

# 신재생에너지가 탄소배출량 및 경제성장에 미치는 영향: OECD 국가를 중심으로\*

남 영 진\*\*

## 요약

본 연구는 친환경에너지로의 전환과 지속가능한 경제성장이 중요한 화두로 떠오르고 있다는 점을 고려하여 신재생에너지가 탄소배출량과 경제성장에 미치는 영향을 분석하였다. 특히 신재생에너지에 대한 보급 확대와 이에 대한 수요의 증가가 탄소배출량 및 경제성장에 미치는 효과를 분석하였다. 분석을 위해서 신재생에너지와 경제성장은 생산함수의 관점에서 살펴보았으며 신재생에너지와 탄소배출량의 관계는 STIRPAT 모형에 기반하였다. 추정방법은 PMG 추정을 사용하였다. 분석대상국은 OECD 회원국으로 하였으며 세부적으로는 OECD 전체 회원국과 OECD 회원국 중 ETS 시행국 그리고 OECD 회원국 중 유럽과 비유럽국가로 하위그룹을 편성하여 분석을 진행하였다. 분석기간은 1995년~2018년으로 하였으며 ETS 시행국의 경우 EU-ETS가 도입된 2005년을 시작시점으로 하였다. 분석결과, 신재생에너지가 경제성장에 양의 영향을 미치며 탄소배출량에는 음의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만, OECD 국가 중 비유럽국가에서 신재생에너지가 경제성장에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 결론적으로, 선진국 그룹이라고 할 수 있는 OECD 회원국에서 신재생에너지가 탄소배출량 감축 및 경제성장에 효과가 있다는 것이 확인되었다는 점에서 신재생에너지가 앞으로 더욱 확대될 필요가 있다. 또한, OECD 회원국 중 비유럽국가의 경우 신재생에너지가 경제성장에 도움이 될 수 있도록 산업구조의 재편 등이 필요할 것이다.

주제분류 : B030902, B030111, B030104

핵심 주제어 : 환경쿠즈네츠곡선, IPAT 모형, STIRPAT 모형, PMG 추정, DOLS, FMOLS, 신재생에너지, ETS, 탄소배출량

\* 본 연구는 단독저자인 남영진의 박사학위논문을 수정 및 보완한 것임.

\*\* 제1저자, 연세대학교 일반대학원 경제학과 박사과정, e-mail: qpxk60@gmail.com

## I. 서 론

친환경 및 지속가능한 경제성장에 대한 관심이 높아지면서 탄소배출량을 감축시키기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다. 특히, 주요국들은 탄소중립(carbon neutrality)을 앞다투어 선언하면서 탄소배출량을 감축시키고 경제성장을 높이기 위한 구체적인 시나리오 및 다양한 정책수단 등을 발표하고 있다. 한국도 2050 탄소중립을 선언하면서 2021년에 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)을 제정하였으며 2022년 3월 25일부터 시행 중이다. 이로써, 한국은 탄소중립을 전 세계에서 14번째로 법제화한 국가가 되었다. 특히 한국은 2050 탄소중립으로 나아가기 위한 중간적 성격을 지닌 2030 NDC(Nationally Determined Contribution)에 대한 상향안도 2021년에 개최된 COP26에서 발표할만큼 적극적으로 탄소중립에 대한 의지와 약속을 국제사회에 공헌하였다. 다만, 2023년에 2030 NDC에 대한 목표가 조정되어야 한다는 판단에 따라서 정부가 실현 가능한 수준으로 2030 NDC를 수정하였지만 탄소중립에 대한 중요성과 정책적 의지가 변한 것으로 볼 수는 없다.

탄소중립에 대한 아젠다는 향후 몇십년 동안 국제사회에서 지속될 것이며 탄소중립을 실현시키기 위한 다양한 노력이 병행될 것이다. 하지만 탄소중립의 근본적인 취지는 탄소배출량 감축에 있다는 점을 잊어서는 안된다. 탄소중립의 의미는 온실가스의 순배출량이 0이 되는 것을 말하는 것으로서 온실가스 배출은 줄이고 흡수량은 높여서 순배출량을 0으로 만드는 것을 의미한다.

즉, 탄소중립을 달성하기 위해서는 필연적으로 탄소배출량을 줄이기 위한 기술개발과 정책적 수단이 동원되어야 한다. 탄소중립을 선언한 스웨덴과 독일 그리고 한국 등의 국가들은 탄소배출량을 줄이기 위해서 신재생에너지를 확대하고 화석연료에 기반한 에너지를 줄이기 위한 비전을 제시한 상황이다.

앞으로 탄소중립을 선언하는 국가가 확대될수록 신재생에너지에 대한 관심과 의존도는 더 높아질 것으로 보인다. 이러한 점에서 OECD 국가들을 중심으로 신재생에너지가 경제성장 및 탄소배출량에 미치는 영향을 경제학적 이론 및 계량경제학적 방법론 등을 활용하여 분석해보고자 한다. OECD는 최소한 선진국의 반열에 올라있거나 선진국에 진입하기 위해 노력하고 있는 회원국들로 구성되어 있다고 볼 수 있는 만큼 지속가능한 경제성장이

나 탄소중립에 대한 국제사회의 관심이 커질수록 OECD 회원국들이 더 빠르게 관련 정책을 발표 및 시행할 가능성이 높기 때문이다.

또한, 본 연구에서는 OECD 국가들에 대한 패널자료를 구축하고 생산함수와 STIRPAT(Stochastic Impact by Regression on Population, Affluence and Technology) 모형 그리고 PMG(Pooled Mean Group) 추정을 통해서 경제성장과 탄소배출량에 신재생에너지가 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 이러한 연구를 통해서 신재생에너지가 경제성장에 긍정적인 영향을 미치고 탄소배출량 감축에도 충분히 기여한다는 시사점을 도출할 수 있을 것이며 나아가 신재생에너지로의 전환 및 확대가 탄소중립의 취지 및 방향에도 일치한다는 점을 도출하고자 한다. 이와 더불어 경제성장과 온실가스 배출량이 역 U자형의 관계를 가진다는 EKC 가설에 대해서도 OECD 국가들에 대해서 살펴보고 시사점을 제시하고자 한다.

환경오염과 경제성장의 관계에 관한 연구는 지속적으로 연구되고 있는 주제이다. 특히 환경오염에 직간접적으로 영향을 미치는 화석연료에 대한 의존도를 줄여야 한다는 움직임이 전세계적으로 강해지면서 신재생에너지가 탄소배출량이나 경제성장에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 다양한 관점에서 진행되고 있다.

Bhat(2018)은 이머징 시장에 속하는 BRICS 국가에 대해서 신재생에너지와 온실가스 배출량 그리고 경제성장의 관계를 살펴보았다. 이를 위해서, 재생에너지 소비와 비재생에너지 소비를 구분하고 각각 경제성장 및 온실가스 배출량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석기간은 1992년에서 2016년이며 브라질, 러시아, 중국, 인도, 남아프리카 공화국에 대해서 분석한 결과에 따르면 비재생에너지 소비는 경제성장에 대해서 양의 부호를 나타내며 통계적으로 유의하였고 재생에너지 소비는 양의 부호를 나타냈지만 통계적으로 유의하지 않아서 경제성장에 유의미한 영향을 나타내지 않았다. 반면에 재생에너지 소비는 온실가스 감축에 효과가 있었지만 비재생에너지 소비는 온실가스를 증가시키는 것으로 나타났다. 따라서, BRICS 국가들이 경제성장과 함께 온실가스 배출 감축 및 환경적 측면의 지속가능성을 위해 적절한 정책을 시행해야 한다고 주장했다.

Bilgili et al.(2016)은 EKC 가설을 검증함과 동시에 신재생에너지 소비가 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해서, OECD 17

개 국가에 대해서 분석하였으며 1977년에서 2010년까지를 분석기간으로 설정하였다. 분석방법론으로는 공적분 회귀식인 FMOLS와 DOLS를 사용하였다. 그 결과, GDP와 GDP 제곱항은 온실가스 배출에 각각 양의 영향과 음의 영향을 나타냈지만 신재생에너지 소비는 온실가스 배출에 음의 영향을 나타내어 감축효과가 있는 것으로 나타났다.

Apergis et al.(2014)는 신재생에너지, GDP, 배출량 그리고 오일가격의 인과관계를 살펴보았다. 25개 OECD 국가에 대해서 분석하였으며 분석기간은 1980년에서 2011년으로 하였다. 분석결과 중에서 온실가스 배출량의 증가가 신재생에너지 소비를 증가시키는 것으로 나타났으며 반면에 단기에는 신재생에너지 소비가 온실가스 배출량을 감축시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

Hasnisah et al.(2019)는 재생에너지 소비가 탄소배출량에 미치는 영향을 분석하였다. 아시아에 위치한 13개의 국가를 대상으로 하였으며 1980년에서 2014년을 분석기간으로 설정하였다. 그 결과, 신재생에너지가 탄소배출량 감축에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Long et al.(2015)는 중국에서의 에너지소비, 온실가스 배출량 그리고 경제성장의 관계를 살펴보았다. 에너지소비는 재생에너지와 비재생에너지로 구분하였으며 분석기간은 1952년에서 2012년과 1994년에서 2012년으로 각각 구분하여 추정하였다. 추정결과에 따르면 수력의 경우 경제성장과 온실가스 배출에 대해서 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서, 유의미한 영향을 확인하지 못했다.

Saidi et al.(2020)은 15개의 주요 재생에너지 소비국에 대해서 배출량과 경제성장에 대한 신재생에너지의 영향을 분석하였다. 분석방법으로는 FMOLS와 VECM을 사용하였다. 해당 연구에 따르면 신재생에너지는 경제성장에 대해서는 긍정적인 효과가 있으면서 배출량을 감축시키는데도 효율적인 것으로 나타났다.

Szetela et al.(2022)는 2000년에서 2015년까지 천연자원에 대한 의존도가 높은 국가들에 대해서 신재생에너지와 온실가스 배출량의 관계를 살펴보았다. 분석방법론으로는 OLS와 Two-step GMM 등을 사용하였다. 그 결과 신재생에너지가 온실가스 배출량을 감축시키는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

김재화 외(2015)는 신재생에너지가 한국의 온실가스 배출량에 미치는 영향을 분석하였다. 분석기간은 1971년에서 2010년까지로 설정하였으며 ARDL 모형을 활용하여 신재생에너지가 배출량에 미치는 영향을 장단기로 구분하여 분석하였다. 그 결과 장단기에서 모두 신재생에너지가 온실가스 배출을 감축하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

원두환 외(2018)은 일본에 대해서 신재생에너지와 원자력 에너지 그리고 온실가스 배출량의 관계를 분석하였다. ARDL 모형을 활용하여 장단기 분석을 진행하였으며 1970년부터 2014년까지를 분석기간으로 설정하였다. 특징적인 부분은 원자력 에너지는 온실가스 배출을 줄이는데 통계적으로 유의미한 효과가 있었지만 신재생에너지는 온실가스 배출을 줄이는데 유의미한 영향이 없는 것으로 나타났다. 저자들은 이러한 원인으로 신재생에너지에 대한 일본의 비중이 작고 신재생에너지 발전 과정에서도 온실가스가 배출되었기 때문으로 추정하였다.

조하현 외(2017)은 신재생에너지와 경제성장의 효과를 분석하기 위해서 89개국에 대해서 AB-GMM 추정결과를 활용하였으며 신재생에너지와 경제성장에 비선형적 관계가 있다고 주장하였다. 즉, 초기에는 신재생에너지의 소비가 경제성장에 음의 영향을 미치나 특정 시점 이후에는 양의 영향을 미친다고 분석하였다.

정용훈 외(2012)는 한국에 대해서 온실가스 배출량과 경제성장 그리고 에너지믹스의 관계를 분석하였다. 에너지믹스로는 원자력, 신재생, 석유 등의 비중을 고려하였다. 분석결과에 따르면 원자력에너지는 온실가스 배출량에 음의 부호를 나타내며 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나 신재생에너지는 음의 부호를 나타냈지만 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서, 원자력에너지는 온실가스 배출량을 감축하는데 기여하는 것으로 확인되었으나 신재생에너지는 감축에 기여하는 정도가 작거나 확인하기 어려운 것으로 나타났다.

이외에도 에너지소비가 장기적으로 경제성장에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 Adhikari et al.(2012)의 연구에 따르면 중상위 국가와 중하위 국가의 경우 에너지소비가 경제성장으로 이어지며 저소득 국가에서는 경제성장이 에너지소비로 이어진다고 주장했다.

결국, 여러 선행연구들을 종합하면 에너지소비는 경제성장과 밀접한 관계인 것을 부정할 수는 없으나 이러한 에너지소비로 인해 촉발되는 환경오염

문제를 신재생에너지와 같이 온실가스를 저감하는 방향으로 전환할 필요가 있으며 이로 인해 발생하는 온실가스 감축 효과와 경제성장에 미치는 효과는 지속적인 연구가 필요한 시의성이 높은 주제라고 할 수 있다.

즉, 본 연구는 탄소중립 및 친환경 에너지로의 전환이 부각되고 있는 현 시점에서 신재생에너지가 경제성장과 탄소배출량에 미치는 영향을 분석했다는 점에서 시의성이 높다고 할 수 있다. Bhat(2018)은 본 연구와 동일한 관점에서 신재생에너지가 경제성장과 탄소배출량에 미치는 효과를 살펴봤지만 이머징 마켓에 속하는 국가인 브라질, 러시아, 중국, 인도 그리고 남아프리카공화국에 한정해서 분석했다는 한계가 존재한다.

이와 반면에 본 연구는 분석대상국을 OECD 회원국으로 하였다. 탄소중립 및 친환경 에너지로의 전환은 이머징 마켓에 속한 국가보다는 선진국 그룹에 속한 국가들에서 더 빠르게 논의되고 성과가 나타나고 있기 때문에 신재생에너지의 보급 확대 및 이에 대한 수요가 늘어나는 효과를 명확하게 관측하기 위해서는 선진국 그룹에 속한 국가들이 분석대상에 반드시 포함되어야 한다. 이러한 관점에서 본 연구는 OECD 회원국으로 분석대상국을 한정했다.

또한, OECD 회원국 중에서 ETS(Emissions Trading System: 배출권 거래제도)를 시행 중인 국가를 추가로 분류하여 별도로 추정하였다. ETS는 탄소세(Carbon Tax)와 더불어서 대표적인 탄소가격제도(Carbon Pricing)중 하나이다. 이러한 ETS에는 유럽연합에서 시행 중인 EU-ETS가 대표적이며 이외의 국가에서도 ETS를 시행 중이다. 예를 들어, 영국은 브렉시트 이후에 EU-ETS가 아닌 UK-ETS를 시행 중이며 우리나라도 2015년에 ETS를 도입하여 시행 중이다. 미국도 연방정부 차원의 도입은 없으나 일부 주에서 시행 중이다. ETS는 탄소배출량의 감축에 필요한 정책 수단이며 신재생에너지로의 전환에도 간접적으로 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 점에서 함께 고려되어야 할 요인이라고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 ETS를 시행 중인 OECD 회원국에 대해서 별도로 구분하여 추정결과를 비교분석하였다. OECD 회원국 중에서는 친환경 관련 규제 및 탄소배출량 감축에 국가적 그리고 국민적 관심도가 높은 유럽국가들과 그렇지 않은 비유럽국가를 하위그룹으로 분류하여 별도로 재추정하였다. 이를 통해서 유럽국가들과 비유럽국가에서의 신재생에너지가 탄소배출량 및 경제성장에 미치는 영향을 비교하고자 하였다.

이외에, 조하현 외(2017)은 AB-GMM으로 추정하고 Barro(2003)의 연구결과에 착안하여 통제변수 등을 사용하였다. 하지만, 본 연구에서는 OECD 회원국에 대한 패널 데이터셋을 구축하면서 패널모형을 추정하는 방법론으로 PMG 추정방법을 활용하였다. 또한, 신재생에너지와 온실가스 배출량의 관계와 신재생에너지와 경제성장의 관계를 별도의 로직 및 모형을 통해서 추정하였다. 신재생에너지와 온실가스 배출량의 관계는 STIRPAT 모형에 기반하였으며 신재생에너지와 경제성장의 관계는 생산함수 개념을 활용하였다. 특히, OECD 회원국 내에 하위그룹을 별도로 구성하여 다양한 분석을 추가로 진행하였다.

본 연구는 탄소중립 및 친환경 에너지로의 전환을 위해서 신재생에너지의 보급이 확대되어야 하는 상황에서 신재생에너지가 탄소배출량 감축뿐만 아니라 경제성장에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있는지를 분석한다는 점에서 그 의의가 있다. 특히, 신재생에너지의 중요성과 화석연료에서 신재생에너지로의 전환이 더욱 빠르게 진행될 필요가 있다는 것에 대한 정책적 시사점을 제공하여 학문적 및 실용적으로 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 I 장에서는 본 연구의 목적과 관련 연구 그리고 차별점을 살펴보았다. 제 II 장부터는 연구에서 활용한 방법론과 데이터셋 그리고 본격적인 모형 추정에 앞서 검정들을 시행한 결과를 설명한다. 제 III 장에서는 실증분석 결과를 다루며 제 IV 장에서는 종합적인 결론을 도출하고 본 연구의 정책적 시사점을 제안한다. 부록에서는 강건성 검정으로 DOLS와 FMOLS로 추정한 결과를 설명한다.

## II. 연구방법론

### 1. 추정모형

본 연구에서는 OECD 국가에 대해서 신재생에너지가 경제성장 및 탄소 배출량에 미치는 영향을 패널모형을 통해 분석하였다. 특히, 종속변수로 각각 탄소배출량과 GDP를 두고 PMG 추정을 활용하여 패널분석을 진행하였다. 즉, 경제성장 측면과 탄소배출량 측면에서 신재생에너지가 미치는 영향

을 도출하고자 하였다.

이를 위한 이론적인 근거로서 EKC와 생산함수 그리고 STIRPAT 모형을 기반으로 하였다. 먼저, EKC는 경제성장과 환경오염의 역U자형 관계를 보여주는 것으로서, 경제성장과 환경오염(탄소배출량)의 관계를 살펴보는 데 있어서 매우 중요하다. 이러한 EKC는 Kuznets(1955)가 발표한 경제성장과 소득불평등에 관한 논문에 기반을 두고 이를 환경오염과 소득의 관계로 확장한 것이다. EKC는 다음과 같이 GDP와 GDP의 제곱항이 종속변수인 탄소배출량에 대한 설명변수로서 사용된다.

$$EI_t = \alpha + \beta_1 GDP_t + \beta_2 GDP_t^2 + \epsilon_t \quad (1)$$

여기서,  $EI_t$  = 환경에 대한 영향(1인당 탄소배출량),

$GDP_t$  = 1인당 실질 GDP,  $GDP_t^2$  =  $GDP_t$  제곱항

식 (1)에서 추정된  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 의 부호가 각각 +와 -로 추정되게 되면 EKC가 도출된다. EKC는 저성장 국면에서는 환경오염이 증가하지만 일정 수준 이상의 성장을 기록하게 되면 환경 관련 기술의 발전과 환경에 대한 인식 전환 등 다양한 요인으로 환경오염이 감소할 수 있다는 것을 말하고 있다. EKC는 경제성장과 환경오염과 관련한 연구에서 가장 많이 인용되는 가설 중 하나이기 때문에 이러한 EKC를 본 연구에서도 참조하였다.

식 (2)~식 (7)은 경제성장과 신재생에너지 그리고 탄소배출량과 신재생에너지의 관계를 추정하기 위해서 본 연구에서 활용한 방법론에 대한 설명이다. 먼저, 생산함수는 본 연구에서 경제성장과 신재생에너지의 관계를 살펴보는 근거로 활용하였다. 먼저, 신고전학과 이론에 근거한 생산함수를 식 (2)와 같이 자본과 노동의 함수로서 간략하게 정의할 수 있다.

$$GDP_{i,t} = f(K_{i,t}, L_{i,t}) \quad (2)$$

여기서,  $GDP_{i,t}$  = 산출량,  $K_{i,t}$  = 자본,  $L_{i,t}$  = 노동

이에 식 (3)과 같이 자본의 대리변수(proxy)로서 총고정자본형성을 사용하고 노동의 대리변수로는 경제활동인구를 활용하면서 신재생에너지 변수를 함께 추가하여 경제성장과 신재생에너지 변수의 관계를 살펴보는 기본적인

인 모형으로 활용하였다. 또한, 추정할 때 식 (3)에 설명변수로 탄소배출량을 별도로 추가하였다.

$$GDP_{i,t} = f(GFCF_{i,t}, EAP_{i,t}, RENEW_{i,t}) \quad (3)$$

여기서,  $GDP_{i,t}$  = 산출량,  $GFCF_{i,t}$  = 총고정자본형성,

$EAP_{i,t}$  = 경제활동인구,  $RENEW_{i,t}$  = 신재생에너지

Ehrlich et al.(1971)과 Holdren et al.(1974)에서 소개된 IPAT 모형은 식 (4)와 같이  $I$ (환경오염에 대한 영향)을 설명 및 나타내는 동인을 3가지로 정의하고 있다.  $P$ 는 인구를 의미하며  $A$ 는 소득 그리고  $T$ 는 기술을 의미한다.  $I$ 의 대리변수로서 탄소배출량을 사용하게 된다면 탄소배출량에 영향을 미치는 동인이 인구, 소득 그리고 기술이라고 해석할 수 있다. 이러한 I-PAT 모형은 이후에도 York et al.(2002)와 윤지연 외(2015)와 같이 꾸준히 관련 분야에서 인용 및 활용되어지고 있다.

$$I = P \cdot A \cdot T \quad (4)$$

여기서,  $I$  = 환경에 대한 영향,  $P$  = 인구,  $A$  = 소득,  $T$  = 기술

위의 I-PAT 모형에 대해서 Dietz et al.(1997)이 발전시킨 STIRPAT 모형은 식 (4)를 확률적 모형으로 전환시킨 것이다. 즉, STIRPAT 모형은 식 (5)와 같이 정의할 수 있으며 식 (5)를 log 변환하고 패널분석에 맞게 변환시키면 식 (6)을 도출할 수 있다. 즉, 본 연구에서는 STIRPAT 모형을 기반으로 하여 이를 탄소배출량과 신재생에너지의 관계를 분석하기 위한 실증분석에 맞게 패널모형으로 변환시켜 활용한다.

$$I_i = \alpha P_i^\beta \cdot A_i^\gamma \cdot T_i^\delta \cdot e_i \quad (5)$$

여기서,  $I_i$  = 환경에 대한 영향,  $P_i$  = 인구,  $A_i$  = 소득,

$T_i$  = 기술,  $e_i$  = 오차항

$$\log I_{i,t} = \log \alpha + \beta \log P_{i,t} + \gamma \log A_{i,t} + \delta \log T_{i,t} + \log e_{i,t} \quad (6)$$

식 (6)에 대해서 종속변수와 3가지의 동인에 대한 대리변수를 각각 탄소

배출량, 경제활동인구, 1인당 GDP, 신재생에너지를 활용하여 식 (7)을 탄소 배출량과 신재생에너지의 관계를 분석하는 기본적인 모형으로 활용하였다.

$$\log CO2\_Emission_{i,t} = \log\alpha + \beta\log EAP_{i,t} + \gamma\log INCOME_{i,t} + \delta\log RENEW_{i,t} + \log\epsilon_{i,t} \quad (7)$$

여기서,  $CO2\_Emission_{i,t}$  = 탄소배출량,

$EAP_{i,t}$  = 경제활동인구,  $INCOME_{i,t}$  = 1인당 실질 GDP

$RENEW_{i,t}$  = 신재생에너지

결론적으로, 본 연구에서 추정하고자 하는 모형과 해당 모형을 바탕으로 그룹별로 추정하고자 하는 방식은 <표 1>과 같다. Model1은 생산함수에 기반을 두고 신재생에너지와 경제성장의 관계를 살펴보는 모형을 의미한다. 해당 Model1을 바탕으로 OECD 회원국에 대해서 4가지 그룹으로 구분하여 추정 및 분석을 진행하였다. 마찬가지로 Model2는 STIRPAT에 기반을 두고 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 분석하였으며 OECD 회원국에 대해서 Model1과 동일하게 4가지 그룹으로 구분하여 추정하였다. 추정방법론으로는 Pesaran et al.(1999)의 PMG 추정방법을 활용하였으며 PMG 추정방법은 변수들 간의 공적분 관계를 고려하여 장기 및 단기식을 도출할 수 있다.

<표 1> 추정모형 및 그룹(Model and Group for Estimation)

추정모형	모형에 대한 정의	그룹
Model1	생산함수에 기반을 둔 (신재생에너지와 경제성장의 관계)	OECD 전체 회원국
		OECD 회원국 중 ETS 시행국
		OECD 회원국 중 유럽
		OECD 회원국 중 비유럽
Model2	STIRPAT에 기반을 둔 (신재생에너지와 탄소배출량의 관계)	OECD 전체 회원국
		OECD 회원국 중 ETS 시행국
		OECD 회원국 중 유럽
		OECD 회원국 중 비유럽

## 2. 데이터셋

본 연구에서 사용한 데이터셋은 다음 <표 2>와 같다. 먼저, OECD에 속

한 국가들의 데이터이며 38개국을 대상으로 하고 있다. 또한, 데이터셋은 모형1과 모형2를 추정하기 위해 필요한 변수들로 구성되어 있다. 즉, 신재생에너지와 경제성장의 관계 그리고 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 살펴보기 위해 필요한 변수들을 의미한다. 총고정자본형성과 경제활동인구는 자본과 노동의 대리변수이며 GDP와 1인당 GDP는 각각 산출량과 소득의 대리변수이다. 이외에 신재생에너지와 탄소배출량을 함께 데이터셋에 구축하였다. 신재생에너지 변수는 Vatamanu et al.(2023)에서 활용한 변수와 동일한 World Bank 자료를 활용하였다.

〈표 2〉 데이터셋(Dataset)

변수	기간	빈도	출처
총고정자본형성(GFCF)			World Bank
경제활동인구(EAP)			
GDP(GDP)			
1인당 GDP(INCOME)	1995 ~ 2018	연별	Our world in data
신재생에너지 (RENEW_CONS)			
탄소배출량 (CO2_EMISSION)			

### 3. 패널 단위근 검정 및 공적분 검정

본 연구의 패널분석을 진행하기 위해서는 패널 단위근 검정 및 패널 공적분 검정의 시행이 필요하다. 시계열 분석에서 많이 활용되는 단위근 검정은 변수가  $I(0)$ 인지  $I(1)$ 인지 또는  $I(2)$ 인지 판별하기 위해서 사용하는 검정 방법이다. 만약  $I(1)$  변수를 차분하지 않고 회귀식을 구성하여 추정할 경우 가성회귀(Spurious Regression) 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 시계열 분석뿐만 아니라 시계열과 횡단면이 결합된 패널분석에서도 패널변수들이 단위근을 가지고 있는지 검정할 필요가 있다. 다만, 본 연구에서 활용하는 추정방법인 PMG 추정방법은 변수가  $I(0)$  또는  $I(1)$ 의 여부에 상관없이 추정이 가능하다. 하지만 변수가  $I(2)$ 일 가능성도 배제할 수 없으며  $I(2)$ 의 변수가 존재할 경우 추정결과를 신뢰할 수 없기 때문에 PMG 추정방법을 사용하는 Asteriou et al.(2004)와 최원형 외(2018)등과 같은 다수의 연구들에서도 단위근 검정결과를 시행하기도 한다. 본 연구에서 패널 단위근

검정의 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 패널 단위근 검정(Panel Unit Root Test)

OECD 전체 회원국 (1995년~2018년)					
수준변수			차분변수		
변수	통계량		변수	통계량	
	Fisher-ADF	Fisher-PP		Fisher-ADF	Fisher-PP
총고정자본형성	79.47	76.19	총고정자본형성	377.08***	382.97***
경제활동인구	81.73	171.89***	경제활동인구	110.70***	68.65
GDP	91.92	154.84***	GDP	326.03***	330.07***
1인당 GDP	95.79*	165.50***	1인당 GDP	305.11***	319.74***
신재생에너지	44.49	46.67	신재생에너지	531.51***	662.28***
탄소배출량	120.91***	114.78***	탄소배출량	498.75***	651.22***
OECD 회원국 중 ETS 시행국 (2005년~2018년)					
수준변수			차분변수		
변수	통계량		변수	통계량	
	Fisher-ADF	Fisher-PP		Fisher-ADF	Fisher-PP
총고정자본형성	58.17	39.17	총고정자본형성	137.00***	138.90***
경제활동인구	53.93	41.69	경제활동인구	64.72**	31.92
GDP	25.27	22.13	GDP	120.03***	137.29***
1인당 GDP	33.85	32.59	1인당 GDP	119.98***	127.43***
신재생에너지	72.29***	120.93***	신재생에너지	165.47***	203.48***
탄소배출량	36.45	39.63	탄소배출량	261.62***	324.37***
OECD 회원국 중 비유럽국가 (1995년~2018년)					
수준변수			차분변수		
변수	통계량		변수	통계량	
	Fisher-ADF	Fisher-PP		Fisher-ADF	Fisher-PP
총고정자본형성	63.77	61.79	총고정자본형성	238.88***	226.05***
경제활동인구	38.49	25.71	경제활동인구	78.64**	45.80
GDP	60.86	80.64***	GDP	198.29***	199.53***
1인당 GDP	64.00	100.57***	1인당 GDP	182.98***	191.93***
신재생에너지	26.51	24.43	신재생에너지	329.19***	402.86***
탄소배출량	78.68***	55.40	탄소배출량	346.00***	465.30***
OECD 회원국 중 비유럽국가 (1995년~2018년)					
수준변수			차분변수		
변수	통계량		변수	통계량	
	Fisher-ADF	Fisher-PP		Fisher-ADF	Fisher-PP
총고정자본형성	15.70	14.41	총고정자본형성	138.20***	156.93***
경제활동인구	43.23***	146.18***	경제활동인구	32.06	22.85
GDP	31.06	74.20***	GDP	127.73***	130.54***
1인당 GDP	31.79	64.93***	1인당 GDP	122.13***	127.81***
신재생에너지	17.97	22.24	신재생에너지	202.32***	259.42***
탄소배출량	42.23**	59.38***	탄소배출량	152.74***	185.92***

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%를 의미함.

Note: \*\*\*, \*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ , respectively.

단위근 검정결과에서 알 수 있듯이, 대부분의 패널변수들이 I(1)인 것으로 나타났다. 따라서, 공적분 검정을 추가로 시행하여 수준변수로도 추정이 가능할지를 살펴보았다. 패널변수들 간에 장기적인 균형관계인 공적분이 존재한다면 차분하지 않고 수준변수로 추정이 가능하기 때문이다. 본 연구에서 패널 공적분 검정은 신재생에너지와 경제성장의 관계를 살펴보는 모형1

〈표 4〉 Model1을 위한 패널 공적분 검정(Panel Cointegration Test)

OECD 전체 회원국				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	0.20	-0.61	Group rho-Statistic	4.46
Panel rho_Statistic	2.33	2.22	Group PP-Statistic	-1.07
Panel PP-statistic	-1.26	-1.66**	Group ADF-Statistic	-3.22***
Panel ADF-Statistic	-2.16**	-2.67***		
OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	1.35*	-0.73	Group rho-Statistic	5.46
Panel rho_Statistic	3.87	2.99	Group PP-Statistic	-6.36***
Panel PP-statistic	-1.21	-3.83***	Group ADF-Statistic	-7.30***
Panel ADF-Statistic	-3.91***	-5.95***		
OECD 회원국 중 유럽				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	0.30	-0.48	Group rho-Statistic	2.96
Panel rho_Statistic	1.72	1.31	Group PP-Statistic	-2.91***
Panel PP-statistic	-1.44*	-2.61***	Group ADF-Statistic	-3.77***
Panel ADF-Statistic	-2.11**	-3.22***		
OECD 회원국 중 비유럽				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	-0.53	-0.37	Group rho-Statistic	3.58
Panel rho_Statistic	2.32	2.03	Group PP-Statistic	2.38
Panel PP-statistic	1.33	0.92	Group ADF-Statistic	-0.18
Panel ADF-Statistic	0.36	0.13		

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%를 의미함.

Note: \*\*\*, \*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ , respectively.

〈표 5〉 Model2를 위한 패널 공적분 검정(Panel Cointegration Test)

OECD 전체 회원국				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	3.10***	1.81**	Group rho-Statistic	-0.09
Panel rho_Statistic	-1.59*	-2.44***	Group PP-Statistic	-9.25***
Panel PP-statistic	-6.90***	-8.15***	Group ADF-Statistic	-7.69***
Panel ADF-Statistic	-4.65***	-7.17***		
OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	-0.22	-0.95	Group rho-Statistic	3.02
Panel rho_Statistic	0.74	1.65	Group PP-Statistic	-9.37***
Panel PP-statistic	-6.10***	-4.99***	Group ADF-Statistic	-7.25***
Panel ADF-Statistic	-5.72***	-6.35***		
OECD 회원국 중 유럽				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	2.73***	1.67**	Group rho-Statistic	-0.78
Panel rho_Statistic	-1.57*	-2.65***	Group PP-Statistic	-9.87***
Panel PP-statistic	-6.62***	-8.40***	Group ADF-Statistic	-7.29***
Panel ADF-Statistic	-3.77***	-7.03***		
OECD 회원국 중 비유럽				
within-dimension			between-dimension	
검정방법	통계량		검정방법	통계량
	unweighted	weighted		
Panel v-statistic	1.49*	0.78	Group rho-Statistic	0.98
Panel rho_Statistic	-0.50	-0.48	Group PP-Statistic	-1.94**
Panel PP-statistic	-2.57***	-2.37***	Group ADF-Statistic	-2.95***
Panel ADF-Statistic	-2.79***	-2.55***		

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%를 의미함.

Note: \*\*\*, \*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ , respectively.

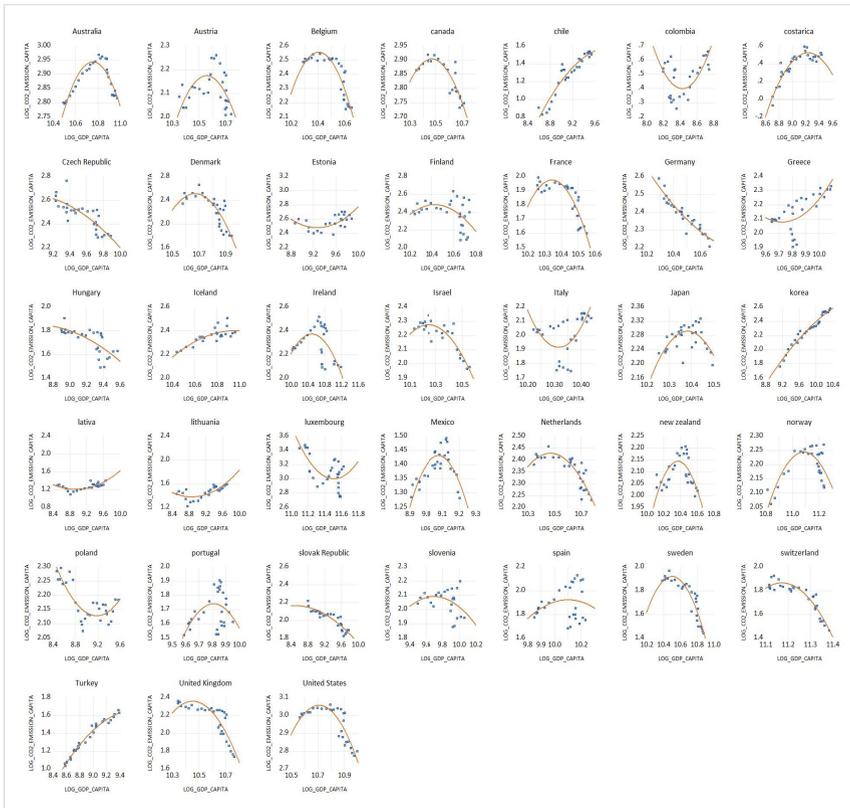
과 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 살펴보는 모형2에 대해서 각각 시행하였다. 패널 공적분 검정방법으로는 Pedroni 공적분 검정을 사용하였다. 공적분 검정결과를 나타내는 〈표 4〉와 〈표 5〉에서 알 수 있듯이, 일부의 경우를 제외하고 전반적으로 공적분이 존재하는 것으로 나타나 수준변수로 추정함에 문제가 없음을 확인하였다.

### Ⅲ. 실증 분석1)

#### 1. OECD 회원국별 EKC

신재생에너지와 경제성장 그리고 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 살펴보기에 앞서서 OECD 회원국별 EKC를 도출해보았다. 이때, 사용한 자료는 1인당 배출량과 1인당 소득이다. OECD 38개 회원국에 대해서 1인당 배출량과 1인당 소득의 관계를 살펴보면 다음 <그림 1>과 같다. 대부

<그림 1> OECD 국가의 환경쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve for OECD Countries)



- 1) 각 표에 기재된 변수들의 명칭은 본 논문의 2장에 기재되어 있는 <표 2>의 데이터셋 부분의 내용과 동일하다(GFCF=총고정자본형성, EAP=경제활동인구, GDP=GDP, INCOME=1인당 GDP, RENEW\_CONS=신재생에너지, CO2\_EMISSION=탄소배출량).

분의 국가에서 역 U자 커브의 형태를 띠고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 일부 국가들은 역 U자 커브가 나타나지 않고 추세적으로 증가하거나 감소하는 패턴을 나타내었다. 한국, 칠레, 터키 등은 1인당 소득이 늘어날수록 1인당 배출량도 늘어나는 모습을 나타내고 있다. 반면에 독일, 체코 등은 1인당 소득이 늘어날수록 1인당 배출량이 감소하는 모습을 보였다.

## 2. 신재생에너지와 경제성장의 관계(OECD 전체 회원국)

OECD 전체 회원국에 대해서 신재생에너지와 경제성장의 관계를 살펴본 것은 <표 6>과 같다. 추정결과에서 알 수 있듯이, 장기식에서 경제활동인구와 총고정자본형성은 경제성장과 장기적으로 양의 관계를 나타내었으며 신재생에너지와 탄소배출량도 경제성장과 양의 관계를 보여주었다. 특히 OECD 전체 회원국에 대해서 신재생에너지가 경제성장에 긍정적인 영향을 미친다는 것이 확인되었다는 점에서 신재생에너지의 중요성을 확인했다고 평가할 수 있다. 또한 단기식에서는 오차수정항이 음의 부호를 나타내며 유의한 것으로 나타나 모형의 적합성도 확인되었다.

<표 6> 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 전체 회원국)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for all OECD Member Countries)

Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.35***	0.117
LOG(GFCF)	0.83***	0.048
LOG(RENEW_CONS)	0.07***	0.017
LOG(CO2_EMISSION)	0.11*	0.062
Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.05***	0.015
DLOG(EAP)	0.33	0.231
DLOG(GFCF)	0.22***	0.015
DLOG(RENEW_CONS)	0.02*	0.012
DLOG(CO2_EMISSION)	0.11***	0.022
C	-0.08**	0.031
obs	902	
Log likelihood	2877.10	

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%를 의미함.

Note: \*\*\*, \*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ , respectively.

### 3. 신재생에너지와 탄소배출량의 관계(OECD 전체 회원국)

OECD 전체 회원국에 대해서 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 살펴본 것은 <표 7>과 같다. 장기식의 추정결과에서 알 수 있듯이, 경제활동인구와 소득은 양의 부호를 나타내며 유의하였으며 신재생에너지는 음의 부호를 나타내며 유의하였다. 이를 통해서 OECD 전체 회원국에 대해서 신재생에너지가 탄소배출량의 감축에 효과가 있다는 것과 소득과 경제활동인구의 증가는 탄소배출량을 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

<표 7> 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 전체 회원국)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for all OECD Member Countries)

Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.52***	0.087
LOG(RENEW_CONS)	-0.18***	0.006
LOG(INCOME)	0.28***	0.034
Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.25***	0.045
DLOG(EAP)	0.25	0.756
DLOG(RENEW_CONS)	-0.20***	0.051
DLOG(INCOME)	0.57***	0.069
C	1.86***	0.338
obs	903	
Log likelihood	1978.848	

주: \*\*\*는 유의수준 1%를 의미함.

Note: \*\*\* represents statistical significance at  $p < 0.01$ .

### 4. 신재생에너지와 경제성장의 관계(OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)

OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국만을 대상으로 신재생에너지와 경제성장의 관계를 살펴본 것은 <표 8>과 같다. 장기식의 추정결과를 살펴보면 OECD 전체 회원국을 대상으로 한 <표 6>과 일부 다른 결과가 도출 되었다. 총고정자본형성과 신재생에너지 그리고 탄소배출량은 양의 부호를 나타

내며 통계적으로 유의하여 동일한 결과를 도출했지만 경제활동인구는 음의 부호를 나타냈다는 점이 특징적인 부분이다. OECD 회원국 중에서도 EU-ETS를 시행 중인 국가들은 친환경으로의 산업구조의 개편과 환경에 대한 국민들의 인식수준이 높다는 점 그리고 EU 차원에서 추진되는 여러 가지 관련 규제 정책 등의 영향으로 단순히 경제활동인구의 증가가 경제성장으로 이어지지 않는다는 것을 보여준다고 볼 수 있다.

〈표 8〉 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)  
(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for ETS implementing Countries among OECD Member Countries)

Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	-0.76***	0.038
LOG(GFCF)	0.20***	0.019
LOG(RENEW_CONS)	0.21***	0.012
LOG(CO2_EMISSION)	0.61***	0.057
Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.19**	0.080
DLOG(EAP)	0.38	0.652
DLOG(GFCF)	0.24***	0.032
DLOG(RENEW_CONS)	0.01	0.029
DLOG(CO2_EMISSION)	0.11**	0.050
C	4.12**	1.770
obs	322	
Log likelihood	1092.31	

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.  
Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

### 5. 신재생에너지와 탄소배출량의 관계(OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)

OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국만을 대상으로 신재생에너지와 탄소 배출량의 관계를 살펴본 것은 〈표 9〉와 같다. OECD 전체 회원국을 대상으로 한 〈표 7〉의 결과와 동일하게 장기식에서 경제활동인구와 소득은 양의 부호를 나타내며 유의하였으며 신재생에너지는 음의 부호를 나타내며 유의

한 것으로 나타났다. 다만, 신재생에너지의 계수값이 EU-ETS 시행국에서 더 크게 나타나 신재생에너지가 탄소배출량을 감축시키는 효과가 더 큰 것으로 추정되었다. 이는 탄소가격제도인 배출권거래제도를 시행하는 국가에서 신재생에너지 보급 및 수요가 더 크기 때문으로 해석할 수 있다.

〈표 9〉 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)  
(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for ETS implementing Countries among OECD Member Countries)

Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.78***	0.104
LOG(RENEW_CONS)	-0.21***	0.009
LOG(INCOME)	0.21***	0.034
Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.51***	0.093
DLOG(EAP)	1.17	1.245
DLOG(RENEW_CONS)	-0.15**	0.066
DLOG(INCOME)	0.54***	0.085
C	2.25***	0.411
obs	322	
Log likelihood	753.52	

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.

Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

## 6. 신재생에너지와 경제성장의 관계(OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽)

OECD 회원국 중 유럽과 비유럽 국가에 대해서 신재생에너지와 경제성장의 관계를 추정 및 비교한 결과는 〈표 10〉과 같다. OECD 회원국 중 유럽국가의 경우 경제활동인구, 총고정자본형성, 신재생에너지, 그리고 탄소배출량이 모두 양의 부호를 나타내며 통계적으로 유의하였지만 비유럽국가의 경우 경제활동인구와 총고정자본형성만 양의 부호를 나타내며 통계적으로 유의하였다. 따라서, OECD 회원국 중 비유럽국가에 대해서 신재생에너지가 경제성장에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

〈표 10〉 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽) Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for European and non-European countries among OECD member countries

OECD 회원국 중 유럽국가			OECD 회원국 중 비유럽국가		
Long-Run Eq			Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.35***	0.125	LOG(EAP)	1.05***	0.292
LOG(GFCF)	0.85***	0.051	LOG(GFCF)	0.57***	0.104
LOG(RENEW_CONS)	0.08***	0.016	LOG(RENEW_CONS)	0.01	0.060
LOG(CO2_EMISSION)	0.16**	0.073	LOG(CO2_EMISSION)	-0.09	0.135
Short-Run Eq			Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.07***	0.020	COINTEQ01	-0.04	0.026
DLOG(EAP)	0.18	0.224	DLOG(EAP)	0.68	0.608
DLOG(GFCF)	0.23***	0.018	DLOG(GFCF)	0.20***	0.024
DLOG(RENEW_CONS)	0.02	0.017	DLOG(RENEW_CONS)	0.03*	0.015
DLOG(CO2_EMISSION)	0.11***	0.024	DLOG(CO2_EMISSION)	0.12**	0.049
C	-0.19***	0.065	C	-0.12	0.101
obs	618		obs	284	
Log likelihood	1918.12		Log likelihood	961.75	

주: \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%를 의미함.  
 Note: \*\*\*, \*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ , respectively.

### 7. 신재생에너지와 탄소배출량의 관계(OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽)

OECD 회원국 중 유럽과 비유럽 국가에 대해서 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 추정 및 비교한 결과는 〈표 11〉과 같다. 추정결과에서 알 수 있듯이, OECD 회원국 중 유럽국가에서는 경제활동인구와 소득은 양의 부호를 나타내며 유의하였고 신재생에너지는 음의 부호를 나타내며 통계적으로 유의하였다. 하지만 OECD 회원국 중 비유럽국가의 경우 경제활동인구는 유의하지 않게 나타났다. 특히 신재생에너지의 계수값이 비유럽국가에서 더 크게 나타난 점은 상대적으로 탄소배출을 줄이는 여러 가지 정책적 수단을 이미 유럽국가에서는 많이 시행하고 있지만 비유럽국가의 경우 그렇지 않기 때문에 신재생에너지가 탄소배출을 감축하는데 상대적으로 더 큰 효과를 보일 수 있다는 것을 시사하고 있다.

〈표 11〉 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for European and non-European countries among OECD member countries)

OECD 회원국 중 유럽국가			OECD 회원국 중 비유럽국가		
Long-Run Eq			Long-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.65***	0.123	LOG(EAP)	-0.25	0.213
LOG(RENEW_CONS)	-0.18***	0.007	LOG(RENEW_CONS)	-0.49***	0.071
LOG(INCOME)	0.26***	0.035	LOG(INCOME)	0.81***	0.094
Short-Run Eq			Short-Run Eq		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
COINTEQ01	-0.26***	0.060	COINTEQ01	-0.23***	0.066
DLOG(EAP)	1.05	0.672	DLOG(EAP)	-2.04	1.856
DLOG(RENEW_CONS)	-0.23***	0.070	DLOG(RENEW_CONS)	-0.10**	0.050
DLOG(INCOME)	0.51***	0.077	DLOG(INCOME)	0.66***	0.150
C	1.48***	0.341	C	3.90***	1.162
obs	619		obs	284	
Log likelihood	1322.61		Log likelihood	661.047	

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.

Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

## IV. 결 론

본 연구는 친환경 및 탄소중립과 같은 아젠다가 떠오르고 있는 상황에서 탄소배출량 감축 및 지속가능한 경제성장을 위해서 신재생에너지 보급확대의 필요성과 경제성장과 탄소배출량에 미치는 영향에 대해서 분석하고자 하였다. 이를 위해서, 선진국 그룹이라고 할 수 있는 OECD 회원국들을 대상으로 다양한 하위그룹을 편성하고 신재생에너지와 경제성장의 관계 그리고 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 확인하고자 하였다.

이를 위해서, 신재생에너지와 경제성장의 관계는 생산함수의 관점에서 Model1을 구축하였으며 신재생에너지와 탄소배출량의 관계는 STIRPAT을 기반으로 Model2를 구축하였다. 구체적인 추정방법은 PMG 추정을 활용하였으며 각 추정그룹은 OECD 전체 회원국, OECD 회원국 중 ETS 시행국, OECD 회원국 중 유럽, OECD 회원국 중 비유럽으로 구분하였다.

분석기간은 1995년~2018년으로 설정하였으며 다만 ETS 시행국의 경우 EU-ETS가 도입 및 시행된 2005년을 시작기간으로 하였다.

먼저, OECD 전체 회원국을 대상으로 분석한 결과에 따르면, 신재생에너지는 경제성장에 양의 영향을 미쳤으며 탄소배출량에는 음의 영향을 나타내었다. 즉, 경제성장에는 긍정적인 효과를 나타내고 탄소배출량 감축에도 효과가 있었다. OECD 회원국 중 ETS를 시행하는 국가에서도 신재생에너지는 경제성장과 탄소배출량 감축에 대해서 모두 효과가 있었다. OECD 회원국 중 유럽과 비유럽 국가의 경우 비유럽국가에서는 신재생에너지가 경제성장에 유의미한 영향을 나타내지 않았다. 이를 통해서 비유럽 국가의 경우 신재생에너지가 경제성장에 긍정적인 효과를 주도록 산업구조의 재편 및 친환경 산업으로의 전환이 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어, 한국의 경우에도 여전히 화석연료에 기반한 산업의 비중이 작지 않으며 유럽에 비해서 신재생에너지에 대한 수요도 크다고 볼 수 없다. 이러한 부분을 고려할 때, 친환경과 관련된 기술개발과 혁신이 지속적으로 이뤄질 수 있도록 기업과 정부가 함께 적극적으로 노력할 필요가 있다. 또한, 저탄소 경제로 전환하기 위한 다양한 산업적 정책과 지원을 아끼지 않아야 한다. 나아가 신재생에너지에 대한 보급 확대가 이뤄질 수 있도록 다양한 장려책들도 고려할 필요가 있다.

추정결과를 통해서 알 수 있듯이, 선진국 그룹인 OECD 회원국을 대상으로 분석했을 때 신재생에너지가 전반적으로 경제성장과 탄소배출량 감축에 효과가 있는 것으로 나타났기 때문에 신재생에너지의 보급이 더욱 확대될 필요가 있으며 향후에 그에 대한 수요도 더 크게 증가할 것으로 예상된다. 특히, 화석연료에서 신재생에너지로의 전환은 탄소중립을 위해서도 필수적인만큼 신재생에너지가 안정적으로 보급 및 확산되고 이러한 신재생에너지가 경제성장을 저해하는 것이 아닌 오히려 지속가능한 경제성장이 가능하도록 만드는 중요한 요인이라는 점을 상기해야 한다. 또한, 개별국가뿐만 아니라 국제사회 측면에서도 적극적으로 정책공조를 긴밀하게 펼쳐 선진국 그룹뿐만 아니라 개발도상국 및 후진국 그룹에도 신재생에너지에 대한 정책적 지원 및 관심이 확산될 수 있도록 지원해야 할 것이다.

아울러, 후속연구에서는 신재생에너지와 경제성장 및 탄소배출량의 관계를 살펴봄에 있어서 추가적인 요인을 고려하고자 한다. 특히, 본 연구처럼

신재생에너지와 경제성장 그리고 신재생에너지와 탄소배출량의 관계를 분석함에 있어서 별도의 모형을 구축할 때 다양한 요인을 더 포함하여 분석할 수 있다면 더욱 세분화된 정책적 시사점이 도출될 수 있을 것으로 기대한다.

투고 일자: 2022. 10. 25. 심사 및 수정 일자: 2024. 1. 5. 게재 확정 일자: 2024. 2. 3.

### ◆ 참고문헌 ◆

- 김재화·김현석 (2015), “신재생에너지 발전이 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출에 미치는 영향 분석,” 『에너지경제연구』, 14(3), 185-201.
- Kim, J. W., and H. S. Kim (2015), “The Effect of Electricity Generation through Renewable Energy on CO<sub>2</sub> Emissions in Korea,” *Korean Energy Economic Review*, 14(3), 185-201.
- 배영수 (2015), “공적분 기법을 이용한 중장기 에너지 수요함수 추정 및 전망,” 『에너지경제연구』, 14(2), 21-50.
- Bae, Y. S. (2015), “Estimation and Forecast of Long-run Energy Demand Function: A Cointegration Approach,” *Korean Energy Economic Review*, 14(2), 21-50.
- 원두환·이연정·정수관 (2018), “일본의 CO<sub>2</sub> 배출, 원자력에너지, 신재생에너지 관계 분석,” 『에너지경제연구』, 17(2), 89-114.
- Won, D. H., Y. J. Lee, and S. K. Jung (2018), “CO<sub>2</sub>-Nuclear-Renewable Nexus in Japan: Evidence from ARDL Bounds Tests,” *Korean Energy Economic Review*, 17(2), 89-114.
- 윤지연·송재민 (2015), “도시 경제 발전이 환경에 미치는 영향에 관한 실증 연구: 세계 95개 도시를 중심으로,” 『국토계획』, 50(6), 145-158.
- Yoon, J. Y., and J. M. Song (2015), “Empirical Study on the Impact of Urban Economic Growth on the Quality of Environment : With a Focus on 95 Cities in the World,” *Journal of Korea Planners Association*, 50(6), 145-158.
- 정용훈·김수이 (2012), “한국의 CO<sub>2</sub> 배출, 경제성장 및 에너지믹스와의 관계 분석,” 『자원환경경제연구』, 21(2), 271-299.
- Jeong, Y. H., and S. L. Kim (2012), “The Relationship among CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Mix and Economic Growth in Korea”.

- Environmental and Resource Economics Review*, 21(2), 271-299.
- 조하현 · 임형우 (2017). “신재생에너지 보급과 경제성장의 비선형 동태패널분석”, 『국제경제연구』, 제23권 2호, 31-66.
- Jo, H. H., and H. W. Lim (2017), “Nonlinear Dynamic Panel Analysis of the Relationship between Renewable Energy Expansion and Economic Growth,” *KUKJE KYUNGJE YONGU*, 23(2), 31-66.
- 최원형 · 윤용만 (2018), “한국의 통화정책 위험선호경로에 관한 실증분석,” [BOK] 경제분석, 24(4), 37-70.
- Choi, W. H., and Y. M. Yoon (2018), “An Empirical Study on the Risk-taking Channel of Monetary Policy in Korea,” *Economic Analysis*, 24(4), 37-70.
- Adhikari, D., and Y. Chen (2012), “Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis for Developing Countries,” *Review of Economics & Finance*, 3(2), 68-80.
- Apergis, N., and J. E. Payne (2014), “The Causal Dynamics between Renewable Energy, Real GDP, Emissions and Oil Prices: Evidence from OECD Countries,” *Applied Economics*, 46(36), 4519-4525.
- Asteriou, D., and V. Monastiriotis (2004), “What do Unions do at the Large Scale? Macro-economic Evidence from a Panel of OECD Countries,” *Journal of Applied Economics*, 7(1), 27-46.
- Barro, R. J. (2003), “Determinants of Economic Growth in a Panel of Countries,” *Annals of Economics and Finance*, 4, 231-274.
- Bhat, J. A. (2018), “Renewable and Non-renewable Energy Consumption-impact on Economic Growth and CO2 Emissions in Five Emerging Market Economies,” *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35515-35530.
- Bilgili, F., E. Koçak, and Ü. Bulut (2016), “The Dynamic Impact of Renewable Energy Consumption on CO2 Emissions: A Revisited Environmental Kuznets Curve Approach,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845.
- Dietz, T., and E. A. Rosa (1997), “Effects of Population and Affluence on CO2 Emissions,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175-179.
- Ehrlich, P. R., and J. P. Holdren (1971), “Impact of Population Growth: Complacency Concerning this Component of Man’s Predicament is Unjustified and Counterproductive,” *Science*, 171(3977),

1212-1217.

- Hasnisah, A., A. A. Azlina, and C. M. I. C. Taib (2019), "The Impact of Renewable Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions: Empirical Evidence from Developing Countries in Asia," *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 135.
- Holdren, J. P., and P. R. Ehrlich (1974), "Human Population and the Global Environment: Population Growth, Rising Per Capita Material Consumption, and Disruptive Technologies have Made Civilization a Global Ecological Force," *American Scientist*, 62(3), 282-292.
- Kuznets, S. (1955), "Economic Growth and Income Inequality," *American Economic Review*, 45, 1-28.
- Long, X., E. Y. Naminse, J. Du, and J. Zhuang (2015), "Nonrenewable Energy, Renewable Energy, Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth in China from 1952 to 2012," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 680-688.
- Pesaran, M. H., Y. Shin, and R. P. Smith (1999), "Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels," *Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621-634.
- Saidi, K., and A. Omri (2020), "The Impact of Renewable Energy on Carbon Emissions and Economic Growth in 15 Major Renewable Energy-consuming Countries," *Environmental Research*, 186, 109567.
- Szetela, B., A. Majewska, P. Jamroz, B. Djalilov, and R. Salahodjaev (2022), "Renewable Energy and CO2 Emissions in Top Natural Resource Rents Depending Countries: The Role of Governance," *Frontiers in Energy Research*, 242.
- Vatamanu, A. F., and B. G. Zugravu (2023), "Financial Development, Institutional Quality and Renewable Energy Consumption. A Panel Data Approach," *Economic Analysis and Policy*, 78, 765-775.
- York, R., E. A. Rosa, and T. Dietz (2002), "Bridging Environmental Science with Environmental Policy: Plasticity of Population, Affluence, and Technology," *Social Science Quarterly*, 83(1), 18-34.

## 〈부 록〉

앞서 진행한 신재생에너지와 경제성장에 대한 추정결과에 대해서 강건성 검정 차원에서 공적분 모형인 FMOLS와 DOLS를 활용하여 추가적인 분석을 실시하였다. FMOLS와 DOLS는 장기균형관계를 고려하여 공적분을 추정하는데 활용되는 기법이다. FMOLS와 DOLS는 기본적으로 편의가 있다는 가정하에 만들어진 기법들로서, 공적분벡터를 추정하고자 할 때 내생성이 존재할 경우 이러한 방법론들을 활용할 수 있다. 즉, 패널 FMOLS와 패널 DOLS는 이러한 기법들을 패널공적분을 추정하는데 적용한 것이라 설명할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 FMOLS와 DOLS의 두 가지 기법을 바탕으로 각각 추가적인 분석을 진행하였으며 그 결과를 <표 12>~<표 17>로서 별도로 정리하였다. 단, DOLS의 경우 차분된 설명변수의 시차항과 선행항의 경우 SIC 기준으로 최적시차를 선정하였다. 또한, 시차항과 선행항을 포함하는 것은 오차항의 계열상관을 해소하기 위한 DOLS의 기법이기 때문에 DOLS를 활용한 배영수(2015) 등의 연구결과와 마찬가지로 추정결과에서는 별도로 언급하지 않는다.

〈표 12〉 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 전체 회원국)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for all OECD Member Countries)

DOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.49***	0.081
LOG(GFCF)	0.55***	0.020
LOG(RENEW_CONS)	0.10***	0.011
LOG(CO2_EMISSION)	0.11***	0.036
FMOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.40***	0.068
LOG(GFCF)	0.56***	0.019
LOG(RENEW_CONS)	0.13***	0.013
LOG(CO2_EMISSION)	0.10**	0.045

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.

Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

〈표 12〉와 같이, DOLS와 FMOLS의 추정결과가 PMG의 추정결과와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 이는 경제활동인구, 총고정자본형성, 신재생에너지와 탄소배출량이 경제성장과 양의 관계를 나타내는 것을 보여주고 있다.

〈표 13〉에서도 마찬가지로 DOLS와 FMOLS의 추정결과가 PMG의 추정결과와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 이를 통해서, 경제활동인구와 소득은 탄소배출량과 양의 관계를 나타내며 신재생에너지는 음의 관계를 나타내는 것을 알 수 있다.

〈표 13〉 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 전체 회원국)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for all OECD Member Countries)

DOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.57***	0.090
LOG(RENEW_CONS)	-0.20***	0.013
LOG(INCOME)	0.28***	0.037
FMOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.66***	0.065
LOG(RENEW_CONS)	-0.21***	0.013
LOG(INCOME)	0.24***	0.031

참조: \*\*\*는 유의수준 1%를 의미함.

Note: \*\*\* represents statistical significance at  $p < 0.01$ .

〈표 14〉에서는 DOLS와 FMOLS의 추정결과가 PMG의 추정결과와 탄소배출량의 부호와 유의성을 제외하고는 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 단, DOLS에서는 탄소배출량이 통계적으로 유의하지는 않았다.

〈표 15〉에서는 DOLS와 FMOLS의 추정결과가 PMG의 추정결과와 크게 다르지 않았다. 이는 OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국에서 경제활동인구와 소득은 탄소배출량과 양의 관계를 나타내며 신재생에너지는 음의 관계인 것을 보여준다.

〈표 14〉 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)  
(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for ETS implementing Countries among OECD Member Countries)

DOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	-0.52***	0.068
LOG(GFCF)	0.43***	0.016
LOG(RENEW_CONS)	0.11***	0.014
LOG(CO2_EMISSION)	-0.01	0.042
FMOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	-0.59***	0.085
LOG(GFCF)	0.43***	0.018
LOG(RENEW_CONS)	0.11***	0.015
LOG(CO2_EMISSION)	-0.08*	0.047

주: \*\*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 10%를 의미함.  
Note: \*\*\* and \* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.10$ , respectively.

〈표 15〉 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 회원국 중 EU-ETS 시행국)  
(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for ETS implementing Countries among OECD Member Countries)

DOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.84***	0.169
LOG(RENEW_CONS)	-0.30***	0.021
LOG(INCOME)	0.43***	0.081
FMOLS		
설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.79***	0.157
LOG(RENEW_CONS)	-0.30***	0.017
LOG(INCOME)	0.39***	0.066

주: \*\*\*는 유의수준 1%를 의미함.  
Note: \*\*\* represents statistical significance at  $p < 0.01$ .

〈표 16〉과 〈표 17〉의 경우에는 DOLS와 FMOLS의 추정결과가 일부 설명변수의 계수와 부호를 제외하고는 PMG의 추정결과와 크게 다르지 않았다.

〈표 16〉 신재생에너지와 경제성장(종속변수) (OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth for European and non-European countries among OECD member countries)

OECD 회원국 중 유럽국가			OECD 회원국 중 비유럽국가		
DOLS			DOLS		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.35***	0.103	LOG(EAP)	1.09***	0.145
LOG(GFCF)	0.58***	0.024	LOG(GFCF)	0.42***	0.043
LOG(RENEW_CONS)	0.09***	0.014	LOG(RENEW_CONS)	0.12***	0.025
LOG(CO2_EMISSION)	0.14***	0.048	LOG(CO2_EMISSION)	0.00	0.077
FMOLS			FMOLS		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.22**	0.096	LOG(EAP)	0.96***	0.103
LOG(GFCF)	0.57***	0.021	LOG(GFCF)	0.34***	0.041
LOG(RENEW_CONS)	0.12***	0.017	LOG(RENEW_CONS)	0.19***	0.022
LOG(CO2_EMISSION)	0.04	0.061	LOG(CO2_EMISSION)	0.20***	0.070

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.

Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

〈표 17〉 신재생에너지와 탄소배출량(종속변수) (OECD 회원국 중 유럽 & OECD 회원국 중 비유럽)(Analysis of Relationship Between Renewable Energy and Carbon Emissions for European and non-European countries among OECD member countries)

OECD 회원국 중 유럽국가			OECD 회원국 중 비유럽국가		
DOLS			DOLS		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.48***	0.116	LOG(EAP)	0.36**	0.172
LOG(RENEW_CONS)	-0.21***	0.014	LOG(RENEW_CONS)	0.03	0.035
LOG(INCOME)	0.23***	0.037	LOG(INCOME)	0.58***	0.097
FMOLS			FMOLS		
설명변수	계수	표준오차	설명변수	계수	표준오차
LOG(EAP)	0.50***	0.093	LOG(EAP)	0.06	0.125
LOG(RENEW_CONS)	-0.21***	0.013	LOG(RENEW_CONS)	-0.11***	0.031
LOG(INCOME)	0.15***	0.032	LOG(INCOME)	0.80***	0.083

주: \*\*\*, \*\*는 각각 유의수준 1%, 5%를 의미함.

Note: \*\*\* and \*\* represent statistical significance at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

# Impact of Renewable Energy on Economic Growth and Carbon Emissions: Focusing on OECD Member Countries\*

Young-Jin Nam\*\*

## Abstract

This study analyzed the effect of renewable energy on carbon emissions and economic growth, considering that the transition to eco-friendly energy and sustainable economic growth is emerging as important topics. In particular, the impact of the expansion of renewable energy on carbon emissions and economic growth was analyzed. For the analysis, the relationship between renewable energy and economic growth was examined from the perspective of production functions, and the relationship between renewable energy and carbon emissions was based on the STIRPAT model. PMG estimation was used as the estimation method. The analysis target countries were OECD members, and in detail, the sub-groups were divided into all OECD member countries, ETS implementing countries among OECD member countries, and European and non-European countries among OECD member countries. The analysis period was from 1995 to 2018, and in the case of ETS implementing countries, it was from the start of 2005 when EU-ETS was introduced. As a result of the analysis, it was found that renewable energy had a positive effect on economic growth and a negative effect on carbon emissions. However, it was found that renewable energy did not have a significant effect on economic growth in non-European countries among OECD countries. In conclusion, it is necessary to expand renewable energy in that it has been confirmed that renewable energy is effective in economic growth and reducing carbon emissions in OECD member countries, which can be said to be a group of developed countries. In addition, non-European countries among OECD member countries will need to reorganize their industrial structures so that renewable energy can help economic growth.

**KRF Classification : B030902, B030111, B030104**

**Key Words : Environmental Kuznets Curve, IPAT, STIRPAT, PMG Estimator, DOLS, FMOLS, Renewable Energy, ETS, Carbon Emissions**

---

\* This paper is written by revising and supplementing part of the first author's doctoral dissertation.

\*\* Graduate Student, Department of Economics, Yonsei University, Seoul, Korea, e-mail: qpxk60@gmail.com