

수도권 지역 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선 탐색 및 정책적 함의

이광훈* · 이춘화**

Searching for an Environmental Kuznets Curve for CO₂ Emissions in the Seoul Metropolitan Area and Its Policy Implications

Gwanghoon Lee* · Chun Hua Li**

요약 : 본 논문은 서울, 인천, 경기 등 수도권 지역의 이산화탄소 배출량에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선의 추정 비교를 시도하였다. 이를 위해 이산화탄소 배출원인 석유류, 도시가스, 전력 등의 지역별 소비량을 바탕으로 석유환산계수와 탄소배출계수를 적용하여 이산화탄소 배출량을 추정하였다. 이러한 추정을 위해 세 개 지역의 상호 연관성을 감안한 SUR(Seemingly Unrelated Regression) 모형을 채택하였다. 지역별 실질 소득뿐 아니라 인구밀도를 설명변수로 포함시켰으며, 특히 이산화탄소 배출원에 대한 가격지수를 구축하여 석유류를 중심으로 한 에너지원의 가격 상승이 1인당 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 통제하고자 하였다. 이를 통해 우선 세 개 지역 모두에서 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선의 존재를 뚜렷하게 확인하였으며, 곡선의 전환점은 1인당 실질 소득액이 1,292만원에서 1,466만원 사이인 것으로 나타났다. 서울이나 경기의 경우 이미 전환점을 지났으며, 인천의 경우에도 조만간 전환점을 지날 것으로 보인다. 가격지수에 대한 영향을 살펴본 결과 석유류를 중심으로 한 에너지원의 가격 상승이 1인당 이산화탄소의 배출량을 줄이는 데 일정부분 기여하고 있는 것으로 나타나고 있으나, 그 가격탄력성은 상당히 비탄력적이다. 인구밀도가 낮은 편인 경기의 경우 인구밀도의 증가가 1인당 이산화탄소 배출량을 증가시키는 반면, 인구밀도가 매우 높은 서울의 경우 반대 방향의 영향이 나타났다.

주제어 : 수도권, 이산화탄소, 환경 쿠즈네츠 곡선, SUR 모형

ABSTRACT : This paper attempts to estimate and compare Environmental Kuznets Curves (EKC) for CO₂ emissions in the Seoul metropolitan area including Seoul, Incheon and Gyeonggi-do. For this purpose, CO₂ emissions are estimated based on the energy consumption data including various kinds of oil, natural gas and electricity. A Seemingly Unrelated Regression(SUR) model is utilized for the estimation to take into account the inter-correlation among the three regions in the metropolitan area. Estimation results clearly show that there are EKC's in all three regions and EKC turning points lie between 12.92 and 14.66 million Korean Won in terms of per capita income. In Seoul and Gyeonggi-do, per capita income already passed the turning point while in Incheon it will be expected to pass the point in near future. The increase of energy prices turns out to help reduce per capita CO₂ emissions but the price elasticity is quite inelastic. The influence of increase in population density is positive for the per capita CO₂ emissions in Gyeonggi-do where the population density is relatively low while it is negative in Seoul where the population density is very high.

Key Words : the Seoul metropolitan area, CO₂, Environmental Kuznets Curve, SUR

* 중앙대학교 정경대학 경제학과 부교수(Associate Professor, Department of Economics, Chung-Ang University),
E-mail: glee@cau.ac.kr, Tel: 02-820-5516

** 중앙대학교 경제학과 박사과정 수료(Ph.D. Candidate, Department of Economics, Chung-Ang University)

I. 서론

경제 성장이 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 1972년 발표된 로마 클럽(Club of Rome)의 '성장의 한계(Limits to Growth)' 보고서에서의 문제 제기 이후 꾸준한 관심을 받아왔다. 특히 1990년대 이후 환경오염과 관련된 자료들이 이용 가능해짐에 따라 Grossman and Krueger(1991)가 수행한 아황산가스 등의 공기 오염물질과 1인당 소득 간의 관계에 대한 연구를 필두로 하여 환경오염의 수준이 소득 수준의 변화에 따라 나타내는 동태적 변화 양태에 대한 많은 실증적 연구결과들이 제시되어 왔다. 이러한 연구들의 대부분은 경제 발전 초기 단계의 낮은 소득 수준에서는 경제 성장에 따라 환경이 악화되지만, 소득 수준이 일정 수준에 이르면 이러한 관계는 역전이 되어 소득 수준이 향상됨에 따라 환경이 개선될 것이라는 가설의 검증과 관련되어 있다. 이러한 가설에서 나타나는 소득 변화와 환경의 악화 정도를 나타내는 지표 간의 관계는 뒤집어진 U자 모양을 하게 되는데, 이는 소위 환경 쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, 이하 EKC)으로 불린다. 이러한 EKC로 나타나는 소득과 환경 간의 관계에 대해 구조적 설명이 뒷받침되는가 하는 문제와는 별개로 EKC의 존재 자체만으로 결국 경제성장이 환경 문제의 원인인 동시에 치료책이기도 하다는 중요한 메시지를 전달한다. 즉 EKC의 존재는 경제 성장과 환경 보전이 양립할 수 없는 것이 아니라 지속적 경제 성장이 궁극적으로는 환경 개선에도 긍정적 작용을 하게 된다는 중요한 시사점을 갖는 것이다. EKC는 다양한 환경오염 지표에 대해 추

정되어 왔으며, EKC의 존재가 실증적으로 확인되는 경우 소득 증가에 따른 환경오염 지표의 증가가 정점에 이르러 EKC의 전환점에 해당되는 소득 수준이 제시되기도 했다¹⁾.

공기 오염을 나타내는 일산화질소, 일산화탄소, 아황산가스 등의 배출량, 수질 오염을 나타내는 화학적·생물학적 산소요구량, 수중 중금속 함량 등과 함께 특히 지구 온난화의 주된 요인으로 지적되어 온 이산화탄소의 배출 역시 이러한 EKC의 관점에서 고찰되어 왔으며, 이와 관련된 문헌 역시 상당한 수준이다²⁾. 이산화탄소의 경우 1992년 리우 지구정상회의(Rio Earth Summit)와 1997년 교토의정서(Kyoto Agreement) 등을 통해 국제적 감축 논의가 지속되고 있을 정도로 세계적 관심사로 부각되고 있는 만큼 이산화탄소의 배출과 소득 간의 관계에 대해서는 Shafik(1994)와 Holtz-Eakin and Selden(1995) 등의 연구를 필두로 보다 특별한 관심이 주어져 왔다.

그런데 기존의 이산화탄소 배출에 대한 EKC 관련 연구 결과들은 일관되지 않았다. Shafik(1994)이나 Holtz-Eakin and Selden(1995)의 초기 연구들은 EKC의 존재를 확인하지 못하거나 전환점이 자료의 범위를 벗어나는 높은 소득 수준에서 나타났다. Schmalensee et al.(1998)은 1950~1990년 47개국의 자료를 이용한 분석을 통해 이산화탄소 배출량과 소득 수준과의 관계에서 EKC의 존재를 확인하였으며, OECD국가와 비OECD국가 간의 구조적 차이를 검증하였다. Unruh and Moomaw(1998)는 비선형 동태모형에 대한 분석을 통해 EKC의 존재를 확인하였으며, 선진국의 소득전환점은 평균 11,426달러인 것으로 나타나, 이들 국가

1) Dinda(2004)는 EKC에 대한 기존의 이론적·실증적 연구들에 대한 방대한 서베이를 제공하고 있다.

2) Galeotti et al.(2006)은 특히 이산화탄소 배출에 대한 EKC 연구와 관련된 기존 문헌들을 잘 정리해주고 있다.

는 이미 1970년대에 소득전환점을 통과하였음을 주장하였다. Agras and Chapman(1999)은 시차 종속변수의 포함을 통해 동태적 EKC 모형을 추정하였는데, 특히 이들은 기존의 연구들이 에너지 가격변수를 포함하지 않은 것을 비판하며 에너지 가격 변수의 중요성을 강조하였고, 무역변수를 포함하였다. 무역변수와 에너지 가격 변수의 영향을 통제할 경우, 적어도 이산화탄소 배출에 대한 현재 소득의 영향은 통계적으로 유의하지 않게 됨을 보여준다. Galeotti and Lanza(1999)는 110개국에 대한 패널자료를 바탕으로 EKC 연구에서 통상적으로 이용되는 이차식 대신 감마 및 와이불(weibull) 함수로 추정하였으며 이를 통해 전 세계적인 차원에서 역 U자 형태의 이산화탄소 배출량과 소득 간의 관계가 나타날 것이라고 예측하였다. 반면에 Halkos and Tsionas(2001)는 61개국 횡단면 자료를 이용한 추정에서 이산화탄소 배출량과 소득 간에는 소득 증가에 따라 배출량이 감소하는 단조적 관계만이 확인된다고 EKC의 존재를 기각하기도 하였다. 특히 Galeotti et al.(2006)은 서로 다른 함수 형태와 이산화탄소 배출에 대한 자료원들에 대해 이산화탄소 배출에 있어서 EKC의 강건성(robustness)을 확인하고 있는데, 그 결과 OECD 회원국의 경우에는 자료원이나 함수형태에 대해 강건하게 EKC가 존재함을 보였고, 그 소득전환점은 15,697~16,487달러 사이인 것으로 추정하였다. 반면에 비OECD국가의 경우는 자료원에 따라 EKC의 존재 여부가 달라지는 것으로 나타났다. 최근 연구로서 Poudel et al.(2009)은 15개 라틴아메리카 국가의 1980~2000년 이산화탄소 배출량 자료를 이용하여 EKC를 고찰하면서, 인구밀도, 문맹률, 삼림지 데이터 등을 설명변수로 포함해 분석하였다. 그 결과 전체적으로 라

틴아메리카에서는 환경오염과 경제성장 간에 N자형의 관계가 존재하는 것으로 분석되었으나 일부 국가를 제외할 경우 추정계수가 민감하게 변동하는 것으로 나타났다. Galeotti et al.(2009)은 OECD 24개국의 1960~2002년의 이산화탄소 발생 자료를 이용하여 EKC를 검증한 결과, EKC 가설이 모든 국가에 언제나 성립하는 것이 아니고 국가별로 큰 차이를 나타내는 취약한 개념임을 실증적으로 보여주고 있다.

국내의 경우도 EKC와 관련된 많은 연구가 이루어져 왔으나 국내의 이산화탄소 배출에 초점을 맞춘 연구는 상대적으로 많지 않다. 이는 다음에 설명하는 바와 같이 국내 이산화탄소 배출과 관련된 체계적 자료가 이용 가능하지 않기 때문인 것으로 보인다. Kim(1999)은 소득증가와 이산화탄소, 아황산가스, 이산화질소 및 생물학적 산소요구량(BOD)의 발생관계를 살펴본 결과, 아황산가스를 제외한 다른 오염원들은 소득증가와 함께 증가 추세를 나타냈으며, 이를 토대로 한국에서 EKC 가설은 아직 실현되지 않고 있다고 주장했다. 김정인 외(1999)는 OECD 10개국의 1985~1994년 자료를 이용하여 이산화탄소, 아황산가스, 질소산화물, 분진, 휘발성 유기화합물 등에 대한 EKC의 존재여부를 검증하였는데, 다른 오염물질에 비해 이산화탄소는 그리 강건한 결과가 나타나지는 않았다. 조상섭 외(2001)는 한국을 포함한 17개국의 OECD 국가를 대상으로 1980~1997년 자료를 이용하여 이산화탄소에 대한 EKC 가설을 검증한 결과 EKC 가설이 성립하고, 소득전환점이 17,331~66,934달러 수준임을 확인하였다. 김지옥(2002)은 1985~1999년 서울·인천·경기 등 수도권 세 개 지역에 대해 대기오염항목인 부유분진, 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소 등의 배

출량 자료를 이용하여 EKC 가설을 검증한 결과 부유분진, 일산화탄소, 질소산화물의 경우 EKC 가설이 성립하고 아황산가스의 경우는 성립하지 않으며, 소득전환점은 3,000~5,000달러 수준으로 상당히 낮음을 확인하였다. 최충익·김지현(2006)은 28개의 OECD 국가의 1990~2002년까지의 자료를 바탕으로 분석한 결과, 경제발전과 이산화탄소 배출량 간의 EKC 가설이 성립하고, 소득전환점은 13,700~16,764달러 수준으로 분석하였다. 정군오·정영근(2004)은 83개 국가의 1961년부터 1996년까지의 이산화탄소 배출량 자료를 이용하여 경제성장과 이산화탄소 배출에 대해 분석한 결과, 고소득 국가그룹에서 뚜렷한 역 U자형 곡선을 나타낸 반면, 저소득 국가군에서는 EKC가 나타나지 않았으며, 소득전환점은 고소득 국가에서는 31,992~45,080달러 사이임을 확인하였다.

본 논문은 이러한 일련의 연구들의 연장선상에서 1990년에서 2007년까지의 서울, 인천 경기 등 수도권 3개 지역에 대해 구축된 자료를 바탕으로 1인당 이산화탄소 배출량에 대한 EKC의 추정을 시도하였다. 그 결과 환경오염의 상당부분이 산업과 인구가 집중된 대도시를 중심으로 발생하고 있음을 알 수 있었다. 특히 수도권은 면적에 있어서 11.8%에 불과하지만, 2007년 말 현재 인구의 48.9%, 실질총생산의 48.5%를 차지하고 있어 수도권에 있어서의 환경오염과 지역 경제 성장의 관계에 대한 연구는 그 자체로 의미를 갖는다고 할 수 있다. 특히 녹색연합(2008)의 보고서에 따르면 수도권의 이산화탄소 배출량은 우리나라 전체 배출량의 40.1%에 이르고 있다는 점에서 더욱 그러하다.

이러한 연구에 있어 우리나라에는 체계적으로 구축된 이산화탄소 배출량 자료가 없는 것이 큰 어려움이다. 이에 본 논문에서는 녹색연합(2008)

에서 시도했던 이산화탄소의 배출원인 석유류, 도시가스, 전력 등의 지역별 소비량에 기초한 지역별 이산화탄소 배출량에 대한 추정을 1990년에서 2007년까지로 확장하여 자료를 구축하였다. 또한 Agras and Chapman(1999)이 그 중요성을 지적하였지만 기존 연구에서 여전히 제대로 다루어지지 않는 에너지 가격 변수를 적절하게 구축하여 설명변수로 이용하였다. 이는 특히 외환위기 이후 환율의 급등과 최근 몇 년간의 유가 급등으로 인한 에너지 가격 부분의 충격이 이산화탄소 배출원의 소비에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 따라서 EKC 추정에 있어서 이러한 영향이 적절히 통제되어야 소득과 이산화탄소 배출량의 관계에 대한 적절한 추정이 가능할 것이다. 수도권에 속한 개별 지역에 대한 EKC의 추정에 있어서 수도권 각 지역 간의 밀접한 경제적·산업적 상호연관성을 감안하는 것이 필요하다고 보고, 이러한 상호연관성을 고려하면서 결합적으로 세 개 지역에 대한 EKC를 추정하기 위한 SUR(Seemingly Unrelated Regression) 모형을 사용하여 보다 유효한 추정치를 구하고자 하였다.

II. 자료 및 변수 구축

이산화탄소 배출에 대한 EKC 추정에 있어 핵심 자료인 이산화탄소 배출량의 경우 광역 시·도별 이산화탄소 배출량에 대한 별도의 공식적인 통계는 집계되고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 수도권 각 지역의 이산화탄소 배출량에 대한 추정을 시도하였다. 이를 위해 에너지경제연구원의 '지역에너지통계연보'에서 발표하고 있는 자료들을 기초로 석유류(휘발유, 등유, 경유, 경질중유, 벙커 C유, 항공유), 도시가스, 전력사용량 등 세

가지 부문의 지역별 소비량 자료를 구축하였다. 실사를 통해 만들어진 우리나라 고유의 탄소배출 계수가 아직 제시되지 않고 있으므로, 기후 변동에 관한 정부 간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시된 탄소배출 계수를 이산화탄소 배출원의 지역별 소비량 자료에 적용하여 이산화탄소 배출량 추이를 계산하였다.

〈표 1〉 에너지 열량환산기준과 탄소배출계수

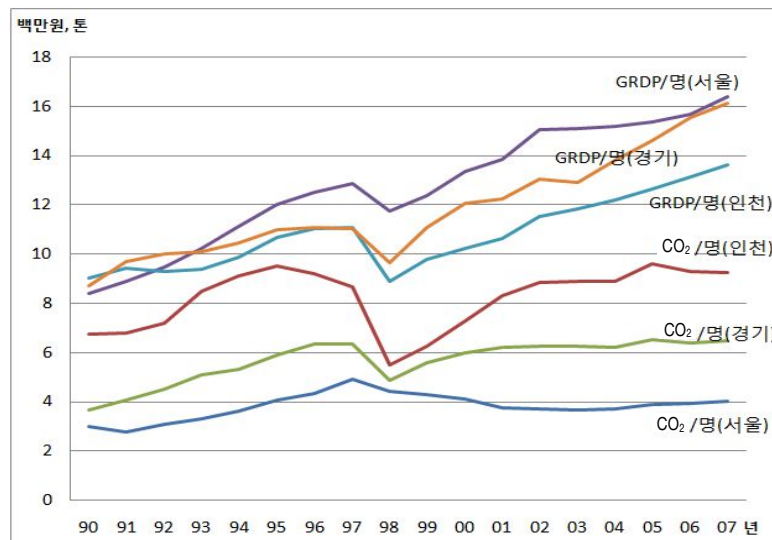
에너지종별	단위	석유환산계수	탄소배출계수 Ton C/TOE
휘발유	L	0.740	0.783
등유	L	0.820	0.812
경유	L	0.845	0.837
경질중유	L	0.875	0.875
중유	L	0.910	0.875
벙커 C유	L	0.935	0.875
항공유	L	0.820	0.808
도시가스	Nm3	0.955	0.637
전력	MWh	-	0.1213

출처: IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)
홈페이지(www.ipcc.ch)

〈표 1〉은 이 계산에서 사용된 석유환산계수와 탄소배출계수를 나타내고 있다. 각종 석유류 및 도시가스의 소비량을 순발열량을 기준으로 계산된 석유환산계수를 이용하여 국제에너지기구(IEA)가 정한 TOE(Ton of Oil Equivalent) 단위로 환산하고, 여기에 탄소배출계수를 적용하여 TOE당 탄소발생량을 계산한다. 이산화탄소 배출량으로 변환하기 위해서 이렇게 계산된 값에 (이산화탄소 분자량)/(탄소 원자량)=44/12를 곱하게 된다. 전력 소비량의 경우 탄소배출계수 0.1213Ton C/MWh를 바로 적용하여 탄소 배출량을 계산하고 여기에 다시 (이산화탄소 분자량)/(탄소 원자량)=44/12를 곱하면 된다.

EKC 추정에 있어 주요 설명변수인 지역별 실질 소득은 통계청 자료에서 2000년 불변가격으로 구하였다.

〈그림 1〉은 EKC의 추정과 관련하여 종속변수로 사용될 1인당 이산화탄소 배출량에 로그를 취한 값들과 핵심 설명변수인 1인당 실질 소득에 로그를 취한 값들의 1990년에서 2007년까지의 추이

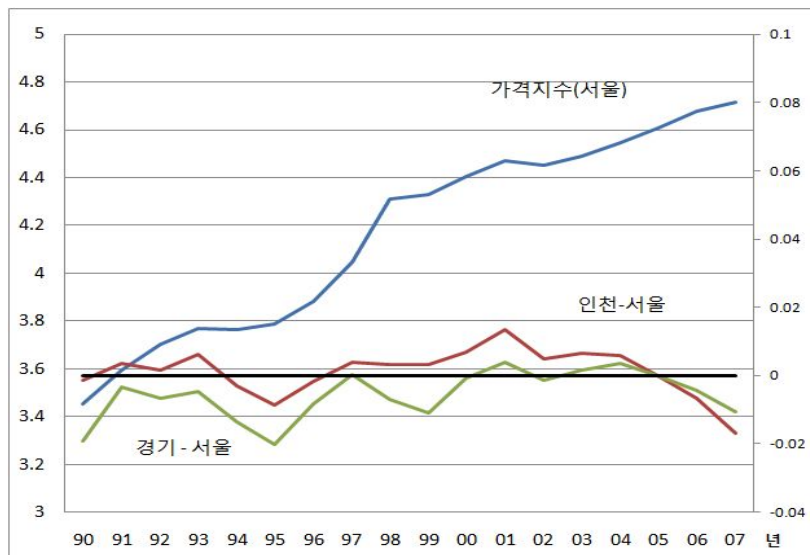


〈그림 1〉 1인당 이산화탄소(CO₂) 배출량과 1인당 실질지역총생산액(GRDP) 추이

를 보여주고 있다. 실질소득의 경우 대체로 증가 추세이나 1997년 외환위기를 전후해서 몇 년에 걸친 소득의 감소가 나타나고 있다. 1인당 이산화탄소 배출량의 경우도 외환위기 이전까지 대체로 상승추세를 나타내고 있다가 외환위기 이후 실질소득의 감소에 따른 에너지 사용의 감소에 따라 이산화탄소의 배출 역시 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 실질 소득의 경우 외환위기 이후 N자 형태로 급속하게 회복되는 모습을 보이고 있는데 반해, 1인당 이산화탄소 배출량의 경우 실질소득에 비해 훨씬 완만한 형태로 충격에 반응하는 모습을 나타내고 있다. 서울의 1인당 이산화탄소 배출량의 경우 1990년부터 꾸준히 증가 추세를 보이며 1997년 4.90톤/명으로 정점에 이르렀다가 외환위기 이후 상당기간 하락추세로 돌아섰다. 2003년 3.68톤/명을 저점으로 다시 상승하고 있으나 2007년에 이르러서도 4.04톤/명을 기록하면서 외환위기 이전 수준에 한참 못 미치고 있다. 경기도의 경우에는 1996년에 6.35톤/명으로 정점에 이르

고 1997년부터 6.33톤/명으로 다소 감소하면서 감소추세로 돌아섰고, 1998년 가파른 감소 이후 대체로 상승추세를 보이고 있다. 2007년에 이르러서는 6.46톤/명으로 외환위기 이전 수준을 넘어선 상태이다. 인천은 1995년 9.51톤/명으로 정점에 이른 후 1996년부터 감소추세로 돌아섰으며, 경기도와 마찬가지로 1998년 가파른 감소 이후 다시 상승추세를 나타내지만 2005년 9.60톤/명을 정점으로 다시 완만하게 하락하는 모습을 나타내고 있다.

이처럼 외환위기 이후 1인당 이산화탄소 배출량의 추이가 1인당 소득의 추이와는 다른 모습을 나타내는 이유는 외환위기 전후 환율의 큰 폭의 변화로 인해 대부분을 수입에 의존하는 석유류 등의 가격 상승이 일정부분 영향을 미쳤을 것으로 예측해볼 수 있다. 즉 실질 소득은 외환위기 충격에서 빠른 속도로 회복되고 있었으나 고환율이 상당기간 지속됨으로 인해 이산화탄소 배출원의 가격 상승이 일정부분 이산화탄소 배출량의 증가를 억제하는 역할을 한 것으로 예상할 수 있다. 따라



〈그림 2〉 가격지수 추이

서 EKC 추정을 위해서는 이러한 이산화탄소 배출원의 가격 상승으로 인한 영향을 적절히 통제해야만 하며, 이를 위해 적절한 가격지수를 설명변수로 포함시키는 것이 요구된다. 이러한 목적으로 지역별 소비자물가지수를 구성하는 항목들 중 전기료, 가스료, 연료를 포함하는 광열 물가지수와 차량연료 물가지수를 이용하여 적절한 가격 지수를 구축하였다. 즉 지역별 광열 물가지수와 차량연료 물가지수를 가중 평균하여 가격 지수를 계산하되, 그 가중치는 소비자물가지수 계산과정에서 사용되는 품목별 가중치를 사용하였다.

〈그림 2〉는 이렇게 계산된 가격 지수에 로그를 취한 값의 추이를 나타내고 있다. 실제 서울, 경기, 인천 지역의 가격지수의 추이는 매우 유사하며 그 차이는 상대적으로 작아 세 지역의 추이 그래프는 거의 겹치게 나타나게 된다. 따라서 이 그림에서는 서울에 대해서만 가격지수 추이를 나타내고 경기와 인천의 경우 서울의 가격지수와 차이를 별도의 눈금으로 나타냈다. 왼쪽 X축은 서울의 가격

지수 추이, 오른쪽 X축은 이러한 서울의 가격지수와 인천 및 경기 지역의 가격지수 차이의 추이를 나타내고 있다. 이러한 석유류, 도시가스, 전기와 관련된 가격지수는 1990년에서 1998년까지 대체로 매우 가파른 상승률을 보이다가 이후 상대적으로 안정적인 상승률을 나타내고 있다. 특히 1997년에서 1998년 사이에 가장 높은 상승률을 나타내고 있으며, 여기에는 특히 환율의 큰 폭의 상승이 결정적 역할을 했다고 볼 수 있다. 지역 간의 차이는 상대적으로 미미하지만 인천의 경우 대체로 서울과 거의 비슷하거나 높은 수준인 반면, 경기지역은 서울에 비해 다소 가격지수가 낮은 수준에 머물러 온 것으로 나타나고 있다.

EKC 추정에 있어 기존 연구에서 통상적으로 설명변수로 포함하는 인구밀도에 대한 자료 역시 통계청 자료를 이용해 구축하였다. 인구밀도 계산에 필요한 인구자료는 주민등록 인구와 외국인등록 인구를 합하여 구하였는데, 다만 1991년의 경우 이용 가능한 인구자료가 없어서 1990년과 1992

〈표 2〉 자료의 주요 통계치

		평균	중간값	최대값	최소값	표준편차
1인당 CO ₂ 배출량 (톤/명)	서울	3.81	3.81	4.90	2.75	0.51
	인천	8.22	8.76	9.60	5.48	1.08
	경기	5.67	6.09	6.54	3.67	0.53
1인당 실질 GRDP (백만원/명)	서울	12.76	12.69	16.40	8.38	2.45
	인천	11.84	11.09	16.14	8.72	1.45
	경기	10.79	10.66	13.62	8.89	2.12
가격지수 (2005년=100)	서울	69.58	75.08	111.68	31.52	26.52
	인천	69.65	75.32	109.81	31.48	26.59
	경기	69.28	74.41	110.51	30.92	26.44
인구밀도 (명/km ²)	서울	17323.99	17144.18	18116.43	16972.14	385.92
	인천	2443.87	2545.82	2747.27	1842.89	267.95
	경기	872.28	873.60	1119.76	607.82	166.19

출처: 통계청 홈페이지(www.kosis.kr), 자체 계산

년의 평균값으로 추정하였다.

〈표 2〉는 이와 같이 구축된 주요 변수의 기본 통계치를 서울, 인천, 경기도에 대해 각각 제시하고 있다. 1인당 이산화탄소 배출량의 경우 1990년에서 2007년 사이에 인천이 1인당 8.22톤으로 평균적으로 가장 높게 나타나고 있고, 이어 경기도와 서울 순으로 나타나고 있다. 1인당 실질 소득은 반대로 서울이 1,276만원으로 가장 높게 나타나고 있으며, 이어 인천, 경기 순으로 나타나고 있다. 가격지수의 경우에는 경기도가 가장 높은 것으로 나타나고 있으나 세 지역에 있어서 큰 차이를 보이고 있지는 않다.

III. 추정 모형 및 추정 결과

본 연구는 수도권 3개 지역의 이산화탄소 배출에 있어서 EKC를 추정하고 비교하는 데 목적이 있는 만큼 각 지역에 대한 개별 EKC를 추정하고자 한다. 하지만 수도권 3개 지역은 각종 산업 및 경제 관련 규제 정책에 있어서 한 묶음으로 취급되는 측면이 매우 크며, 경제적 연관성도 매우 높은 만큼 각 지역 이산화탄소 배출량 간의 상호 영향을 허용하는 다음의 식 (1)로 주어지는 SUR (Seemingly Unrelated Regression) 모형에 의한 추정이 보다 효과적인 추정모형이라 할 수 있다

$$\begin{aligned} \log(co2_{jt}) = & \beta_{0j} + \beta_{1j}\log(gdp_{jt}) + \\ & \beta_{2j}[\log(gdp_{jt})]^2 + \\ & \beta_{3j}\log(pr_{jt}) + \\ & \beta_{4j}\log(den_{jt}) + \epsilon_{jt} \end{aligned} \quad (1)$$

j=서울, 인천, 경기, t=1990, ..., 2007

여기서 $co2$ 는 1인당 이산화탄소 배출량, gdp 는 1인당 실질 소득, pr 은 이산화탄소 배출원의 가격지수, den 은 인구밀도를 나타낸다. 로그-로그(log-log) 모형의 사용을 통해 설명변수의 탄력성이 일정함을 가정하였다. 예컨대, β_{3j} 는 j 지역의 1인당 이산화탄소 배출량의 가격탄력성을 나타내게 된다. 여기서 $\beta_{1j} > 0$, $\beta_{2j} < 0$ 인 경우 EKC가 존재한다고 할 수 있고, 이 경우 EKC 전환점, 즉 1인당 이산화탄소 배출량이 소득증가에 따라 하락하기 시작하는 1인당 실질 소득 수준은 다음과 같이 계산된다.

$$gdp_j^* = \exp\left(-\frac{\beta_{1j}}{2\beta_{2j}}\right) \quad (2)$$

SUR 모형은 3개 지역에 대해 이러한 탄력성이 서로 차이가 나는 것을 허용하면서도, 오차항들이 동일한 시점들에 있어서 상관되어 있음을 가정하게 된다. 즉 특정 연도 t 에 대해 $Cov(\epsilon_{서울t}, \epsilon_{인천t}) \neq 0$, $Cov(\epsilon_{서울t}, \epsilon_{경기t}) \neq 0$, $Cov(\epsilon_{경기t}, \epsilon_{인천t}) \neq 0$ 임을 가정하는 것이다. 이러한 동시적 상관(contemporaneous correlation)의 존재는 오차항에 포함되어 있는 1인당 이산화탄소 배출량에 대한 영향 요인들이 유사할 것이라는 데서 정당화될 수 있다. 즉 세 지역의 경제적 연관성, 각종 산업 및 경제 규제 정책의 유사성 등을 감안할 때 설명변수에 포함되지 않은 1인당 이산화탄소 배출량에 대한 영향 요인들이 유사할 것이며 이로 인해 이들 오차항 간에 상관관계가 존재할 것으로 볼 수 있다. 예컨대, 수도권의 공장 신설에 대한 규제 정책은 이 3개 지역 모두에 적용되는 만큼 이러한 규제 정책의 강화 또는 완화가 1인당 이산화탄소 배출에 대해 미치는 영향은 이 3개 지역에

<표 3> 추정결과-SUR모형

	서 울		인 천		경 기	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
log(gdp)	11.29 *** (0.000)	10.58 *** (0.000)	16.96 ** (0.017)	13.49 ** (0.033)	14.14 *** (0.000)	10.89 *** (0.000)
[log(gdp)] ²	-2.19 *** (0.000)	-2.06 *** (0.000)	-3.35 ** (0.024)	-2.51 * (0.056)	-2.68 *** (0.000)	-2.13 *** (0.000)
log(pr)		-0.12 (0.339)		-0.31 ** (0.024)		-0.46 *** (0.000)
log(den)		-3.06 ** (0.023)		0.24 (0.615)		1.40 (0.000)***
Adjusted R ²	0.67	0.71	0.62	0.79	0.86	0.92
관측치수	18	18	18	18	18	18
전환점(백만원)	13.13	13.09	12.53	14.66	13.94	12.92

주) 괄호 안은 p-값이며, ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10% 유의수준에서 해당 추정계수가 통계적으로 유의함을 나타냄.

대한 오차항에 모두 포함되어 동시적 상관을 나타내게 된다. 뿐만 아니라 어느 한 지역, 예컨대 서울 지역에서 다른 지역과 비교할 때 공장 신설에 대해 보다 엄격하게 규제하는 경우 이는 서울 지역의 이산화탄소 배출을 줄이는 동시에 밀접한 주변 지역인 인천과 경기 지역의 이산화탄소 배출을 늘리는 요인이 될 수 있다. 이는 서울에 대한 오차항과 인천과 경기 지역의 오차항 간의 음(-)의 상관관계의 형태로 동시적 상관을 나타내게 된다. 이처럼 음이든 양이든 동시적 상관이 존재하는 경우 각 지역에 대한 추정식을 개별적으로 추정하는 것보다 동시적 상관에 존재하는 정보를 활용하기 위해 이들 방정식을 결합적으로 추정하는 경우보다 효과적인 추정이 될 수 있다.

<표 3>의 (B)열들은 식 (1)로 주어지는 SUR모형에 대한 일반 최소제곱 추정(Generalized Least Square) 결과를 나타내고 있다. 추정 결과 나타난 EKC에 대한 강건성(robustness)의 확인을 위해 가격지수나 인구밀도를 설명변수에서 제외한 추

정식도 함께 추정하여 그 결과를 (A)열에 나타냈다. 표의 맨 아래 줄에는 식 (2)에 의해서 계산된 EKC 전환점을 나타내고 있다.

우선 (B)열의 결과들을 통해 3개 지역의 모든 추정결과에 있어서 통계적으로 뚜렷하게 유의한 EKC의 존재를 확인할 수 있다. 또한 (A)열과 (B)열의 비교를 통해 가격지수나 인구밀도와 같은 추가적 설명 변수의 포함여부가 EKC의 존재나 전환점에 커다란 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다.

지역별로 살펴보면, 우선 서울의 경우, 전환점은 1인당 실질 소득 1,309만원 수준으로 나타나고 있으며, 가격지수의 영향은 나타나지 않고 있다. 인구밀도의 증가가 오히려 1인당 이산화탄소 배출량을 줄이는 것으로 나타나는데, 이는 서울과 같이 인구밀도가 매우 높은 수준에 있는 거대도시의 경우 인구밀도의 증가가 교통시스템이나 주거시스템의 효율화를 통해 에너지 소비의 효율성을 증대하는 결과를 나타내기 때문인 것으로 해석된

다. 인천의 경우 전환점이 1,466만원 수준으로 나타나고 있으며, 가격지수의 영향이 통계적으로 유의하게 나타나고 있다. 하지만 가격지수 1%의 상승이 1인당 이산화탄소 배출량을 0.31% 감소시키고 있어, 상당히 비탄력적인 것으로 나타났다. 반면에 인구밀도는 유의한 영향이 나타나지 않고 있다. 경기의 경우 전환점은 1,292만원 수준으로 나타나고 있으며, 가격지수의 영향 역시 통계적으로 유의하게 나타나고 있다. 가격탄력성은 0.46으로 여전히 비탄력적이지만 인천에 비해서는 탄력적인 것으로 나타나고 있다. 서울과는 달리 인구밀도의 증가가 1인당 이산화탄소의 배출을 증가시키는 것으로 나타나고 있다. 경기, 인천, 서울의 인구밀도의 차이를 감안하면 이는 1인당 이산화탄소의 배출이 인구밀도의 증가에 대해서도 역 U자 형태를 보일 가능성을 시사하는 것이기도 하지만 보다 정확한 분석을 위해서는 더욱 풍부한 자료가 필요할 것이다.

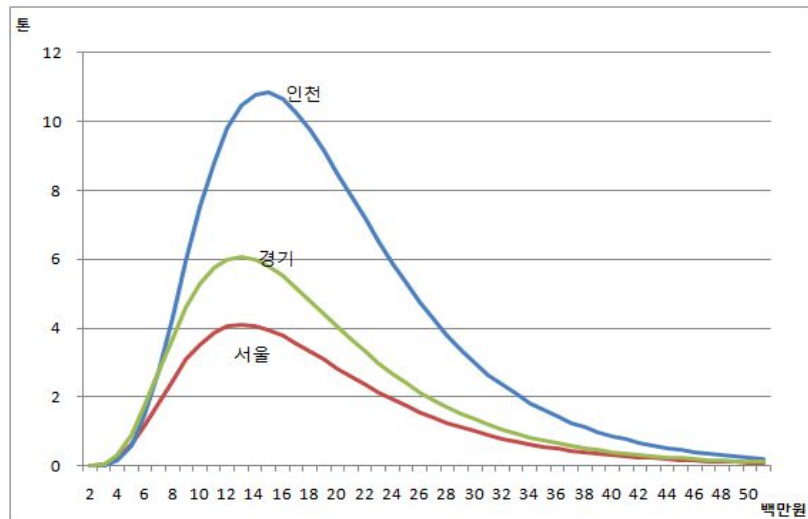
〈그림 3〉은 식 (1)에 대한 지역별 추정결과를 바탕으로 1인당 실질 소득과 1인당 이산화탄소 배

출량 간의 관계를 보여주고 있다. 이 그림은 추정식 (1)에 바탕을 둔 다음의 식에 의해 도출되었다.

$$\widehat{co2_{jt}} = \exp \left\{ \widehat{\beta}_{0j} + \widehat{\beta}_{1j} \log(gdp_{jt}) + \widehat{\beta}_{2j} [\log(gdp_{jt})]^2 + \widehat{\beta}_{3j} \log(\overline{pr_j}) + \widehat{\beta}_{4j} \log(\overline{den_j}) \right\} \quad (3)$$

j=서울, 경기, 인천, t=1990, ..., 2007

즉 추정식 (1)에서 인구밀도와 가격 지수는 지역별 평균값($\overline{pr_j}$, $\overline{den_j}$)을 사용하여 대입하였으며, 1인당 실질 소득이 200만원에서 5,000만원 사이에서 변화할 때 1인당 이산화탄소 배출량의 로그값을 식 (1)의 추정식으로부터 계산하고 여기에 다시 지수함수를 적용하여 1인당 이산화탄소 배출량을 계산하였다. 이 그림은 무엇보다도 앞서 계산한 소득 전환 전후의 1인당 이산화탄소 배출량의 추이를 보여주고 있다. 성장 초기에는 1인당 소득 증가에 따라 1인당 이산화탄소 배출량이 매



〈그림 3〉 추정결과로부터의 1인당 실질 소득과 1인당 이산화탄소 배출량 간의 관계

우 급격하게 증가하다가 전환점 이후에는 소득 증가에 따라 상대적으로 완만하게 배출량이 감소하는 모습을 나타냄을 알 수 있다.

IV. 결론 및 시사점

본 논문은 1990년에서 2007년까지의 서울, 인천, 경기 등 수도권 3개 지역에 대해 구축된 자료를 바탕으로 1인당 이산화탄소 배출량에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선(EKC)의 추정을 시도하였다. 우리나라 전체 경제에서 수도권에 차지하는 높은 비중과 경제 및 산업과 관련된 수도권에 대한 별도의 규제정책 수립은 경제성장과 환경 문제와 관련하여 수도권 지역에 대한 별도의 분석을 요구한다. 이를 위해 이산화탄소 배출원인 석유류, 도시가스, 전력 등에 대한 지역별 소비량에 석유환산계수 및 탄소배출계수를 적용하여 지역별 이산화탄소 배출량을 계산하였다. 또한 수도권 3개 지역의 높은 경제·산업적 연관성을 지역별 EKC의 추정에 있어서 고려하기 위해 SUR(Seemingly Unrelated Regression) 모형을 사용하였다.

추정결과, 3개 지역 모두에 있어서 통계적으로 유의한 EKC가 존재하고, 그 소득 전환점들은 1인당 실질 소득 1,309만원에서 1,466만원 사이에 놓여 있는 것을 확인할 수 있었다. 서울의 경우 소득 전환점 1,309만원을 2000년에 지났으며, 경기의 경우도 소득 전환점 1,292만원을 2002년에 지났다. 다만 인천의 경우 전환점이 1,466만원으로 다소 높게 나타났으며, 2007년 시점에서도 전환점에 못미치고 있다. 하지만 실질 소득의 증가추세를 감안하면 수년 내에 이 전환점 역시 지날 것으로 기대할 수 있다. 이러한 전환점은 이산화탄소 배출에 대한 EKC를 확인했던 기존 연구들에서 제시

했던 소득 전환점들과 많은 경우에 있어서 크게 다르지 않아 상당히 신뢰할 만하다. 앞서 살펴본 바와 같이, 분석 대상 선진국의 소득전환점이 평균 11,426달러라고 추정하였던 Unruh and Moomaw (1998)와 유사한 수준이며, OECD 회원국의 소득 전환점을 15,697~16,487달러로 추정하였던 Galeotti et al.(2006)과 비교해도 다소 작지만 크게 차이가 나지는 않고 있다. 국내 연구의 경우도 28개의 OECD 국가를 대상으로 13,700~16,764달러의 소득전환점을 추정한 최충익·김지현(2006) 등과도 유사하다.

이산화탄소 배출원인 석유류, 도시가스, 전력에 대한 소비자물가지수를 이용하여 구축한 가격지수의 영향은 경기와 인천의 경우 통계적으로 유의한 부정적 영향을 나타낸 반면, 서울의 경우 이러한 가격지수의 영향은 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 최근에 석유류를 중심으로 한 에너지원의 가격 상승이 1인당 이산화탄소의 배출량을 줄이는 데 일정부분 기여한 것으로 볼 수 있으나, 가격탄력성은 상당히 비탄력적인 것으로 나타나고 있다. 인구밀도의 경우 가장 인구밀도가 낮은 경기의 경우 인구밀도의 증가가 1인당 이산화탄소 배출량을 늘리는 반면, 인구밀도가 매우 높은 서울의 경우 반대로 인구밀도의 증가가 1인당 이산화탄소 배출량을 줄이는 감소시키는 것으로 나타나고 있다. 이는 인구밀도 역시 일정 수준 이상이 되면 대중교통시스템이나 주거시스템의 효율화가 진전되고 이를 통해 에너지 소비의 효율성이 증대되기 때문으로 해석될 수 있다.

결국 수도권 지역의 경우 1인당 이산화탄소 배출량이 지속적인 성장 과정에서 정점을 지나 감소 추세로 돌아서거나 단시일 내에 돌아설 것으로 볼 수 있으며, 이러한 추세는 최근 우리 정부뿐 아니

라 전 세계적으로 추진 동력을 얻고 있는 신재생 에너지의 사용을 중심으로 한 소위 녹색성장의 추진과정에서 더욱 강화될 전망이다. 다만 소득 전환점 측면에서는 3개 지역이 큰 차이를 보이지 않는 반면, 소득 전환점에 대응되는 1인당 이산화탄소 배출량의 크기는 3개 지역 간에 큰 차이를 나타내고 있다. <그림 3>에서도 알 수 있듯이 특히 인천의 경우에는 소득전환점에 대응하는 1인당 이산화탄소 배출량의 크기가 서울의 2.5배 이상이며, 경기 지역도 서울에 비해 50%가량 크다. 이는 인천의 경우 추정된 EKC가 시사하는 속도보다 훨씬 빠르게 1인당 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있는 정책이 고려될 필요가 있음을 시사한다. 이와 관련해서는 지역별로 이산화탄소 배출요인이 상이하다는 점에 주목할 필요가 있다 즉, 녹색연합(2008)에 따르면 서울의 경우에는 2006년 전체 이산화탄소 배출량 중 가정상업부문의 비중이 64%에 달하는 반면, 산업부문의 비중은 5%에 불과하다. 반면에 경기도의 경우에는 산업부문이 33%, 인천의 경우에는 수송부문이 47%를 차지하고 있다. 이러한 사실에 비추어 볼 때, 결국 수송부문에서의 이산화탄소 배출을 억제하는 정책을 수도권 지역에서 시행하는 경우에 인천 지역에 대한 효과가 가장 클 것으로 기대할 수 있다.

마지막으로 본 연구는 수도권 지역의 EKC 추정에 있어서 소기의 성과에도 불구하고 여러 가지 한계를 갖고 있으며, 이에 대한 논의와 향후 연구주제를 탐색하는 것으로 마무리하고자 한다. 우선 본 논문의 바탕이 되는 이산화탄소 배출량에 대한 추정치는 엄밀성 측면에서 일정 부분 한계가 존재할 수밖에 없다. 실사에 기초하여 산정된 우리나라 고유의 탄소배출계수가 아직 없기도 하고, 이산화탄소 배출원들에 대한 완전한 고려가 이루어

지지도 않았기 때문이다. 이와 관련하여서는 국가적 차원에서 이산화탄소 배출량의 계산과 관련된 기준과 원칙 및 방법론을 정립하고 자료를 꾸준히 축적하는 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한 이상의 분석은 이산화탄소 배출 총량에 대한 것이며 이산화탄소 배출 요인과 연계된 분석 및 정책적 논의는 이루어지지 않고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 실제로 지역별로 이러한 배출 요인은 상이하며, 이러한 배출 요인별 차이가 3개 지역의 이산화탄소 배출량 추이의 차이와 관련하여 추가적 설명을 제공할 수도 있을 것이다. 하지만 당장에는 이러한 자료가 일정 기간에 시계열로 구축되지 못하여 앞으로의 연구과제로 남겨둘 수밖에 없겠다. 끝으로 이상의 분석은 정확히 어떠한 요인이 우리나라의 1인당 이산화탄소 배출량에 있어 EKC를 만들어 내는지를 규명하지는 못하고 있다. 다만 외환위기 이후 환율 충격으로 인해 석유류를 중심으로 한 이산화탄소 배출원의 가격 급등이 직접적으로 1인당 이산화탄소 배출량을 감소시켰을 뿐 아니라, 신재생에너지 이용이나 에너지 효율성의 증가를 위한 투자 및 기술혁신 등을 가속화시켰을 것으로 추측할 수 있고, 이러한 투자와 기술혁신이 EKC를 만들어 낸 것으로 볼 수도 있다. 이는 외환위기 이후 1인당 실질소득은 N자형으로 빠르게 회복한 데 반해 1인당 이산화탄소 배출량은 외환위기 이전과는 달리 매우 완만하게 실질 소득의 증가에 반응하고 있는 모습에서 추측해 볼 수 있다. 하지만 실제 우리나라에서 EKC를 만들어 내는 요인의 규명을 위해서는 소득 증가에 따라 이산화탄소 배출을 줄이는 방향의 기술개발이나 투자가 얼마나 이루어져왔고 또 얼마나 효과적이었는가에 대한 별도의 정량적 자료 수집과 분석을 필요로 하며, 이는 향후의 흥미로운 연구주제가

될 것이다.

참고문헌

- 김정인 · 김진욱 · 박창원, 1999, “주요 OECD 국가의 환경쿠즈네츠곡선 검증”, 『환경경제연구』, 8(1): 77~108.
- 김지욱, 2002, “확률계수모형을 이용한 수도권지역의 환경쿠즈네츠가설에 관한 재고찰”, 『자원 · 환경경제연구』, 11(3): 377~396.
- 녹색연합, 2008, 『Local CO₂ 다이어트: 광역지자체 기후변화대응 현황과 전략』.
- 에너지경제연구원, 각 연도, 『지역에너지통계연보』.
- 정근오 · 정영근, 2004, “경제성장과 이산화탄소 배출에 관한 다국가 비교분석”, 『산업경제연구』, 17(4): 1077~1098.
- 조상섭 · 강신원 · 김동엽, 2001, “비정태적 패널자료를 이용한 환경 쿠즈네츠가설에 대한 실증분석: OECD 17개국 사례분석”, 『자원 · 환경경제연구』, 10(4): 619~632.
- 최충익 · 김지현, 2006, “경제성장과 환경오염간의 관계에 대한 국제비교연구: CO₂의 환경쿠즈네츠곡선 검증을 중심으로”, 『국토계획』, 41(1): 153~166.
- Agras, J. and Chapman, D., 1999, “A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis”, *Ecological Economics*, 28(2): 267~277.
- Dinda, S., 2004, “Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey”, *Ecological Economics*, 49: 431~455.
- Galeotti, M. and Lanza, A., 1999, “Richer and cleaner? A study on carbon dioxide emissions by developing countries”, *Energy Policy*, 27: 565~573.
- Galeotti, M., Lanza, A., and Pauli, F., 2006, “Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise”, *Ecological Economics*, 57: 152~163.
- Galeotti, M., Manera, M., and Lanza, M., 2009, “On the Robustness of Robustness Checks of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis”, *Environmental Resource Economics*, 42: 551~574.
- Grossman, G. and Krueger, A., 1991, “Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement”, NBER Working Paper, 3914.
- Halkos, G. E. and Tsionas, E. G., 2001, “Environmental Kuznets curves: Bayesian evidence from switching regime models”, *Energy Economics*, 23: 191~201.
- Holtz-Eakin, D. and Selden, T. M., 1995, “Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth”, *Journal of Public Economics*, 57: 85~101.
- Kim, J. H., 1999, “Does an Environment Kuznets Curve Exist in Korea's Case?”, *Journal of Environment Policy and Administration*, 7(1): 169~192.
- Poudel, B. N., Paudel, K. P., and Bhattarai, K., 2009, “Searching for an Environmental Kuznets Curve in Carbon Dioxide Pollutant in Latin American Countries”, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(1): 13~27.
- Schmalensee, R., Stoker, T. M., and Judson, R. A., 1998, “World carbon dioxide emissions: 1950~2050”, *Review of Economics and Statistics*, 80: 15~27.
- Shafik, N., 1994, “Economic development and environmental quality: an econometric analysis”, *Oxford Economic Papers*, 46: 757~773.
- Unruh, G. and Moomaw, W., 1998, “An Alternative analysis of apparent EKC-type transitions”, *Ecological Economics*, 25: 221~229.

원 고 접 수 일 : 2009년 8월 6일
1차심사완료일 : 2009년 9월 2일
최종원고채택일 : 2009년 9월 13일