

# 총요소생산성을 고려한 한국의 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 EKC 가설 검증: 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과 GRDP를 중심으로<sup>†</sup>

김수이\*·정경화\*\*

**요약** : 본 연구는 우리나라의 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과 지역별 GRDP 데이터를 사용하여 EKC(Environment Kuznets Curve)를 검증하였다. 이 분석을 위해서 1990년부터 2010년 기간 동안 우리나라의 15개 광역지방자치단체를 대상으로 한 패널데이터를 구축하였다. 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향을 미치는 요인으로는 일인당 GRDP, 인구, 총요소생산성 등을 고려하였다. 그리고 이러한 요인들이 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향을 미치는데 있어서 역 U자형 가설이 성립하는지를 검증하였다. 본 연구에 사용한 분석 방법은 Lantz and Feng(2006)에서와 마찬가지로 패널 GLS 모델을 사용하였다. 분석결과에 의하면 우리나라의 경우 EKC 가설이 성립하지 않았지만 총요소생산성의 경우에는 CO<sub>2</sub> 배출량과 역 U자형 관계가 성립하였다. 본 연구의 의의는 특히 기술 진보를 대변하는 총요소생산성이 증가할수록 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가하지만 일정수준 이후에는 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소한다는 것이다.

**주제어** : CO<sub>2</sub> 배출, 환경쿠즈네츠곡선(EKC), 총요소생산성(TFP)

**JEL 분류** : Q40, Q54

접수일(2014년 8월 4일), 수정일(2014년 11월 3일), 게재확정일(2014년 12월 8일)

<sup>†</sup> 이 논문은 2014학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

\* 홍익대학교 상경대학 상경학부 조교수, 제1저자 및 교신저자(e-mail: [suyikim@hongik.ac.kr](mailto:suyikim@hongik.ac.kr))

\*\* 목포대학교 경영대학 경제학과 조교수(e-mail: [jeongkyo@mokpo.ac.kr](mailto:jeongkyo@mokpo.ac.kr))

# EKC Hypothesis Testing for the CO<sub>2</sub> Emissions of Korea Considering Total Factor Productivity: Focusing on the CO<sub>2</sub> Emissions by Region and GRDP<sup>†</sup>

Suyi Kim\* and Kyung Hwa Jung\*\*

**ABSTRACT :** This research tested the EKC (Environment Kuznets Curve) Hypothesis using the CO<sub>2</sub> Emissions by region and GRDP. We built the panel data set on the 15 local government region from 1990 to 2010 for this analysis. GRDP, population and total factor productivity was considered as the factors influencing on the regional CO<sub>2</sub> Emissions. Analysis method in this research is panel GLS model as Lantz and Feng (2006). The results show that the EKC hypothesis did not hold in Korea but there is inverted U relationship between the CO<sub>2</sub> Emissions and total factor productivity. As the total factor productivity grows, the CO<sub>2</sub> increased but decreased after a certain level.

**Keywords :** CO<sub>2</sub> Emissions, Environment Kuznets Curve (EKC), Total Factor Productivity (TFP)

---

Received: August 4, 2014. Revised: November 3, 2014. Accepted: December 8, 2014.

<sup>†</sup>This work was supported by 2014 Hongik University Research Fund.

\* Hongik University, College of Business Management, Assistant Professor(e-mail: suyikim@hongik.ac.kr)

\*\* Mokpo University, College of Business Administration, Assistant Professor(e-mail: jeongkyo@mokpo.ac.kr)

## I. 서론

우리나라는 2020년 온실가스 배출량을 베이스라인 대비 30% 감축이라는 국가목표를 설정하고 다양한 온실가스 감축 정책을 시행하고 있다. 우리나라의 온실가스는 지난 30년 동안 급속하게 배출량이 증가하여 왔다. 이 와중에 우리나라는 지난 30년 동안 괄목할만한 경제성장 또한 이룩하여 온 것도 사실이다. 본 연구에서는 우리나라의 과거 CO<sub>2</sub> 배출량 데이터를 사용하여 경제성장을 하면서도 CO<sub>2</sub> 배출량이 줄어들었는지 실증적으로 분석하고자 한다. 즉 우리나라의 경우 EKC (Environment Kuznets Curve) 가설이 성립하는지를 계량경제학적으로 분석하고자 한다. 해외의 연구에서는 EKC가설에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 연구결과는 연구자에 따라서 다소 상반된 결과를 나타내고 있다. Shafik and Bandyopadhyay (1992), Shafik (1994), Seldon and Song (1994), Holtz-Eakin and Selden (1995), Tucker (1995), Sengupta (1996), Roberts and Grimes (1997), Panayotou (1997), Shma-lensee et al. (1998), Galeotti and Lanza (1999), Agras and Chapman (1999), Auffhammer et al. (2000), Neumayer (2002), Shi (2003) 등 국외의 연구들은 EKC 가설을 지지하고 있다.

반면 Cole et al. (1997), de Bruyn et al. (1998), Talukdar and Meisner (2001), Dijkgraaf and Vollebergh (2001), Roca et al. (2001), Heenrink et al. (2001), Magnani (2001), Lindmark (2002), Coondoo and Dinda (2002), 그리고 Bruvoll and Medin (2003) 등의 연구에서는 1인당 GDP와 CO<sub>2</sub> 간에는 선형관계가 있어 EKC가설이 성립하지 않는다는 결과를 보이고 있다.

우리나라에 대한 과거에도 이와 유사한 다양한 연구들이 진행되어 온 것은 사실이다. 우리나라의 경우, CO<sub>2</sub> 배출과 경제성장 간의 상관관계에 대한 분석은 이광훈 (2010), 이광훈·이춘화(2009), 김수이·정용훈(2012), 최은호·Almas Heshmati·조용성(2013) 등의 연구가 있다. 이광훈(2010)은 우리나라 전국을 5개 광역 경제권으로 구분하여, 권역별로 이산화탄소 배출량에 대한 EKC를 추정·비교하였다. 이 분석에 의하면 5개 권역 모두에서 CO<sub>2</sub> 배출에 대한 EKC의 존재를 상당히 일관되게 확인하였다. 이광훈·이춘화(2009)는 수도권 서울·인천·경기 3개 지역의 이산화탄

소 배출에 대한 EKC 가설을 검증하였으며, SUR 모형을 통해 EKC의 존재를 확인하였다. 김수이·정용훈(2012)의 연구는 우리나라의 1981년~2008년까지의 시계열 자료를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 배출량과 경제성장 간의 인과관계 및 에너지믹스의 영향을 실증적으로 분석하였다. 이 연구에서는 CO<sub>2</sub> 배출량과 경제성장의 관계가 역 U자형이라는 EKC 가설을 확인할 수 있었으며, 에너지믹스가 국내 CO<sub>2</sub> 감축에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 최은호·Almas Heshmati·조용성(2013)의 연구에서는 한국과 중국, 일본 세 국가의 1971년부터 2006년까지의 시계열 자료를 바탕으로 이산화탄소 배출량과 경제성장 그리고 경제개방도의 인과관계를 파악하고 환경 쿠즈네츠 곡선의 존재여부에 대해 분석하였다.

그 외에도 분석대상이 국내에만 국한된 연구는 아니지만 최충익·김지현(2006)은 CO<sub>2</sub> 배출량을 중심으로 30개 OECD 국가의 1990년~2002년에 걸친 패널자료를 바탕으로 EKC 가설이 통계적으로 유의한 가설임을 증명하였으며, 정군오·정영근(2004)은 83개 국가에 대한 1961년~1996년 패널자료를 이용하여 소득구간별로 이산화탄소 배출에 대한 EKC를 추정하고 일부 소득구간에서 EKC 가설의 존재를 확인하였다. 김정인·김진욱·박창원(1999)도 주요 OECD 국가의 1985년~1994년 자료를 이용하여 이산화탄소, 아황산가스, 이산화질소 및 질소산화물, 분진, 휘발성 유기화합물 등에 대한 EKC의 존재 여부를 검증하였다. 하지만 이상의 연구는 대부분 EKC 가설 검증함에 있어 기술진보를 고려하지 않은 연구가 대부분이다. 한편 기술진보를 고려하면서 EKC를 검증한 기존의 연구는 Lantz and Feng (2006)의 연구를 들 수 있다. 기존의 연구들이 CO<sub>2</sub> 배출량과 일인당 GDP 등 환경오염을 대리하는 변수들과 경제성장을 대리하는 변수들간의 직접적인 연관관계를 분석하였지만 Lantz and Feng (2006)의 연구에서는 기술진보를 EKC를 검증함에 있어서 아울러 고려하였다는 것이다.

본 연구는 EKC를 검증함에 있어서 기존의 국내 연구와는 차별화되도록 Lantz and Feng (2006)에서와 마찬가지로 기술진보를 고려하였다. EKC를 검증함에 있어 기술진보를 고려한 경우 상반되는 연구결과를 보이고 있다. Shafik (1994), Kahn and McDonald (1994) 그리고 Neumayer (2002)의 연구에서는 기술진보가 배출량을 증가시키는 것으로 나타났으며, Kaufmann et al. (1998), de Bruyn et al. (1998),

Talukdar and Meisner (2001), Bruvoll and Medin (2003), 그리고 Shi (2003) 등의 연구에서는 기술진보가 배출량을 감소시키는 것으로 나타났다. 전자의 경우에는 기술진보가 화석연료의 수요 증가를 가져오는 구조적인 경제변화를 가져왔다고 해석할 수 있으며, 후자의 경우에는 기술진보에 따라서 에너지 효율이 개선되거나 친환경 기술 생산 활동이 활발해진 것으로 해석될 수 있다.

하지만 기존의 연구에서는 구체적인 기술진보를 나타내는 변수로 시간 지수(time index)를 사용한 반면 본 연구에서는 기술진보를 나타내는 변수로 총요소생산성의 변화를 나타내는 지수를 사용하였다. 따라서 보다 구체적으로 경제적인 의미의 기술진보의 변화를 모형에 반영할 수 있었다. 아울러 기존의 국내 연구들이 국가 전체적으로 혹은 일부 지방자치단체를 중심으로 EKC의 존재여부를 검증하였다면 본 연구에서는 16개 광역지방자치단체를 전부 고려함으로써 보다 통계적으로 유의한 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구는 과거 연구와는 차별화되도록 우리나라 CO<sub>2</sub> 배출 데이터를 지자체별로 살펴보고 이러한 지자체별 CO<sub>2</sub> 배출량이 각 지역의 GRDP와 어떠한 상호 연관성을 가지고 있는지를 분석하고자 한다. 즉 CO<sub>2</sub> 배출량에 있어서 EKC(환경쿠즈네츠곡선) 가설이 성립하는지를 계량경제학적으로 분석하고자 한다. 아울러 이 모형이 시사하는 정책적인 시사점을 아울러 도출하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 분석방법, 데이터 그리고 기술통계량을 살펴본다. III장에서는 분석결과를 제시하고 IV장에서는 결론 및 시사점을 제시한다.

## II. 분석방법, 데이터 그리고 기술통계량

### 1. 분석방법

본 연구에서는 우리나라를 15개 지방자치단체로 구분하고 각 지역의 CO<sub>2</sub> 배출량과 GRDP사이에 EKC가설이 성립하는가를 다음 모형을 통해 분석하고자 한다. 15개 지방자치단체별로 CO<sub>2</sub> 배출량, GRDP, 인구, 기술진보 등의 변수에 대한 패널데이터를 구축하였다. 기술진보를 대리하는 변수로 본 연구에서는 총요소생산성을 사용

하였다. 분석방법 측면에서는 Pooled GLS 모형, Fixed Effects GLS 모형을 사용하였다. 고려하는 변수 측면에서는 Lantz and Feng (2006)에서와 마찬가지로 두 가지 모형으로 나누어서 분석하였다. 식 (1)은 다른 요인은 고려하지 않고 CO<sub>2</sub> 배출량과 일인당 GRDP와의 관계만 고려한 것이고, 식 (2)는 CO<sub>2</sub> 배출량과 일인당 GRDP, 인구의 관계를 고려한 모형이다. 식 (3)은 식 (2)의 변수에 기술진보를 아울러 고려한 모형이다.

$$CO2_{it} = \tau_{it} + \alpha_1 Y_{it} + \alpha_2 Y_{it}^2 + e_{it} \quad (1)$$

$$CO2_{it} = \tau_{it} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 P_{it} + \beta_4 P_{it}^2 + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$CO2_{it} = \tau_{it} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \beta_3 P_{it} + \beta_4 P_{it}^2 + \beta_5 T + \beta_6 T_{it}^2 + \epsilon_{it} \quad (3)$$

여기서, CO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> 배출량

Y : GRDP

P : 인구

T : 기술진보

## 2. 지역별 온실가스 배출량과 GRDP

우선 본 연구에서 사용한 지역별 온실가스 배출량은 에너지경제연구원에서 산정한 국내 16개 지방자치단체별 CO<sub>2</sub> 배출량을 사용하였다. 기준은 소비지 기준이다. 이 데이터는 다음과 같은 3단계를 통해 산정하였다. 1단계에서 2006 IPCC 가이드라인(Tier 1 방법론)을 적용하여 국가 에너지부문의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다. 1단계 산식은 식 (3)과 같다. CO<sub>2</sub> 배출량 산식은 에너지소비량에 배출계수와 전환계수를 곱한다. 배출계수는 2006 IPCC 가이드라인에서 제공하는 순발열량 기준의 기본 배출계수를 적용한다. <표 1>은 고정연소 CO<sub>2</sub> 기본배출계수를 나타내며, <표 2>는 도시가스 제조에 투입되는 원료별 비중에 따라 산정된 연도별 도시가스 배출계수를

중요소생산성을 고려한 한국의 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 EKC 가설 검증: 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과 GRDP를 중심으로

나타내고 있다. 전환계수는 <표 3>에 나타나고 있다. 전환계수를 고려한 이유는 국내 에너지소비량이 총발열량을 기준으로 발표되기 때문에 총발열량을 순발열량으로 계산하기 위함이다.

$$CO2_j = E_j \times EF_j \times CF_j \quad (3)$$

여기서,  $CO2_j$  :  $j$  연료의 배출량 = 연료별 CO<sub>2</sub> 배출량 (kg GHG)

$E_j$  :  $j$  연료의 소비량 = 연료소비량(총발열량) (TJ= 천TOE\*41.868)

$EF_j$  :  $j$  연료의 배출계수 = 연료별 CO<sub>2</sub> 배출계수 (kg/TJ).

$CF_j$  :  $j$  연료의 전환계수 = 순발열량/총발열량

\* CO<sub>2</sub> 탄소 산화계수 : 1

2단계에서는 각 지자체별 활동자료를 수집하여 지자체별로 발생하는 배출원별, 에너지원별 소비량의 비중을 구한다. 3단계에서는 1단계에서 산정한 CO<sub>2</sub> 배출량을 2단계에서 구한 지자체별 배출원별 에너지원별 비중으로 배분하여 지자체별 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한다. 3단계 배출량에 대한 산식은 식 (4)와 같다.

$$\text{지자체 } k \text{의 } CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i \sum_j \text{국가 } CO_2 \text{ 배출량}_{i,j} \cdot \frac{\text{지자체 } k \text{의 연료소비량}_{i,j}}{\text{총연료소비량}_{i,j}}, \quad (4)$$

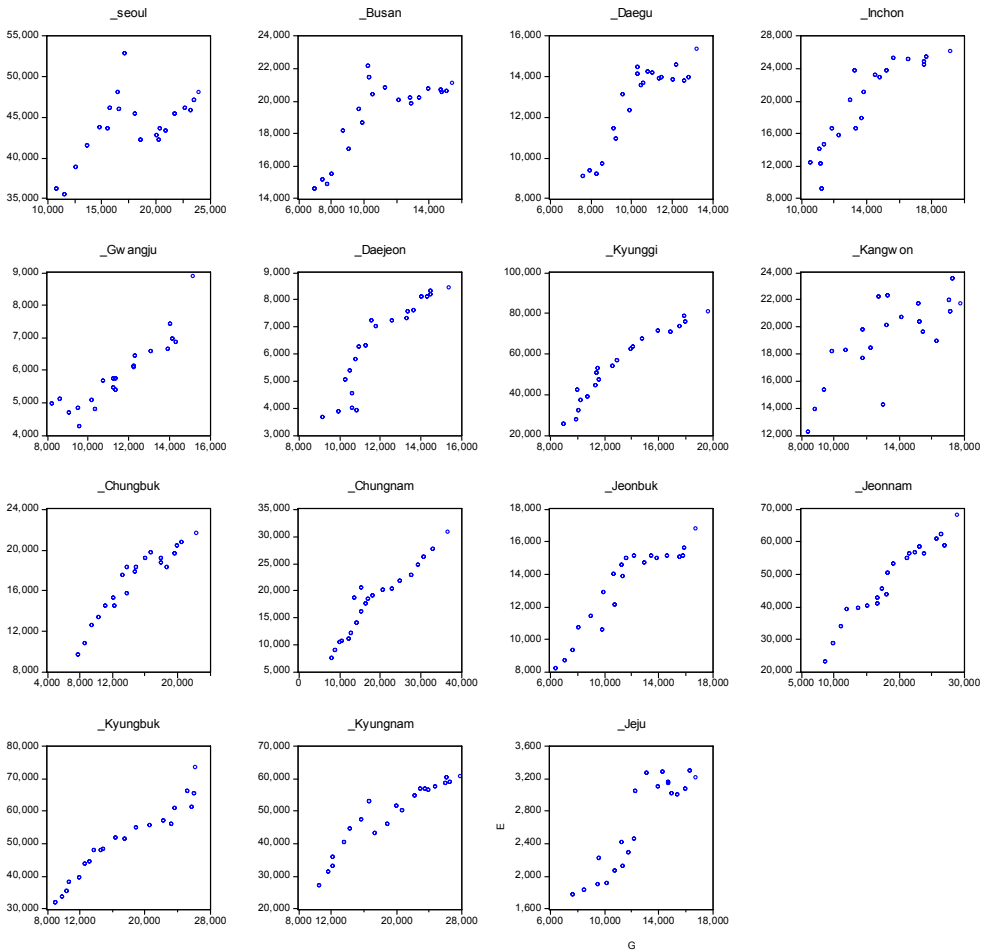
$i$ : 배출원  
 $j$ : 연료

$$\text{국가 } CO_2 \text{ 배출량} = \sum_k \text{지자체 } k \text{의 } CO_2 \text{ 배출량}$$

지역별 소득수준을 나타내는 일인당 GRDP는 통계청 ‘경제활동별 지역내총생산’ 2005년 기준년도 가격의 자료를 이용하였다. 지역별 인구 역시 통계청 ‘연령별 시도 추계인구’의 자료를 사용하였다. 향후 분석에서는 울산광역시는 데이터가 1998년부터 존재하므로 분석의 편의상 경남과 합쳐서 분석하고자 한다. 따라서 분석패널은 15개로 연도는 1990년부터 2010까지 총 데이터 수는 315개이다. <그림 1>은 각지

역별로 1인당 GRDP와 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과의 관계를 나타내고 있다. X축은 GRDP를 나타내고 Y축은 배출량을 나타내고 있다. 이에 의하면 지역별로 관계가 상이하게 나타나고 있다. 서울, 부산, 대구, 인천 등 대도시에서는 GDP가 증가할수록 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소하는 구간이 발견되는 반면 다른 지역에서는 그 구간을 발견하기 어렵다. 이는 지역별 경제구조의 특성까지도 상당히 관계가 있어 보인다.

〈그림 1〉 일인당 GRDP와 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과의 관계



주: X축은 GRDP를 나타내고 Y축은 배출량을 나타냄

자료: 통계청, 에너지경제연구원

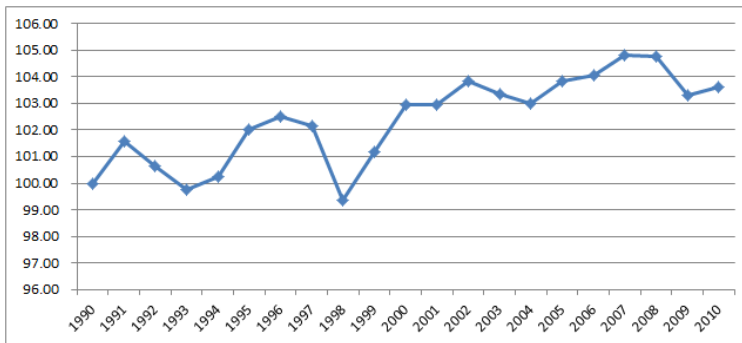


### 3. 기술통계량

본 연구에서 사용한 기본 데이터인 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량, 일인당 GDP, 인구 추이에 대한 통계는 <표 1>에 제시되어 있다. <표 1>에서 보는 바와 같이 지난 21년 동안 우리나라의 경우 지역별로 차이가 있지만 일인당 GRDP의 증가율이 CO<sub>2</sub> 배출 증가율보다 높게 나타나고 있다. 인구의 증가율은 CO<sub>2</sub> 배출 증가율이나 GRDP의 증가율보다 더 적게 나타나고 있다.

한편 기술진보를 나타내는 변수로는 총요소생산성 지수를 사용하였다. 총요소생산성은 연구방법에 따라서 다양한 방법으로 계산될 수 있다. 우리나라를 대상으로 총요소생산성을 측정하는 연구로는 OECD, The Conference Board, 김동석 외(2012), 조태형 외(2012), 한국생산성본부(2012), 장인성(2013), 박추환·신광하(2013)<sup>1)</sup> 등이 있다. 본 연구에서는 기술진보를 가장 잘 대변할 수 있는 장인성(2013)의 연구에 기초한 총요소생산성 지수를 사용하였다.<sup>2)</sup> 각 연도가 나타내는 총요소생산성 지수 값은 1990년을 100으로 보았을 때 해당연도의 기술수준을 나타낸다. 1990년부터 2010년까지의 총요소생산성 지수는 <그림 2>에 제시되어 있다.

<그림 2> 총요소생산성 지수추이(1990년=100)



자료: 장인성(2013)

- 1) 박추환·신광하(2013)의 연구에서는 지역별 노동생산성을 고려하여 분석하였지만 노동생산성이 기술진보를 대변한다고 보기는 어렵다.
- 2) 장인성(2013)은 Hall (1988)이 개발한 완전경쟁을 가정하지 않고 비용극소화 조건을 활용하여 총요소생산성을 측정하는 방법을 사용하였다. Hall (1988)이 개발한 방법은 그 후 Basu and Feruald (1997) 등에 의하여 구체적으로 측정된 바 있다. 본 연구에서 장인성(2013)의 데이터를 사용한 이유는 이 방법에 의한 총요소생산성 추정방법이 기술진보를 가장 잘 나타낸다고 할 수 있기 때문이다.

〈표 1〉 국내 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량, 일인당 GRDP, 인구 추이 (1990~2010)

	변수	1990	2010	변화율(%)
서울	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	36,279.83	48,179.41	32.80
	일인당 GDP(천 원)	10,832	23,984	121.42
	인구(천 명)	10,473	10,051	-4.04
부산	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	14,640.15	21,098.21	44.11
	일인당 GDP(천 원)	6,981	15,407	120.71
	인구(천 명)	3,803	3,466	-8.86
대구	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	9,134.69	15,354.63	68.09
	일인당 GDP(천 원)	7,626	13,182	72.86
	인구(천 명)	2,293	2,472	7.81
인천	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	12,403.11	26,134.67	110.71
	일인당 GDP(천 원)	10,508	19,115	81.91
	인구(천 명)	1,897	2,713	43.04
광주	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	4,966.04	8,890.49	79.03
	일인당 GDP(천 원)	8,229	15,136	83.92
	인구(천 명)	1,125	1,489	32.40
대전	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	3,676.00	8,463.13	130.23
	일인당 GDP(천 원)	9,162	15,388	67.96
	인구(천 명)	1,036	1,511	45.84
경기	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	25,467.20	81,085.58	218.39
	일인당 GDP(천 원)	8,968	19,667	119.31
	인구(천 명)	5,972	11,576	93.83
강원	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	12,259.38	21,747.15	77.39
	일인당 GDP(천 원)	8,428	17,780	110.97
	인구(천 명)	1,562	1,487	-4.82
충북	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	9,755.22	21,679.91	122.24
	일인당 GDP(천 원)	7,814	22,231	184.49
	인구(천 명)	1,374	1,522	10.77
충남	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	7,663.32	30,878.83	302.94
	일인당 GDP(천 원)	7,921	36,426	359.86
	인구(천 명)	1,992	2,076	4.20
전북	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	8,218.56	16,803.45	104.46
	일인당 GDP(천 원)	6,402	16,744	161.55
	인구(천 명)	2,047	1,794	-12.33
전남	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	23,127.17	68,409.21	195.80
	일인당 GDP(천 원)	8,578	28,869	236.56
	인구(천 명)	2,480	1,777	-28.36
경북	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	32,014.54	73,693.73	130.19
	일인당 GDP(천 원)	8,968	26,144	191.53
	인구(천 명)	2,736	2,628	-3.96
경남	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	27,216.93	60,889.07	123.72
	일인당 GDP(천 원)	10,441	27,845	166.68
	인구(천 명)	3,570	4,302	20.50
제주	CO <sub>2</sub> 배출량(천 톤)	1,771.55	3,221.87	81.87
	일인당 GDP(천 원)	7,617	16,716	119.46
	인구(천 명)	509	547	7.47

자료: 통계청, 에너지경제연구원

<표 2>는 본 연구에서 사용한 데이터의 기초통계량을 나타내고 있다. 지역별로 평균, 최댓값, 최솟값, 표준편차를 나타내고 있다. CO<sub>2</sub> 배출량의 표준편차가 가장 큰 지역은 경기도이며, 표준편차가 가장 작은 지역은 제주도이다. 한편 일인당 GRDP의 표준편차가 가장 큰 지역은 충청남도이며, 가장 작은 지역은 대구로 나타났다. 인구의 표준편차가 가장 큰 지역은 경기도이며, 가장 작은 지역은 제주도로 나타났다. 이와 같이 표준편차가 큰 지역은 변수의 변동성이 커서 평균에서의 이탈 정도가 큰 것을 나타내며, 작은 것은 변수의 변동성이 그만큼 작다는 것을 나타내고 있다. 총요소생산성은 지역별 차이를 두지 않았다. 이는 지역별 총요소생산성을 추정하기 힘들고 이에 대한 자료를 입수하기 어려웠기 때문이다. <표 6>은 주요 변수들 간의 상관계수를 나타내고 있는데, 이 표에 의하면 변수들 간의 상관계수값이 그리 크지 않게 나타나고 있다. 이는 변수들 간의 다중 공선성의 문제가 없다고 해석할 수 있다.

<표 2> 기초 통계량

		CO <sub>2</sub> 배출량 (천 톤)	일인당 GRDP (천 원)	인구 (천 명)	총요소생산성 (1990=100)
서울	평균	44,068	18,022	10,168	102
	최댓값	52,901	23,984	10,473	105
	최솟값	35,554	10,832	10,011	99
	표준편차	3,982	3,993	171	2
부산	평균	19,178	11,195	3,699	102
	최댓값	22,171	15,407	3,852	105
	최솟값	14,640	6,981	3,466	99
	표준편차	2,333	2,714	132	2
대구	평균	12,821	10,439	2,470	102
	최댓값	15,355	13,182	2,535	105
	최솟값	9,135	7,626	2,293	99
	표준편차	1,992	1,617	67	2
인천	평균	19,801	14,057	2,434	102
	최댓값	26,135	19,115	2,713	105
	최솟값	9,225	10,508	1,897	99
	표준편차	5,267	2,545	239	2
광주	평균	5,900	11,562	1,350	102
	최댓값	8,890	15,136	1,489	105
	최솟값	4,271	8,229	1,125	99
	표준편차	1,093	2,014	113	2

〈표 2〉 기초 통계량 (계속)

		CO <sub>2</sub> 배출량 (천 톤)	일인당 GRDP (천 원)	인구 (천 명)	총요소생산성 (1990=100)
대전	평균	6,393	12,088	1,355	102
	최댓값	8,463	15,388	1,511	105
	최솟값	3,676	9,162	1,036	99
	표준편차	1,658	1,806	145	2
경기	평균	55,098	13,332	9,084	102
	최댓값	81,086	19,667	11,576	105
	최솟값	25,467	8,968	5,972	99
	표준편차	17,135	3,207	1,774	2
강원	평균	19,186	13,376	1,503	102
	최댓값	23,580	17,780	1,562	105
	최솟값	12,259	8,428	1,475	99
	표준편차	3,063	2,926	23	2
충북	평균	16,988	14,834	1,461	102
	최댓값	21,680	22,231	1,522	105
	최솟값	9,755	7,814	1,374	99
	표준편차	3,333	4,161	48	2
충남	평균	18,176	18,923	1,907	102
	최댓값	30,879	36,426	2,076	105
	최솟값	7,663	7,921	1,784	99
	표준편차	6,419	8,410	77	2
전북	평균	13,319	11,651	1,897	102
	최댓값	16,803	16,744	2,047	105
	최솟값	8,219	6,402	1,788	99
	표준편차	2,510	3,068	79	2
전남	평균	48,436	18,874	2,029	102
	최댓값	68,409	28,869	2,480	105
	최솟값	23,127	8,578	1,777	99
	표준편차	11,823	5,848	203	2
경북	평균	50,857	17,409	2,705	102
	최댓값	73,694	26,144	2,773	105
	최솟값	32,015	8,968	2,628	99
	표준편차	11,369	5,978	48	2
경남	평균	48,901	19,377	4,020	102
	최댓값	60,889	27,845	4,302	105
	최솟값	27,217	10,441	3,570	99
	표준편차	10,321	5,619	216	2
제주	평균	2,651	12,616	527	102
	최댓값	3,300	16,716	547	105
	최솟값	1,772	7,617	509	99
	표준편차	566	2,675	14	2
전국	평균	25,452	14,517	3,107	102
	최댓값	81,086	36,426	11,576	105
	최솟값	1,772	6,402	509	99
	표준편차	19,201	5,119	2,751	2

〈표 3〉 주요 변수들 간의 상관계수

	CO <sub>2</sub>	<i>Y</i>	<i>Y</i> <sup>2</sup>	<i>P</i>	<i>P</i> <sup>2</sup>	<i>T</i>	<i>T</i> <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	1.0000						
<i>Y</i>	0.6014	1.0000					
<i>Y</i> <sup>2</sup>	0.5628	0.9797	1.0000				
<i>P</i>	0.6409	0.1725	0.1392	1.0000			
<i>P</i> <sup>2</sup>	0.5746	0.1585	0.1195	0.9771	1.0000		
<i>T</i>	0.2261	0.6091	0.5373	0.0389	0.0513	1.0000	1.0000
<i>T</i> <sup>2</sup>	0.2263	0.6101	0.5384	0.0389	0.0514	0.9988	1.0000

### III. 계량 분석 결과

모형의 강건성을 유지하기 위해 Dickey-Fuller, and Phillips-Perron test, Durbin-Watson test, Lagrange multiplier test 등을 실시하였다. 우선 본 연구에서 사용한 데이터가 가지는 특성을 분석하기 위해서 시계열들이 단위근을 가지고 있는지를 분석하였다. 분석결과는 <표 4>에 기술되어 있다. 일부 변수에서 단위근을 가지는 것으로 나타났다. 다음은 변수들 간의 공적분검증을 실시하였다. 공적분 검증결과는 <표 5>와 <표 7>에 기술되어 있다. 우선 변수 CO<sub>2</sub>, *Y*, *Y*<sup>2</sup> 간에 공적분 관계가 있는가를 검증해보면, <표 5>에서 보는 바와 같이 Panel ADF-Statistic와, Group ADF-Statistic에 의거하여 판정해 보면 모두 1% 유의수준에서 변수들이 공적분 되어 있다. Kao (1999)의 ADF t 통계량에 의하면 5% 유의수준에서 변수들이 공적분되어 있다. CO<sub>2</sub>, *Y*, *Y*<sup>2</sup>, *P*, *P*<sup>2</sup> 간에 공적분 관계는 <표 6>에 제시되어 있다. 이에 의하면 CO<sub>2</sub>, *Y*, *Y*<sup>2</sup>, *P*, *P*<sup>2</sup>, *T*, *T*<sup>2</sup> 간에 공적분 관계가 있는가를 검증해보면 Panel ADF-Statistic와, Group ADF-Statistic에 의거하여 판정해 보면 모두 5% 유의수준에서 변수들이 공적분 되어 있다. Kao (1999)의 ADF t 통계량에 의하면 1% 유의수준에서 변수들이 공적분되어 있다. <표 7>에서 보는 바와 같이 Panel ADF-Statistic와, Group PP-Statistic에 의거하여 판정해 보면 모두 1% 유의수준에서 변수들이 공적분되어 있다.

〈표 4〉 단위근 검증

방법론	E (CO <sub>2</sub> 배출량)	G (일인당 GRDP)	P (인구)	T (총요소생산성)
Null : Unit root (assumes common unit root process)				
Levin, Lin & Chu t*	-1.690*	0.911	-4.225***	-4.498***
Null: Unitroot (assumes individual unit root process)				
Im, Pesaran and Shin W-stat	0.827	5.454	-1.508	0.020
ADF - Fisher Chi-square	25.460	4.062	42.420	20.331
PP - Fisher Chi-square	33.639	4.872	153.322***	27.152

〈표 5〉 공적분 검증 (변수: CO<sub>2</sub>, Y, Y<sup>2</sup>)

Alternative hypothesis: common AR coefs. (within-dimension)				
	Statistic	Prob.	Weighted Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	1.721	0.043	1.404	0.080
Panel rho-Statistic	-1.019	0.154	-1.233	0.109
Panel PP-Statistic	-1.754	0.040	-2.263	0.012
Panel ADF-Statistic	-1.566	0.059	-3.207	0.001
Alternative hypothesis: individual AR coefs. (between-dimension)				
	Statistic	Prob.		
Group rho-Statistic	0.939	0.826		
Group PP-Statistic	-0.689	0.245		
Group ADF-Statistic	-3.388	0.000		
Kao Cointegration Test				
t-Statistic	-1.799	0.036		

〈표 6〉 공적분 검증 (변수: CO<sub>2</sub>, Y, Y<sup>2</sup>, P, P<sup>2</sup>)

Alternative hypothesis: common AR coefs. (within-dimension)				
	Statistic	Prob.	Weighted Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	-0.756	0.775	-1.971	0.976
Panel rho-Statistic	1.280	0.900	1.591	0.944
Panel PP-Statistic	-1.889	0.030	-2.413	0.008
Panel ADF-Statistic	-1.654	0.049	-4.405	0.000
Alternative hypothesis: individual AR coefs. (between-dimension)				
	Statistic	Prob.		
Group rho-Statistic	3.251	0.999		
Group PP-Statistic	-2.132	0.017		
Group ADF-Statistic	-3.669	0.000		
Kao Cointegration Test				
t-Statistic	-2.872	0.002		

〈표 7〉 공적분 검증 (변수: CO<sub>2</sub>, Y, Y<sup>2</sup>, P, P<sup>2</sup>, T, T<sup>2</sup>)

Alternative hypothesis: common AR coefs. (within-dimension)				
	Statistic	Prob.	Weighted Statistic	Prob.
Panel v-Statistic	-2.129	0.983	-3.746	1.000
Panel rho-Statistic	3.537	1.000	3.481	1.000
Panel PP-Statistic	-0.325	0.372	-3.165	0.001
Panel ADF-Statistic	0.632	0.736	-2.907	0.002
Alternative hypothesis: individual AR coefs. (between-dimension)				
Group rho-Statistic	4.733	1.000		
Group PP-Statistic	-5.430	0.000		
Group ADF-Statistic	-1.410	0.079		

본 연구에서 사용한 계량분석모형은 패널 GLS (Generalized Least Squares) 고정 효과모형이다. 이 방법은 패널모형에서 이분산성과 자기상관이 관찰될 경우 이를 해결하도록 고안된 모형이다. 본 연구에서는 이분산성을 검증하기 위해 Modified

wald test for groupwise heteroskedascity 방법론을 사용하였다. 이분산성 검증 결과 99%의 확률로 이분산성이 존재하였다. 그리고 자기상관을 검증하기 위해서는 Wooldridge test for autocorrelation in panel data를 사용하였다. 자기상관 검증 결과 이 역시 99%의 확률로 자기상관이 존재하는 것으로 나타났다. 모형별로 고정효과가 있는지를 검증한 결과 고정효과가 큰 것으로 나타났다.

분석결과는 <표 8>에 제시되어 있다. 여기에서는 4가지 모형을 제시하였다. 모델 1은 식 (1)을 분석한 결과이며, 모델 2는 식 (2)를 분석한 결과이다. 모델 (3)은 식 (3)을 분석한 모형인데 기술변수의 대리변수가 총요소생산성(TPF)인 것이고, 모델 (4)는 기술변수의 대리변수가 시간지수(Time Index)를 사용하여 추가적으로 분석한 것이다. 먼저 모델 1과 모델 2를 통해서 우리가 공통적으로 발견할 수 있는 사실은 지난 21년간 우리나라의 경우에는 EKC가 발견되지 않았다는 것이다. 즉 두 모형 모두 계수값이 아주 작을 뿐만 아니라 일부 모형에서 통계적으로 유의하다 할지라도 10% 유의수준이기 때문에 EKC가 성립한다고 단정하긴 힘들다. 하지만 일인당 GRDP가 증가함에 따라 각 지역의 CO<sub>2</sub> 배출량은 증가하는 것으로 나타났다. 모형 별로 차이가 있지만 그 계수값은 0.326~1.210으로 나타나고 있다. 인구의 경우에도 인구가 증가함에 따라서 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 인구와 CO<sub>2</sub> 사이에는 역 U자형 관계가 성립하는지를 검증한 결과 계수값이 거의 0에 가깝고 통계적으로 유의하지 않아 이 관계가 성립하지 않는다고 할 수 있다.

모델 3에 의하면 총요소생산성과 CO<sub>2</sub> 배출량은 상호 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 통계적으로 p값이 1% 수준에서 매우 유의한 값을 가지고 있다. 즉 이는 흔히 총요소생산성이 증가하면 배출량이 줄어들어야 하는 것으로 생각되기 쉽지만 우리나라의 경우 총요소생산성의 증가는 오히려 CO<sub>2</sub> 배출량을 증가시키는 방향으로 작용하였다. 즉 우리나라의 경우에는 기술혁신이나 산업 구조의 변화가 화석연료의 수요를 증가시키는 방향으로 진행되어 왔다고 할 수 있다. 한편 <표 8>에서 보는 바와 같이  $T^2$ 에 대한 계수값이 음(-)을 보이고 있으며 이는 통계적으로도 99% 수준에서 유의하다. 즉 총요소생산성과 CO<sub>2</sub> 배출량 사이에는 역 U자형 관계가 성립한다는 것이다. 이 사실은 총요소생산성이 일정수준 증가한 이후에는 오히려 배출량이 줄어드는 현상이 일어난다는 것이다. 따라서 이는 총요소생산성과



CO<sub>2</sub> 배출량 사이에 양(+의) 관계가 있다는 사실에 비추어 볼 때 환경적인 측면에서 다소 고무적인 결과이다. 즉 기술진보와 더불어 배출량이 증가하다가 일정수준이상에서는 기술진보에 따른 배출량 증가세가 둔화되다가 감소한다는 것이다. 즉 일정 수준까지는 화석연료를 많이 소비하는 기술진보가 지속되다가 일정수준 이상이 되면 기술적인 측면이나 산업구조적인 측면에서 에너지효율 향상이 일어난다는 것이다. 하지만 모델 4에서는 Time Index와 CO<sub>2</sub> 배출량 간에는 별다른 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 Lantz and Feng (2006)의 결과와는 많은 차이가 있다. 캐나다를 대상으로 한 이 연구에서는 기술진보(Time Index)가 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이는 결과를 가져왔는데 반해 본 연구에서는 기술진보(Time Index)와 CO<sub>2</sub> 배출량 간에는 별다른 관계를 보이지 않고 있다. 이러한 차이는 캐나다와 우리나라의 산업구조와 경제발전단계의 차이에서 기인한 것일 수 있다. 오히려 우리나라의 경우에는 기술변수의 대리변수로서 총요소생산성을 사용한 결과가 훨씬 더 유의하게 나타났다는 것이다.

〈표 8〉 분석결과

	모델 1	모델 2	모델 3	모델 4
	GLS(Fixed Effects)	GLS(Fixed Effects)	GLS(Fixed Effects)	GLS(Fixed Effects)
$Y$	1.210(2.894)***	1.168(5.674)***	0.570(2.428)***	0.323(6.226)***
$Y^2$	-1.08e-05(-1.205)	-1.15e-05(-1.938)*	1.90e-6(0.29)	-1.12e-05(-1.896)*
$P$		11.116(2.036)**	7.190(1.699)*	8.696(1.881)*
$P^2$		-0.00014(-0.494)	5.91e-5(0.250)	-2.47e-05(-0.098)
$T$ (TFP)			14847.09(3.938)***	
$T^2$ (TFP)			-71.764(-3.866)***	
$T$ (Time Index)				19436.34(0.567)
$T^2$ (Time Index)				-4.887(-0.571)
Adjusted $R^2$	0.992	0.993	0.993	0.992
Wald $\chi^2$ value/ Overall significance	30.347***	147.87***	243.767***	194.675***
F-value/Fixed Effects	3.312***	4.236***	4.649***	4.541***

주: \*(p<0.1), \*\*(p<0.05), \*\*\*(p<0.01), ( )은 t값임.

#### IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 GRDP, 인구, 총요소생산성 등이 각 지역의 CO<sub>2</sub> 배출에 미치는 영향을 패널 GLS 분석법을 통해 분석하였다. 본 연구에서는 경제성장과 CO<sub>2</sub> 배출에 역 U자형 가설이 성립하는지를 살펴보았다. 그리고 경제성장 변수뿐만 아니라 인구, 총요소생산성에 대해서도 역 U자형 가설이 성립하는지를 살펴보았다. 본 연구 결과에 의하면 우리나라의 경우, 경제성장과 CO<sub>2</sub> 배출 간에는 역 U자형 가설이 성립하지 않았지만 총요소생산성과 CO<sub>2</sub> 배출 간에는 역 U자형 가설이 성립하였다. 이는 기존의 연구결과와는 차별화된다. 우리나라를 대상으로 한 선행연구에서는 EKC 가설이 성립하였는데 본 연구에서는 이 가설이 성립하지 않았다. 오히려 본 연구에서는 총요소생산성과 CO<sub>2</sub> 배출간에 역 U자형 가설이 성립하였다. 즉 우리나라는 총요소생산성이 증가함에 따라 CO<sub>2</sub> 배출이 증가하는 특성을 보이고 있는데 이는 총요소생산성이 증가함에 따라 일정수준 이상에서는 다시 CO<sub>2</sub> 배출이 감소하는 경향을 보이고 있다는 것이다. 이는 우리나라의 산업구조와 밀접한 관계를 보인 것으로 추정된다. 즉 우리나라의 총요소생산성 증가는 에너지소비를 증가시키는 산업구조 변화를 가져왔다는 것이다. 이는 산업구조 측면에서 본다면 우리나라 GDP에서 에너지다소비 산업인 철강, 석유화학, 비철금속 등의 비중이 증가한 데서도 알 수 있다.

하지만 본 연구는 다음과 같은 한계점도 가지고 있다. 첫째, CO<sub>2</sub> 배출의 EKC를 검증함에 있어 본 연구에서 활용한 데이터는 불과 21년에 지나지 않는다. 이는 국내 지역별 온실가스 배출량에 대한 데이터가 1990년도부터 가능하기 때문이다. 하지만 이러한 짧은 시계열의 단점을 15개의 지역으로 구분해서 살펴보았으므로 통계적인 약점을 보완하고자 하였다. 따라서 이러한 연구는 추후 시계열이 더 보완되면 지속적으로 추진될 필요가 있다. 둘째, 본 연구에서 기술진보의 변수로서 사용한 총요소생산성은 기술진보를 나타내는 다양한 데이터 중의 하나이다. 특히 기술진보를 나타내는 지표가 각 지역별로 모두 공통적으로 사용한 단점이 있다. 즉 지역별 총요소생산성의 데이터를 사용하지 못함으로써 오는 연구의 한계점이 있다. 하지만 지역별 총요소생산성을 측정하는 것은 그 자체로 하나의 연구 주제가 될 수 있다. 본 연구에서 이러한 연구를 하는 것은 본 연구의 목적과 범위를 넘어서는 것이다. 따라서

총요소생산성을 고려한 한국의 CO<sub>2</sub> 배출량에 대한 EKC 가설 검증: 지역별 CO<sub>2</sub> 배출량과 GRDP를 중심으로

본 연구와 관련된 이러한 데이터가 확보된다면 보다 정확한 추정이 가능할 것으로 사료된다.

이와 같은 한계점에도 불구하고 본 연구는 CO<sub>2</sub> 배출에 대한 EKC를 검증함에 있어서 GRDP뿐만 아니라 인구, 기술진보(총요소생산성)를 아울러 고려하였다는 점에서 의의가 있으며 이러한 접근은 본 연구가 국내에서 처음으로 시도된 것이다.

## [References]

1. 김동석·김민수·김영준·김승주, 「한국경제의 성장요인 분석: 1970~2010」, 연구보고서 2012-08, 한국개발연구원, 2012.
2. 김수이·정용훈, “한국의 CO<sub>2</sub> 배출, 경제성장 및 에너지믹스와의 관계 분석,” 「자원·환경경제연구」, Vol. 21, No. 2, 2012, pp. 271~299.
3. 김정인·김진욱·박창원, “주요 OECD 국가의 환경쿠즈네츠곡선 검증,” 「환경경제연구」, Vol. 8, No. 1, 1999, pp. 77~108.
4. 김지욱, “확률계수모형을 이용한 수도권지역의 환경쿠즈네츠가설에 관한 재고찰,” 「자원·환경경제연구」, Vol. 11, No. 3, 2002, pp. 377~396.
5. 박추환·신광하, “16개 광역시도별 제조업 부문에 대한 절대적 및 조건부 수렴가설 검증 및 생산성 결정요인 분석,” 「국제지역연구」, Vol. 17, No. 4, 2013.
6. 신석하, 「정보통신기술의 발전과 한국의 산업별 총요소생산성」, 정책연구시리즈 2008-10, 한국개발연구원, 2008.
7. 에너지경제연구원, 「에너지통계연보」, 각 연도.
8. 이광훈, “국내 지역별 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선 추정 및 비교,” 「환경정책연구」, Vol. 9, No. 4, 2010, pp. 53~76.
9. 이광훈·이춘화, “수도권 지역 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선 탐색 및 정책적 함의,” 「서울도시연구」, Vol. 10, No. 3, 2009, pp. 83~95.
10. 이희연·노승철, 「고급통계분석론 - 이론과 실습」, 문우사, 2013.
11. 장인성, 「총요소생산성의 추이와 성장률 변화요인 분석」, 국회예산정책처 경제연구 보고서, 2013.
12. 정근오·정영근, “경제성장과 이산화탄소 배출에 관한 다국가 비교 분석,” 「산업경제

- 연구」, Vol. 17, No. 4, 2004, pp. 1077~1098.
13. 조상섭·강신원·김동엽, “비정태적 패널자료를 이용한 환경쿠즈네츠가설에 대한 실증분석: OECD 17개국 사례 분석,” 「자원·환경경제연구」, Vol. 10, No. 4, 2001, pp. 619~632.
  14. 최충익·김지현, “경제성장과 환경오염 간의 관계에 대한 국제비교연구: CO<sub>2</sub> 환경쿠즈네츠곡선 검증을 중심으로,” 「국토계획」, Vol. 41, No. 1, 2006, pp. 153~166.
  15. 조태형·김정훈·Paul Schreyer, “1980~2010년 중 우리나라 실질소득의 증가요인 분석,” 금융경제연구 제480호, 한국은행, 2012.
  16. 정선영, “우리나라 제조업의 총요소생산성 분석,” 금융경제연구, 한국은행, 2011.
  17. 최은호·Almas Heshmati·조용성, “개방화와 경제성장에 따른 한국, 중국, 일본의 이산화탄소 배출량 비교 분석,” 「환경정책연구」, Vol. 10, No. 4, 2011.
  18. 표하길·김우철·전은경, 「한국의 산업별 수익률 및 사용자 비용 추계」, 한국조세연구원, 2009.
  19. 표하길·정선영·조정삼, “한국의 총고정자본형성, 순자본소득 및 자본계수 추계: 11개 자산-72부문(1970~2005),” 한국경제의 분석패널, 2007.
  20. 한국생산성본부, 「총요소생산성 국제비교」, 한국생산성본부, 2012.
  21. 한진희·신석하, “경제위기 이후 한국경제의 성장: 성장회계 및 성장회귀 분석,” 「한국개발연구」, 제30권, 제1호, 한국개발연구원, 2008.
  22. Agras, J. and D. Chapman, 1999. “A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis,” *Ecological Economics* 28, pp. 267~277.
  23. Auffhammer, M., R. Carson, T. Garin-Munoz, and C. Rich, 2000. “Exploring Structural Differences in CO<sub>2</sub> Emissions of China’s Provinces,” Working Paper. University of California, San Diego.
  24. Basu, S. and J. Fernald, “Returns to Scale in US Production: Estimates and Implications,” *Journal of Political Economy* 105, 1997.
  25. Basu, S. and J. Fernald, “Aggregate Productivity and Aggregate Technology,” *European Economic Review* 46, 2002.
  26. Bruvoll, A. and H. Medin, 2003. “Factors behind the environmental Kuznets curve,” *Environmental and Resource Economics* 24, pp. 27~48.
  27. Cole, M. A., A. J. Rayner, and J. M. Bates, 1997. “The environmental Kuznets curve: an empirical analysis,” *Environment and Development Economics*, Vol. 2, No.

- 4, pp. 401~416.
28. Coondoo, D. and S. Dinda, 2002. "Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis," *Ecological Economics*, Vol. 40, No. 3, pp. 351~367.
29. de Bruyn, S. M., J. C. J. M. vanden Bergh, and J. B. Opschoor, 1998. "Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves," *Ecological Economics* 25, pp. 161~175.
30. Dijkgraaf, E. and H. Vollebergh, 2001. "A note on testing environmental Kuznets curves," Department of Economics and Research Center for Economic Policy, Erasmus University, Rotterdam.
31. Galeotti, M. and A. Lanza, 1999. "Richer and cleaner? A study on carbon dioxide emissions in developing countries," *Energy Policy* 27, pp. 565~573.
32. Hall, R., "The Relation between Price and Marginal Cost in U.S. Industry," *Journal of Political Economy*, Vol. 96, No. 5, October 1988.
33. Heenrink, N., A. Mulatu, and E. Bulte, 2001. "Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental Kuznets curves," *Ecological Economics* 38, pp. 359~367.
34. Holtz-Eakin, D. and T. Selden, 1995. "Stoking the fires? CO<sub>2</sub> emissions and economic growth," *Journal of Public Economics* 57, pp. 85~101.
35. Lindmark, M., 2002. "An EKC-pattern in historical perspective: carbon dioxide emissions, technology, fuel prices and growth in Sweden 1870-1997," *Ecological Economics* 42(1-2), pp. 333~347.
36. Lantz, V. and Q. Feng 2006, "Assessing income, population and technology impacts on CO<sub>2</sub> emissions in Canada: Where's the EKC?," *Ecological Economics* 57, pp. 229~238.
37. Neumayer, E., 2002. "Can natural factors explain any cross-country differences in carbon dioxide emissions?," *Energy Policy* 30, pp. 7~12.
38. Magnani, E., 2001. "Environmental Kuznets curve: development path or policy result?," *Environmental Modelling and Software* 16, pp. 157~165.
39. OECD, "OECD Compendium of Productivity Indicators 2012," OECD Publishing, 2012.

40. Panayotou, T., 1997. "Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool," *Environment and Development Economics*, Part42, pp. 265~484.
41. Roca, J., E. Padilla, M. Farre, and V. Galletto, 2001. "Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis," *Ecological Economics* 39, pp. 85~99.
42. Roberts, J. and Grimes, P., 1997. "Carbon intensity and economic development 1962-91: a brief exploration of the environmental Kuznets curve," *World Development* 25(2), pp. 191~198.
43. Seldon, T. and Song, D., 1994. "Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions?," *Journal of Environmental Economics and Management* 27, pp. 147~162.
44. Sengupta, R., 1996. "CO<sub>2</sub> emission income relationship: policy approach for climate control," *Pacific and Asian Journal of Energy* 7, pp. 207~229.
45. Shafik, N. and S. Bandyopadhyay, 1992. "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence," World Bank WPS904, Washington DC.
46. Shi, A., 2003. "The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975-1996: evidence from pooled cross-country data," *Ecological Economics* 44, pp. 29~42.
47. Shmalensee, R., T. Stoker, and R. Judson, 1998. "World carbon dioxide emissions: 1950-2050," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 80, No. 1, pp. 15~27.
48. Talukdar, D. and C. Meisner, 2001. "Does the private sector help or hurt the environment? Evidence from carbon dioxide pollution in developing countries," *World Development*, Vol. 29, No. 5, pp. 827~840.
49. Tucker, M., 1995. "Carbon dioxide emissions and global GDP," *Ecological Economics*, Vol. 15, No. 3, pp. 215~223.