

패널분석을 이용한 6대 권역별 대기오염물질에 대한 환경규제와 경제성장 간의 상호관계분석: EKC(환경쿠즈네츠곡선)가설을 중심으로*

박추환**

The correlation among the GHG (Greenhouse Gas) emission, energy consumption and economic growth for the 6 specific regions in Korea by using Panel approaches:By Testing of the EKC(Environmental Kuznets Curve)

Chuhwan Park

영남대학교 경제금융학부(Yeungnam University)

제출: 2012년 11월 2일 수정: 2013년 5월 6일 승인: 2013년 6월 10일

국문 요약

1988년부터 2008년까지의 자료를 바탕으로 우리나라 6개 권역을 대상으로 권역별 소득, 환경규제, 오염유발원이 각 권역별 대기오염 물질(황산화물, 질소산화물, 총먼지, 일산화탄소)에 미치는 영향을 지역적 관점에서 살펴보았다. 즉, 환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)가설 검증차원에서 공해배출과 경제성장 간의 관계를 패널회귀분석을 통해 분석하였다. 분석 결과, 산업시설에 영향을 미치고 있는 황산화물(SOx)의 경우 대부분의 권역에서 EKC가설이 성립하는 것으로 나타났지만, 질소산화물(NOx)과 총먼지(TSP)의 경우 6개 권역 중 대경권에서만 EKC가설이 성립하는 것으로 나타났으며, 일산화탄소(CO)의 경우에도 EKC가설을 충족시키는 권역은 중부권, 호남권, 동남권에 한정되어 있었다. 또한 각 권역별 대기오염 단속규제가 대기오염과 정(+)의 관계를 보임에 따라 환경규제효과가 나타난다고 보기 어려우며, 각 권역별 연료소비와 석유화학제품의 특화 또한 권역별 대기오염을 증가시키는 주요 요인으로 작용하고 있다.

【주제어】 경제성장, 공해배출, 환경규제, EKC가설

Abstract

We analyzed the correlation among the GHG (Greenhouse Gas) emission, energy consumption and economic growth for the 6 specific regions in Korea by using Panel approaches with the test of the EKC hypothesis. We also analyzed the effects of environmental regulation on GHG and economic growth. The results show that by testing of the EKC (Environmental Kuznets Curve) hypothesis model,

* 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부 사회과학 연구지원 사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2011-330-B00070)

** Chuhwan@ynu.ac.kr

the effects of the environmental regulation and the structure of industries on GHG emission have a significant result on the regional analysis for SOx. For the NOx and TSP, only TK region passed the turning point of the EKC among the 6 specific regions. And, for the Co, the Central, Honam and the PUKN region passed the turning point of the EKC. This is because GHG emissions by the environment regulation had a weak path effect and also regional industry structures had a weak relation with regional GHG emissions.

▣ **Keywords** ▣ Economic Growth, Air pollution, Environmental Regulation, EKC hypothesis

I. 서론

1997년 교토의정서(Kyoto protocol)협약¹⁾에 따라 지구온난화 규제 및 방지의 국제협약인 기후변화협약의 구체적 이행 방안으로, 선진국의 온실가스 감축 목표치를 규정하였다. 우리나라의 경우 직접적인 의무이행 대상국은 아니지만 기후변화협약 상 개발도상국으로 분류되어 2008년부터 자발적인 의무부담이 요구되어지고 있다.²⁾ 이와 같은 협약이 필요한 이유는 에너지 연소에 따른 대기오염물질과 온실가스 배출로 기후변화를 야기하기 때문에 국민보건 및 생명 유지에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높기 때문이다.³⁾

일반적으로 생산 활동에 필요한 에너지 소비로 인하여 대기오염을 포함한 환경오염이 발생한다. 하지만, 소득수준이 어느 정도 발전하게 되면 지역주민들의 환경에 대한 관심도가 높아지고, 보다 나은 삶의 질을 추구하기 때문에 환경규제의 필요성이 높아지게 될 것이다. 또한 공공경제학 측면에서도 환경오염은 부정적인 외부효과를 발생시키기 때문에 사회의 최적 산출량을 생산하기 위해서는 정부가 오염물질을 배출하는 기업에 대하여 규제를 행하게 될 것이다. 이와 같은 환경정책은 기업의 오염물질 배출을 규제함과 동시에 기업으로 하여금 오염방지 시설투자를 증가시키고, 환경기술

1) 1995년 3월 독일 베를린에서 개최된 기후변화협약 제1차 당사국총회에서 협약의 구체적 이행을 위한 방안으로서, 2000년 이후의 온실가스 감축 목표에 관한 의정서를 1997년 제3차 당사국총회에서 채택키로 하는 베를린 위임사항(Berlin Mandate)을 채택함에 따라 1997년 12월 제3차 당사국총회에서 최종적으로 채택되었다.

2) 한국은 제3차 당사국총회에서 기후변화협약상 개발도상국으로 분류되어 의무대상국에서 제외되었으나, 몇몇 선진국들은 감축목표 합의를 명분으로 한국·멕시코 등이 선진국과 같이 2008년부터 자발적인 의무부담을 할 것을 요구하였고, 제4차 당사국총회 기간에 아르헨티나 카자흐스탄 등의 일부 개발도상국은 자발적으로 의무를 부담할 것을 선언하였다. 그리고 한국의 경우 2009년 12월 16일에 열린 코펜하겐 기후변화회의에 따라 개도국 감축부문에 속하며 자발적 감축행동을 2010년 1월 31일에 제출해야 한다. 이로써 우리나라의 자발적 감축행동의 국제적 인정 근거 마련하게 된다.

3) 실제로 2006년 이후로 이와 관련된 보고서가 지속적으로 출판되었다. 대표적으로 'IPCC(2007), 'Forth Assesment Report, Climate Change 2007: Synthese Report, Summary for Policymakers.'가 있다.

R&D투자를 촉진시킨다. 이와 같은 매커니즘을 통해 경제가 일정 수준 이상 발전하게 되면 환경오염을 감소시키는 것이 가능하게 된다. 즉 이와 같은 관계성을 환경 쿠즈네츠 곡선(Environment Kuznets Curve)가설이라고 하며, 이 곡선은 환경오염이 증가하다 감소하는 형태에 따라 역 U자형 패턴을 보인다.

교토의정서 발의와 함께 국내외에서는 환경쿠즈네츠 곡선가설을 검증한 연구들이 많이 진행되어 왔다. 하지만 대부분이 국가차원에서 분석을 시도한 연구들이고, 지역별 차원에서의 관계성을 시도한 연구는 거의 없는 실정이다. 이는 대기오염에 대한 분석이 수질오염이나 토양오염에 비해서 지역을 구분하여 분석하기 어렵기 때문으로 판단된다.⁴⁾ 하지만 공해물질의 배출은 지역별 생산 활동과 밀접하게 연계되기 때문에 환경규제 또한 지역별로 효력이 발생하고 있는지에 대한 연구가 필요한 실정이다. 또한 지역별 소득수준 또한 차이가 나타날 수 있기 때문에 지역별 환경 쿠즈네츠 곡선가설의 검증 또한 필요한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 기상청과 환경부에서 실시한 6개 권역의 대기질 오염 및 공해배출 자료를 바탕으로 우리나라를 5+2권역으로 구분하여 환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)가설을 검증하고 또한 권역별 환경규제가 권역별로 대기오염물질을 감소시키고 있는지를 분석코자 한다.⁵⁾ 지역구분의 기준은 <그림 1>과 같이 현 정부가 추진하고 있는 '5+2 광역경제권(the 5+2 Economic Region)'으로 구분하며, 이는 행정구역상 16개 광역시도를 6개 권역으로 재분류한 것이다.⁶⁾

4) 수질오염이나 토양오염의 경우, 해당 오염대상이 지역에 고정되어 있기 때문에 분석하기가 용이하지만 대기오염은 대류 및 지역구분이 쉽지 않다는 한계점이 있다.

5) 사실 기후변화 및 대기오염물질은 일정한 경계가 아니며, 특히 우리나라와 같이 영토가 넓지 않는 국가를 지역 혹은 권역별로 배출오염물질에 대해서 분석한다는 것이 쉽지는 않다. 하지만, 문난경 외(2009) 등의 보고서에서 지구온난화에 따른 대기질 영향평가를 본 논문과 같이 권역별로 구분하였다는 측면에서 본 연구 또한 '5+2' 권역으로 구분하고자 한다.

6) 각 권역은 수도권(서울, 인천, 경기), 중부권(대전, 충북, 충남), 호남권(광주, 전북, 전남), 대경권(대구, 경북), 동남권(부산, 울산, 경남)과 강원·제주권으로 구분할 수 있다.

그림 1 “5+2” 권역 구분



논문의 구성은 다음과 같다. 본문 II에서 관련 이론 및 지금까지 선행된 연구를 검토하고, III에서는 우리나라의 권역별 공해배출을 비롯하여 권역별 경제변수, 환경규제의 현황과 함께 지역적 시사점을 도출한다. 그리고 IV에서는 환경오염과 경제성장 간의 이론적 관계성과 관련된 경제변수 및 환경규제변수의 사전적 함의를 도출하고 V에서는 실증분석을 통하여 환경오염과 경제성장 간의 상호인과관계를 지역관점에서 결과를 도출한다. 마지막으로 VI에서는 분석결과의 요약과 함께 정책적 시사점 및 제언을 한다.

II. 선행연구

Kuznets(1955)에 의해서 주장된 환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)가설 연구는 많은 학자들에 의해 진행되었으며, Seldon and Song(1994)과 Grossman and Krueger(1995)를 시작으로 환경오염과 국민소득 간에 상관관계를 도출하기 위한 실증분석연구들이 진행되었다. 특히 최근에는 지구 온난화에 대한 관심이 부각되면서 온실가스 중 이산화탄소(CO_2)를 대상으로 한 연구들이 진행되고 있다.⁷⁾(정군오·정영근, 2004)

7) 지구온난화를 일으키는 온실가스의 종류는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소화플루오르화탄소(HFC), 과플루오르화탄소(PFC), 육플루오르화황(SF_6) 등이 있으나 이산화탄소가 전체 온실가스의 대부분을 차지하고 있기 때문에

CO₂를 대상으로 환경 쿠즈네츠 곡선 검증을 시도한 대표적인 연구인 Agras and Chapman(1999)은 환경 쿠즈네츠 곡선의 구조적 관점에서 에너지가격에 대한 영향과 무역의 중요성 등에 중점을 두고 분석하였다. 분석 결과, 에너지가격의 영향은 유의하였지만 무역의 영향은 유의하지 않는 것으로 나타났다. Unruh and Moomaw(1998)은 선진국을 대상으로 이산화탄소와 소득수준의 관계분석에서 선진국의 소득전환점이 \$8,884에서 \$15,425로 이미 1970년대에 소득전환점을 통과하였음을 지적하였다. 그러나 Galeotti and Lanza(1999)는 CO₂ 배출량을 환경 쿠즈네츠 곡선가설에 적용시켜 분석한 결과 일부 OECD 국가의 경우 N자형 곡선⁸⁾이 도출되어 모형 검증에 대한 필요성을 제기하였다.

환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)을 우리나라를 대상으로 검증한 최근 연구 중 유병철(2001)은 OECD국가들의 경제성장과 이산화탄소배출을 패널공적분에 의한 분석을 통해 밝히고 있다. 분석 결과, 1인당 이산화탄소 배출량과 1인당 소득이 역전된 U곡선을 취하지 않는 것으로 나타났으며 소득탄력성은 0.71~0.74로 나타났다. 이는 경제가 성장할수록 이산화탄소 한계배출성향이 줄어드는 것을 말한다. 정군오·정영근(2004)은 CO₂를 대상으로 세계 83개 국가의 환경 쿠르네츠 곡선을 도출함과 동시에 소득에 따른 세계 오염배출 추이를 분석하였다. 분석 결과, 중상위 소득국가는 아직까지 역 U자형의 환경 쿠르네츠 곡선은 발견되지 않았음을 밝히고 있다. 최충익·김지현(2006)은 오류구성회귀모형(Error Component Regression Model, ECRM)을 이용하여 CO₂, NO_x, VOC에 대해서 환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)을 검증한 결과 우리나라의 경제성장과 환경오염 간에는 역 U자 형태의 관계가 성립하고 있으나, CO₂의 경우는 현재도 지속적으로 상승하는 추세임에 따라 CO₂ 배출량 감소에 대한 정책적인 조치가 필요하다고 주장하였다.

선행연구들을 살펴보면 대부분 국가단위로 분석이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 교토의정서협약국들 대부분이 연방 혹은 지방자치제가 발전된 상황에서 지역 차별적으로 발생하고 있는 환경오염문제를 고려해야 될 시점으로 판단된다. 특히 우리나라의 경우 60~70년대부터 시작된 불균형 성장정책으로 인하여 지역 간 소득수준의 격차가 심하기 때문에 환경오염과 지역경제성장 간의 상관관계 또한 차별적으로 나타

주로 CO₂와 경제성장 간의 상호관계를 살펴보기 위한 연구들이 진행되었다.

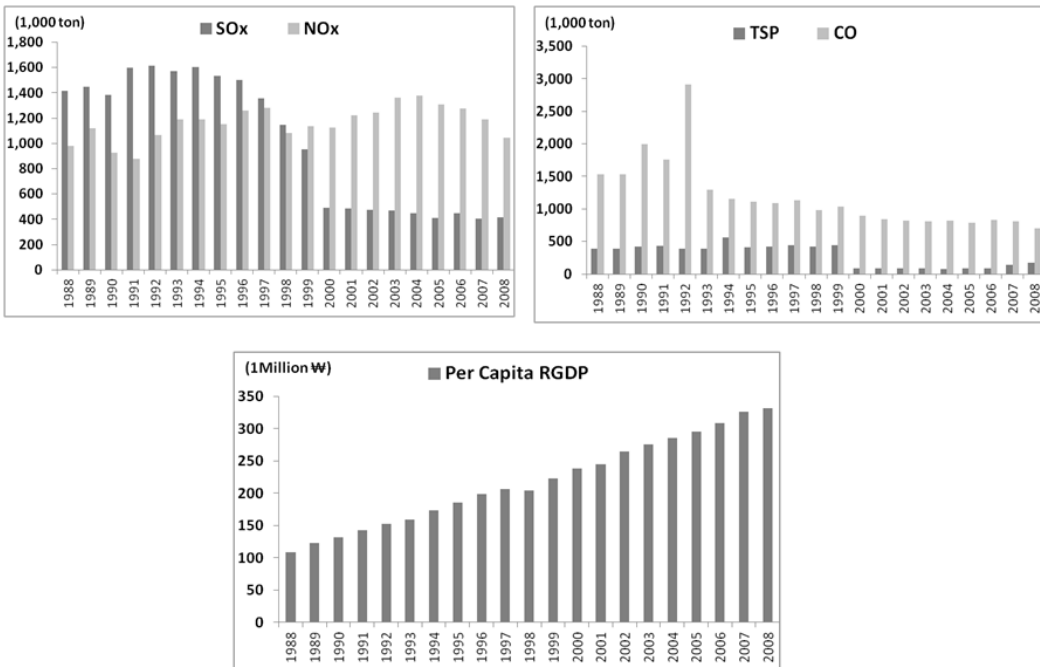
8) 역 U자형의 경우 초기에는 환경오염이 증가하다 경제가 발전된 후 환경오염이 감소하지만, N자형은 환경오염이 증가 감소한 상태에서 다시 증가되는 형태를 의미한다.

날 가능성이 높다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문은 '5+2경제권역'을 대상으로 권역별 대기오염물질 증가에 큰 영향을 미치고 있는 요인들을 살펴보고, 권역별 환경규제 및 기술혁신이 권역별 대기오염 감소와 경제성장에 미치는 영향을 차별적으로 도출하였다는 측면에서 기존 연구와 차별성이 있다고 판단된다.

Ⅲ. 권역별 현황

우리나라의 경우 대기오염 관련물질을 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 총먼지(TSP), 일산화탄소(CO)로 규정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 위 4개의 대기오염물질에 대해 환경 쿠즈네츠 곡선가설 검증 및 대기오염과 환경규제 및 경제성장 간의 관계를 권역별 차원에서 영향을 분석하고자 한다. 1988년부터 2008년까지 우리나라의 1인당 소득과 대기오염물질은 <그림 2>와 같이 나타난다.

그림 2 1988~2008 우리나라 1인당 소득과 대기오염물질(SOx, NOx, TSP, CO)



자료: 1인당 GDP(한국은행); 대기오염(환경부)

<그림 2>에서 보듯이 1인당 GDP는 꾸준히 상승한 반면에 황산화물(SOx)과 일산화탄소(CO)의 경우 꾸준히 하락함에 따라 SOx와 CO에 대해서 환경 쿠즈네츠 곡선가설이 성립되고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 총먼지(TSP)경우는 감소했다가 상승하는 형태를 띄며 질소산화물(NOx)의 경우 오히려 소득이 높은 2000년대에 수치가 높게 나타난 것을 볼 때, 이 두 오염물질에 대해서는 환경 쿠즈네츠 곡선가설이 성립되지 않는 것으로 판단된다.

표 1 대기오염물질의 지역별 현황 비교

		Per Capita RGDP		SOx		NOx		TSP		CO	
		(1,000 원)	(100.00)	(톤)	(톤)	(톤)	(톤)	(톤n)	(100.00)	(100.00)	
전국	1988	8,445	(100.00)	1,417,282	(100.00)	978,741	(100.00)	388,657	(100.00)	1,534,347	(100.00)
	2008	21,861	(100.00)	417,980	(100.00)	1,045,104	(100.00)	171,603	(100.00)	703,661	(100.00)
수도권	1988	4,159	(49.25)	377,889	(26.66)	403,350	(41.21)	83,953	(21.60)	730,454	(47.61)
	2008	10,006	(45.77)	43,208	(10.34)	292,152	(27.95)	11,871	(6.92)	289,314	(41.12)
중부권	1988	829	(9.81)	151,399	(10.68)	99,990	(10.22)	65,143	(16.76)	153,071	(9.98)
	2008	2,893	(13.23)	75,619	(18.09)	193,611	(18.53)	15,054	(8.77)	96,750	(13.75)
호남권	1988	754	(8.93)	206,225	(14.55)	86,695	(8.86)	55,745	(14.34)	149,875	(9.77)
	2008	2,023	(9.25)	94,010	(22.49)	141,770	(13.57)	57,022	(33.23)	73,757	(10.48)
대경권	1988	838	(9.93)	276,066	(19.48)	112,487	(11.49)	74,290	(19.11)	188,191	(12.27)
	2008	2,219	(10.15)	42,957	(10.28)	123,708	(11.84)	33,529	(19.54)	89,436	(12.71)
동남권	1988	1,549	(18.34)	306,501	(21.63)	215,526	(22.02)	55,224	(14.21)	236,989	(15.45)
	2008	4,143	(18.95)	124,719	(29.84)	201,325	(19.26)	19,705	(11.48)	116,275	(16.52)
강원 제주	1988	315	(3.73)	99,202	(7.00)	60,692	(6.20)	54,301	(13.97)	75,766	(4.94)
	2008	578	(2.64)	37,468	(8.96)	92,538	(8.85)	34,422	(20.06)	38,130	(5.42)

자료: 1인당 GDP(한국은행); 대기오염(환경부)

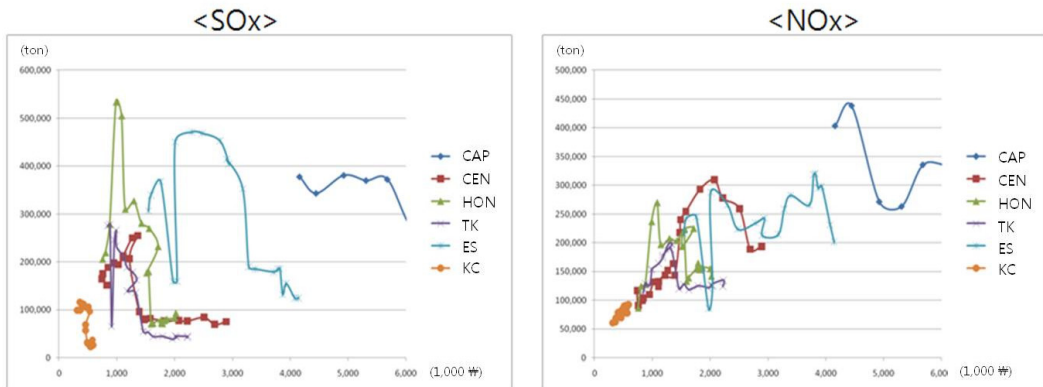
<표 1>의 대기오염물질의 지역별 현황에 의하면 1인당 소득과 대기오염물질 모두 수도권이 높게 나타남에 따라 소득수준이 높을수록 경제활동이 활발하며, 또한 인구 집중도도 높기 때문에 타 지역에 비해 대기오염의 배출 또한 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 NOx와 CO가 가장 편향된 형태를 보이며, SOx와 TSP의 경우 1998년과 비교해봤을 때 소득상승에 반하여 대기오염물질은 크게 감소했기 때문에 두 오염물질은 EKC

가설이 적용될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

대기오염물질별로 살펴보면 SOx의 경우 1988년에는 수도권이 가장 높았으나, 2008년에는 동남권(29.84%)과 호남권(22.49%)이 가장 높은 것으로 나타났고 수도권의 비중은 1988년 26.66%에서 2008년 10.34%로 크게 감소하였다. NOx는 2008년 기준으로 권역별 격차가 크지 않은 것으로 나타났고, TSP는 2008년 호남권의 비중이 33.23%로 가장 높게 나타났다. 마지막으로 CO는 수도권의 비중이 41.12%임에 따라 경제활동이 활발할수록 높게 나타나는 것으로 판단된다.

<그림 3>은 대기오염물질별로 권역별 EKC가설여부를 나타낸다. 그림에서 X축은 1인당 실질소득을 의미하고, Y축은 대기오염물질 배출량을 의미한다. 그림에서 나타나듯이 대부분의 권역에서 역 U자형 곡선이 나타나고 있으나, 강원·제주권의 경우 역 U자형 곡선이 나타날 만큼의 소득에 도달하지 못한 것으로 판단되고, 수도권의 소득은 이미 그 수준을 넘어선 것으로 볼 수 있다. 나머지 권역의 경우 대부분 역 U자형 곡선이 나타나고 있지만 동남권은 N자 혹은 M자형 곡선이 나타나고 있었다. 이와 같이 역 U자형 곡선이 나타날 수 있는 것은 소득이 영향을 미치기도 하지만 가장 중요한 것은 대기오염 배출에 대한 정부의 규제역할이라 볼 수 있다.

그림 3 오염물질 및 권역별 EKC곡선 도출



9) <그림 3>에 나타나 있는 지역구분 기호는 다음과 같다: 수도권(CAP), 중부권(CEN), 호남권(HON), 대경권(TK), 동남권(ES), 강원·제주(KC)

그림 3 계속

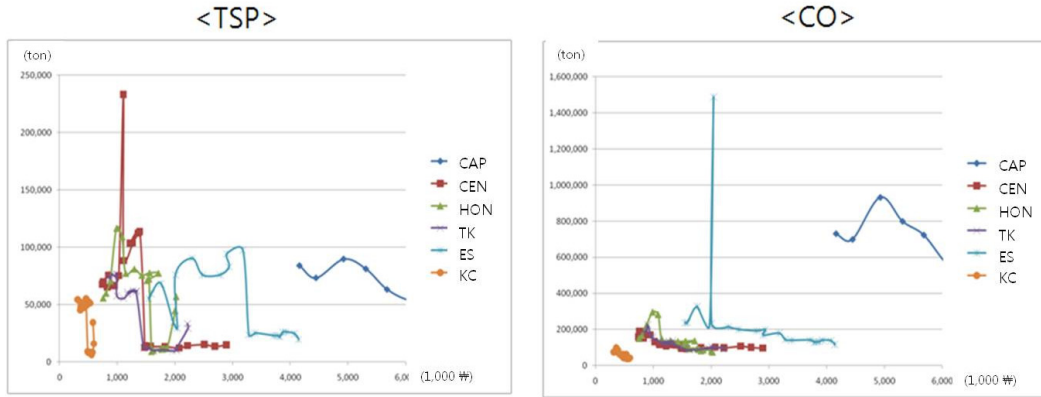


표 2 우리나라 권역별 환경규제 실적(2000~2007)

단위 : 개소, %

권역 구분	단속 업소 ¹⁾		적발 업소 ²⁾		부적격률 ³⁾ (%)
	(개소)	전국비중(% ⁴⁾)	(개소)	전국비중(%)	
수도권	18,434 (7.59)5)	39.7 (2.18)	1,842 (-6.58)	61.3 (-2.71)	11.11 (-9.25)
중부권	6,374 (0.23)	14.1 (-3.36)	215 (-1.50)	7.5 (4.93)	3.38 (-1.70)
호남권	5,364 (1.01)	11.8 (-2.77)	199 (-4.31)	6.7 (0.70)	3.75 (-4.97)
대경권	5,697 (11.92)	12.4 (5.45)	217 (1.32)	7.5 (9.17)	3.90 (-5.78)
동남권	7,720 (5.07)	16.9 (0.29)	435 (-0.29)	15.0 (6.74)	5.72 (-3.96)
강원 제주권	2,253 (-4.70)	5.1 (-7.07)	55 (-3.01)	2.0 (2.66)	2.53 (2.52)

주: 1) 단속이 실시된 업소개소를 의미함. 규제의 회수로 간주할 수 있음.
 2) 환경오염물질 배출량이 단속규정량보다 높아서 적발된 업소를 의미함.
 3) 2)/1)의 비율을 의미하고, 부적격률이 높을수록 후속조치(환경오염방지 투자, 환경기술 R&D)가 필요한 지역임을 의미함.
 4) 해당항목의 전국대비 비중을 의미함.
 5) ()는 연평균 증가율을 의미.

자료: 환경부(Ministry of Environment)

위 <표 2>에서는 권역별로 규제활동이 어떻게 나타나고 있는지를 보여주고 있다. 환경규제 실적을 살펴보면, 가장 높은 소득수준과 가장 많은 경제활동 인구가 상주하고

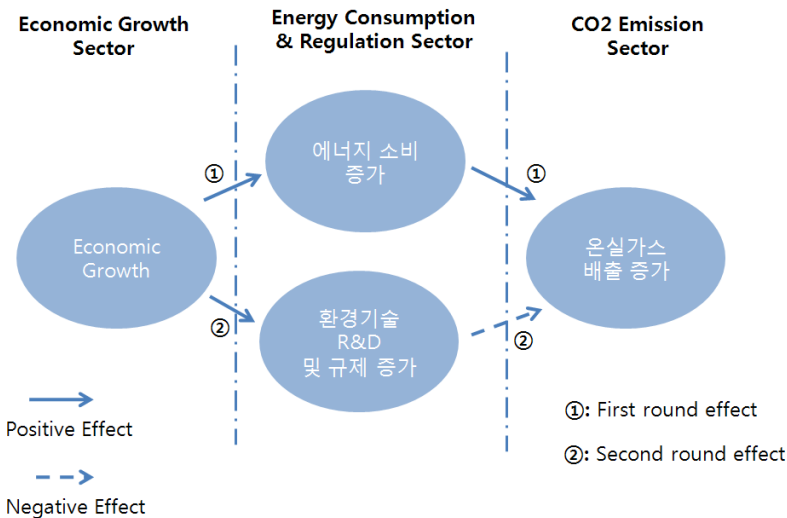
있는 수도권지역의 규제비중 또한 가장 높음을 알 수 있다. 부적격률¹⁰⁾ 또한 연평균 10% 이상 감소하고 있음에 따라 환경 규제에 의한 대기오염배출이 감소할 것이라고 예상할 수 있다. 또한 대기오염 단속규제는 강원제주권을 제외하고 상승하고 있으나 적발업소는 대경권을 제외하고는 감소하고 있는 추세이기 때문에 전국적으로 부적격률이 하락하고 있는 것으로 판단된다. 즉, 적발업소의 감소는 정부의 환경규제에 따라 기업들이 자발적으로 환경오염 방지시설투자와 함께 환경기술 R&D의 증가 때문으로 볼 수 있다.

IV. 이론적 관계성

1. 이론적 관계성

환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)가설에 따르면, 경제성장이 공해배출에 미치는 영향이 정(+) 또는 부(-)의 관계로 나타날 수 있다. 이는 두 변수의 상관관계에서 두 가지 경로(channels)가 존재함을 의미하며, <그림 4>를 통해 두 경로를 확인할 수 있다.

그림 4 경제성장, 에너지소비, 환경규제, 온실가스의 상관관계



10) 부적격률(Irrelevant rate): 환경오염배출 단속업소에 대한 위반업소의 비율을 의미함. 부적격률이 높아질수록 환경오염이 심해졌다고 해석할 수 있다.

첫 번째는 일반적인 경로 즉, 경제성장으로 인해 에너지소비가 증가하고 연료사용 증가에 의해 대기오염물질과 온실가스 배출이 증가하는 것을 의미하며, 두 번째는 해당 지역 소득수준이 커짐에 따라 환경기술 R&D와 규제의 증가로 인해 온실가스 배출이 감소되는 것을 의미한다.

즉, ① > ②일 경우 경제성장과 온실가스 배출 간의 정(+)의 관계가 수립하고 이는 해당 국가 및 지역이 개발도상국의 형태와 유사함에 따라 아직까지 EKC곡선의 전환점을 지나지 않는 것을 의미하고, ① < ②일 경우 경제성장이 온실가스 배출을 증가시키는 정(+)의 관계보다 규제에 의한 온실가스 배출감소 즉, 부(-)의 효과가 크기 때문에 정(+)의 효과를 상쇄시키고 결국 온실가스 배출을 감소시키는 것을 의미한다. 이는 해당 국가 및 지역이 선진국의 형태와 유사한 것을 의미하고, EKC곡선의 역 U자형 전환점을 지났기 때문에 해당 지역의 경제성장은 지속적으로 온실가스 배출감소에 효과를 보이고 있음을 의미한다.

즉, 성장 초기 ① > ②에서 시간이 지남에 따라 ① < ②로 변화되어야 EKC곡선 가설이 성립한다고 볼 수 있으며, 환경규제변수 또한 대기오염 변수와 부(-)의 관계를 가져야 할 것이다.

2. 변수간 사전적 함의

이론적 관계성에서 나타나고 있는 변수 간 사전적 함의는 <표 3>과 같이 나타낼 수 있다.

표 3 설명변수의 사전적 함의

설명 변수	예상 방향	경제적 함의
권역 소득	(+)	EKC 전환점 이전
	(-)	EKC 전환점 이후
에너지 소비	(+)	일반적인 관계
환경오염투자(규제변수)	(-)	환경규제의 효력이 존재함
인구(인구밀도)	(+)	인구밀도가 높을수록 공해증가
산업특성(석유화학제품)	(+)	특정산업의 생산액이 높을수록 공해증가

<표 3>에는 권역별 환경오염에 대하여 설명변수들이 가지는 경제적 함의에 대해서 설명하고 있다. 독립변수의 성질에 따라 종속변수에 미치는 영향이 정(+) 혹은 부(-)의 관계를 가질 수 있으며, 해당 권역의 소득수준 및 산업구조에 따라서 권역마다 그 효과가 차별적으로 나타날 가능성이 있다. EKC가설의 수립여부 및 전환점의 통과여부는 권역소득변수의 계수추정을 통하여 확인할 수 있다. 권역소득변수가 공해배출에 미치는 관계가 정(+)일 경우 이는 EKC곡선의 전환점을 지나지 않는 것으로 판단할 수 있으며, 부(-)일 경우 전환점을 지난 것으로 판단할 수 있다. 이를 종합하여 두 변수를 나타냈을(plotting) 때, 역 U자형이 나타나는지를 확인할 수 있을 것이다. 그 외의 변수는 권역별 공해증가에 미치는 추가적인 설명변수이다. 권역의 에너지소비(산업용 전력, 연료, 난방, 자동차 운행 등)는 공해배출과 정(+)의 관계를 가질 것이고, 이에 반하여 권역별 환경보호지출 및 예산은 공해배출과 부(-)의 관계를 가질 것이다. 그리고 권역별 공해배출은 사람들의 경제활동과 밀접한 연관이 있기 때문에 권역별 인구(인구밀도)의 증가가 공해배출과 정(+)의 관계를 가질 것이다. 또한 권역의 산업클러스터 중, 공해배출을 유발시키는 산업(석유산업 등)이 특화되어 있을수록 권역별 공해배출이 증가할 것으로 예상할 수 있다.

V. 실증분석

1. 분석모형

IV에서 제시한 EKC가설이 성립되는지를 확인하기 위하여 정균오·정영근(2004), 최충익·김지현(2006)의 연구에서 공통적으로 분석하고 있는 모형을 확장하여 분석하고자 한다. 경제성장수준에 따라 지역별 공해배출이 역 U자형 패턴을 보이는지 확인하기 위한 기본모형은 식(1)과 같이 log선형모형으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \log(EM_{it}) = & a_{it} + \beta_1 \log(Y_{it}) + \beta_2 (\log Y_{it})^2 + \beta_3 (\log Y_{it})^3 \\ & + \beta_4 \log(X_{it}) + \epsilon_{it}, \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $EM_{it} = \{CO, NO_X, SO_X, TSP\}$

식(1)에서 EM은 공해배출(Air pollution Emissions)을 나타내는 종속변수, Y는 소득(1인당 GRDP)을 나타내는 설명변수, X는 기타 설명변수이다. 아래첨자 i 는 지역을 의미하고 t 는 시간을 나타낸다. 환경 쿠즈네츠 곡선의 존재여부에 대한 검정은 β_1 과 β_2 의 부호에 의해 알 수 있는데 역 U자형태를 보이기 위해서는 $\beta_1 > 0$ 과 $\beta_2 < 0$ 을 보여야 한다. 여기서 종속변수 EM은 권역 공해배출 규제물질인 CO(일산화탄소), NOx(질소산화물), SOx(황산화물), TSP(먼지)을 의미한다.

그리고 식(1)에서 추가적인 설명변수인 X를 이용하여 규제의 효과와 함께 권역별 대기오염에 영향을 미칠 수 있는 권역별 거시변수를 설정하여 권역별로 차별적인 환경오염이 발생하는 원인을 밝히고자 한다. 추가적인 설명변수는 앞서 <표 3>에서 밝힌 것과 같이 권역별 에너지 소비, 환경보호지출, 인구, 산업특성이 있으며 이를 식(1)에 적용하면 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\log(EM_{it}) = a_{it} + \beta_1 \log(Y_{it}) + \beta_2 (\log Y_{it})^2 + \beta_3 (\log Y_{it})^3 + \beta_4 \log(Fuel_{it}) + \beta_5 \log(Reg_{it}) + \beta_6 \log(Pop_{it}) + \beta_7 \log(LQ_{it}) + \epsilon_{it}, \quad (2)$$

여기서 $EM_{it} = \{CO, NO_x, SO_x, TSP\}$

식(2)에서 Fuel은 지역별 석유량으로 환산한 연료소비, Reg는 대기오염에 대한 규제의 강도, Pop는 인구, 마지막으로 LQ는 석유화학제품에 대한 권역별 입지계수를 의미한다. 즉, 식(2)의 추정을 통하여 앞서 말한 EKC곡선의 역 U자형 패턴의 존재여부와 함께 권역별 대기오염과 권역 거시변수 간 관계성을 파악할 수 있을 것이다. 그리고 권역별로 추정된 계수들을 식(2)의 Y에 대해서 1차 편미분하여 구할 수 있는 식($X_t = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$)을 통하여 권역별 소득전환점을 추정하는 것이 가능하다. 식(2)를 바탕으로 권역별 EKC가설의 수립여부, 역 U자형 패턴의 소득전환점, 마지막으로 권역별 대기오염에 영향을 미치는 설명변수들의 관계성을 분석하도록 한다.

2. 변수설명

본 논문의 분석에 이용되는 변수는 <표 4>와 같다.

표 4 변수 설명

변수		변수설명	출처 및 기간
종속 변수	SOx	황산화물	환경부 통계 1989~2008년
	NOx	질소산화물	환경부 통계 1989~2008년
	TSP	총먼지	환경부 통계 1989~2008년
	CO	일산화탄소	환경부 통계 1989~2008년
설명 변수	RGRDP	지역 1인당 실질 GDP	한국은행 지역소득계정 1989~2008년
	OC	지역별 석유소비	한국석유공사 1998~2009년
	REG	지역별 대기오염 규제실적	환경부 통계 1996~2010년
	Pop	지역별 추계인구	통계청 1989~2008년
	LQA	화학제품 제조업의 입지계수 (부가가치 기준)	통계청 1999~2008년

우선, 실증분석에 이용되는 변수의 기간은 <표 4>의 데이터의 이용가능한 기간과 차분된 변수를 고려하여 2000년부터 2008년까지이다. 그리고 실증분석에 이용되는 변수들은 16개 광역시도 데이터를 기준으로 한다. 변수들을 5+2권역으로 구분하여 이용할 경우, 각 권역별 분석에서 단기분석에 따른 자유도의 문제가 발생한다. 하지만 16개 광역시도를 '5+2 광역경제권'으로 묶어서 분석할 경우 최소한의 자유도를 확보하는 것이 가능하다.

또한 식(3)에서 'Fuel' 변수를 실증분석에서는 'OC(Oil Consumption)'을 설명변수로 이용하고자 한다. OC의 경우 지역별 동력에 이용되는 석유의 소비량을 의미하며, 직접적인 연료 사용에 따른 공해배출로써 설명변수의 의미를 가지고 있다. 'REG'의 경우는 각 지자체별로 대기오염방지에 투자 혹은 규제의 규모에 대한 변수를 설정하기 어려운 관계로 <표 2>의 단속업소 수를 대리변수로 이용하고자 한다. 지역별 인구의 경우 시계열 자료의 확보를 위하여 통계청에서 제공하는 '지역별 추계인구'를 이용하며, 석유화학제품의 산업특성이 대기오염물질에 미치는 영향을 살펴보기 위해 부가가치를 기준으로 한 석유화학제품의 지역별 입지계수¹¹⁾를 이용한다.

그리고 변수 이용 시 권역소득자료는 2005년을 기준으로 한 실질 GRDP를 이용하였고, 배출량, 규제, 인구, 입지계수, 에너지소비 모두 금액변수가 아니기 때문에 실질자료를 이용하였다.

3. 변수의 기초통계량 및 단위근 검정

분석변수의 기초통계량을 구하면 <표 5>과 같이 나타난다.

표 5 변수의 기초통계량

변수	1인당GDP	Sox	Nox	TSP	CO	OC	REG	POP	LQA	
단위	1,000won	ton	ton	ton	ton	천배럴	개소	천명	index	
전국	평균	14,090	65,727	75,757	18,673	77,129	46,798	2,717	2,869	1.0245
	분산	6,159	69,917	51,331	22,593	106,626	42,286	2,647	2,632	1.0362
	최고값	41,133	329,303	234,958	149,032	1,423,434	155,197	17,955	11,248	4.7798
	최소값	5,656	1,072	9,018	404	7,566	5,511	158	499	0.0174
수도권	평균	14,090	61,512	114,659	14,145	164,354	62,522	5,449	7,015	0.5213
	분산	3,758	56,582	48,078	11,864	124,272	20,352	4,643	3,568	0.2922
	최고값	23,334	208,522	219,331	53,255	639,600	96,303	17,955	11,248	0.9450
	최소값	8,029	5,533	39,024	2,194	45,218	27,985	1,328	1,710	0.1135
중부권	평균	13,924	49,343	61,444	21,325	42,356	40,803	2,089	1,550	1.4465
	분산	5,287	49,724	53,806	31,263	16,614	40,126	1,108	277	0.3139
	최고값	31,675	200,640	234,958	149,032	101,884	123,997	3,854	2,040	2.0596
	최소값	6,419	1,423	13,150	710	19,556	8,176	517	984	0.6211
호남권	평균	12,823	69,362	60,184	18,418	46,722	55,641	1,776	1,779	2.0461
	분산	4,969	83,077	47,691	23,368	26,170	59,511	796	379	1.7521
	최고값	26,517	312,613	173,049	66,036	130,911	155,197	2,943	2,599	4.7798
	최소값	5,656	1,072	10,746	486	14,870	6,412	438	1,079	0.0174
대경권	평균	12,826	66,653	72,024	22,210	64,634	24,846	2,612	2,584	0.4728
	분산	5,223	75,203	42,107	23,768	21,590	7,617	1,282	157	0.2763
	최고값	26,151	242,856	159,914	68,396	113,972	34,796	5,089	2,823	0.8187
	최소값	6,762	5,052	26,253	1,736	32,776	13,901	764	2,230	0.1870
동남권	평균	18,389	109,612	95,647	19,877	96,477	65,306	2,550	2,557	0.8370
	분산	10,177	82,888	40,443	19,626	189,384	48,130	1,528	1,177	0.7572
	최고값	41,133	329,303	185,307	72,905	1,423,434	149,037	5,317	3,852	2.2262
	최소값	6,117	22,230	27,572	2,574	24,369	28,167	429	731	0.2076
강원 제주	평균	12,075	34,259	39,444	16,927	29,035	13,131	1,325	1,019	0.4468
	분산	2,939	37,317	29,219	20,994	20,461	5,740	1,161	504	0.1039
	최고값	17,471	104,701	82,970	53,842	79,231	21,454	4,030	1,653	0.6470
	최소값	6,498	2,233	9,018	404	7,566	5,511	158	499	0.2446

11) 입지계수는 다음과 같이 산출이 가능하다: $LQ_i = \frac{\text{특정지역의 } i\text{산업 종사자수} / \text{특정지역의 총 종사자수}}{\text{전국의 } i\text{산업 종사자수} / \text{전국의 총 산업 종사자수}}$

그리고 패널분석에 있어서 변수들끼리 선형관계가 존재한다면 다중공선성의 문제로 인하여 분석 결과를 왜곡할 가능성이 있다. 따라서 <표 6>과 같이 독립변수들의 상관계수를 도출해본 결과 심각한 다중공선성의 문제는 없는 것으로 확인된다.¹²⁾

표 6 독립변수 간 상관관계

	1인당GDP	OC	REG	POP	LQA
1인당GDP	1.0000	0.6504	0.0939	-0.0360	0.3764
OC	0.6504	1.0000	0.5053	0.4264	0.4552
REG	0.0939	0.5053	1.0000	0.6987	0.1207
POP	-0.0360	0.4264	0.6987	1.0000	-0.2339
LQA	0.3764	0.4552	0.1207	-0.2339	1.0000

그리고 실증분석방법론에 EKC가설 검증과 결정요인분석 모두 패널회귀분석(panel regression analysis)을 이용하고자 한다. 본 분석에 이용되는 자료들의 경우 연간자료로 구성되어 있고 2000년 이후의 자료들을 이용하기 때문에 Observation의 제약이 존재한다. 하지만 패널회귀분석의 경우 Cross-section의 종류만큼 개체수가 배수로 늘어나기 때문에 연간자료를 이용하는 한계점을 보완할 수 있는 분석방법이라고 판단된다. 그리고 종속변수와 독립변수 간 상호보완적 측면에서 내생성을 가질 문제가 있고, 또한 변수 간 상관관계 및 오차의 상관관계를 가질 가능성이 있기 때문에 실증분석 시 변수를 log 차분(difference)하여 이용한다. 차분된 변수는 장기적인 시사점을 도출하지 못하는 단점이 있으나, 본 분석의 목적상 2000년 이후의 단기변화에 초점을 맞추고 있기 때문에 실증분석을 위한 유의한 방법이라 판단된다. 그리고 계수 추정방법에 있어서 패널회귀분석의 단점¹³⁾을 보완할 수 있는 가중회귀최소자승법(WLS: Weighted Least Squared) 중, 특이하게 나타나는 년도를 통제할 수 있는 period SUR¹⁴⁾ 분석방법을 이용하고자 한다.¹⁵⁾

12) Judge, Griffiths, Hill 과 Lee(1980)는 상관계수가 0.8 이상일 경우 추론에 심각한 다중공선성의 문제를 가져오기 때문에 분석에서 제외되어야 한다고 설명하였다.

13) 패널회귀분석의 특성상 지역마다 서로 다른 경기변동주기, 지역별로 존재하는 다양한 제도 등이 오차에 포함되어 유의한 결과를 나타내기 어렵다는 한계점이 있음.

14) Period SUR: 서로 다른 기간에서 나타나는 오차항들을 회귀로 설명할 수 있도록 해주며, 추정치들을 개선하기 위하여 오차항들 간의 상관관계를 이용하여 분석한다. 따라서 특이년도의 존재에 따라 발생하는 오차의 충격을 통제할 수 있으며, SUR의 적용은 이 오차항들의 정보를 이용하여 계수추정치들을 더 잘 추정할 수 있도록 하는 방법이다.

15) 패널회귀분석에서 지역적 차별성을 도출하기 위해서 흔히 쓰는 방법은 고정효과(Fixed effect)와 랜덤효과(Fixed effect)가

4. 분석 결과

1) EKC가설 검증 및 전환점 추정

우리나라 권역별로 EKC가설이 성립하고 있는지를 확인하기 위해 식(2)를 이용하고자 한다. EKC가설의 확인과 전환점의 도출을 위해서는 분석기간이 20년 이상의 장기로 설정되어야 한다. 하지만 환경오염과 관련된 권역변수의 Data set의 경우 설명변수가 90년대 후반부터 나타나기 때문에 모든 변수를 적용할 시 장기분석이 어려운 단점이 있다. 따라서 비교적 장기로 나타나는 인구변수를 통제변수로 이용하여 EKC가설의 수립여부와 권역별 전환점을 추정하고자 한다. 따라서 식(2)는 아래 식(3)과 같이 단순화 할 수 있다.

$$\log(EM_{it}) = a_{it} + \beta_1 \log(Y_{it}) + \beta_2 (\log Y_{it})^2 + \beta_3 (\log Y_{it})^3 + \beta_4 (Pop_{it}) + \epsilon_{it}, \quad (3)$$

분석기간은 1989년부터 2008년까지이다. 먼저, <표 7>에서 보듯이 SOx에 대해 EKC가설을 검증한 분석 결과, 동남권과 강원제주를 제외하고는 모두 SOx에 대해서 EKC의 가설이 성립하는 것으로 나타났다.¹⁶⁾ 즉, 역 U자형 패턴이 존재하는 것을 의미한다. 소득전환점을 살펴보면 권역별로 호남권이 가장 높은 것으로 나타났고, 중부권이 가장 낮은 것으로 나타났다. 동남권과 강원제주권은 계수의 값이 유의하지 않기 때문에 해석하기 어렵다. 즉, 황산화물에 대해서는 지역경제가 성장할수록 황산화물의 배출을 줄이기 위한 규제노력이 효과가 있는 것으로 판단된다. 성장 초기에는 생산활동에 의한 황산화물 배출이 증가하지만 소득수준이 어느 정도 상승하였을 때, 오염배출을 감축하기 위한 노력 또한 진행되고 있는 것으로 판단된다.

있다. 하지만, 이 두 가지 분석방법은 지역적 차별성이 상수항에 포함되기 때문에 본 분석의 목적인 환경규제변수의 지역 차별적인 계수를 추정하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 period SUR을 통해 시계열에서 나타나는 문제점을 통제하고, 지역별 계수 추정을 통하여 지역적 고정효과를 지역별 계수추정으로 나타나는 방법을 사용했음을 사전에 밝히고자 한다.

16) 권역별로 observation수가 상이한 이유는 우선 각 권역별로 지자체의 수가 다르기 때문이며, 같은 지자체수의 권역이라도 ar(1)항의 적용여부에 따라 다르게 나타남, 이는 모든 실증분석에서 공통으로 적용됨

표 7 SOx에 대한 EKC가설 검증

SOx	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
log(y)	281.6**	1648.8**	444.2*	1538.5**	1962.1*	-127.0	524.2
	(0.0279)	(0.0285)	(0.0994)	(0.0193)	(0.0831)	(0.7609)	(0.4340)
(log(y)) ²	-29.2**	-174.6**	-46.6*	-159.6**	-204.8*	12.2	-57.3
	(0.0300)	(0.0280)	(0.0996)	(0.0201)	(0.0854)	(0.7753)	(0.4305)
(log(y)) ³	1.0106**	6.1655**	1.6266	5.5217**	7.1244*	-0.3862	2.0875
	(0.0320)	(0.0275)	(0.1002)	(0.0207)	(0.0876)	(0.7900)	(0.4271)
log(POP)	-0.4090	3.8391**	-5.1592	-0.6074	5.7306	0.4776	-8.0711
	(0.5379)	(0.0330)	(0.1158)	(0.9301)	(0.5617)	(0.7308)	(0.1220)
R-squared	0.9938	0.9936	0.9973	0.9799	0.9957	0.9862	0.9974
D.W. stat.	2.1668	2.3585	1.9586	2.0039	2.6822	1.9079	1.6146
EKC가설 수립여부	YES	YES	YES	YES	YES	NO	NO
소득전환점	124.1	112.3	117.5	124.0	120.3	185.0	96.9
observation	306	60	58	40	40	50	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함
 2) ()는 P-value를 의미함

아래 <표 8>에서 보듯이 질소산화물(NOx)에 대한 EKC가설검증을 한 결과 전국모형과 대경권만 가설이 수립하는 것으로 나타났고, 소득전환점은 전국평균 147, 대경권은 120.3인 것으로 나타났다. 동남권의 경우 추정치가 통계적으로 유의하였지만 $\beta_1 > 0$ 과 $\beta_2 < 0$ 을 충족시키지는 못하였다. 이와 같은 결과는 NOx에 대한 규제가 권역적 측면에서 효율적이지 못한 것으로 볼 수 있으며, 대경권을 제외한 대부분 권역이 소득수준이 상승함에 따라 NOx배출 또한 여전히 증가하는 추세인 것으로 판단된다. 그리고 인구 변수의 통계적 유의성이 강한 것으로 나타났는데 이는 NOx에 있어서 인구의 경제활동 증가가 큰 영향을 미치고 있는 것으로 보이며, 이는 규제가 대기오염물질을 감소시키는 것보다 더 크게 영향을 미친다고 볼 수 있다.

표 8 NOx에 대한 EKC가설 검증

NOx	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
log(y)	66.9**	-959.6	-398.4	-73.9	1962.1*	-380.6**	200.3
	(0.0204)	(0.1998)	(0.1028)	(0.8591)	(0.0831)	(0.0481)	(0.4224)
(log(y)) ²	-6.7**	101.2	42.1	7.5	-204.8*	39.0**	-20.1
	(0.0262)	(0.1948)	(0.1016)	(0.8641)	(0.0854)	(0.0466)	(0.4545)

패널분석을 이용한 6대 권역별 대기오염물질에 대한 환경규제와 경제성장 간의 상호관계분석:
EKC(환경쿠즈네츠곡선)가설을 중심으로

NOx	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
$(\log(y))^3$	0.2254**	-3.5606	-1.4756	-0.2498	7.1244*	-1.3307**	0.6768
	(0.0319)	(0.1898)	(0.1014)	(0.8710)	(0.0876)	(0.0450)	(0.4832)
$\log(POP)$	0.6269***	0.5418***	0.7617	5.3063***	5.7306	0.3259	1.9197
	(0.0000)	(0.0000)	(0.6743)	(0.0006)	(0.5617)	(0.5172)	(0.0000)
R-squared	0.9998	0.8114	0.9945	0.9993	0.9957	0.9993	0.9974
D.W. stat.	2.1140	2.0004	2.7317	1.8628	2.6822	1.8628	1.6146
EKC가설 수립여부	YES	NO	NO	NO	YES	NO	NO
소득 전환점	147.0	114.3	114.0	137.4	120.3	131.2	145.3
observation	306	60	58	40	40	50	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함
2) ()는 P-value를 의미함

다음으로 <표 9>를 통해 알 수 있듯이 총먼지(TSP)에 대한 EKC가설 검증 결과, 소득에 대해서 대부분 통계적으로 유의하게 나타났지만 역시 EKC가설 충족조건인 $\beta_1 > 0$ 과 $\beta_2 < 0$ 를 만족시키는 결과는 전국 모형과 대경권으로 나타났다. 수도권의 경우 계수의 방향은 EKC가설을 충족하였지만, 유의성 문제 때문에 EKC가 충족한다고 보기는 어렵다. 상기의 NOx결과와 비교해봤을 때 대경권의 경우 소득수준이 상승할수록 규제의 효율성이 증가하는 권역으로 판단되며, 그 외 지역은 공해배출을 막기 위한 노력이 더욱 필요한 것으로 판단된다.

표 9 TSP에 대한 EKC가설 검증

TSP	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
$\log(y)$	447.1***	437.0	-9211.3***	-73.9	2274.8***	-982.5	-3402.7
	(0.0038)	(0.3685)	(0.0049)	(0.8591)	(0.0020)	(0.3697)	(0.4605)
$(\log(y))^2$	-46.7***	-43.3	2888.5***	7.5	-239.8***	310.6	1102.0
	(0.0036)	(0.3949)	(0.0049)	(0.8641)	(0.0019)	(0.3558)	(0.4627)
$(\log(y))^3$	1.6268***	1.4158	-303.43***	-0.2498	8.4217***	-31.6737	-119.0615
	(0.0033)	(0.4247)	(0.0047)	(0.8710)	(0.0018)	(0.3571)	(0.4657)
$\log(POP)$	0.6523	0.7628	10.6261***	5.3063***	17.4616**	1.0732	4.2827
	(0.1947)	(0.0000)	(0.0046)	(0.0006)	(0.0102)	(0.3588)	(0.4689)
R-squared	0.9902	0.9951	0.8233	0.9993	0.9915	0.0000	0.8364
D.W. stat.	2.3464	2.1769	1.9111	1.8628	1.6879	12.8444	1.4591
EKC가설 수립여부	YES	NO	NO	NO	YES	NO	NO

박추환

TSP	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
소득전환점	119.5	156.1	4.9	137.4	114.8	4.9	4.7
observation	306	60	58	40	40	50	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함
 2) ()는 P-value를 의미함

마지막으로 <표 10>에서 보듯이 일산화탄소(CO)에 대한 EKC가설 검증 결과, CO의 경우 전국, 수도권, 대경권, 강원·제주권에서 EKC의 역 U자형 패턴이 존재하는 것으로 나타났다. SOx와 마찬가지로 CO 또한 지역적으로 규제의 효력이 발생하는 대기오염 물질로 판단되며, 소득전환점은 수도권이 가장 높고 강원제주권이 가장 낮았다.

이와 같이 대기오염물질에 대해서 EKC가설을 검증해본 결과 중부권과 동남권의 경우 소득과 상관없이 공해배출이 발생하는 것으로 볼 수 있었고, 그리고 SOx와 CO에 대해서는 비교적 소득상승에 의한 규제 증가가 효율적으로 공해배출을 감소시켰으나 NOx와 TSP에 있어서는 대경권을 제외한 나머지 권역에서 규제효과가 미흡한 것으로 판단되어 이에 대한 대응이 필요할 것으로 판단된다.

표 10 CO에 대한 EKC가설 검증

CO	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
log(y)	131.3**	673.1**	-27.1	-3.3	173.8	-298.5	1848.9***
	(0.0361)	(0.0234)	(0.8232)	(0.9881)	(0.5405)	(0.1961)	(0.0001)
(log(y)) ²	-13.7**	-69.8**	2.4	-0.4	-18.2	30.0	-197.4***
	(0.0355)	(0.0255)	(0.8494)	(0.9855)	(0.5409)	(0.1996)	(0.0001)
(log(y)) ³	0.4757**	2.4094**	-0.0682	0.0409	0.6348	-1.0018	7.0172***
	(0.0344)	(0.0278)	(0.8782)	(0.9604)	(0.5408)	(0.2028)	(0.0001)
log(POP)	0.8623***	0.7242***	-0.9204	3.4199***	-1.4394	0.6157	1.2307***
	(0.0000)	(0.0000)	(0.5801)	(0.0000)	(0.6779)	(0.1455)	(0.0000)
R-squared	0.9983	0.9991	0.8168	0.8109	0.9479	0.9982	0.9935
D.W. stat.	2.3127	1.9385	2.2395	1.9362	2.1338	2.2835	1.7099
EKC가설 수립여부	YES	YES	NO	NO	YES	NO	YES
소득전환점	121.5	124.3	272.6	0.0	118.9	145.5	108.1
observation	306	60	58	40	40	50	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함
 2) ()는 P-value를 의미함

2) 대기오염 결정요인 추정

앞 절의 분석 결과에서 나타나듯이 각 권역별로 EKC곡선가설이 차별적으로 수립되고 있었고, 또한 대기오염물질별로 차별적인 결과가 나타남을 보았다. 본 절에서는 단기적으로 대기오염을 증가시키는 요인들을 살펴보고, 또한 권역별 환경규제가 대기오염물질 감소를 위해 효율적으로 대처하고 있는지를 살펴보기 위하여 식(4)을 이용하고자 한다.

$$dlog(EM_{it}) = a_{it} + \beta_1 dlog(Y_{it}) + \beta_2 dlog(Fuel_{it}) + \beta_3 dlog(Reg_{it}) + \beta_4 dlog(Pop_{it}) + \beta_5 dlog(LQ_{it}) + \epsilon_{it}, \quad (4)$$

식(4)는 식(2)에서 차분한 형태를 취한 것으로 단기적인 효과를 보여준다. 분석년도는 1998년부터 2008년까지이며, 대기오염물질별로 분석한 결과가 <표 11>~<표 14>에 나타나 있다.¹⁷⁾

표 11 SOx증가에 미치는 결정요인

Sox	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
<i>dlog(y)</i>	-0.9054*** (0.0050)	-3.1274 (0.1240)	-0.7160 (0.1004)	0.6427 (0.4228)	-6.4546*** (0.0000)	-0.8981 (0.4115)	-2.3376 (0.3381)
<i>dlog(oc)</i>	-0.3077*** (0.0759)	-0.1093 (0.8633)	0.6560 ** (0.0311)	1.1438** (0.0251)	2.2893** (0.0234)	0.8782 (0.1301)	-0.3969 (0.8016)
<i>dlog(reg)</i>	-0.0223 (0.5505)	-0.0234 (0.8957)	0.1189 (0.2676)	-0.0549 (0.5003)	0.2419** (0.0327)	-0.0394 (0.7157)	0.2141 (0.4382)
<i>dlog(pop)</i>	-1.3553 (0.2910)	-0.4065 (0.9162)	-0.0565 (0.9871)	0.3380 (0.8324)	-40.2979*** (0.0000)	-9.7814* (0.0636)	-6.8730 (0.6560)
<i>dlog(lqa)</i>	0.0980*** (0.0732)	0.0078 (0.9814)	0.4878*** (0.0001)	0.3286*** (0.0022)	0.1762 (0.4049)	0.1463 (0.6020)	-0.1176 (0.6260)
R-squared	0.1614	0.1517	0.7963	0.4742	0.8991	0.2243	0.2510
D.W. stat.	2.0336	1.7692	1.7255	2.5556	1.6141	2.7460	1.5596
observation	144	27	24	24	18	24	18

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함

2) ()는 P-value를 의미함

17) 결정요인에 대한 분석의 R-squared의 값이 EKC가설 검증의 값보다 현저히 낮게 나타나는데, 이는 후자의 경우 log변수를 이용한 것에 반하여 전자가 차분된 log변수를 적용하였기 때문이다. 차분된 log변수는 정보의 상실로 인하여 설명력이 떨어지나, 설명변수가 많은 회귀분석에서 차분하지 않는 변수는 통계적 유의성을 하락시키기 때문에 낮은 R-squared에도 불구하고 차분된 변수를 이용하였다.

먼저 <표 11>에서 보듯이 SOx에 대한 오염유발원과 규제효과를 보면 우선 전국모형의 경우 1인당 소득이 SOx와 부(-)의 관계를 가짐에 따라 2000년 이후부터는 경제성장이 SOx를 감소시키는 것으로 볼 수 있으며, 이는 앞의 분석결과처럼 전국적으로 SOx에 대한 EKC 전환점이 지났기 때문으로 판단된다. 이는 특히 연료(OC)사용 증가와도 부(-)의 관계를 가진다는 점에서 규제가 SOx에 대한 규제효력이 있는 것으로 판단된다. 또한 화학제품 LQ지수와 정(+)의 관계를 가진다는 점에서 SOx는 화학 제조업이 집중된 지역일수록 규제의 필요성이 높은 것으로 보인다.

권역별로 보면 대경권이 특히 경제성장에 따른 대기오염물질 감소효과가 두드러지게 나타나고 있었다. 그리고 전국모형과는 달리 중부권, 호남권, 대경권의 연료소비는 해당 권역의 SOx를 증가시키는 것으로 나타났다. 그리고 대경권의 규제증가가 SOx와 정(+)의 관계를 보이고 있었는데, 이는 규제 증가에 의해 대기오염이 감소하는 것보다 대기오염 증가에 따른 규제의 반응도가 높다는 것을 시사한다. 그리고 대경권과 동남권의 인구와 SOx간 부(-)의 관계를 가짐에 따라 인구증가에 따른 경제활동 증가와 SOx 증가와는 큰 상관성이 없는 것으로 판단된다. 그리고 중부권과 호남권의 LQ지수가 SOx와 정(+)의 관계를 보임에 따라 SOx는 종합적인 경제활동보다 특정 제품의 산업활동에서 특히 발생확률이 높은 것을 확인할 수 있었다.

표 12 NOx증가에 미치는 결정요인

NOx	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
$dlog(y)$	0.3500* (0.0640)	0.0198 (0.9832)	1.7614*** (0.0024)	0.8123 (0.3296)	-2.5838** (0.0439)	-1.1110 (0.2856)	1.3693** (0.0344)
$dlog(oc)$	0.1845** (0.0164)	0.7212** (0.0168)	-0.4648 (0.1538)	1.2027** (0.0326)	1.1124 (0.3102)	0.6512 (0.2472)	0.5733 (0.1501)
$dlog(reg)$	0.0747*** (0.0028)	0.0450 (0.6878)	0.4463*** (0.0010)	0.2471** (0.0293)	0.3124** (0.0373)	0.0436 (0.6833)	0.0133 (0.8339)
$dlog(pop)$	0.4854 (0.2160)	1.8445 (0.3331)	-1.8368 (0.7345)	3.2350 (0.3899)	-14.0215** (0.0449)	-6.9249 (0.2300)	-5.8928 (0.1363)
$dlog(lqa)$	0.0856*** (0.0028)	0.0463 (0.8078)	-0.0458 (0.7343)	-0.0062 (0.9764)	0.2565 (0.3637)	0.8620*** (0.0002)	0.0216 (0.7113)
R-squared	0.2466	0.3035	0.7231	0.7126	0.4535	0.5524	0.6425
D.W. stat.	2.0744	1.8968	2.3344	2.9493	1.4838	2.0252	1.5733
observation	144	27	24	16	18	24	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함

2) ()는 P-value를 의미함

<표 12>를 통해 NOx증가에 영향을 미치는 요인들을 살펴보면 전국모형에서 1인당 소득의 증가는 NOx를 증가시키는 것으로 나타나, NOx는 아직 EKC의 전환점을 지나지 않는 것으로 판단된다. 특히 NOx증가에 에너지소비와 규제, LQ지수가 모두 정(+)의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타나 NOx에 대해서 효율적인 규제가 적용되고 있다고 보기 어려움으로 적절한 규제가 필요한 시점으로 판단된다. 특히 권역별로 볼 때 대경권을 제외하고는 모두 NOx의 증가에 권역변수들이 영향을 미치는 것으로 나타나 NOx에 대한 전국적인 규제강화가 필요한 것으로 판단된다.

표 13 TSP증가에 미치는 결정요인

TSP	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
<i>dlog(y)</i>	0.5137 (0.3072)	-5.0179* (0.0890)	0.6034 (0.5188)	0.6908 (0.8546)	-5.2702 (0.2377)	-3.1082*** (0.0030)	-6.3365* (0.0976)
<i>dlog(oc)</i>	0.6079*** (0.0027)	0.4611 (0.5574)	0.2579 (0.5652)	9.4733*** (0.0027)	0.6316 (0.8453)	1.2314*** (0.0187)	-0.2255 (0.9208)
<i>dlog(reg)</i>	0.1121** (0.0312)	0.1461 (0.6026)	0.3001* (0.0966)	-0.1644 (0.7350)	0.5249 (0.1352)	-0.1642* (0.0890)	0.3737 (0.3178)
<i>dlog(pop)</i>	0.1476 (0.8950)	0.7333 (0.8942)	2.6492 (0.6623)	46.7771* (0.0554)	-46.0408** (0.0189)	-4.8063 (0.2222)	-19.2970 (0.4391)
<i>dlog(lqa)</i>	0.0619 (0.3948)	0.1540 (0.7575)	0.2858 (0.1382)	1.3957 (0.1425)	0.5901 (0.4462)	0.7883*** (0.0015)	-0.7523** (0.0498)
R-squared	0.1941	0.1767	0.5529	0.6892	0.4656	0.6093	0.4661
D.W. stat.	1.6642	1.6428	1.6116	2.2879	1.7196	1.6719	1.6650
observation	144	27	24	16	18	24	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함
2) ()는 P-value를 의미함

<표 13>을 통하여 TSP증가에 영향을 미치는 결정요인을 살펴보면 TSP의 경우 전국 모형에서는 에너지소비와 규제증가가 정(+)의 관계를 가지고 있었고, 수도권, 동남권, 강원제주권의 1인당 소득과 TSP가 부(-)의 관계를 가짐에 따라 해당 권역과 TSP 간에는 EKC가설이 수립하고 전환점 또한 지난 것으로 판단된다. 그리고 권역별로 영향을 미치고 있는 주요 요인들을 살펴보면 호남권, 동남권의 에너지소비, 호남권의 인구증가, 동남권 LQ지수의 증가 등이 영향을 미치는 것으로 나타나 TSP는 다양한 요인에 의해서 영향을 받는 것으로 판단된다.

표 14 CO증가에 미치는 결정요인

CO	전국	수도권	중부권	호남권	대경권	동남권	강원제주
<i>dlog(y)</i>	0.6780***	-0.0180	1.9796***	0.9537	-0.4788	-0.7672	-0.8835*
	(0.0084)	(0.9827)	(0.0001)	(0.3130)	(0.5044)	(0.1710)	(0.0704)
<i>dlog(oc)</i>	0.0951	0.0499	-0.1830	-0.0479	-1.4617**	0.9639***	0.2704
	(0.4473)	(0.8335)	(0.3102)	(0.9390)	(0.0391)	(0.0014)	(0.3662)
<i>dlog(reg)</i>	0.0026	-0.0582	0.0275	0.2411*	0.2534**	-0.1018*	0.1274
	(0.9352)	(0.4511)	(0.6699)	(0.0951)	(0.0129)	(0.0567)	(0.0413)
<i>dlog(pop)</i>	0.5714	0.4058	3.7743	1.1658	-8.4990**	-4.4240**	-5.1449
	(0.3190)	(0.8065)	(0.1167)	(0.8151)	(0.0466)	(0.0449)	(0.1757)
<i>dlog(lqa)</i>	-0.0628	-0.0640	0.1947**	-0.1571	-0.3111	0.3203**	-0.3363***
	(0.1393)	(0.6489)	(0.0395)	(0.4118)	(0.1025)	(0.0168)	(0.0000)
R-squared	0.1382	0.0645	0.5894	0.3671	0.5359	0.6667	0.8924
D.W. stat.	2.1214	1.5129	2.1164	2.3694	1.5941	1.9025	1.9328
observation	144	27	24	16	18	24	40

주: 1) ***: 1%수준에서 유의함, **: 5%수준에서 유의함, *: 10%수준에서 유의함

2) ()는 P-value를 의미함

마지막으로 <표 14>를 통해 CO증가에 영향을 미치는 결정요인들을 살펴보면 우선 전국적으로는 소득의 증가가 CO증가와 정(+)의 관계를 가지기 때문에 CO에 대해서도 EKC 전환점이 지나지 않은 것으로 판단할 수 있다. 권역적으로는 중부권의 소득 증가가 특히 CO를 증가시키는 것으로 나타났고, 강원제주권의 소득증가는 CO를 감소시키고 있었다. 권역별로 CO를 증가시키는 요인들을 살펴보면 동남권의 연료소비와 LQ지수 증가가 CO를 증가시키고 있었고, 대경권의 규제 증가 역시 CO와 정(+)의 관계를 가지고 있었다. 그 외에 요인들은 CO증가에 미치는 영향이 미비한 것으로 나타났다.

VI. 결론 및 시사점

본 연구는 우리나라 16개 광역시도를 6대 권역(수도권, 중부권, 호남권, 대경권, 동남권, 강원제주권)으로 구분한 뒤 대기오염물질과 1인당 GDP 간 EKC가설의 역 U자형 패턴이 나타나는지를 확인하기 위하여 패널회귀분석을 이용하여 EKC가설을 검증하여 보고, 각 권역마다 대기오염유발원이 미치는 영향에 대해서 1988년부터 2008년까지의 자료를 이용하여 실증분석하였다.

첫 번째 분석에서 EKC가설 검증 및 역 U자형 전환점을 추정해본 결과, 황산화물(SOx)의 경우 동남권과 강원제주권을 제외한 권역에서 EKC가설이 성립되고 있는 것으로 나타나 전국적으로 경제성장과 함께 SOx를 감축시키는 노력이 유효한 것으로 판단된다. 이는 SOx가 산업시설에서 배출되는 공해와 관련이 높기 때문에 해당 권역의 산업시설에서 규제에 의한 기업 자발적인 배출규제가 이루어져 있다고 볼 수 있다. 하지만 소득수준이 낮은 강원제주권을 제외하더라도 동남권에서는 SOx의 규제를 강화할 필요성이 있다고 판단된다. 질소산화물(NOx)의 경우 전국적으로는 EKC가설이 성립되고 있었지만, 권역별로 계수를 추정해본 결과 대경권을 제외하고는 모두 역 U자형 패턴이 나타나지 않았다. 이는 다른 대기오염물질에 비하여 NOx는 경제성장 즉, 경제활동에 의해서 지속적으로 배출되고 있는 것을 의미하며 전국적으로 NOx에 대한 규제의 강화가 필요한 것을 의미한다. 그리고 총먼지(TSP)의 경우 역시 대경권을 제외한 권역에서 EKC가설이 성립되고 있지 않아 NOx와 함께 배출규제를 강화할 필요성이 있다. 두 물질의 배출증가는 산업시설에서 배출되는 것보다 차량 운행 등의 경제활동에서 발생할 가능성이 높기 때문에 기업을 대상으로 한 규제보다 배출규제를 가능하게 할 수 있는 기술의 발전이 더욱 필요하다고 판단된다. 마지막으로 일산화탄소(CO)의 경우 수도권, 대경권, 강원제주권에서만 EKC가설이 성립하고 있었고, 중부권, 호남권, 동남권에서는 경제성장에 따른 배출감소가 이루어지지 않고 있었다. 일산화탄소의 배출 역시 산업시설보다 경제활동에 의해서 발생하는 부분이 큰 것으로 보이며 이에 대한 규제를 강화해야 할 것이다.

그리고 두 번째로 오염유발원을 추정해본 결과 황산화물(SOx)의 경우 권역별 연료소비의 증가와 화학제품 생산이 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 SOx가 산업생산활동에 영향을 크게 받기 때문으로 판단되며 기업규제를 통하여 해당 물질의 배출을 줄이기 위한 노력이 필요할 것이다. NOx의 경우 또한 SOx의 결과와 유사하게 나타났으며, 특히 규제와 정(+)의 관계라는 점에서 대기오염단속규제가 NOx의 감소에 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다. 그리고 TSP와 CO의 결과 또한 앞의 결과와 큰 차이가 없었다. 분석결과 공통적으로 대기오염 증가에 권역별 연료소비가 가장 큰 영향을 미치고 있었으며, 특정 동남권의 석유화학제품발달이 특별하게 대기오염 증가에 영향을 미치는 것으로 나타나 해당 권역의 공해배출에 대한 규제 강화 필요성을 시사한다고 볼 수 있다.

본 논문의 분석 결과를 바탕으로 가장 큰 시사점은 대기오염 또한 토양과 수질과 마

찬가지로 지역을 구분하여 논할 수 있다는 것이다. 이는 대기의 흐름이 지역적으로 고정되어 있지 않다 하더라도 지역의 소득수준, 산업활동 등에 의해서 공해배출량이 차별적으로 나타날 수 있다는 것이다. 특히 EKC가설의 성립여부 또한 지역적으로 다르게 나타나기 때문에 환경정책을 국가 전체 수준에서 일괄적으로 집행하기보다 지역적 특성에 따라 차별적으로 필요성이 높음을 알 수 있었다. 이는 기존의 선행연구들이 국가적 측면에서만 대기오염을 분석하고 지역적 차별성에 대해 논의하지 않았다는 점에서 본 논문이 가지는 가장 큰 의의라고 판단된다. 반면에 환경규제 변수를 대기오염 단속 실적만으로 한정하였다는 것이 본 논문의 한계점이라 볼 수 있다. 이는 관련 변수로 이용할 수 있는 대기오염 환경보호지출, 환경기술 관련 R&D 등이 지역별 Data로 구분되어 있지 않기 때문이다. 지금까지 환경정책의 발효 및 자료공표에 있어서 국가 전체적인 지출만 이슈가 되고 있지 권역별로 어떠한 차별적인 대기오염원이 있으며, 그에 따라 필요한 지역차별적 관점에서 환경규제 및 정책이 수립되고 있지 않는 것이 그 이유 중에 하나라고 판단된다. 그리고 마지막으로 수도권과 비수도권 간의 소득수준 격차에 따라 EKC곡선의 전환점 또한 차이가 날 수 있기 때문에 정책집행에 있어서 이와 같은 소득수준 격차에 따라 다르게 나타나는 대기오염배출량을 반드시 고려해야 할 것이다.

참고 문헌

- Atkinson, R. 2000. "Atmospheric chemistic of VOCs and Nox". *Atmospheric Environment*, 34: 2063-2101.
- Agras, J., and D. Chapmen. 1999. "A Dyma,oc Approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis". *Ecological Economics*, 28: 267-277.
- Barret, S. 1992. "Economic Growth and Environmental Preservation". *Journal of Environmental Economics and Management*, 23: 289-300.
- Bhanagar, S., M.A. Cohen. 1997. *The Impact of Environmental Regulation on Innovation: A Panel Data Study*. Unpublished Working Paper. Research Triangle Institute.
- Bovenberg, A., S. Smulders. 1995. "Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in Two-sector Endogenous Growth Model". *Journal of public Economics* 57, (1995): 369-391.
- Choi C., J. Kim. 2006. "An International Comparative Study on the Relationship Between Economic Growth and Environmental Pollution: testing the exstence of EKC in CO₂", *Program for Land Development*, 41(1): 153-166.
- Elbasha, E., T. Roe. 1996. "On Endogenous Growth: The Implications of Environmental Externalites". *Journal of Environmental Economics and Management*, 31: 240-268.
- Galeotti, M., A. Lanza. 1999. "Richer and cleaner? A study on carbon dioxide emissions in developing countries". *Energy Policy*, 27(10): 565-573.
- Grossman, G., A. Krueger. 1995. "Economic Growth and the Environment". *Quarterly Journal of Economics*, 110(2): 353-377.
- IPCC. 2007. *Forth Assesment Report, Climate Change 2007: Synthese Report, Summary for Policy makers*. IPCC.
- Jaffe A.B., K. Palmer. 1997. *Environmental Regulation and Innovation: A Panel data study*. Review of Economics and Statistics, 79: 610-619.
- Joyeeta G., A., Nentjes. 2003. *Climate change and the Kyoto Protocol :the role of institutions and instruments to control global change*. Edited by Micheal Faure, Cheltenham : Edward Elgar.
- Judge, G. E., W. E. Griffith, R. C. Hill and J. C. Lee. 1980. *The Theory and Practice of Econometrics*. John, Wiley and Sons.
- Jung and Chung. 2004. "The Pollution and Economic Growth based on the Multi-country Comarative Analysis. *Industry Economic Research*, 17(4): 1077-1098.

- Kim, S. W., K. Lee, K. Nam. 2010. "The Relationship between CO₂ emission and economic growth: The case of Korea with nonlinear evidence". *Energy Policy*, 38: 5938-5946.
- Kuznets, S. 1955. "Economic Growth and Income Inequality". *The American Economic Review*, 45(1): 1-28.
- Lanoie, P., M. Party, R. Lajeunesse. 2008. "Environmental Regulation and Productivity: Testing the Porter Hypothesis". *Journal of Productivity Analysis*, 30: 121-128.
- Lee, K., W. Oh. 2001. Anaysis of the Correlation Energy Between Consumption and Economic Growth: by using the DIVISIA Energy Index. 49(1), 181-201.
- Lee, Y., H. Ji. 2011. *Correlation among the Environmental Regulation, Innovation, Productivity: by using Porter Hypothesis*. Korean Public Administration Review, 45(21): 171-191.
- Menyah, K., Y. Wolde-Rufael. 2010. "CO₂ emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US", *Energy Policy*, 38: 2911-2915.
- Moon, N., S. Hong, Y. Lee, R. Park, J. Kim, K. Lim. 2009. *Evaluation of the Regional Air Condition by Greenhouse gas, Research Report*. 2009-14, Korea Environment Institute.
- Ryu, B. 2001. "Economic Growth and CO₂ Emissions of the OECD Countries: Analysis by Panel Cointegration". *International Economic Research*, 7(13): 125-143.
- Pao, H., C. Tsai. 2010. "CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries". *Energy Policy*, 38: 7850-7860.
- Poter, M. E., C. van der Linde. 1995. "Toward a Nes Conception of the Environment-Competitiveness Relationship". *The Journal of Economic Perspectives*, 9(4): 97-118.
- Seldon, T., D. Song. 1994. "Environmental quality and development: Is there a Kuznets Curve air pollution emissions?". *Journal of Environmental Economics and Management*, 27: 147-162.
- Tahovonen and Kuuluvainen. 1993. "Economic Growth, Polution, and Renewable Resources". *Journal of Environmental Economics and Management* 24, (1993): 101-118.
- Unruh, G. C., W. R. Moomaw. 1998. "An Alternative Analysis of Apparent EKC-Type Trasitions". *Ecological Economics*, 25: 221-229.
- Wang, S. S., D. Q. Zhou, P. Zhou, Q. W. Wang. 2011. "CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis". *Energy Policy*, 39: 4870-4875.
- Zaim and Taskin. 2000. "A Kuznets Curve in Environmental Efficiency: An Application on OECD Countries". *Environmental and Resource Economics*, 17: 21-36.