1436%만큼 감소한다. 이와 반대로 1인당 에너지 소비량은 적을수록, 1인당 GDP는 작을수록 1인당 CO₂ 배출량은 감소함을 알 수 있으며, 두 변수가 1% 감소함에 따라 감소하는 1인당 CO₂ 배출량은 각각 0.7929%, 0.3239%로 나타

났다. 1인당 CO₂ 배출량에 가장 영향력이 큰 변수는 1인당 에너지 소비량이며, 가장 영향력이 작은 변수는 재생에너지 발전율로 나타났다. 하지만, 위에서 얻어진 OLS 추정량이 최우수선형불편추정량(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)이 되기 위해서는 모든 시점에 대해서 패널 그룹간 오차항의 상관관계는 존재하지 않아야 하며, 오차항의 분산은 σ^2 으로 일치해야만 한다.

설명변수간 상관관계 분석 결과

설명변수들을 대상으로 상관관계 분석을 진행하였으며, 분석결과는 아래의 Table 4와 같다.

분석 결과 경제자유지수와 1인당 에너지 소비량 그리고 1인당 GDP 사이에는 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 특히 1인당 에너지 소비량과 1인당 GDP는 높은 상관관계를 보였고, 이를 본 연구의 회귀모형을 설정함에 있어 참고하였다.

고정효과와 확률효과 추정 및 하우즈만 검정 결과

본 연구에서 사용한 선형 회귀 모형의 형태는 다음 Table 5

Table 3. Pooled OLS results

Dependent variable : ln (CO ₂)			
Explanatory variables	Coef.	Std. Err.	t statistic (p-value)
ln (EF)	-0.5363	0.0889	-6.03 (0.000)
ln (RE)	-0.1436	0.0100	-14.34 (0.000)
ln (ECONS)	0.7929	0.0336	23.60 (0.000)
ln (GDP)	0.3239	0.0234	13.84 (0.000)
R-squared : 0.8767			

Table 4. Correlation between explanatory variables

	ln (EF)	ln (RE)	ln (ECONS)	ln (GDP)
ln (EF)	1.000			
ln (RE)	-0.046	1.000		
ln (ECONS)	0.482	-0.235	1.000	
ln (GDP)	0.596	-0.169	0.888	1.000

Table 5. Regression model

Model	Equation
Model 1	$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln EF_{it} + \beta_2 \ln RE_{it} + \beta_3 \ln ECONS_{it} + \beta_4 \ln GDP_{it} + \varepsilon_{it}$
Model 2	$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln EF_{it} + \beta_2 \ln RE_{it} + \beta_3 \ln GDP_{it} + \varepsilon_{it}$
Model 3	$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \beta_1 \ln EF_{it} + \beta_2 \ln RE_{it} + \beta_3 \ln ECONS_{it} + \varepsilon_{it}$

와 같다.

첫째로 <Model 1>은 모든 설명변수를 사용하여 CO₂ 배출과의 상관관계를 분석한 모형이다. 그리고, 1인당 에너지 소비량과 GDP 간에 상관관계가 존재한다는 Chontanawat 등(2006)과 Lee(2005)와 같은 연구들을 바탕으로 두 변수를 교대로 제외하여 모형을 구성하였다. <Model 2>는 설명변수들 중에서 1인당 에너지 소비량을 생략한 모형이고, <Model 3>은 1인당 GDP를 설명변수에서 제외한 모형이다.

다음으로는 위에서 제시한 세 가지의 모형에 대해 각각 고정효과와 확률효과로 추정하고 하우스만 검정을 실시하였다.

Table 6에서와 같이 하우스만 검정 결과 계수들 사이에 체계적인 차이가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각할 수 있으므로, 본 연구에서는 추정모형을 고정효과 모형으로 선택하였다.

고정효과 모형 분석 결과

하우스만 검정 결과에 따라 고정효과 모형으로 분석한 결과는 아래의 Table 7과 같이 나타났다.

<Model 1>의 분석 결과 1인당 CO₂ 배출량은 1인당 에너지 소비량이 1% 증가하면 0.7127%만큼, 1인당 GDP가 1% 증가하면 0.0517%만큼 증가하여 설명변수와 종속변수 간에 양의 상관관계를 보이고 있다. 하지만, 재생에너지 발전율은 1% 높아짐에 따라 1인당 CO₂ 배출량은 0.0270%만큼 감소하는 음의 상관관계를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 경제자유지수는 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 이

는 1인당 CO₂ 배출량에 미치는 영향은 재생에너지 발전율, 1인당 에너지 소비량, 1인당 GDP의 비중이 더 큰 것을 의미한다.

<Model 2>는 설명변수들 중에서 1인당 에너지 소비량을 제외한 나머지 설명변수들을 대상으로 분석을 진행하였다. 분석 결과 경제자유지수는 5% 수준에서 유의하며, 경제자유지수가 1% 증가하면 1인당 CO₂ 배출량은 0.0766%만큼 증가하는 것으로 나타났다. 재생에너지 발전율이 1% 증가할 때는 1인당 CO₂ 배출량이 0.0568% 감소하는 것으로 나타나 두 변수 간에 음의 상관관계가 존재함을 보였다. 1인당 GDP가 1% 증가하는 경우에는 1인당 CO₂ 배출량이 0.1434% 증가하는 것으로 나타났으며, 경제자유지수에서와 같이 양의 상관관계가 존재하지만 그 영향력은 더 큰 것으로 나타났다.

1인당 GDP를 설명변수에서 제외하여 분석한 모형인 <Model 3>에서는 <Model 1>과 유사한 결과가 나타났으며, 경제자유지수와 1인당 에너지 소비량의 영향력은 각각 0.0475와 0.7748로 <Model 1>보다 크게 나타났다. 재생에너지 발전율의 영향력을 나타내는 계수는 -0.0226으로 <Model 1>의 -0.0270보다 조금 작게 나타났다.

합동 OLS에서는 모든 변수가 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났으나, 본 연구의 패널 자료와 같이 고정효과가 존재하는 경우 OLS 모형을 사용하여 분석하게 되면 개체의 고유한 속성으로 인한 공통성이 인과관계로 잘못 나타날 수 있다.

모든 모형에서 각 계수의 부호가 동일하게 나타났다. 경

Table 6. Fixed effect, Random effect estimation and Hausman test

Explanatory variables	Dependent variable : ln (CO ₂)					
	Model 1		Model 2		Model 3	
	Fixed effect	Random effect	Fixed effect	Random effect	Fixed effect	Random effect
ln (EF)	0.0357 (1.21)	0.0299 (0.97)	0.0766** (2.10)	0.0882** (2.14)	0.0475 (1.59)	0.0455 (1.48)
ln (RE)	-0.0270*** (-4.02)	-0.0306*** (-4.47)	-0.0568*** (-7.01)	-0.0708*** (-7.88)	-0.0226*** (-3.36)	-0.0250*** (-3.66)
ln (ECONS)	0.7127*** (21.62)	0.8334*** (27.82)	-	-	0.7748*** (25.25)	0.8945*** (32.91)
ln (GDP)	0.0517*** (4.79)	0.0615*** (5.51)	0.1434*** (11.69)	0.2086*** (15.80)	-	-
R-squared	0.8505	0.8505	0.7805	0.7873	0.8400	0.8397
Hausman Test	Chi2 (4) = 91.20***		Chi2 (4) = 227.03***		Chi2 (4) = 68.21***	

Note: 1) *denotes 10% significance level, **denotes 5%, and ***means 1%.

2) Z and t statistics are in the parenthesis.

Table 7. Fixed effects model results

Dependent variable : ln (CO ₂)						
Model 1			Model 2		Model 3	
Explanatory variables	Coefficient (S.E.)	t statistic (p-value)	Coefficient (S.E.)	t statistic (p-value)	Coefficient (S.E.)	t statistic (p-value)
ln (EF)	0.0357 (0.0296)	1.21 (0.227)	0.0766** (0.0364)	2.10 (0.036)	0.0475 (0.0298)	1.59 (0.111)
ln (RE)	-0.0270*** (0.0067)	-4.02 (0.000)	-0.0568*** (0.0081)	-7.01 (0.000)	-0.0226*** (0.0067)	-3.36 (0.001)
ln (ECONS)	0.7127*** (0.0330)	21.62 (0.000)	-	-	0.7748*** (0.0307)	25.25 (0.000)
ln (GDP)	0.0517*** (0.0108)	4.79 (0.000)	0.1434*** (0.0123)	11.69 (0.000)	-	-
R-squared	0.8505		0.7805		0.8400	

Note: *denotes 10% significance level, **denotes 5%, and ***means 1%.

제자유지수는 <Model 2>에서만 유의한 의미를 가졌다. 이는 1인당 에너지 소비량이 나머지 3개의 설명변수들과 상관관계가 높기 때문이다. 또한, CO₂ 배출을 설명하는데 있어 너무 큰 비중을 차지하여 나머지 설명변수들의 영향력이 제대로 반영되지 못한 것으로 보인다. 하지만, <Model 2>에서는 1인당 에너지 소비량을 생략하였기 때문에 기준의 변수 간 상관관계 문제가 해소된 것으로 보인다³⁾.

결 론

본 연구에서는 CO₂ 배출에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수들과 CO₂ 배출 간의 상관관계에 대해서 살펴보고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 다수의 선행연구에서 CO₂ 배출과의 상관관계 분석에 활용한 1인당 GDP와 1인당 에너지 소비량을 기준으로, Lee(2008), Gwartyney 등(1999), Shafik(1994), Carlsson과 Lundström(2000) 등의 연구에서 살펴본 재생에너지 발전율과 경제자유지수를 추가적인 설명 변수로 설정하였다. 이러한 모형 설정이 일반적으로 타당한지를 살펴보기 위하여 111개국의 자료를 수집하였으며, 국가별 경제자유지수, 재생에너지 발전율, 1인당 에너지 소비량, 1인당 GDP가 1인당 CO₂ 배출에 어떠한 영향을 미치는지를 패널 고정효과 모형으로 분석하였다. 본 연구에서 사용한 패널 자료에 대해 단위근 검정을 진행한 결

과 단위근이 존재하지 않는 것으로 나타났으며, Hausman 검정 결과에 따라 고정효과 모형으로 분석을 진행하였다.

분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 경제자유지수는 1인당 에너지 소비량을 설명변수에서 제외한 <Model 2>에서 1인당 CO₂ 배출이 1% 증가할 때 0.0766%만큼 증가하는 것으로 유의한 결과를 보였다. 반면, 모든 설명변수를 포함시킨 <Model 1>과 1인당 GDP를 설명변수에서 제외한 <Model 3>에서는 경제자유지수가 유의하지 않게 나타났다. 이는 CO₂ 배출의 상당 부분이 에너지 소비량에 영향을 받는 것으로 인해 다른 변수들의 영향력이 제대로 고려되지 못하였기 때문으로 보인다. 둘째, 모든 모형에서 재생에너지 발전율이 증가할수록 1인당 CO₂ 배출이 감소한다는 것을 확인하였으며, 1인당 CO₂ 배출을 1% 감소시키기 위해서 증가시켜야 하는 재생에너지 발전율의 크기는 <Model 2>에서 0.0568%로 나타났다. <Model 1>에서는 0.0270%로 <Model 3>의 0.0226%와 비슷한 값을 가졌다. 분석 결과를 통해 CO₂ 배출을 저감시키는데 있어 재생에너지 발전율은 큰 부분을 차지하지는 않는 것을 확인하였다. 셋째, 1인당 GDP와 에너지 소비량은 1인당 CO₂ 배출에 있어 모든 모형에서 양의 상관관계를 보였다. <Model 1>에서는 에너지 소비량이 0.7127%만큼 증가할 때 CO₂ 배출이 1% 증가하는 것으로 나타났으며, <Model 3>에서는 0.7748%로 비슷한 값을 가졌다. GDP의 경우 <Model 1>은 0.0517%, <Model 2>는 0.1434%만큼 GDP가 증가할 때 CO₂ 배출이 1% 증가함을 보였다. 에너지 소비량은 CO₂ 배출의 대부분을 설명하는 것으로 확인되었으며, GDP는 변수 구성에 따라 10% 가까이 차이가 발생하였다. 분석 결과에 대한 설명력은 <Model 1>에서 가장 높게 나타

3) 공선성 문제로 일부 변수의 영향력이 과소평가되는가는 조심스러운 문제이다. 특히, 설명 변수의 개수가 많지 않을 경우 문제가 되지 않을 수도 있다. <Model 2>가 공선성 문제를 해결했다고 하더라도 누락 변수(omitted variable) 문제의 결과로 다른 변수의 유의성이 높아졌을 가능성도 존재한다.

났다.

본 연구는 기존의 선행연구들과 달리 설명변수들 중 1인당 GDP와 1인당 에너지 소비량을 각각 제외하여 구성된 경우와 그렇지 않은 경우로 모형을 구성하여 이를 비교 분석하였다는 점, 111개국의 자료를 수집하여 패널 분석을 수행하였다는 점, 마지막으로 이산화탄소 배출량을 설명하기 위하여 경제자유지수를 활용했다는 점에서 의미가 있다. 본 연구에서 실시한 패널 분석의 결과로 분석에 사용된 다른 어떠한 변수들보다도 에너지 소비량이 CO₂ 배출에 미치는 영향이 가장 크다는 것을 확인하였다. 이로 인해 본 연구의 주요 변수인 경제자유지수의 영향력을 확인하는데 있어 어려움이 있었다. 하지만 1인당 에너지 소비량을 제외한 <Model 2>에서는 경제자유지수가 유의한 양의 계수 값을 가졌으므로, 경제자유지수가 높을수록 CO₂ 배출은 크게 나타난다는 것을 확인하였다. 그리고 이는 경제자유지수라는 변수가 CO₂ 배출 분석에 있어 다른 방법으로도 활용 가능하다는 것을 의미한다.

본 연구의 분석 결과를 통해 CO₂ 감축을 위해서는 CO₂ 배출에 있어 가장 큰 영향력을 나타내는 에너지 소비량을 가장 먼저 규제해야 함을 알 수 있다. 그리고 재생에너지원에 의한 발전이 크지는 않지만 CO₂ 감축에 도움이 된다는 분석 결과를 바탕으로 재생에너지 사용을 확대할 수 있는 정책이 필요함을 시사한다.

본 연구에서 모형 간 차이를 확인하였지만 경제자유지수와 GDP 사이의 상관관계가 작지 않기 때문에(0.596), 근본적으로 경제자유지수가 설명변수로 적절한가와 본 연구와 같이 세 가지 모형을 구성하는 것이 타당한가에 대한 의문이 제기될 수 있다. 또한 <Model 1>이 여러 가지로 신뢰할 만한(reliable) 추정 결과를 보여주고 있기 때문에 <Model 2>나 <Model 3>은 누락변수 문제를 가지고 있을 가능성이 있다. 이를 극복하기 위하여 앞으로 경제자유지수를 구성하는 세부 항목들, 즉 법치(사법효율성 등), 규제효율성, 시장개방과 같은 항목이 이산화탄소 배출에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 세밀한 분석이 필요할 것이다. 또한 환경 관련 세금이나 원자력에너지 발전율도 새로운 변수로 고려해볼 수 있다. 이러한 시도들이 우리나라의 파리협정 이행과 앞으로의 정책적 방향을 제시하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

Apergis, N. and Payne, J.E., 2009. Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries, *Energy Policy*, 19(1), 656-660.
 Carlsson, F. and Ludstrom, S., 2000. *Political and Economic*

freedom and the Environment: The case of CO₂ Emissions, Working Paper in Economics no 29, Department of Economics, Goreborg University, Sweden, p.1-21.
 Cebual, R.J., Clark, J.R., and Ixon, Jr. F.G., 2013. The impact of economic freedom on per capita real GDP: A study of OECD nations, *The Journal of Regional Analysis & Policy*, 43(1), 34-41.
 Cho, S., Heo, E., and Kim, J., 2015. Causal relationship between renewable energy consumption and economic growth: comparison between developed and less-developed countries, *Geosystem Engineering*, 18(6), 284-291.
 Chontanawat, J., Hunt, L.C., and Pierse, R., 2006. Causality between Energy Consumption and GDP: Evidence from 30 OECD and 78 Non-OECD Countries, *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 209-220.
 Dawson, J.W., 2003. Causality in the freedom-growth relationship, *European Journal of Political Economy*, 19(3), 479-495.
 DIW Econ, 2015. *Turning point: Decoupling Greenhouse Gas Emissions from Economic Growth*, Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin, Germany, 32p.
 Farhani, S., 2013. Renewable Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions: Evidence from selected MENA Countries, *Energy Economics Letters*, 1(2), 24-41.
 Farhani, S. and Rejeb J.B., 2012. Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions: Evidence from Panel Data for MENA Region, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(2), 71-81.
 Gwartney, J., Lawson, R., and Holcombe, R., 1999. Economic freedom and the environment for economic growth, *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 155(4), 643-663.
 Hadri, K., 2000. Testing for stationarity in heterogeneous panel data", *Econometrics Journal*, 3(2), 148-161.
 IEA, 2015. *World Energy Balances 2015*, International Energy Agency, Paris, France. <http://dx.doi.org/10.1787/a855e3b2-en>
 IEA, 2015. *World Energy Outlook 2015*, OECD/IEA, Paris, France, 700p.
 Im, K.S., Pesaran, M.H., and Shin, Y., 2003. Testing for unit roots in heterogenous panels, *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.
 Jung, Y. and Kim, S., 2012. The Relationship among CO₂ Emissions, Energy Mix and Economic Growth in Korea, *Environmental and Resource Economics Review*, 21(2), 271-299.
 Lee, B., 2008. The Impact of Business Regulation and Economic Freedom on Economic Growth, *The Journal of Regulation Studies*, 17(2), 3-25.

- Lee, C., 2005. Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis, *Eneyg Economics*, 27(3), 415-427.
- Levin, A., Lin, C.-F., and James Chu, C.-S., 2002. Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties, *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.
- Maddala, G.S. and Wu, S., 1999. A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652.
- Min, I. and Choi, P., 2009. STATA Panel Data Analysis, The Korea Journal of Stata, Seoul, Korea, 284p.
- Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W., 2015. *Trends in Global CO₂ emissions: 2015 report*, 1803. European commission, Research Centre (JRC), Directorate C-Energy, Transport and Climate PBL, Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 78p.
- Silva, S., Soares, I., and Pinho, C., 2012. The impact of renewable energy sources on economic growth and CO₂ emissions-a SVAR approach, *European Research Studies*, 15(4), 133-144.
- Terry M. and Anthony B.K., 2013. *2013 Index of Economic freedom*, The Heritage Foundation, Washington DC, Unites States of America, 494p. ISSN 1095-7308.
- World Bank, 2016. *World Development Indicator 2016*, Washington DC, United States of America. data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators



천 세 원

2016년 부경대학교 에너지자원공학과
공학사

현재 한양대학교 대학원 자원환경공학과 석사과정
(E-mail; csw759@hanyang.ac.kr)



김 주 한

2013년 한양대학교 공과대학 자원환경
공학과 공학사

현재 한양대학교 대학원 자원환경공학과 석·박사통합과정
(E-mail; juhankim@hanyang.ac.kr)

김 진 수

현재 한양대학교 자원환경공학과 조교수
(本學會誌 第53卷 第1号 參照)