

경제성장에 따른 환경개선 효과 실증분석

허가형*

요약 : 본 연구는 경제성장과 환경개선 효과를 실증적으로 분석하기 위해 OECD 국가의 이산화황 배출량과 온실가스 배출량, 폐기물 배출량에 대해 환경쿠즈네츠 곡선이 존재하는가를 확인하였다. 패널분석결과, 환경오염물질에 따라 환경쿠즈네츠 곡선의 형태는 다르게 나타났다. 이산화황 배출량은 상대적으로 경제성장의 초기에 정점이 나타나 대부분의 국가가 정점을 지난 역U자형 곡선이 나타나는 반면 온실가스 배출량은 정점을 지나 감소하는 단계이다. 이때 제조업 비중은 온실가스 배출량을 증가시키며, 인구밀도와 연구개발은 배출량을 유의미하게 감소시키는 것으로 분석되었다. 한편, 폐기물에 대해서는 정점을 확인할 수 있는 환경쿠즈네츠 곡선이 존재하지 않았다. 분석대상인 환경오염물질은 각각 오염처리기술, 생산공정 전환, 소비구조 전환에 따라 환경개선 효과가 발생할 수 있는 사례를 대표한다고 보았다. 따라서 본 연구에서는 경제성장과 소득수준 향상이 있더라도 모든 환경오염물질에 대한 자발적인 배출량 감소는 기대하기 어려우며 정점이 지나기 위해서는 추가적인 지구 공동의 노력이 필요하다는 것을 확인하였다. 특히 폐기물은 소득수준보다 인구밀도와 산업구조의 영향이 더 크기 때문에 배출량을 줄이고 자원순환경제를 만들기 위해서는 추가적인 정책적 노력이 필요한 것으로 나타났다.

주제어 : 경제성장, 온실가스 배출량, 폐기물, 환경쿠즈네츠 곡선

JEL 분류 : F1, Q2

접수일(2022년 12월 1일), 수정일(2022년 12월 16일), 게재확정일(2022년 12월 19일)

* 국회예산정책처 경제분석국 인구전략분석과 과장, 교신저자(e-mail: hurgh@nabo.go.kr)

The Effects of Environmental Improvement on Economic Growth

Gahyeong Hur*

ABSTRACT : In order to confirm the effects of economic growth and environmental improvement, this study analyzed the existence of environmental Kuznets curve (EKC) for SO₂ emission, greenhouse gas emission, and waste generation in OECD countries. As a result of panel analysis, the shape of the EKC were different depending on environmental pollutants. SO₂ generated peaks relatively early in economic growth, and the peak of greenhouse gas emissions was showed in higher income level. But both emissions showed the a complete inverted U-shaped curve decreasing after the peak. On the other hand, for waste, there was no environmental Kuznets curve that could confirm the peak. Therefore, this study confirmed that it is difficult to expect a voluntary reduction in all environmental pollutants, and additional global joint efforts are needed to pass the peak. In particular, since waste has a greater impact on population density and industrial structure than income level, additional policy efforts are needed to reduce generation and create a resource circulation system.

Keywords : Environmental Kuznets curve (EKC), CO₂, Waste, Economic growth

Received: December 1, 2022. Revised: December 16, 2022. Accepted: December 19, 2022.

* Director, Population and Strategy Division, Economic Analysis Department, National Assembly Budget Office, Corresponding author (e-mail: hurgh@nabo.go.kr)

1. 서론

1. 연구 배경

환경정책은 눈에 보이는 환경오염물질의 처리에서 시작하여 눈에 보이지 않는 환경오염물질의 처리로 확산되어 왔다. 오염물질의 처리가 일차적인 환경개선 방식이고 이를 넘어서면 생산구조와 생활양식의 변화를 통한 환경개선으로 이어진다. 환경개선 효과의 핵심은 소득수준에 있다. 경제가 성장하고 소득수준이 높아지면 환경의 질에 대한 관심이 높아지면서 눈에 보이고 처리가능한 오염물질을 우선적으로 관리하고 그 영역이 넓어지면서 생산구조와 소비구조를 바꿈으로써 환경이 개선되어 가는 것이다.

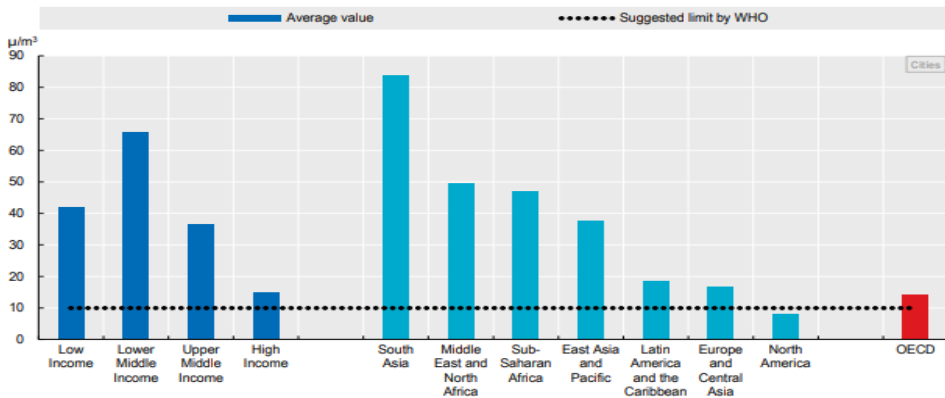
환경오염물질과 소득수준의 관계는 단적으로 세계의 지역별 소득수준과 대기질을 통해 확인할 수 있다. OECD(2020)에 따르면 대기질¹⁾은 지역별로 구분할 때, 남아시아에서 가장 낮으며 중동과 남미, 사하라이남아프리카, 동아시아, 라틴아메리카, 유럽 및 중앙아시아, 북미 순으로 좋아진다. 대기질을 소득에 따른 국가군²⁾으로 구분해보면, 저소득국가보다 중하위소득 국가의 대기질이 더 나쁘며, 중상위소득국가의 대기질은 저소득국가보다는 근소하게 좋고 고소득국가보다는 크게 낮은 것으로 나타났다. 즉, 경제성장에 따라 소득이 높아지는 과정에서는 환경오염물질이 급격히 늘어나지만 환경규제는 이를 쫓아가지 못하므로 환경오염물질 배출량이 많아진다. 소득이 높아지더라도 기존의 생산방식을 유지하므로 배출량이 늘어나는 것이다. 하지만 소득이 높아짐에 따라 환경 가치가 높아지며 환경규제가 강화되면서 배출량이 점진적으로 줄어들게 되므로 오염물질 배출량은 우측 기울기가 좌측보다 완만한 역 U자형 양상을 갖는다. <그림 1>의 우측 막대그래프에서 확인한 바와 같이 대기오염은 소득수준에 따른 국가별 차이가 분명하게 나타나며 이를 선그래프로 이어서 그리면 대기오염물질 배출량은 역U자형이 될 것으로 예상된다.

1) 대기질은 초미세먼지(PM_{2.5})농도를 기준으로 함

2) 소득에 따른 국가군의 분류는 세계은행에서 발표하는 1인당 GNI을 이용하며, 저소득국가는 \$1,006 이하, 중저위소득국가는 1,006~3,955, 중상위소득국가는 \$3,956~12,235, 고소득국가는 \$12,237 이상으로 분류(2020년 분류기준은 2016년의 1인당 GNI를 이용)

2019년 기준으로 세계보건기구(WHO)가 권고하는 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 대기질 수준은 평균적인 소득수준이 가장 높은 북미 국가만 충족하며, OECD 국가 평균은 기준을 다소 초과하는 수준이다.

〈그림 1〉 세계의 지역별 소득분류별 대기오염(2019)



주: 인구가중치를 고려한 국가별 주요 도시의 PM_{2.5}($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 자료: OECD, OECD Regions and Cities at a Glance, 2020

소득수준이 높은 국가는 경제활동이 활발하고 각종 자원소비량이 많음에도 불구하고 환경의 질이 높다. 이는 경제성장과 환경의 질이 양립가능할 수 있음을 보여주며 지속가능성장의 가능성을 제공한다. 다만, 이와 같은 대기질 개선 효과를 다른 환경오염물질에도 일반화하여 소득이 증가함에 따라 환경개선 효과가 발생할 수 있는가에 대해서는 확인할 필요가 있다.

환경오염물질은 기술을 통해 해결가능한 경우와 투입 원료를 바꾸거나 생산공정을 바꿔야 해결가능한 경우, 소비구조를 바꿔야 해결되는 경우로 구분할 수 있다. 후자로 갈수록 처리비용은 높아지고 환경개선활동에 참여할 참가자가 많아진다. 따라서 본 연구는 환경질 개선이 경제성장에 자연스럽게 따라오는 부산물인지를 실증적으로 확인하기 위해 대표적인 오염물질인 이산화황과 온실가스 배출량, 폐기물 배출량을 분석대상으로 환경쿠르네츠 곡선이 존재하는가를 확인하고자 한다.

2. 연구목적

쿠즈네츠곡선(Kuznets curve)은 노벨경제학자 쿠즈네츠가 경제성장과 소득불평등의 관계를 정의한 것으로 경제가 성장하는 초기단계에서는 소득 격차가 커지지만, 일정 수준 이상으로 경제가 발전하게 되면 소득 불평등이 점차 개선되는 현상을 의미한다 (Kuznets, 1955). Grossman and Krueger(1991)는 환경과 경제성장의 관계에도 쿠즈네츠 곡선이 나타나며 이를 환경 쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, 이하 ‘EKC’)으로 정의한다. EKC는 환경오염과 경제성장의 관계가 역U자형으로 경제성장 초기에는 환경의 질이 나빠지지만, 일정 소득수준을 넘어서면 환경의 질이 개선되는 현상을 의미한다. 경제성장의 초기 단계에서는 환경오염이 심해지지만, 일정한 소득 수준을 넘어서게 되면서 환경오염이 완만하게 감소하는 현상을 의미한다. 따라서 경제성장이 시작된 중하위소득 국가의 환경질이 빠르게 나빠져 가장 높은 오염도를 나타내고, 중상위소득 국가의 환경오염은 완만하게 개선되는 <그림1>의 소득수준별 국가군의 대기 질은 국가단위 환경쿠즈네츠 곡선의 대표적인 형태이며 이를 단순히 표현하면 <그림 2>와 같다.

<그림 2> 환경쿠즈네츠 곡선(EKC)



환경쿠즈네츠 곡선은 황산화물(SO_x)과 분진 같은 대기오염물질, 수질오염과 같은 공

공제에 부정적 영향을 미치는 물질에 대해서는 OECD 국가에서 실증적으로 나타나는 것으로 알려진다. 하지만 생산활동과 직접적으로 연계된 온실가스 배출량과 소비활동과 연계된 폐기물 배출량에 대해서는 최근 통계를 이용한 EKC 실증이 필요하다.

3. 선행연구

환경과 경제성장에 관한 기존 연구에 따르면 기술개발과 규제를 통해 오염물질의 처리가 가능한 물질은 환경쿠즈네츠 곡선이 뚜렷하게 나타나는 반면, 생산과 소비과정에서 발생하는 환경지표의 경우 EKC의 존재가 명확하지 않다.

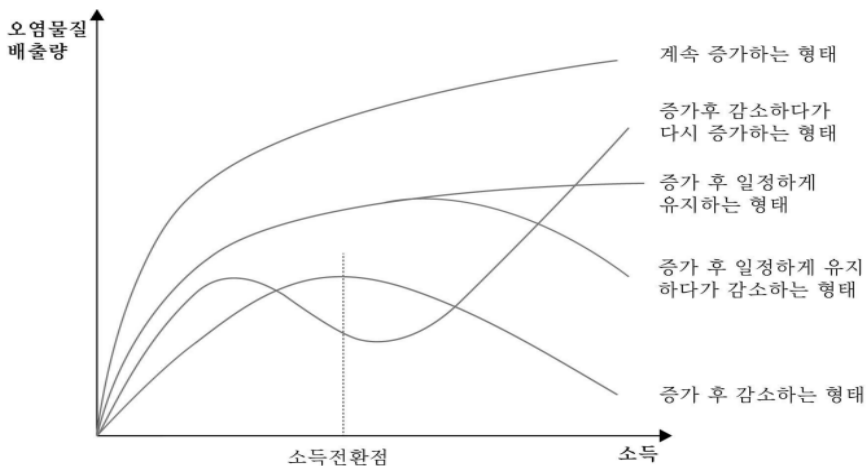
대기오염물질(SO_x , 분진 등)과 수질오염(수중 화학적·생물학적 산소요구량, 수중 중금속 함량 등)에 대한 환경쿠즈네츠 곡선 실증은 대부분 확인된다. Grossman and Krueger (1995)은 이산화황(SO_2), 매연(Smoke), 분진(Heavy particles), 수질오염물질(BOD, COD, DO), 수중 중금속 등의 오염물질과 경제성장의 관계를 확률효과모형으로 분석하여 1인당 GDP가 1만\$에 이르면 환경개선 투자가 활발하게 일어나 환경이 개선된다고 주장한다. Seldon and Song(1994)은 부유분진(SPM)과 이산화황(SO_2), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO)와 경제성장에 대해 고정효과모형과 확률효과모형을 이용한 패널분석으로 환경질에 대한 소득 탄력성이 양이며 EKC가 존재함을 확인하였으며, 이는 소득이 증가함에 따라 생산이나 소비구조가 변하는 동시에 환경정보가 증가하기 때문이라고 주장한다. 김용빈(2015)은 OECD 34개국의 1980~2012년의 황산화물, 질소산화물, 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 온실가스에 대한 패널분석을 통해 황산화물과 휘발성유기화합물에 대해 환경쿠즈네츠 곡선이 존재함을 확인하였다.

에너지소비과정에서 발생하는 NO_x 와 온실가스 배출량은 분석시점과 대상국가에 따라 소득이 증가하더라도 지속적으로 증가하거나 감소 후 다시 증가한다는 선행연구도 존재한다. Hauer and Runge(2000)은 SO_x 는 소득 증가와 함께 증가했다가 감소하는 것으로 나타났지만, NO_x 는 EKC를 확인하지 못했으며, 또한 선진국의 1인당 오염물질 배출량은 감소하더라도 개도국보다 많은 수준이며, 자국 내 환경질을 위해 오염물질의 개도국 확산 문제가 생길 수 있다고 주장하였다. Allard et al.(2018)는 1994~2012년의 74개국 데이터를 통해 온실가스 배출량이 정점 이후 감소했다 다시 증가하는 N자형으로

나타났다고 주장하였다. Dasgupta et al.(2002)는 경제성장과 함께 환경오염이 꾸준히 증가하는 형태와 일정량의 환경오염수준에 도달한 후 미세한 증가와 감소를 유지하는 형태도 있다고 주장하였다. 이는 EKC가 <그림 2>의 기본형을 중심으로 <그림 3>과 같이 변형된 형태로도 존재하기 때문이다.

다만 2000년 이전 연구에서 온실가스 배출량(CO₂)에 대한 EKC가 확인되지 않는다는 분석결과가 있는데 비해(Shafik, 1994; Ekins, 1997; Agras and Chapman, 1999 등), 2000년 이후 OECD 국가를 중심으로 한 분석에서는 CO₂에 대해서도 EKC가 존재한다는 분석이 다수이다(Galeotti et al., 2006; Maneejuk et al., 2020). 즉 EKC 존재를 확인하기 위해서는 정점을 확인할 필요가 있으며 정점을 지나 하락하거나 재반등하는가를 파악할 수 있을만큼 장기 시계열 데이터를 이용해야한다.

<그림 3> 환경쿠즈네츠 곡선의 다양한 형태



자료: 김용빈(2015), Dasgupta et al.(2002).

EKC가 존재한다면 소득 증가에 따라 환경이 개선되는 전환점을 추정함으로써 국내 환경정책의 기준선으로 설정할 수 있다. Schmalensee et al.(1998)은 1950~1990년 47개국 패널자료를 이용해 소득전환점이 9,799~19,627\$임을 보였으며, Unruh and Moomaw (1998)은 16개 OECD 국가의 소득전환점은 11,426\$로 1970년대에 이미 소득전환점을

통과했음을 보였다.³⁾ 실제로 미국과 유럽의 기후변화선도국의 경우 1970년대에 온실가스 배출량 정점을 기록했다.⁴⁾

우리나라 온실가스 배출량 소득전환점은 조상섭 등(2001)이 17,331~66,934\$로 제시했으며, 최충익·김지현(2006)은 13,700~16,764\$로, 이광훈(2010)은 1990~2007년을 분석기간으로 5개 광역권으로 구분하여 분석한 결과 1,370~2,115만 원으로 전망한 바 있는데, 소득전환점 구간이 지나치게 넓거나, 과소추정되어 보다 최근 자료를 이용하여 재산정할 필요가 있다. 소득전환점은 경제성장 단계와 산업구조에 따라 달라질 수 있으므로 우리나라와 유사한 국가군을 대상으로 분석하는 것이 시사점을 제공할 수 있다. 소득전환점이 존재한다면 경제성장에 따라 순차적으로 환경개선을 기대할 수 있지만, 소득전환점이 존재하지 않거나 너무 높다면, 경제성장에 따라 자연스러운 환경개선을 기대할 수 없으므로 추가적인 규제와 정책대응이 필요하다는 의미이다.

다만 EKC가 존재하더라도 대부분 국제무역을 통해 제조업 특히 오염산업의 재배치에 따른 것으로 EKC가 지구적 관점에서 환경개선의 시사점을 갖지 않는다는 주장도 있다(Arrow et al., 1995; Stern et al., 1996; Hauer and Runge, 2000). 이와 같은 주장은 환경오염물질을 소비기반과 생산기반으로 구분하여 분석함으로써 확인할 수 있는데, 최근 관련 연구가 확산되고 있으므로 이를 통해 검증할 수 있을 것이다.

II. 자료 및 연구방법

1. 모형 설정

환경오염물질과 경제성장의 관계는 환경쿠즈네츠 곡선의 실증분석을 이용하였고, Seldon and Song(1994)을 기본 모형으로 설정하였다. Seldon and Song(1994)의 연구는 1인당 GDP에 대해 정점이 존재하는 2차식으로 구성되며, Grossman and Krueger(1995)는 3차식으로 설정하고 연구에 따라 소득 외 설명변수를 반영하였다.

3) 본 연구의 국가별 1인당 GDP는 2015년 불변가를 이용하고 있으므로, 기존 연구의 소득전환점과 비교하기 위해서는 기존 연구의 소득구간을 2015년 기준연도로 환산할 필요가 있다. 예를 들어 Schmalensee et al.(1998)의 9,799~19,627\$이 1990년을 기준연도라고 설정할 때, 2015년 불변가는 17,769~35,592\$에 해당한다.

4) 미국의 1인당 온실가스 배출량 정점은 1973년(1인당 GDP 28,114\$)였으며, 프랑스도 1973년(1인당 GDP 20,033\$), 영국과 독일은 1979년(24,504\$와 23,485\$)에 해당한다.

종속변수는 1인당 배출하는 환경오염물질로 설명하고, 환경오염물질을 이산화황(SO₂)과 온실가스(CO₂), 폐기물로 설정하였다. 본 연구는 경제성장에 따른 환경개선 효과를 검증하는 데 있어서 환경오염물질의 종류도 구분하였는데, 이산화황은 국가 내 오염물질로 생산기술 변화와 환경규제로 처리가 가능한 환경오염물질을 대표하는 것으로 보았다.⁵⁾ 온실가스는 국가간 오염물질로 환경규제 대상 물질이긴 하지만 실용화된 사후처리 방안이 없으며 에너지원을 바꾸거나 생산공정을 바꾸는 기술개발이 필요한 물질을 대표하는 것으로 보았다. 폐기물은 소비과정의 기술변화뿐 아니라 인식변화가 필요한 환경오염물질을 대표한다.

설명변수로 1인당 GDP와 인구변수, 산업구조 변수를 추가하고, 환경오염물질과 소득 간에 비선형 2차식 관계의 EKC가 존재한다는 가정하에 2차식으로 설정하였다.

$$E_{i,t} = \alpha + \beta_1 Y_{i,t} + \beta_2 Y_{i,t}^2 + \beta_3 Z_{i,t} + c_i + \nu_t + u_{i,t} \quad (1)$$

$E_{i,t}$ 1인당 환경오염물질 배출량

$Y_{i,t}$ 1인당 GDP(2015년 기준, \$/인)

$Z_{i,t}$ 통제변수벡터(인구(명), 제조업 비중(%), 인구밀집도(명/km²), 환경기술투자)

c_i 국가 효과

ν_t 연도 효과

$u_{i,t}$ 오차항

EKC의 실증은 계수값으로 판단할 수 있으며, 환경오염물질이 줄어드는 기준인 소득 전환점을 구할 수 있다. $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 인 경우 환경쿠즈네츠 곡선이 존재한다고 할 수 있고, 이 경우 소득전환점이 존재한다. 소득전환점은 소득 증가에 따라 환경오염물질이 감소하기 시작하는 1인당 실질소득 수준을 의미하며, 식 (1)을 1차 미분하여 도출할 수 있다.

5) 이산화황은 황과 산소의 화합물로서 황이 연소할 때에 발생하는 기체로 아황산가스·아황산무수물이라고도 하며, 화학식은 SO₂이다. 석유와 석탄에 함유된 황이 연소 시 배출되어 대기오염과 산성비의 주요 원인이었다. 유럽에서는 심각한 스모그와 산성비 문제가 대두됨에 따라, 이산화황에 대한 환경규제를 빠르게 도입한 바 있다.

$$\text{소득전환점 } Y^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} \quad (2)$$

2. 자료 및 변수 설명

패널모형에 사용된 데이터는 OECD와 IEA, NASA의 통계를 이용하며, 각 변수들의 요약 통계량과 주요 특징을 살펴보면 <표 1>과 같다.

이산화황 배출량은 NASA 사회경제 데이터 및 응용센터(SEDAC)의 통계를 이용하였다.⁶⁾ 이산화황은 배출규제를 가장 먼저 적용받은 오염물질에 해당하여 장기 시계열을 이용해야 하는데 SEDAC은 140개국의 이산화황 배출량 데이터를 1850년부터의 장기시계열로 제공한다. 온실가스 배출량은 국제에너지기구(IEA)에서 제공하는 통계로 에너지소비에서 발생하는 온실가스를 의미한다. 1인당 폐기물 배출량은 OECD 통계로 발생기준의 일반폐기물(municipal waste)이다.⁷⁾

그 밖의 변수는 모두 OECD 통계이며 1인당 GDP는 환경오염물질과 동일한 시계열이 가능하지만, 통제변수 일부는 1990년 이후 통계만 존재하여 불균형패널을 구성하였다. 일인당 GDP는 국가별 경제상황을 반영하기 위해 구매력평가지수를 반영한 PPP환산이며 2015년 기준 불변가격을 이용한다.⁸⁾ 제조업 비중은 총 부가가치 중 제조업이 차지하는 비중으로 최댓값은 39.5%(노르웨이, 2008년), 최솟값은 13.0%(영국, 2020년)이다. 인구는 가장 많은 관측치를 가지며 최대 3.3억 명(미국, 2020년), 최솟값은 339만 명(뉴질랜드, 1990년)이다. 인구밀도는 1인당 국가면적을 의미한다. 환경부문 연구개발비는 환경부문 정부지출로 신재생에너지, 에너지 효율 향상에 대한 지출 등을 포함한다.

분석대상 국가는 장기 시계열 자료가 있는 OECD 국가 중 데이터 연속성이 높고 통제 변수를 확인할 수 있는 18개국을 대상으로 하며,⁹⁾ 분석기간은 1990년부터 2020년을 기

6) <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/haso2-anthro-sulfur-dioxide-emissions-1850-2005-v2-86>

7) OECD통계의 일반폐기물(municipal waste)은 일상생활에서 발생하는 폐기물로 일반가정과 건물, 상업시설, 사무실, 기관(학교, 공공기관, 병원 등)에서 배출한 폐기물을 의미한다. 자료 출처는 다음과 같다. <https://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=MUNW>

8) 1인당 GDP는 OECD 통계를 이용하되, 장기 시계열인 이산화황 배출량의 설명변수는 세계은행에서 발표하는 1인당 GDP(2015년 불변가)를 이용한다.

9) 분석대상 국가는 오스트레일리아, 캐나다, 칠레, 덴마크, 프랑스, 독일, 이스라엘, 이탈리아, 일본, 한국, 멕시코, 네덜란드, 뉴질랜드, 노르웨이, 폴란드, 스웨덴, 영국, 미국이다.

준으로 한다. 다만 이산화황은 1900년대 중반에 산성비로 크게 문제가 된 점을 고려하여 분석기간을 최대한 당기고자 하였다. SEDAC의 이산화황 통계는 1850년부터 2005년의 자료가 존재하지만 정점이 1960년대부터 나타나므로 이산화황의 분석기간은 1960년부터로 한다.

〈표 1〉 입력자료의 요약 통계량

(단위: 톤, 톤CO₂eq, kg, \$, %, 백만 명, 명/km², mil.\$)

	관측치	평균	표준편차	최소	최대	분석기간
1인당 SO ₂ 배출량	828	62.5	49.4	4.0	239.5	1960 - 2005
1인당 온실가스 배출량	558	9.1	4.2	2.1	21.4	1990 - 2020
1인당 폐기물 배출량	414	516	147.0	245.6	982.3	1990 - 2020
1인당 GDP	558	36,423	11,862	8,828	61,707	1990 - 2020
1인당 GDP ²	558	1.47e+09	8.38e+08	7.79e+07	3.81e+09	1990 - 2020
제조업 비중	516	22.5	5.3	13.0	39.5	1990 - 2020
인구	558	55.2	68.1	3.39	329.5	1990 - 2020
인구밀도	558	150.5	147.8	2.2	515.7	1990 - 2020
환경부문연구개발비	418	1001	1612	2	11,734	1990 - 2020

자료: SEDAC(SO₂ 배출량), IEA(1인당 온실가스 배출량), OECD database.

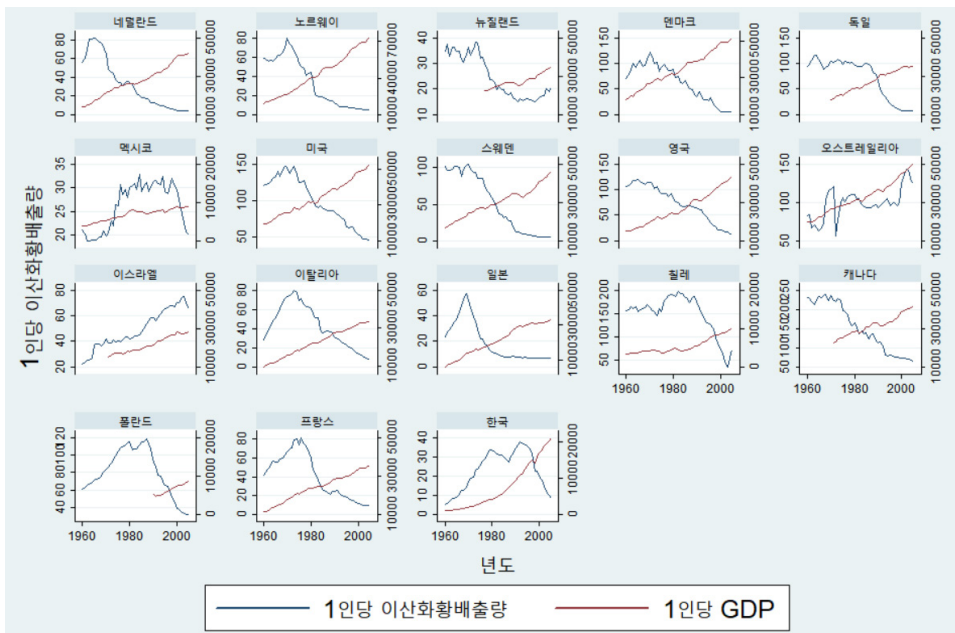
III. 분석 결과

1. 이산화황 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선

1인당 이산화황(SO₂) 배출량은 장기 시계열 자료를 이용하면 주요 OECD 국가에서 역U자형의 곡선이 나타난다. 일인당 GDP는 우상향하는 가운데, 1960년대에 이산화황 배출량이 정점을 기록하고 빠르게 감소하는 추세가 네덜란드, 노르웨이, 뉴질랜드, 덴마크, 미국, 스웨덴, 영국, 이탈리아, 일본, 캐나다, 프랑스 등에서 나타났으며, 후발 OECD 국가인 한국과 멕시코, 칠레, 폴란드 등은 이산화황의 정점이 1980년대에 나타나고 이후 급격히 감소한다. 한편 독일은 1인당 GDP는 높은 수준이지만 석탄발전의 비중이 높은 에너지 이용의 특성에 따라 서유럽국가 중 가장 늦게 이산화황 배출량이 감소한 것으로

로 나타나며, 오스트레일리아와 이스라엘은 2000년 이후에 이산화황 배출량 정점이 관찰되었다. 특히 오스트레일리아의 이산화황 배출량은 1990년 전후로 감소하였으나 반등하여 2002년에 정점을 기록하였고, 2005년 기준 분석대상 OECD 국가 중 가장 높은 1인당 이산화황 배출량을 기록했다. 대부분의 OECD 국가는 1970년을 전후로 이산화황 배출량 정점을 기록하며, 한국과 멕시코, 칠레 등 소득수준이 비교적 최근에 증가한 국가의 배출량 정점은 1985년 전후로 나타났다. 모든 OECD 국가의 1인당 GDP는 장기시계열에서 우상향하므로 <그림 4>와 같이 이산화황 배출량과 비교하면 대부분의 국가에서 역U자형 곡선과 1인당 GDP와의 탈동조화 모습을 확인할 수 있다.

<그림 4> 주요 OECD 국가별 1인당 이산화황(SO₂) 배출량과 GDP



자료: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), OECD.

<표 2>는 1인당 이산화황 배출량에 국가별 인구규모를 통제한 고정효과 모형 분석결과를 나타낸다.¹⁰⁾ 분석에 따르면 로그모형으로 설정 시 환경쿠즈네츠 곡선이 발생하는

10) 이산화황에 대해 고정효과와 임의효과 모형에 대해 하우스만검정을 수행한 결과 p값이 1% 유의수준에서 유의

것으로 나타났다. 주요 OECD 국가의 이산화황 배출량에 대해 1인당 GDP의 1차항과 제곱항이 모두 유의하며 식 (1)은 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 으로 나타나 EKC가 존재한다. 1인당 GDP 변화에 따른 이산화황 배출량의 단위탄력성은 10.86~11.22로 모두 양의 수치를 가지며 1인당 GDP의 2차 증가분의 단위탄력성은 -0.65로 모두 음의 수치를 갖는다. 인구는 통계적으로 유의하게 양의 수치를 가지므로 인구 증가는 이산화황 배출량을 증가시킨다.

〈표 2〉 주요 OECD 국가 이산화황 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선 추정결과

1인당 SO ₂ 배출량	로그모형	
	고정효과1	고정효과2
1인당 GDP	11.2222*** (0.4598)	10.8598*** (0.4443)
(1인당 GDP) ²	-0.6482*** (0.0245)	-0.6473*** (0.0236)
인구		1.2279*** (0.1573)
상수항	-43.5084*** (2.1575)	-60.9173*** (3.0451)
관측치	749	749
R ²	0.1118	0.0306

주: 1) 괄호 안은 표준오차이며, ***p < 0.01, p < 0.05, *p < 0.1임을 의미함.

2) 로그모형은 종속변수와 소득변수(1인당 GDP)에 로그를 취함.

한편 선형모형은 통계적으로는 유의미하지만 1차항의 계수가 음수, 제곱항 계수가 양수로 나타났다. 1차항의 계수가 음수인 것은 1인당 GDP가 증가할수록 이산화황 배출량이 감소하는 것을 의미하는 데 선형모형에서는 수준값이 높은 국가의 정점이 본 연구의 분석기간 앞에서 나타났으며, 다수의 국가에서 분석기간 초기부터 배출량이 급격히 감소하기 때문으로 추정된다. 선형모형의 경우 분석기간을 보다 과거로 연장하여 장기시계열로 분석할 경우 로그모형과 동일하게 EKC를 확인할 수 있을 것으로 예상된다.¹¹⁾

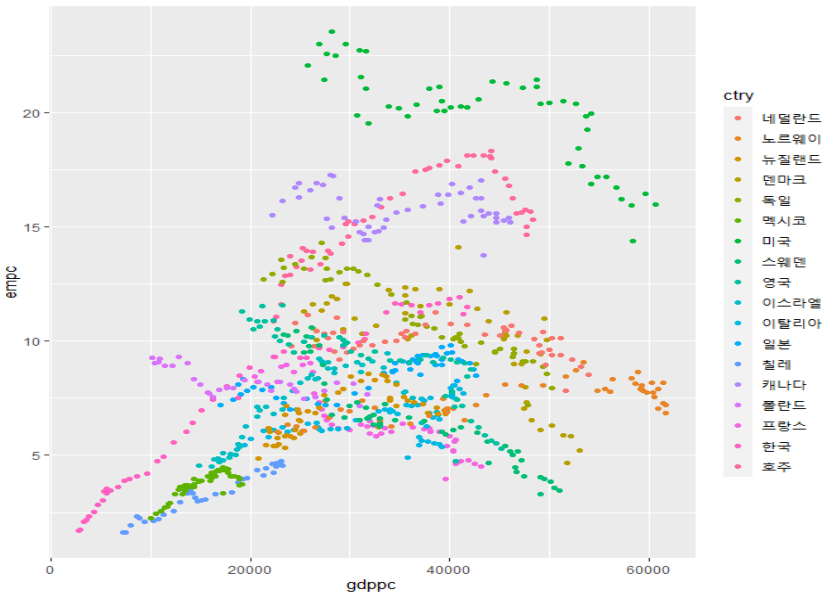
한 값을 가지며 귀무가설이 기각되고 고정효과모형이 보다 적절한 것으로 나타나 고정효과 모형만을 제시한다.
11) SEDAC의 이산화황 통계는 1850년부터 제공되므로 이를 통해 확인할 수 있다.

2. 온실가스 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선

1인당 온실가스 배출량과 1인당 GDP를 그래프로 그리면 <그림 5>와 같이 2차식의 형태가 나타난다. 또한 국가별 1인당 온실가스 배출량과 GDP를 그래프로 그리면 <그림 6>과 같이 분석대상 18개국 중 한국과 칠레를 제외한 16개국은 온실가스 배출량 정점이 2010년 이전에 나타나는 것이 확인된다. 이산화황 배출량 정점보다는 최근이긴 하지만 온실가스 배출량도 정점 이후 감소하거나 정체 상태에 있는 모습이다. 이에 온실가스 배출량은 영향을 줄 수 있는 통제 변수로 국가별 인구규모와 제조업 비중, 연도 등을 포함하여 패널모형 분석을 실시하였다. 이산화황 배출량은 과거의 자료를 이용하여 통제변수 활용에 제한이 있었지만, 온실가스 배출량은 1990년 이후 통계를 활용함으로써 가용한 변수가 추가되었다.

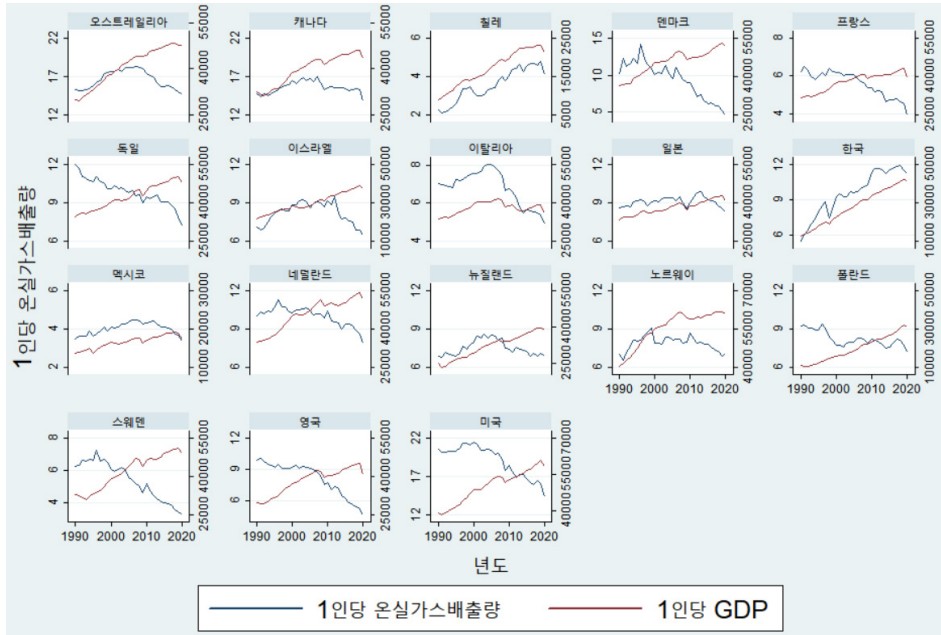
<그림 5> 주요 OECD 국가 1인당 온실가스 배출량과 GDP

(단위: tonnes of CO₂eq, \$)



자료: 온실가스 배출량(IEA), 1인당 GDP(OECD).

〈그림 6〉 주요 OECD 국가별 1인당 온실가스 배출량과 GDP



자료: 온실가스 배출량(IEA), 1인당 GDP(OECD).

분석결과, 온실가스 배출량에 대한 환경쿠즈네츠 곡선은 존재하는 것으로 나타났다. 주요 18개 OECD 국가의 1인당 온실가스 배출량은 경제성장 과정에서 증가하지만, 정점인 소득전환점을 지나 감소하는 환경쿠즈네츠 곡선의 형태를 가지며 전체 OECD 국가를 대상으로 분석하는 경우에도 동일한 결과가 나타났다. <표 3>에서 확인할 수 있는 바와 같이 제조업 비중은 온실가스 배출량을 높이는 데 통계적으로 유의미하게 기여하였으며 인구밀도와 환경부문 연구개발비는 유의미하게 온실가스 배출량을 감소시키는 것으로 나타났다. 인구밀도가 높아지면 배출량은 감소하고 국토면적이 큰 국가의 배출량이 더 많은 경향성을 보였다. 1인당 GDP가 1% 증가할 때 1인당 온실가스 배출량은 21% 증가하며, 환경부문 연구개발비는 1인당 배출량을 0.04%를 줄이는 것으로 나타났다.¹²⁾

12) 온실가스 배출량에 대해 고정효과와 임의효과 모형에 대해 하우스만검정을 수행한 결과 p값이 1% 유의수준에서 유의한 값을 가지며 귀무가설이 기각되고 고정효과모형이 보다 적절한 것으로 나타났다.

〈표 3〉 OECD 국가 온실가스 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선 추정결과

	선형모형		로그모형	
	고정효과1	고정효과2	고정효과1	고정효과2
1인당 GDP	0.00031*** (0.00003)	0.0004*** (0.00007)	9.7905*** (0.7888)	21.3604*** (2.8537)
1인당 GDP ²	-4.78e-09*** (3.96e-10)	5.37e-09*** (7.52e-10)	-0.480479*** (0.0389)	-1.0143*** (0.1349)
제조업 비중		0.1842*** (.0235)		0.0218*** (0.003)
인구밀도		-0.0229*** (0.0082)		-0.0030*** (0.0010)
연구개발비		-0.0005*** (0.00008)		-0.0448*** (0.0120)
관측치	558	396	558	396
R ²	0.2362	0.4795	0.2237	0.4499

주: 1) 괄호 안은 표준편차이며, ***p < 0.01, p < 0.05, *p < 0.1임을 의미함.

2) 로그모형은 종속변수와 소득변수(1인당 GDP)에 로그를 취함.

다음으로 <표 3>에서 구한 1인당 GDP의 계수를 이용하여 식 (2)를 따라 주요 OECD 국가의 온실가스 배출량 정점을 구하였다(<표 4>). 정점은 국가별 특성을 반영한 통제변수와 모형구조에 따라 달라질 수 있는데, 선형모형의 경우 1인당 GDP가 32,427~37,244\$까지는 배출량이 증가했으며 그 이후에는 감소하는 것으로 나타났다. 다만 로그모형에서는 소득전환점의 범위가 확대되어 1인당 26,589~37,407\$까지는 배출량이 증가했으며, 그 이후에는 감소하는 소득전환점이 통계적으로 유의하게 확인되었다.

〈표 4〉 온실가스 배출량의 소득전환점

(단위: \$/인)

	선형모형	로그모형
OECD 국가의 소득전환점	32,427~37,244	26,589~37,407

우리나라의 온실가스 배출량은 2015년 이후 증가세가 둔화되었으며 2018년 배출량이 정점이 될 것으로 기대되고 있다. 2018년 우리나라의 1인당 GDP는 2015년 기준

31,053\$이며 2021년의 경우 32,645\$로 현 수준에서 온실가스 배출량 정점이 된다면, OECD의 온실가스 배출량 소득전환점 범위 내에서 온실가스 배출량과 경제성장이 탈 동조화되는 것으로 나타났다.

3. 폐기물 배출량과 환경쿠즈네츠 곡선

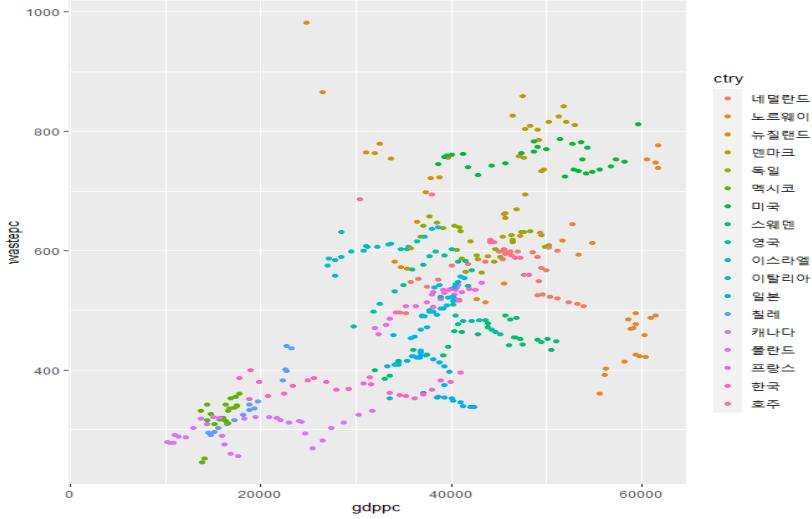
유사하게 OECD 국가의 폐기물 배출량에 대해 환경쿠즈네츠 곡선이 존재하는가를 분석하였다. 온실가스는 에너지 생산·이용의 구조 변화로 인해 배출량이 감소하는 반면 폐기물은 소비의 부산물이므로 소비량이 증가하면 함께 늘어나는 연관성이 높기 때문에 자발적인 감소를 기대하기 어렵다. 온실가스는 생산과정에서 대부분 발생하는 데 비해 폐기물은 소비과정에서 발생하므로 국가의 지리적 제약을 적용받는다. 따라서 온실가스 배출량은 오염산업을 국외로 반출함에 따라 생산과정에서 발생하는 온실가스를 국외에서 해결하는 그린워싱이 가능하지만, 소비에 기초하는 폐기물 배출량은 국가별 지속가능소비 구조를 그대로 반영할 수밖에 없다. 일회용품과 같은 폐기물 발생을 규제하여 정부정책이 소비 방식에 관여하는 경우와 관여하지 않는 국가는 폐기물 배출량이 차이가 생길 수밖에 없다.

OECD의 분석대상 국가의 폐기물 배출량을 검토한 결과<그림 7>과<그림 8>에서 확인할 수 있는 바와 같이 일인당 폐기물 배출량은 국가별 수준이 크게 차이가 있으며, 온실가스 배출량과 달리 방향성이 일정하지 않은 것으로 나타났다. 미국의 1인당 폐기물은 주요 OECD 국가 평균(520kg/인)보다 높은 수준으로 2018년을 기준으로 하면, 미국은 연간 1인당 811kg의 폐기물을 배출했지만 독일 606kg, 프랑스 535kg, 한국 396kg, 일본 338kg으로 수준값이 낮다. 또한 국가별 폐기물 배출량과 GDP 변화를 비교하면, 독일, 네덜란드, 스웨덴, 일본, 영국은 변동성이 있지만 감소세를 나타내며, 덴마크, 프랑스는 최근에 정체 혹은 감소세가 나타났으며, 노르웨이, 폴란드, 미국은 최근까지 배출량이 증가하여 국가별 차이가 큰 것으로 나타났다.¹³⁾

13) 폐기물은 국가별로 결측치가 많은 편이다. 예를 들어 미국은 최근 2개년(2019, 2020)의 업데이트가 되지 않았으며, 영국은 1991~1994년의 결측치가 있다. 스웨덴은 1990~1993년의 결측치가 있다. 덴마크와 독일은 1990~1994년, 한국은 1990~1992년과 2019~2020년, 이스라엘은 1990~1999년, 이탈리아는 1992년과 1994년, 2020년, 멕시코는 2013~2020년 등이다. 이와 같은 잦은 결측치는 폐기물 통계에 대한 각국의 관심도도 반영된다고 할 수 있다.

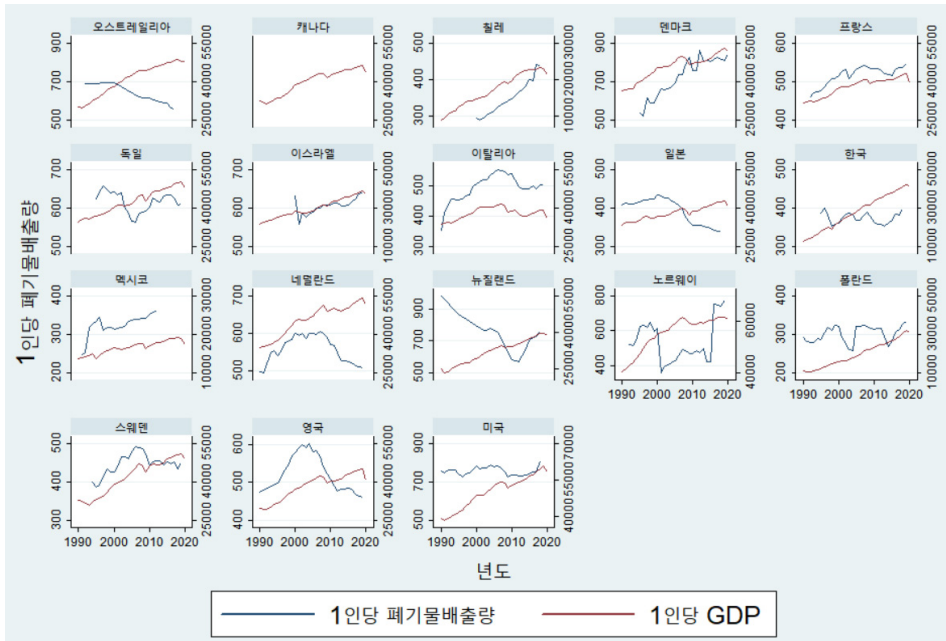
허가형

〈그림 7〉 주요 OECD 국가의 일인당 폐기물 배출량과 GDP



자료: OECD database.

〈그림 8〉 주요 OECD 국가별 일인당 폐기물 배출량과 GDP



자료: OECD database.

국가별 고정효과 패널데이터 분석결과인 <표 5>에 따르면, 폐기물 배출량에 대한 환경쿠즈네츠 곡선은 나타나지 않았다. 선형모형 및 로그모형에서 정점을 확인할 수 있는 2차모형은 통계적으로 유의하지 않거나 부호가 반대방향으로 나타났다. 혹은 N자형 패턴을 지나 반등의 크기는 크지 않은 것으로 해석할 수 있다. 1인당 폐기물 배출량은 인구밀도와 제조업 비중이 증가할수록 감소하는 것으로 나타나, 일인당 면적이 크고 서비스업 비중이 높은 국가의 폐기물 배출량이 많은 편이다.

<표 5> OECD 국가 폐기물에 대한 환경쿠즈네츠 곡선 추정결과

	선형모형		로그모형	
	고정효과1	고정효과2	고정효과1	고정효과2
1인당 GDP	0.001237 (0.0021)	-0.0123** (0.0054)	1.1272 (0.8070)	-8.3163** (3.406)
1인당 GDP ²	-1.66e-09 (2.66e-08)	1.51e-07** (5.99e-08)	-0.0506 (0.0396)	0.3997** (0.1615)
인구밀도		-1.19204* (0.6381)		-0.7099*** (0.2562)
제조업 비중		-8.6749*** (1.7925)		-0.3396*** (0.0808)
연구개발비		-0.0096 (0.0059)		-0.0161 (0.0134)
상수항	472.0 (40.8)	1201.1 (158.6)	-0.0476 (4.1079)	53.79077 (18.3726)
관측치	414	313	414	313
R ²	0.3941	0.1750	0.4727	0.0815

주: 괄호 안은 표준오차이며, ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1임을 의미함.

IV. 결론

경제성장과정에서 환경오염물질은 줄어들어왔다. 따라서 모든 환경문제가 소득수준이 높아지면서 순차적으로 해결될 것으로 생각할 수 있다. 본 연구는 환경오염물질에 따라 낮은 소득수준에서 해결되는 문제가 있고, 소득수준이 높아져도 해결되기 어려운 문제가 있음을 OECD 국가에 대한 실증분석으로 보이고자 하였다.

본 연구에서는 OECD 국가를 대상으로 이산화황, 온실가스 배출량, 폐기물 배출량에 대해 환경쿠즈네츠 곡선이 존재하는가를 분석하여 경제성장과 환경오염물질 배출량의 관계를 확인하였다. 분석결과 경제성장은 환경질 개선의 필요조건이지만 충분조건은 아니며, 오염물질에 따라 다른 특성을 보이는 것으로 나타났다.

최종처리기술(end of pipe technology)을 이용하여 처리할 수 있는 오염물질은 기술발전과 환경규제를 적용하여 해결할 수 있으며 소득수준이 높아지고 해결가능한 문제가 된다. 하지만 생산과 소비구조가 바뀌어야하는 환경오염물질 배출량은 소득수준이 높아지더라도 빠르게 감소하기는 어려운 것으로 나타났다. 이산화황은 경제성장과정에서 빠르게 정점에 도달하고 줄어들 수 있었다. 반면 온실가스 배출량에 대한 환경쿠즈네츠 곡선은 존재하지만, 소득전환점이 높아 대부분의 개도국에서는 소득 증가에 따른 배출량 감소를 기대하기 어려운 것으로 나타났다. 이에 소득수준이 OECD 국가평균보다 낮은 국가의 온실가스 배출량 감소를 위해서는 지구 공동의 정책적 노력과 기술개발, 추가적인 경제적 유인 등이 필요한 것으로 보인다. 다만, 본고에서 제시한 소득전환점은 분석대상 국가에 따라 달라질 수 있으므로, 사전적인 전망치로 활용하기는 어렵다. OECD 국가 내에서도 소득 상위 10개국, OECD 외 중상위 국가군과 같은 세부 그룹을 구분하여 분석하면 온실가스 배출량의 소득전환점이 변경될 수 있기 때문이다.

폐기물 배출량은 국가별로 차별화된 양상을 보이며 환경쿠즈네츠 곡선을 확인할 수 없었다. 또한 소득수준보다 인구밀도와 산업구조의 영향이 보다 큰 것으로 나타나 국가별 생활방식 및 소비구조에 따라 영향이 달라졌다. 폐기물은 소비와 연관성이 높으며, 내수비중이 높으면 폐기물 배출량도 증가하기 때문이다. 이에 생산구조와 에너지원 전환이 필요한 온실가스 배출량의 저감도 쉽지 않은 과제이지만, 소비와 연계된 폐기물 배출량 감소는 보다 도전적인 목표가 될 수 있음이 실증적으로 확인되었다. 우리나라는 탄소중립 및 UN SDG 이행의 일환으로 폐기물 제로 및 자원순환방안이 모색되고 있으며, 「자원순환기본법」을 제정하고 ‘한국형(K)-순환경제 이행계획’을 마련한 바 있다. 이와 같이 폐기물이 지속가능한 소비와 자원순환의 핵심 지표이며 자국 내 수용가능한 배출량에 한계가 있다는 점을 인식하고 지속적인 정책적 노력이 필요하다.

후속연구에서는 국가별로 폐기물 배출량 감소가 나타나는 국가도 있음을 감안하여 국가군을 구분한 세분화된 분석이 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어 오스트레일리아,

이탈리아, 일본, 네덜란드, 스웨덴, 영국은 1인당 폐기물 배출량이 정점을 찍은 후 하락하는 반면, 칠레, 덴마크, 프랑스, 이스라엘, 멕시코 등은 1인당 폐기물 배출량이 계속해서 증가해왔다. 독일, 한국, 뉴질랜드, 노르웨이, 핀란드, 미국 등의 국가에서는 일관적인 추세 없이 변동하고 있다. 이와 같이 국가군을 구분하여 폐기물 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선의 존재 여부를 밝혀보고, 폐기물 배출량의 환경쿠즈네츠 곡선이 존재하는 국가들이 취하고 있는 정책과 사회문화적 차이를 확인할 수 있다면 우리나라의 폐기물관리에 보다 유의미한 시사점을 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

경제성장 과정에서 환경오염물질 배출은 줄어드는 특성이 있으나 모든 오염물질에 따라 소득전환점이 다르게 형성될 수 있으므로 환경오염물질에 따라 차별화된 정책적 노력이 필요하다.

[References]

- 김용빈, “환경쿠즈네츠곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정”, 「에너지경제연구」, 제14권 제3호, 2015, pp.145~183.
- 이광훈, “국내 지역별 이산화탄소 배출에 대한 환경쿠즈네츠 곡선 추정 및 비교”, 「환경정책연구」, 제94권 제4호, 2010, pp. 53~76.
- 조상섭·강신원·김동엽, “비정태적 패널자료를 이용한 환경 쿠즈네츠가설에 대한 실증분석: OECD 17개국 사례분석”, 「자원·환경경제연구」, 제10권 제4호, 2001, pp. 619~632.
- 최충익·김지현, “경제성장과 환경오염간의 관계에 대한 국제비교연구: CO₂의 환경쿠즈네츠 곡선 검증을 중심으로”, 「국토계획」, 제41권 제1호, 2006, pp. 153~166.
- Agras, J. and D. Chapman, “A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis,” *Ecological Economics*, Vol. 28, No. 2, 1999, pp. 267~277.
- Allard, A., J. Takman, G. S. Uddin, and A. Ahmed, “The N-shaped environmental Kuznets curve: an empirical evaluation using a panel quantile regression approach,” *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 25, 2018, pp. 5848~5861.
- Arrow, K., B. Bolin, R. Costanza, P. Dasgupta, C. Folke, C. S. Holling, B. O. Jansson, S. Levin, K. G. Mäler, C. Perrings, and D. Pimentel, “Economic growth, carrying capacity, and the

- environment,” *Ecological Economics*, Vol. 15, No. 2, 1995, pp. 91~95.
- Dasgupta, P., B. Laplante, H. Wang, and D. Wheeler, “Confronting the Environmental Kuznets Curve,” *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, No. 1, 2002, pp. 147~169.
- Ekins, P., “The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence,” *Environment and Planning*, Vol. 29, 1997, pp. 805~830.
- Galeotti, M., A. Lanza, and F. Pauli, “Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise,” *Ecological Economics*, Vol. 57, 2006, pp. 152~163.
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger, “Economic Growth and the Environment,” *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, No. 2, 1995, pp. 353~377.
- Grossman, G. M. and A. B. Krueger, *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*, Naitonal Bureau of Economic Research, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1991.
- Hauer, G. and F. Runge, “Transboundary pollution and the Kuznet's curve in the global commons,” Working paper WP00-4, University of Minnesota, 2000.
- Kuznets, S., “Economic Growth and Income Inequality,” *The American Economic Review*, Vol. 45, No. 1, 1955, pp. 1~28.
- Maneejuk, N., S. Ratchakom, P. Maneejuk, and W. Yamaka, “Does the Environmental Kuznets Curve Exist? An International Study,” *Sustainability*, 2020.
- OECD, *OECD Regions and Cities at a Glance*, 2020.
- Schmalensee, R., T. Stoker, and R. Judson, “World Carbon Dioxide Emissions : 1950-2050,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 80, 1998, pp. 15~27.
- Seldon, T. and D. Song, “Environmental Quality and Development : Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, 1994, pp. 147~162.
- Shafik, N., “Economic development and environmental quality: an econometric analysis,” *Oxford Economic Papers*, Vol. 46, 1994, pp. 757~773.
- Stern, D., M. Common, and E. Barbier, “Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development,” *World Development*, Vol. 24, No. 7, 1996, pp. 1151~1160.
- Unruh, G. C. and W. R. Moomaw, “An Alternative Analysis of Apparent EKC- Type Transitions,” *Ecological Economics*, Vol. 25, 1998, pp. 221~229.