

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

김용빈*

요 약

대기오염 감축에는 많은 비용이 소요되며 이는 결국 경제성장의 저해요인으로 크게 작용할 수 있기 때문에 최근 대기오염을 감축 또는 피해를 최소화하는 정책들이 실시되고 있다. 따라서 경제 성장과 대기오염간의 관계를 환경쿠즈네츠곡선(EKC)가설을 이용하여 면밀히 살펴볼 필요가 있다.

본 연구는 1980 ~ 2012년까지의 OECD 34개국을 대상으로 1인당 GDP와 환경오염물질(황산화물, 질소산화물, 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 온실가스)간의 관계를 EKC이론을 바탕으로 사회적 비용과 수입원유가격, 인구밀도, 정부소비비중, 무역의존도 변수를 추가하여 탄력성을 추정하였다. 변수는 로그 변환을 하였으며, 고정효과 패널 분석기법을 이용하여 분석하였다. 주요 본 논문의 분석결과는 적절한 부호와 통계적으로 유의한 계수값으로 역U자형, N자형, 계속증가 형태의 EKC곡선이 추정되었으며, 오염 물질별 소득 전환점(GDP)을 계산하여 제시하였다. 본 논문이 제시한 분석결과는 각 오염원별 오염방지를 위한 연구와 정책에 참고 및 비교할 수 있는 자료가 될 것이다.

주요 단어 : 환경쿠즈네츠곡선, 에너지, 사회적비용, 탄력성, 고정효과모형
경제학문헌목록 주제분류 : B030902 사회과학-경제학-분야별경제-자원/환경경제

* 서울시립대, subaq725@uos.ac.kr

I. 서 론

인간의 생명 유지에 가장 필수적인 요소 중 하나는 ‘공기’이다. 산업 발달과 인구의 도시 집중화로 인해 인구 밀도가 높은 도시의 공기는 매연과 유해가스로부터 기인한 심각한 대기오염이 진행 중이다. 심각한 대기 오염은 건강상 피해뿐만 아니라 농업과 임업, 공업 등 모든 산업에 경제적인 피해와 재산상의 피해를 초래할 뿐만 아니라 지구 기후까지도 변화시키고 있다.

과거 산업화 과정에서 우리나라의 환경오염 문제는 급격한 경제 발전 속에 가려져 주요한 쟁점이 되지 못하였다. 하지만 1996년 OECD 가입과 최근 G20 회의 개최 등을 통해 선진국으로 나아가기 위한 경제발전 속에서 등한시 해 온 환경오염문제를 처리하고 해결해야하는 입장이 되었다.

국제적으로는 지구 온난화의 주된 요인 중 하나인 이산화탄소 배출량을 감축하기 위하여 2005년 교토의정서 발표 이후 국가별로 점차적인 감축의무를 이행하고 있다. 현재 우리나라는 지난해 이산화탄소 배출량이 1인당 11.85톤으로 세계 6위에 올라 배출 수준이 심각하다. 이에 2015년부터 탄소배출권 거래 제도를 시작하는 등 온실가스 감축에 적극 동참하는 정책을 시행하고 있다.

앞으로 지속가능한 경제 발전 과정 속에서 환경이라는 요소는 반드시 고려해야하는 대상이 되어야 한다. 이에 환경오염의 수준과 경제발전을 대변하는 소득수준(GDP, 경제성장)과의 관계를 설명하기 위한 실증분석들이 1990년대부터 꾸준히 제시 되고 있다. 실증분석의 기본적인 가정은 ‘소득수준이 적은 경제발전 초기에는 환경재를 공공재가 아닌 사적재로 간주하기 때문에 심각한 환경오염 악화를 보이지만 어느 정도의 소득수준에 도달하게 되면 사회적으로 well-fare에 대한 관심 증가로 점점 환경이 개선될 것이다.’이다. 위의 가정은 소득수준(경제성장)과 환경오염 간의 역 U자형의 관계가 있다는 것을

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

의미하며, 이는 환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)의 이론과 일치한다. 경제 발전이 지속됨에 따라 1차 산업(농업)에서 2차 산업(제조업), 이후 3차 산업(서비스업)으로 발전하면서 소득수준은 높아지게 되며 이와 동시에 각 산업별로 기술 발전을 이루면서 환경개선에 대한 노력과 투자는 증가하게 된다는 점과 점차 증가하는 국민 환경 질의 향상을 위한 요구는 환경쿠즈네츠곡선의 이론을 설명함에 힘을 실어 준다.

본 연구는 OECD 34개국을 대상으로 산업발전과 밀접한 관련이 있는 오염물질인 황산화물, 질소산화물, 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 온실가스의 배출량 감축을 위한 정책을 제시하려고 한다. 환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)을 바탕으로 경제성장(소득수준,GDP)과 환경오염물질별 배출량 변화에 대한 분석을 하였다. 더불어 전환점의 소득 수준을 계산함과 동시에 에너지 가격의 대표인 원유가격을 중심으로 오염물질별 사회적비용의 탄력성을 추정하여 의미 있는 결과를 도출하였다. 따라서 본 연구는 OECD 국가들의 올바른 정책적 함의를 위하여 필수적인 역할을 할 것이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 본문Ⅱ.에서는 관련 이론인 환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)과 앞선 선행연구를 검토한다. 본문Ⅲ.에서는 분석 모형 및 방법론을 제시하고 설명한다. 본문Ⅳ.에서는 실증분석을 통하여 결과를 도출한다. 본문Ⅴ.에서는 분석결과의 요약과 정책적 시사점을 제언한다.

Ⅱ. 선행연구 분석

환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)은 경제성장을 통한 소득의 증가는 환경오염문제의 원인이 되며 동시에 지속적인 경제성장을 이룬다는 가정 하에 환경오염문제 개선의 치료책이 된다는 것을 보여준다. 대부

분의 선행연구에서는 환경쿠즈네츠곡선(EKC)은 2차 형태의 함수모양을 갖는다는 가정을 가지고 분석한다. 환경쿠즈네츠곡선의 2차 형태 함수 모양은 경제성장이 지속되면서 환경오염은 어느 지점까지는 증가하지만 그 이후로는 감소한다는 이론을 설명하기에 적합하며 소득 전환점까지 구할 수 있기 때문에 많이 사용하여 왔다. 하지만 De Bruyn(1997)과 Galeotti and Lanza(1999)는 몇몇 국가의 경우 소득증가에 따라 환경오염 정도가 감소하다가 다시 증가하는 N자형 곡선이 도출되어 반드시 역 U자 형태만 나타내어지지 않는다는 사실을 보여준다. Holtz - Eakin and Seldon(1995)은 Forecast method를 사용하여 GDP성장의 빠름과 느림의 두 경우와 4가지의 CO₂방출 경우를 각각 분석하였는데 분석 결과 역 U자 형태를 확인하였지만, 이산화탄소 배출량은 점점 증가한다는 것을 예측하였다. 이는 N자 형태가 나타나는 것을 확인해볼 필요가 있다는 점을 보여준다. 또한 Dasgupta et al.(2002)에서는 <그림 1>과 같은 전환점 없이 환경오염이 꾸준히 증가하는 형태와 일정량의 환경오염수준에 도달한 후 미세한 증가와 감소를 유지하는 형태(저자는 이를 Race to the bottom이라고 함)인 환경쿠즈네츠곡선이 발견되는 경우도 있다고 제시하였다. 국내논문에서는 최충익, 김지현(2006)은 일부 선진국의 경우 소득증가에 따라 환경오염정도가 감소하다가 다시 증가하는 N자 형태의 관계를 보여주는 것을 확인하였으며 소득 전환점은 평균적으로 11,426달러라는 결과를 얻었다. 정군오, 정영근(2004) 또한 CO₂를 대상으로 환경쿠즈네츠 곡선의 N자 형태를 검증하기 위하여 3차식을 사용하였다.

환경쿠즈네츠곡선(EKC)의 소득 전환점을 살펴보면 Seldon and Song(1994)는 SPM, SO₂, NOx, CO의 배출량을 분석하여 9,000 ~ 10,000달러, Grossman and Krueger(1994)는 SPM, SO₂, BOD, COD(수질)의 배출량을 분석하여 8000달러 이하, Unruh and Moomaw(1998)은 CO₂의 배출량을 분석하여 8,884 ~ 15,425달러로 평균 11,426달러로 추정하였다.

Agras and Chapman(1999)에서는 에너지 가격은 환경쿠즈네츠곡선(EKC)을 분석하는데 중요한 요인이라고 생각하여 이를 실증 분석하였으며, 가솔린 가격

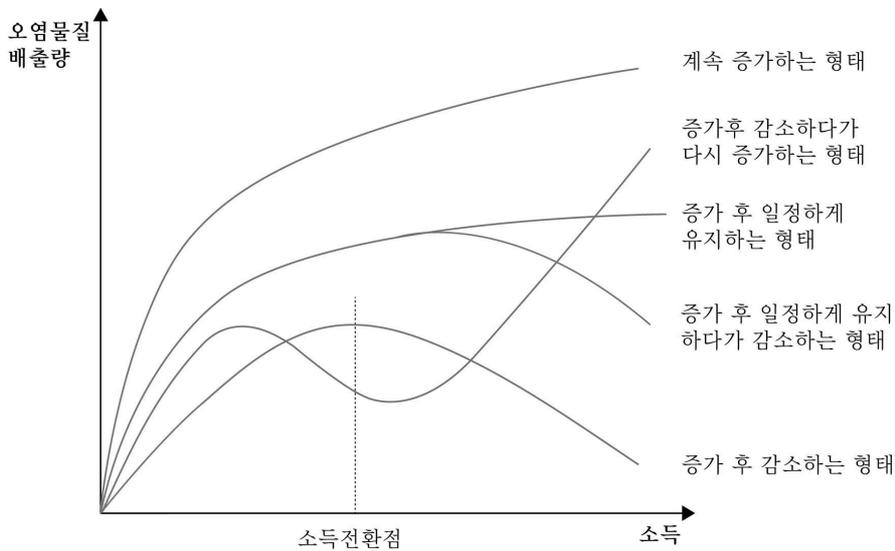
변화에 대한 탄력성은 -0.49로 나타났다. 소득탄력성을 살펴보면 Schmalensee et al.(1998)은 GDP 9,799 ~ 19,627달러 범위 내에서 CO₂배출량의 탄력성은 -0.30, 에너지소비의 탄력성은 -0.22인 (-)값으로 유의하게 추정되었다.¹⁾ 국내의 연구로 유명철(2001)은 이산화탄소 배출량과 소득과의 관계를 살펴보았으며 소득탄력성은 0.72, 0.71, 0.74의 값을 도출하였고, 이에 저자는 OECD 국가 간의 이산화탄소 배출량의 차이는 국가 간의 소득탄력성의 차이보다는 기후, 지형적 위치, 천연자원 부존량, 산업구조, 환경 규제 정책 등과 같은 국가 고 유효효과 차이 때문일 것이라는 주장을 하였다. 최충익, 김지현(2006) 또한 이산화탄소 배출량과 에너지 소비의 탄력성이 (-)값으로 추정됨을 보였다. 김재혁 외 (2015)은 106개 국가의 CO₂ 배출량과 GDP의 탄력성을 공적분 회귀식과 ARDL(0,1) 모형으로 분석하였으며, 각 나라별 경제 구조적 변화시점을 추정하고 단기 소득탄력성과 장기 소득탄력성을 추정하였다. 단기보다 장기탄력성이 월등히 높은 수치를 나타내었으며, 유럽 국가들은 단기 소득탄력성은 (-)로 나타났지만 장기 소득탄력성도 평균에 비해 매우 작은 수치를 나타내어 유럽에서는 소득이 일정 수준 이상일 때, 경제 성장이 환경오염을 개선시킨다는 환경 쿠즈네츠곡선가설이 성립할 수 있다는 의미있는 결과를 보였다. Zaim and Taskin(2000)은 목적함수와 제약식을 바탕으로 environmental efficiency index의 식을 도출하였으며, GDP의 3차식을 설정하고 without manufacturing share와 with manufacturing share의 경우로 나누어 환경 쿠즈네츠 곡선 추정하였고, 결론에 분석 방법에 따라 서로 상이한 결과 값이 나타날 수 있다고 언급하였다. 즉, 환경쿠즈네츠 곡선 추정에 다양한 방법이 존재하며 결과의 해석에 주의해야한다.

앞선 선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 OECD 34개국을 대상으로 하였으며, 이광훈(2012)에서 사용한 역 U자 형태만 추정한 한계를 벗어나기 위해 정균오, 정영근(2004)의 추정방법과 동일하게 각 환경오염물질별 배출량의 변화에 따른 역U자 형태뿐만 아니라 N자형태가 나타나는지의 유무를 확인하기

1) 해당 논문의 table2 참고

위하여 2차, 3차 모형을 설정하였다. 또한, Agras and Chapman(1999)에서는 에너지 가격은 환경쿠즈네츠곡선(EKC)을 분석하는데 중요한 요인이라고 하였으며 이에 본 연구에는 OECD 국가별 오일수입 가격변수를 추가하였다. 끝으로, 각 오염물질별로 사회적비용 변수를 새롭게 추가하여 나타나는 영향을 비교 분석하여 선행연구와 차별성을 두고자 한다.

[그림 1] 환경쿠즈네츠곡선의 다양한 형태



Ⅲ. 분석 모형 및 방법론

본 논문에서는 적절한 환경쿠즈네츠 곡선을 추정하기 위하여 로그모형과 선형모형으로 나누었다. 대기환경오염물질별로 어느 모형이 적합한지를 확인하기 위하여 N자형인 로그 3차식의 모형과 역 U자형인 로그 2차식의 모형을

비교할 것이며, 설명하지 못한 부분이 있는지를 확인하기 위해 로그 모형에서는 1차식을, 선형모형에서는 2, 3차식의 모형을 추가 설정하였다. 선형모형을 추가한 이유는 분석을 통해 추정한 환경쿠즈네츠 곡선과 실제 데이터로 분석한 산점도 그래프를 통하여 곡선 형태분석의 신뢰성을 높이고자 한다. 계량적으로 선형모형은 변수의 탄력성과 한계효과가 일정하다고 가정하며, 가공하지 않은 데이터를 사용하기 때문에 추정이 간단하다. 하지만 정균오,정영근(2004)은 대칭적인 관계를 나타내는 선형모형을 추정한 결과, 도출되는 역 U자형 곡선의 소득이 무한히 높아지면 오염배출량이 음(-)의 값을 나타낼 수 있다고 하였다. 이에 본 연구에서는 선형모형의 한계를 벗어나기 위하여 유의한 계수 값을 갖는 로그 2차 모형을 이용하여 환경오염물질별로 소득 전환점을 추정하였으며, 각 변수의 탄력성을 분석하기 위하여 로그 변형한 변수의 함수인 로그모형을 중심으로 분석하여 변수별 증가율을 살펴보고, 선형모형과 간략히 비교하고자 한다. 환경쿠즈네츠 곡선을 검증하기 위한 모형은 아래의 식으로 표현된다.

$$\log(E_{jt}) = \beta_0 + \beta_1 \log(gdp_{jt}) + \beta_2 \log(den_{jt}) + \beta_3 \log(oilpr_{jt}) + \beta_4 \log(Epr_{jt}) + \beta_5 \log(Trade) + \beta_6 \log(GC) + \alpha_j + \delta_t + \epsilon_{jt} \quad (1)$$

$$\log(E_{jt}) = \beta_0 + \beta_1 \log(gdp_{jt}) + \beta_2 [\log(gdp_{jt})]^2 + \beta_3 \log(den_{jt}) + \beta_4 \log(oilpr_{jt}) + \beta_5 \log(Epr_{jt}) + \beta_6 \log(Trade) + \beta_7 \log(GC) + \alpha_j + \delta_t + \epsilon_{jt} \quad (2)$$

$$\log(E_{jt}) = \beta_0 + \beta_1 \log(gdp_{jt}) + \beta_2 [\log(gdp_{jt})]^2 + \beta_3 [\log(gdp_{jt})]^3 + \beta_4 \log(den_{jt}) + \beta_5 \log(oilpr_{jt}) + \beta_6 \log(Epr_{jt}) + \beta_7 \log(Trade) + \beta_8 \log(GC) + \alpha_j + \delta_t + \epsilon_{jt} \quad (3)$$

$$E_{jt} = \beta_0 + \beta_1 (gdp_{jt}) + \beta_2 (gdp_{jt})^2 + \beta_3 (den_{jt}) + \beta_4 (oilpr_{jt}) + \beta_5 (Epr_{jt}) + \beta_6 (Trade) + \beta_7 (GC) + \alpha_j + \delta_t + \epsilon_{jt} \quad (4)$$

$$E_{jt} = \beta_0 + \beta_1 (gdp_{jt}) + \beta_2 (gdp_{jt})^2 + \beta_3 (gdp_{jt})^3 + \beta_4 (den_{jt}) + \beta_5 (oilpr_{jt}) + \beta_6 (Epr_{jt}) + \beta_7 (Trade) + \beta_8 (GC) + \alpha_j + \delta_t + \epsilon_{jt} \quad (5)$$

여기서, E는 환경오염을 나타내는 종속변수로써 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 유기물화합물(VOC), 온실가스(GHG)를 변수로 사용하였고, 설명변수로는 소득을 나타내는 gdp(1인당 실질 GDP), 인구밀도를 나타내는 den, 각 나라별 오일수입가격을 나타내는 oilpr, 오염물질별 사회적 비용을 나타내는 Epr, 무역의존도를 나타내는 Trade, 정부소비비율을 나타내는 GC를 사용하였다. 하첨자 j는 국가를 나타내며 t는 년도를 나타낸다. e_{jt} 는 일반적인 오차항이며, a_j 는 j국의 고유한 특성인 국가별 고정 효과를 통제하기 위한 더미변수, δ_t 는 t년도의 고유한 특성인 년도별 고정효과를 통제하기 위한 더미변수이다. 이광훈(2012)은 환경에 대한 제도, 법, 고유의 문화적 특성은 시간 불변(time invariant)의 국가별 더미변수에 반영되며, 각 년도별 분석 대상 국가들의 경제 충격이나 유가 변화 등의 횡단면불변(cross-section invariant)의 요인들은 년도별 더미 변수에 반영된다고 설명하였다. 이에 확률효과모형이 아닌 고정효과모형을 사용하였으며 계량 분석의 객관성을 유지하기 위하여 하우스만 테스트를 통해 고정효과모형 선택의 설득력을 높일 것이다. 위의 로그모형 (1)은 GDP 1차함수, (2)는 GDP 2차함수, (3)은 GDP 3차함수의 형태로 구성하였다. (1)의 모형에서 $\beta_1 > 0$ 인 계수값을 갖게 된다면 소득(GDP)의 증가가 환경오염 물질배출량을 증가시킨다는 것을 알 수 있다. (1)의 식을 검증한 후, (2)의 모형에서 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 인 계수값을 갖게 된다면 경제가 성장(GDP 증가)하면서 환경오염 배출량이 점점 많아지다가 GDP의 일정부근을 지나면 오히려 환경오염 배출량이 줄어드는 것에 경제 성장이 기여하게 되는 역 U자형인 환경쿠즈네츠 곡선을 도출하게 된다. 추가적으로 (3)의 모형에서 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 > 0$ 인 계수값을 갖는다면 경제성장(GDP 증가)을 하면서 환경오염 배출량이 감소하다가 다시 증가하는 N자형태의 관계를 보여지게 된다. 식(4), (5)의 선형모형 2차, 3차 모형은 GDP와 각 환경오염물질의 산점도 그래프를 통해 역 U자 형태 또는 N자형태의 모습이 나타나는 것을 확인하여 설득력을 높일 것이다. 환경쿠즈네츠곡선의 존재여부에 대한 검증은 역U자 형태가 존재하는지를 확인하면 된다. 따라서 로그 2차식의 모형

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

인 (2)모형에서 도출된 계수를 이용하여 역U자형의 형태인 환경쿠즈네츠 곡선을 확인하고 전환점을 살펴보면 일인당 실질소득(GDP)는 변수를 로그 변환하여 분석한 것이므로 실제 gdp를 확인하기 위해서는 exp를 취하여 계산하였다.

$$gdp^* = \exp\left(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right) \quad (6)$$

만약, 환경쿠즈네츠곡선 3차식이 적합하다면 소득전환점의 식은 달라진다. 우선 아래의 식(7)이 성립한다면 N자형의 곡선의 형태를 취하게 되며, 식이 성립하지 않는다면 계속 증가하는 형태를 나타나게 된다.

$$(\beta_2)^2 - 3\beta_1\beta_3 > 0 \quad (7)$$

N자 형의 곡선을 나타낸다면, 3차식의 극대, 극소를 찾기 위하여 아래의 식으로 추정할 것이다. 낮은 값은 극대 값으로 증가했다가 감소하는 지점이며, 높은 값은 극소 값으로 감소했다가 다시 증가하는 구간을 나타낸다. 선형모형이 적합하다면 (8)의 위의 식을, 로그모형이 적합하다면 (8)의 아래 식을 이용한다.

$$gdp^* = \frac{-\beta_2 \pm \sqrt{(\beta_2)^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3} \quad (8)$$

$$gdp^* = \exp\left(\frac{-\beta_2 \pm \sqrt{(\beta_2)^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3}\right)$$

계속 증가하는 형태를 나타낸다면, (9)식으로 변곡점을 찾아볼 것이다.

$$gdp^* = -\frac{\beta_2}{3\beta_3} \quad (9)$$

$$gdp^* = \exp\left(-\frac{\beta_2}{3\beta_3}\right)$$

국가별 수입오일가격(Crude oil import prices) 계수는 환경오염 물질 배출량에 부(-)의 영향을 미칠 경우, 수입오일가격의 상승이 오일의 수요를 감소시키고 이로 인해 환경오염 배출량이 줄어든다. 국가의 면적을 인구수로 나눈 인구밀도의 증가는 국가의 인구 증가를 나타낸다. 일반적으로 인구의 증가는 에너지의 수요를 증가시키고 환경오염배출량을 증가시킨다. 하지만 인구의 증가에 대비하여 환경오염 배출량이 적은 경우 인구밀도의 증가는 환경오염 배출량을 감소시킬 것이다. 사회적 비용 계수의 증가는 환경오염 배출량에 부(-)의 영향을 미친다. 사회적 비용은 배출된 환경오염물질을 처리하는 비용이며, 각 오염물질별로 불안정한 결합구조를 안정한 결합구조로 바꾸어주는 비용이 상이하며, 처리방법도 다르다. 따라서 환경오염 배출물질별로 결과를 해석할 때 주의가 필요하다. 분석의 대상인 OECD 국가들은 산업 시설을 저렴한 노동력과 풍부한 자원을 제공하는 신흥국으로 이동시켰다. 따라서 OECD 국가에서 배출되는 환경오염물질이 신흥국으로 이전하여 배출되는 가능성이 높다고 판단하였으며, 이에 무역의존도 변수를 살펴보는 것은 중요하다. 일반적으로 무역의존도가 높다는 것은 외국경제에 대한 관계도가 높다는 것을 보여주며, 반대로 무역의존도가 낮다는 것은 자급자족도가 높거나 외국경제에 대한 관계도가 낮다고 볼 수 있다. 따라서 환경오염물질 배출량이 많은 산업의 상품을 해외에서 수입하고 환경오염물질 배출량이 적은 산업을 주력으로 할 경우, 무역의존도의 증가는 환경오염물질 배출량에 부(-)의 영향을 미친다. 하지만 환경오염물질 배출량이 많은 산업을 주력으로 할 경우, 환경오염 물질 배출량에 정(+)의 영향을 미치게 된다. OECD 국가 정부소비비중을 살펴보면, 정부소비비중의 증가가 환경개선에 기여하였다면 환경오염물질 배출량에 부

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

(-)의 영향을 미치게 될 것이며, 환경개선에 정부소비가 투입된다는 것을 추정할 수 있다.

IV. 실증 분석

1. 추정 자료 분석

본 연구는 OECD 34개 회원국²⁾을 대상으로 실시하였으며, 1980 ~ 2012년 까지의 연간자료를 이용하였다. 분석에 필요한 데이터는 다음 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> 기본 데이터 설명

변수	단위	변수설명	출처
GDP	\$ / per	GDP per capita (constant 2005 US\$)	OECD
oilprice	\$ / barrel	Crude oil import prices	OECD
den	per / km ²	인구밀도	world bank
SOx	ton / per	황산화물 배출량	OECD
NOx	ton / per	질소산화물 배출량	OECD
CO	ton / per	탄소산화물 배출량	OECD
VOC	ton / per	휘발성 유기화합물	OECD
GHG(CO ₂)	ton / per	온실가스 배출량	OECD

2) OECD 34개국을 선택하였다.(Australia, Austria, Belgium, Canada, Chile, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Israel Italy, Japan, Korea, Luxembourg, Mexico, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom, United States)

변수	단위	변수설명	출처
SOxprice	\$ / ton	황산화물 사회적 비용	한국 환경정책평가연구원
NOxprice	\$ / ton	질소산화물 사회적 비용	한국 환경정책평가연구원
COprice	\$ / ton	탄소산화물 사회적 비용	한국 환경정책평가연구원
VOCprice	\$ / ton	휘발성 유기화합물 사회적 비용	한국 환경정책평가연구원
CO ₂ price	\$ / ton	온실가스 사회적 비용	한국 환경정책평가연구원
Trade	%	무역의존도	world bank
GC	%	정부소비비중	world bank

분석에 필요한 데이터는 OECD와 World Bank에서 추출하였다. 본 연구에서는 환경쿠즈네츠곡선추정을 1인당 실질GDP를 기준으로 분석하기 위하여 OECD에서 제공하는 각 오염물질 배출량 자료를 world bank에서 제공하는 국가별 인구수 데이터로 나누어 1인당으로 환산하여 적용하였다. 에너지가격 변수로 Agras and Chapman(1999)에서는 각국의 가솔린 가격데이터를 이용하였지만, 본 연구는 산업시설에서 사용하는 전체적인 변화까지도 고려하기에는 가솔린 가격만으로는 부족하다고 생각하였다. 또한, 이광훈(2012)에서 에너지가격지수를 사용하여 분석한 연구와 비교하였지만, 본 연구에서는 실제 오일가격은 국가의 경제상황에 민감한 영향을 미친다고 판단하여 2015년부터 OECD에서 제공하는 각 국가별 Crude oil import prices 데이터를 사용하여 탄력성을 추정하였다. 사회적비용은 Markandya(1998)와 한국과학기술원(1998)에서 제시된 자료³⁾를 주로 활용한다. Markandya(1998)는 인간의 건강, 노동생산성 감소, 농어업 생산성 감소, 구조물 부식 등을 고려하여 NOx, SOx,에 대한 사회적 비용을 산정하였으며, 한국과학기술원은 Markandya(1998)가 제

3) 육상교통수단의 환경성 비교분석, 한국환경정책평가연구원, 2002, 달러표기

시하지 못한 CO와 VOC를 SO_x산출방식으로 대기위해도 지수를 근거로 하여 사회적 비용을 산출하였다. GHG인 경우, 2003년 철도투자 평가편람에서 제시된 자료를 적용하였다. 위의 자료에 대하여 정연찬(2012)은 GHG 사회적비용 추정 시 유지비 용법을 활용하고 있지만, 유럽 선진 국가들은 가치가 반영된 손실 비용 접근법과 회피 비용접근법을 주로 활용하고 있어 과소평가 될 수 있는 한계가 있다고 하였다. 또한, 사회적 비용을 산정하기 위하여 정연찬(2013)에서는 조건부 가치 측정법(CVM), 정인태 외(2008)은 컨조인트 분석(conjoint analysis)이용하였다. 조건부 가치 측정법은 설문조사를 통해 가상의 시장을 만들고 응답자로부터 지불의사 금액을 유도하는 방식이고, 컨조인트분석법은 상충관계에 놓여있는 응답자의 선호체계 분석에 중점을 두는 지불의사금액(Willingness to Pay; 이하 WTP)을 유도하는 방법으로 사실상 객관적인 결과를 얻기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 최근 주요기관이 제시한 자료를 토대로 분석하였으며, GHG에 대하여 과소평가되는 부분에 대해서는 조심스런 해석을 하도록 하겠다. 이광훈(2012)은 실질 에너지 가격지수(2005 기준)를 각국의 생산자 물가지수를 이용하여 실질화하였으며, 본 연구에서는 한국환경정책평가연구원이 육상교통수단의 환경성 비교분석(2002)에서 제시한 한국과학기술원 자료에 소비자물가지수를 이용하여 환산한 대기오염물질 별 오염비용을 적용하고 있는 현행 표준지침을 바탕으로 현행 표준지침을 적용하되 국가별 소비자 물가지수를 이용하여 환산 후 적용하였다. 무역의존도와 정부소비비중(GDP대비) 데이터는 world bank의 자료를 활용하였다. 무역의존도 변수는 수입의존도를 나타내며, 정부소비비중 변수는 정부 예산 전체를 나타낸 데이터를 사용하였다.

본 논문 분석에 사용한 데이터의 기초 통계량은 부록에 정리하였다. OECD 국가의 GDP를 살펴보면 꾸준한 성장을 이루고 있으며, 전체기간 평균GDP는 27,036달러를 보여주고 있다. 대기환경오염물질 배출량의 주 요인인 석유류, 도시가스, 전력 등의 에너지 사용에 직접적인 영향을 주는 Crude oil import prices은 평균 37.24달러의 값을 보여주고 있지만 1980년 초반과 2000년 후반

의 차이가 크게 나타났다. 하지만 최근에 급격한 유가하락의 데이터가 OECD에 제공되지 않고 있어 추후 유가 가격변화의 효과를 분석해보는 것도 좋을 것이라 생각된다. 흥미로운 것은 OECD국가의 무역의존도는 평균 74%를 보이고 있다. 이는 해외 경제에 대한 의존도가 높다는 것을 직관적으로 보여주고 있다. 각 오염물질에 따른 사회적 비용을 살펴보면 SO_x, NO_x, CO, VOC의 가격은 ton당 평균 \$4974 ~ 6700을 나타내고 있지만 GHG의 가격은 앞선 오염물질에 비해 매우 낮은 \$12.84를 보여주고 있다. 이와 같은 차이가 나는 이유는 SO_x, NO_x, CO, VOC인 경우 화석연료의 불완전연소로 인해 원소 결합의 형태가 불안정한 상태를 띄게 되며, 이를 다시 분리하기 위해서는 높은 에너지를 요구한다. 이는 상대적으로 안정한 상태인 GHG에 비해 많은 비용이 든다는 것을 의미하는 것이므로 SO_x, NO_x, CO, VOC의 배출량을 줄이기 위한 정책에 앞서 대기환경오염 개선에 중요한 사회적비용을 추가하여 실증 분석을 실시하는 것은 중요하다. 각 오염물질의 배출량을 살펴보면 SO_x, NO_x, CO, VOC의 연도별 평균값은 대체적으로 줄어드는 모습을 보이고 있지만 GHG의 경우 일정량을 연도별로 비슷한 수준을 유지하거나 증가하는 것으로 나타났다. OECD 2030 환경전망보고서에서는 더 많은 국가와 산업부분이 기후 변화 저감 대응에 참여할수록 더욱 효과적으로 온실가스 배출량을 줄일 수 있지만 현재 이러한 대응은 국가별로 차이가 있으며, 지구 기후를 보호하기 위한 국제협력의 틀 내에서 부담을 공유하는 메커니즘을 개발해야 할 필요가 있다고 언급 하였다. 이는 감축을 위한 노력을 단계적으로 하고 있지만 눈에 띄는 변화가 없다는 것을 알 수 있으며 전 세계적으로 자발적 참여가 중요하다는 점을 보여준다.

4. 결과

본 연구에서는 환경쿠즈네츠곡선에서 각 변수의 탄력성을 비교 분석하기

위하여 로그모형을 중심으로 분석하였으며, 다중공선성의 문제가 발생할 수 있음을 염두하고 강건한 결과를 얻기 위해 단순하게 한 가지 모형이 아닌 로그 1차, 2차, 3차 모형 설정하고 다양한 설명변수들을 추가하여 선형모형과 간략히 비교하는 환경쿠즈네츠곡선 분석을 실시하고 오염물질별로 적절한 모형을 선택하여 설명할 것이다. 또한, 여러 가지 오염 물질에 대하여 동일한 분석 프레임틀을 통하여 분석하였으며, 차별화된 결과를 제시할 것이다. 2차 모형이 선행연구들에서와 같이 역 U자형을 만족할 경우, 환경쿠즈네츠 곡선이 성립한다고 하였다. 하지만 3차 모형이 성립할 경우 역 U자 형태를 만족하지 못하므로 이 경우에는 환경쿠즈네츠 곡선이 성립하지 않는다고 하였다. 환경쿠즈네츠 전환점의 추정치는 정균오, 정영근(2004)에서 밝힌 바와 같이 선형모형에서는 과대 추정될 수 있는 단점이 있으므로 본 연구에서는 로그 2차 모형을 기준으로 하되, 3차 모형이 적합하다면 극대, 극소, 전환점을 아래 괄호를 통해 제시하였다.

하우스만 검정결과에 따라 고정효과(FE)모형으로 환경쿠즈네츠곡선을 검증하였다. 하우스만 검정결과, 높은 Chi2값을 도출하여 설명변수와 오차항간의 상관관계가 없다는 귀무가설을 기각하므로 고정효과모형이 확률효과모형에 비해 적절한 모형임을 뒷받침해주고 있으며, 선형모형결과 모두 고정효과모형이 적합하다는 결과를 도출하였다. 확률효과모형으로는 환경오염물질 배출량별로 국가별 효과와 연도별 효과를 통제하면서 추정하고 해석하는 것에 모형의 한계가 있다. 고정효과 모형의 핵심은 개인이 가지고 있는 관찰되지 않는 고유한 특성을 패널 데이터를 활용함으로써 관찰되지 않는 잠재된 bias를 제거하는 것에 있다. 본 연구에서는 전 세계적 환경정책과 같은 시간 불변(time invariant)의 요인들은 국가별 더미변수에 반영하고, 갑작스런 경제적 위기나 유가 변동 등의 횡단면 불변(cross - section invariant)의 요인들은 연도별 더미변수에 반영하여 제거하려고 한다.

국립환경과학원에서 보고한 '대기오염물질 배출량 2010'에 따르면 대기환경오염물질의 주요 세 가지 오염발생원인은 산업 연소, 도로이동, 폐기물처리

순으로 나타났다. 이는 에너지의 연소로 발생하는 부분이 많은 부분 차지하고 있다는 것을 보여주는 것임으로 오염 발생에 영향을 주는 Crude oil import prices계수와 오염 배출량에 영향을 주는 사회적비용 계수, 국가 간 산업의 주력 또는 산업 이전의 변화를 확인할 수 있는 무역의존도, 정부의 소비비중이 환경에 기여했는지의 여부를 확인할 수 있는 정부소비비중 계수를 통해 각 대기환경오염물질배출량의 변화를 비교 분석하였다.

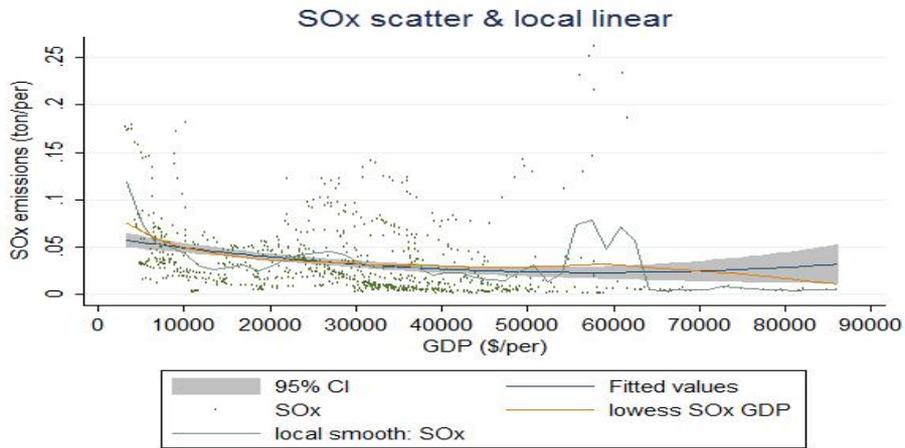
가. SO_x 분석결과

SO_x는 황(S)와 산소(O)와의 화합물을 총칭하며, 물에 잘 녹고 무색의 자극성이 있는 불연소 기체이다. 연료에 함유된 황성분이 연소과정에서 산소와 결합하여 발생하는 대표적인 1차 오염물질로 석탄이나 석유와 같은 황을 함유한 연료의 연소, 금속제련공정과정, 석유정제, 황산제조 등의 산업공정에서 주로 발생한다. SO_x에 노출될 경우 인체의 점막을 자극하고, 기체 흡입 시 호흡곤란을 초래하며, 산성비의 주요 원인물질로써 토양, 호수, 하천의 산성화에 영향을 주고, 식물의 잎맥을 손상시키고, 성장을 저해시키며 특히 빌딩이나 대리석 문화재 등 각종 구조물의 부식을 촉진시킨다. 또한 SO_x는 에어로졸로 전환되어 광화학 스모그를 일으키고 PM-2.5의 주요 성분이 되기도 한다. 산업발전과 인구증가로 화석연료 사용량이 늘어나면서 SO_x의 오염도가 심각해졌으며 1981년 연료의 황함유 기준을 도입하고 1988년에는 청정연료 사용을 의무화함에 따라 도시가스 사용과 저황유 공급 확대, 자동차에 저공해장치 설치 등의 정책이 시행중이다. SO_x에 대한 검증 결과는 <표 2>와 같다. SO_x의 경우, GDP 1, 2차 항이 유의하며 높은 R-squared 값을 갖는 로그 2차 모형이 적절하다. 로그 2차 모형에서 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 인 t-value도 1%내로 유의한 계수값을 갖으며, 경제가 성장(GDP 증가)하면서 환경오염 배출량이 점점 많아지다가 GDP의 일정부근을 지나면 오히려 환경오염 배출량이 줄어드는 것에 경제 성장이 기여하게 되는 역 U자형인 환경쿠즈네츠 곡선을 도출하였다. 하지만 로그 3차 모형에서 GDP 1,2,3차 항이 유의하지 못했으므로 N자 형태

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

를 나타내지는 않는다. [그림 2]에서 제시된 바와 같이, SOx 1인당 배출량과 1인당 GDP의 관계를 나타낸 산점도 그래프에서도 GDP가 증가함에 따라 SOx가 감소하는 역 U자 형태를 보여주고 있다. 수입오일가격계수를 살펴보면 -0.72의 값의 유의한 값을 보여주고 있으며 이는 수입오일가격이 1%상승하면 -0.072%의 SOx배출량 감소를 나타내며, 1%의 인구밀도 상승은 1.22%의 SOx배출량의 증가를 보여준다. 이는 SOx배출량이 오일가격의 변화에 비탄력적임을 보여주고 있으며, 인구밀도에 대해서는 더 큰 변화를 나타내며

[그림 2] OECD국가 SOx, GDP 산점도



탄력적임을 알 수 있다. 사회적 비용을 살펴보면, 1%의 SOx처리 사회적비용의 상승은 -0.2%의 SOx배출량이 감소하는 의미 있는 결과를 도출하였다. 매우 탄력적인 변화는 아니지만 향후 산업공정 시 세금을 부과하는 정책을 실시한다면 세수를 늘리고 오염물질 배출량도 줄이는 효과를 볼 수 있을 것이다. 무역의존도인 경우 -0.9의 비교적 단위탄력적인 값을 나타내고 있으며, 계수의 부호를 통해 분석대상인 OECD국가는 오염다량배출산업이 해외로 이전되었으며, 해외에서 오염다량배출산업의 상품을 수입한다는 것을 의미한다.

〈표 2〉 SOx에 대한 환경쿠즈네츠가설 검증결과

변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
1인당 GDP	-2.3035*** (-10.26)	33.0137*** (11.01)	69.6765 (1.60)	-3.84e-06*** (-8.01)	-2.35e-06* (-1.81)
1인당 GDP ²	-	-1.7104*** (-11.81)	-5.3685 (-1.24)	2.78e-11*** (5.10)	-1.08e-11 (-0.34)
1인당 GDP ³	-	-	.1215 (0.84)	-	3.13e-16 (1.24)
오일가격	-.0597 (-1.28)	-.0720* (-1.72)	-.0789* (-1.85)	-.00002 (-0.79)	-.00002 (-0.83)
인구밀도	-.6682 (-1.09)	1.2242** (2.14)	1.2398** (2.16)	.0002* (1.68)	.0002* (1.77)
사회적 비용	.1648*** (3.97)	-.19858*** (-4.11)	-.2315*** (-3.73)	-2.33e-08 (-0.14)	-1.02e-07 (-0.58)
무역 의존도	-.8439*** (-4.70)	-.9030*** (-5.61)	-.8758*** (-5.34)	-.0001* (-1.85)	-.0001* (-1.89)
정부 소비비중	-1.4494*** (-5.13)	-1.9819*** (-7.71)	-1.9408*** (-7.42)	-.0010* (-1.93)	-.0010** (-2.00)
상수항	28.9052*** (12.06)	-156.0587*** (-9.87)	-278.3368* (-1.91)	.118195*** (7.92)	.1008*** (4.93)
R-squared	0.5985	0.6783	0.6787	0.4283	0.4298
EKC 가설 수립여부	YES				
관측치 수	595	595	595	595	595
EKC 전환점	\$ 15,532				

-1.45의 유의한 계수값을 보이는 정부소비비중인 경우 음(-)의 부호를 나타내는 것은 정균오, 정영근(2004)에서와 같이 정부소비가 환경개선에 상당부분 기여한다고 해석할 수 있다. 또한, 소득 전환점은 \$15,532.47로 OECD국가 평균인 \$27,000보다 훨씬 낮은 값이므로 이미 SOx의 감소는 진행 중인 것으로 파악되며, 기초통계량을 통해서도 SOx는 감소가 진행 중임을 알 수 있다. 이는 OECD 국가들이 황을 포함하지 않은 고품질의 연료를 사용하거나 황이 적게

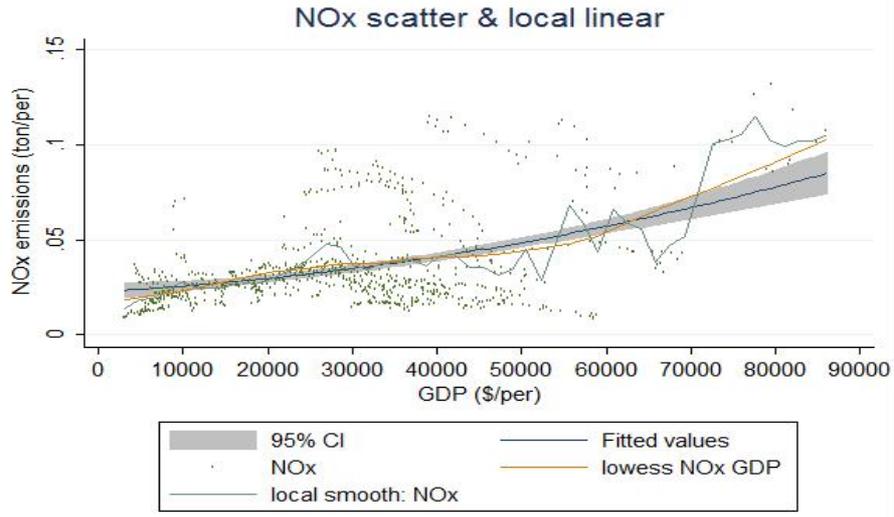
환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

들어 있는 저유황연료를 사용하고 황산화물 저감장치를 설치 사용하기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

나. NO_x 분석결과

NO_x는 고온 연소, 대기 중 일산화질소의 산화반응에 의해서 발생하며 휘발성 유기화합물(VOC)와 반응하여 오존을 생성하기도 한다. 주요 배출원은 고온 연소가 발생할 수 있는 자동차 내연기관, 발전소, 보일러 등이 있으며 연소 과정에서 일부의 이산화질소가 이산화질소로 산화된다. 이산화질소는 적갈색의 반응성이 큰 기체로서 일산화질소보다 인체에 만성 기관지염과 같은 큰 피해를 준다. NO_x의 농도는 이동오염원이 밀집된 곳에서 높게 나타나고 있으며 현재 자동차 주행 시 발생하는 NO_x의 배출량은 각종 환경규제와 내연기관의 발달, 전기자동차의 보급으로 상당량 줄어들고 있다. <표 3>에는 NO_x에 대한 분석결과를 제시하고 있다. NO_x의 경우 유의한 계수값을 갖는 N자형의 환경쿠즈네츠 곡선이 나타나는 선형 3차 모형이 적합한 것으로 나타났다. 로그 2차 모형도 유의한 계수 추정을 통해 적합한 것으로 나타나지만 식(7)과 [그림 3]을 통하여, lowess선이 증가했다가 감소한 후 다시 증가하는 모습을 나타내고 있으므로 선형 3차 모형이 적합하며 N자형곡선이 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 NO_x의 경우, 로그모형 2차 모형으로 탄력성을 비교 분석하는 것은 무의미하다. 선행연구들에서와 같이 역 U자형의 환경쿠즈네츠 곡선이 로그 2차 모형에서 성립하며 소득전환점은 \$30,865를 나타내고 있다. 하지만 선형 3차 모형을 통하여 새로운 \$25,384, \$57,037의 극대, 극소지점을 확인하였다. 선형 3차모형의 계수를 살펴보면 NO_x의 배출량에 오일가격과 인구밀도변수만이 유의한 영향을 주었지만 매우 작은 수치로 미미한 영향인 것으로 보인다. 또한 사회적 비용과 무역 의존도, 정부소비비중의 계수는 유의한 값을 갖지 못하였다.

[그림 3] OECD국가 NOx, GDP 산점도



OECD 2030보고서에서는 NOx의 대기 저감 효과는 현행 정책을 계속 시행할 경우에는 거의 변화가 없다고 언급하였다. 이와 같은 이유는 NOx의 발생원인인 자동차와 발전소, 보일러 등은 분석기간인 1980년대부터 2012년까지 혁신적인 변화가 없었으며, NOx의 배출량을 줄일 만한 자동차와 발전소, 보일러의 대체재가 없었다. 이산화질소는 2차 오염물질로 생성 및 소멸과정이 복잡하게 얽혀 있기 때문에 이를 감소시키기 위하여 최근 베이징, 런던, 뉴욕 등 전 세계적으로 도시 환경오염 물질 저감 정책과 전기자동차 신산업을 육성하기 위해 전기자동차 보급을 위한 보조금과 각종 혜택을 주는 정책들을 시행하고 있다. 본 연구의 분석기간은 2012년까지로 제한되어 있으므로 결과에서 N자형의 곡선이 추정되었더라도 해외뿐만 아니라 국내에서도 전기 버스, 전기 트럭, 전기 택시 등의 수를 늘리는 NOx의 대표적인 저감정책인 전기자동차보급에 대한 정책들이 시행되고 있으므로 추후에는 감소하는 곡선도 도출될 것으로 판단한다.

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

〈표 3〉 NOx에 대한 환경쿠즈네츠가설 검증결과

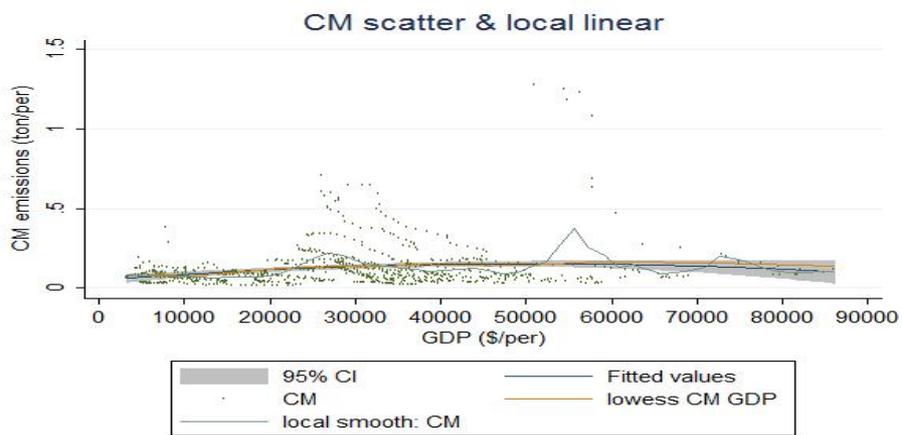
변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
1인당 GDP	.04512 (0.54)	10.8708*** (9.56)	6.1083 (0.37)	-3.82e-07* (-1.74)	3.97e-06*** (7.10)
1인당 GDP ²	-	-.5258*** (-9.54)	-.0507 (-0.03)	-3.24e-13 (-0.13)	-1.13e-10*** (-8.28)
1인당 GDP ³	-	-	-.0158 (-0.29)	-	9.14e-16*** (8.38)
오일가격	-.1339*** (-7.85)	-.1352*** (-8.54)	-.1343*** (-8.33)	-.0001*** (-8.72)	-.0001*** (-9.42)
인구밀도	-.9745*** (-4.36)	-.3646* (-1.68)	-.3669* (-1.69)	-.0002*** (-2.93)	-.0001** (-2.49)
사회적 비용	.1080*** (7.17)	-.0047 (-0.26)	-.0004 (-0.02)	3.13e-07*** (3.69)	4.91e-08 (0.57)
무역 의존도	-.4180*** (-6.42)	-.4312*** (-7.13)	-.4348*** (-7.04)	-.000018 (-0.55)	-.00002 (-0.77)
정부 소비비중	-.3370*** (-3.28)	-.4919*** (-5.09)	-.4972*** (-5.05)	-.0001 (-0.35)	-.0002 (-0.76)
상수항	2.4384*** (2.79)	-54.2777*** (-9.04)	-38.3903 (-0.70)	.07401*** (10.90)	.02362*** (2.69)
R-squared	0.5614	0.6230	0.6230	0.5012	0.5571
EKC 가설 수립여부	NO				
관측치 수	595	595	595	595	595
EKC 전환점	\$ 30,865 (\$25,384 , \$57,037)				

다. CO 분석결과

CO는 무색, 무취의 유독성 기체로 연료 속의 탄소성분이 불완전하게 연소되었을 때 발생한다. 주로 산업시설의 내연기관과 수송부문에서 배출되고 있으며, 체내에서 혈액 내 적혈구의 산소 이송을 저해한다. <표 4>는 CO의 분석결과를 제시하고 있다. CO의 경우, 유의한 gdp계수 값과 높은 R-squared 값을 갖

는 로그모형 3차가 적합한 모형이다. 로그 2차 모형만을 추정하였다면 역 U자 형태만을 발견하였겠지만, 로그 3차 모형까지 검증한 결과 식(7)의 결과도 만족하면서 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 > 0$ 인 계수 부호를 갖는 경제성장(GDP 증가)을

[그림 4] OECD국가 COx, GDP 산점도



하면서 환경오염 배출량이 감소하다가 다시 증가하는 [그림 4]와 같이 3차 계수값이 작은 완만한 N자 형태를 나타낸다. 소득전환점은 \$19,696으로 나타났으며, 모든 OECD국가의 GDP범위에 해당한다. 하지만 적합한 로그3차 모형을 통해 추정하면 \$19,696, \$1,042,121의 값을 얻을 수 있다. 이는 N자형을 만족하지만 극소의 경우 매우 큰 수치를 나타내므로 [그림 4]와 같은 완만한 N자형 곡선 형태를 나타낸다는 결과에 부합하며, 현재는 역 U자 형태의 구간에 있다고 볼 수 있다. 오일가격인 경우 -0.1202의 유의한 (-)부호를 나타냈다. 인구밀도계수는 유의한 (-)부호를 보여 이는 인구밀도가 높을수록 오염이 낮아지는 결과를 나타낸다. 인구밀도계수는 국가의 면적과 인구가 환경오염물질 배출량에 정의 영향을 미치므로 양(+)의 부호가 적절하나 정균오, 정영근(2004)에서와 같이 본 연구에서도 (-)부호가 나왔으며, 이는 선행연구에서와 같이 선진국의 경우 인구밀도가 거의 정체상태에 있기 때문에 인구밀도로 인

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

한 오염배출의 영향은 상대적으로 작다고 해석할 수 있다. 또한, CO은 산업 시설로 인한 연소과정에서 발생되기 때문에 인구밀도보다 산업규모에 더 큰 영향을 받는 이유도 있다. 사회적비용의 경우 -0.712의 유의한 (-)부호를 나타냈다. 무역의존도와 정부소비비중계수 값은 SOx에서와 마찬가지로 유의한 (-)부호를 나타냈으며, 이는 앞선 SOx해석과 같이 오염다량배출산업이 해외로 이전되어 해외에서 오염다량배출산업의 상품을 수입한다는 것을 의미하며 정부소비가 환경개선에 상당부분 기여한다고 해석할 수 있다. CO은 인체에서 흡입할 경우 저산소증과 같은 피해를 발생시키기 때문에 OECD국가에서는 2차 공기 도입 장치를 산업시설과 차량 등에 설치하고 촉매전환장치를 의무화하는 등 1994년부터 법으로 제정하여 CO의 발생을 줄이려는 정책적인 노력을 늘려가고 있으므로 앞으로 개선될 것으로 보인다.

〈표 4〉 CO에 대한 환경쿠즈네츠가설 검증결과

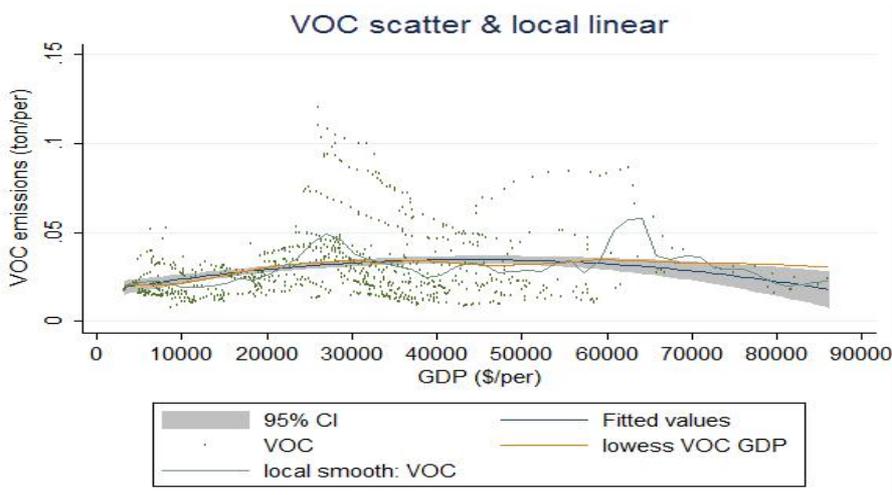
변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
1인당 GDP	-.6421 ^{***} (-6.36)	15.6450 ^{***} (11.97)	59.5153 ^{***} (3.18)	-.00002 ^{***} (-9.46)	6.32e-06 (1.50)
1인당 GDP ²	-	-.7911 ^{***} (-12.49)	-5.1676 ^{***} (-2.77)	9.07e-11 ^{***} (5.01)	-4.62e-10 ^{***} (-4.47)
1인당 GDP ³	-	-	.1453 ^{**} (2.35)	-	4.46e-15 ^{***} (5.43)
오일가격	-.1099 ^{***} (-5.49)	-.1117 ^{***} (-6.31)	-.1202 ^{***} (-6.67)	-.0005 ^{***} (-5.29)	-.0005 ^{***} (-5.54)
인구밀도	-2.3763 ^{***} (-9.27)	-1.4580 ^{***} (-6.11)	-1.4301 ^{***} (-6.01)	-.0002 ^{***} (-0.61)	-.0001 ^{***} (-0.22)
사회적 비용	.1382 ^{***} (7.66)	-.0315 ^{***} (-1.50)	-.0712 ^{***} (-2.65)	3.95e-07 (0.53)	-1.15e-06 (-1.47)
무역 의존도	-.5564 ^{***} (-7.17)	-.5759 ^{***} (-8.38)	-.5428 ^{***} (-7.76)	.0011 ^{***} (4.64)	.0011 ^{***} (4.57)
정부 소비비중	-.4441 ^{***} (-3.60)	-.6774 ^{***} (-6.11)	-.6281 ^{***} (-5.59)	.0064 ^{***} (3.77)	.0059 ^{***} (3.57)
상수항	17.1414 ^{***} (17.04)	-68.2134 ^{***} (-9.90)	-214.5981 ^{***} (-3.42)	.3488 ^{***} (7.06)	.1010 (1.52)

변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
R-squared	0.7600	0.8121	0.8139	0.5331	0.5564
EKC 가설 수립여부	NO				
관측치 수	595	595	595	595	595
EKC 전환점	\$19,696 (\$19,696 , \$1,042,121)				

라. VOC 분석결과

휘발성유기화합물(VOC)은 증기압이 높아 쉽게 증발되고 광화학 반응을 일으켜 오존과 같은 광화학 스모그를 유발하는 물질이다. 주유소, 저유시설, 산업체, 매립지, 하수정화시설, 건축자재와 마감재료, 각종 청소용 세척제, 복사기의 토너, 연소과정의 물질 등에서 배출되며 VOC가 체내에 흡수될 경우 지방 조직에 퍼지게 되고 흡수량이 많아 급성중독이 될 경우 호흡곤란, 불규칙한 맥박을 동반한 혈액장애, 간장장애, 재생불량성 빈혈, 백혈병 등을 일으킨다.

[그림 5] OECD국가 VOC, GDP 산점도



환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

<표 8>는 VOC의 분석결과를 보여준다. 적합한 모형은 유의한 GDP 계수 값과 높은 R-squared 값을 갖는 로그 2차 모형으로 역U자 환경쿠즈네츠 곡선이 나타난다. [그림 6]을 통해 일정량 증가했다가 감소하는 것을 확인할 수 있으며 이때 소득 전환점은 \$22,900이다.

<표 5> VOC에 대한 환경쿠즈네츠가설 검증결과

변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
1인당 GDP	-.3694 ^{***} (-3.49)	14.5360 ^{***} (10.27)	5.9383 (0.29)	-1.20e-06 ^{***} (-4.21)	-3.22e-07 (-0.41)
1인당 GDP ²	-	-.7240 ^{***} (-10.56)	.1337 (0.07)	3.78e-13 (0.12)	-2.24e-11 (-1.18)
1인당 GDP ³	-	-	-.0285 (-0.42)	-	1.84e-16 (1.22)
오일가격	-.1372 (-6.54) ^{***}	-.1389 ^{***} (-7.24)	-.1372 ^{***} (-7.01)	-.0001 ^{***} (-7.05)	-.0001 ^{***} (-7.08)
인구밀도	-1.8502 ^{***} (-6.89)	-1.0098 ^{***} (-3.91)	-1.0152 ^{***} (-3.92)	-.0003 ^{***} (-4.62)	-.0003 ^{***} (-4.51)
사회적 비용	.1020 ^{***} (5.40)	-.0532 ^{**} (-2.35)	-.0455 (-1.56)	1.42e-07 (1.23)	8.71e-08 (0.70)
무역 의존도	-.3797 ^{***} (-4.67)	-.3975 ^{***} (-5.34)	-.4040 ^{***} (-5.31)	.0002 ^{***} (3.88)	.0002 ^{***} (3.84)
정부 소비비중	-.2054 (-1.59)	-.4189 ^{***} (-3.49)	-.4285 ^{***} (-3.51)	.0011 ^{***} (3.75)	.0011 ^{***} (3.68)
상수항	9.8470 ^{***} (9.35)	-68.2439 ^{***} (-9.15)	-39.5563 (-0.58)	.0867 ^{***} (9.78)	.0765 ^{***} (6.27)
R-squared	0.6448	0.7036	0.7037	0.5691	0.6787
EKC 가설 수립여부	YES				
관측치 수	595	595	595	595	595
EKC 전환점	\$ 22,900				

오일가격은 -0.1389의 유의한 값을 보여주며 이는 오일가격 1%상승이 VOC 배출량에 약 -0.14%의 감소를 가져온다고 볼 수 있다. 인구 밀도는 VOC인 경우도 (-)부호의 유의한 값을 갖는 것으로 추정되었다. 사회적비용의 탄력성은 -0.05의 유의한 (-)값을 갖으며 무역의존도와 정부소비비중 역시 앞선 대기오염물질과 같은 (-)부호의 유의한 값을 가지므로 계수의 해석은 앞선 오염물질에서와 같이 동일하다. EU에서는 VOC(휘발성유기화합물)의 저감정책으로 페인트, 니스 및 자동차 마감 도료의 VOC허용 함량치를 2004년 법으로 규정하고 있으며 국내 환경부에서도 1995년 법을 신설하는 등의 노력으로 분석결과에서와 같은 역 U자 곡선이 도출한 것으로 보인다.

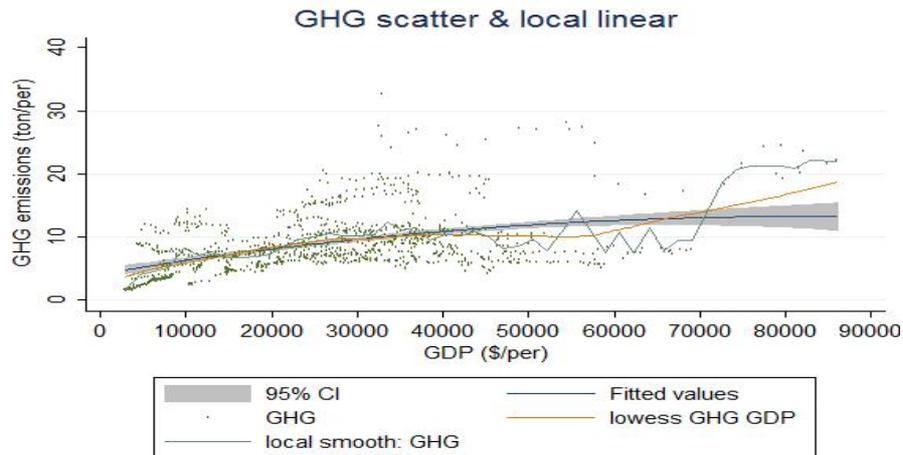
마. GHG 분석결과

온실가스로는 이산화탄소, 메탄, 이산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 6가지의 직접온실가스와 일산화탄소, 질소가스 등의 간접 온실가스가 있다. 이 중 가장 대표적인 온실가스는 이산화탄소이고 온실가스 증가의 원인은 석탄, 석유 같은 화석 연료 사용이 많은 산업화로 지속적으로 배출량이 증가하고 있으며 지구 온난화가 발생한다. OECD국가 중 우리나라의 경우 1인당 온실가스 배출량이 2012년 3위로 매우 많은 양의 온실가스를 배출하고 있다. <표 6>에 GHG에 대한 분석결과를 정리하였다. 관측치수를 살펴보면 다른 오염물질에서의 분석보다 많게 나왔다. 이와 같은 이유는 OECD 국가들이 다른 오염물질배출 정보보다 결측치 없이 정보를 제공하기 때문인 것으로 GHG의 데이터 구축이 다른 오염물질보다 잘 되어 있다는 것을 나타낸다. GHG의 경우, 로그3차모형인 경우 3차 항의 계수가 (-)음의 값을 보여주고 있으므로 선형 3차 모형이 적합하다. 식(7)을 통하여 N자 형태가 아닌 계속 증가하는 형태임을 보여주고 있으며, [그림 6]에서 확인 할 수 있다. 소득 전환점은 \$54,949로 OECD 평균값보다 높지만 일부 선진국의 경우 이미 소득 전환점을 도달하였다. 하지만 적합한 선형3차모형에서 식(9)를 추정된 변곡점은 \$45,808인 것으로 확인되었다. GHG인 경우 OECD 평균 1인당 평균 9톤 정도

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

를 배출하며 다른 대기환경오염물질보다 250배정도 큰 값으로, 설명변수의 계수값의 해석이 다른 물질보다도 중요하다. 오일가격인 경우 -0.0093 의 유의한 (-)값을 갖는다. 하지만 계수의 값이 매우 작아 계속 증가하는 GHG의 형태에 비추어 큰 영향을 주지 못하는 것으로 보인다. 사회적 비용은 유의미한 값을 갖지 못하였는데 이는 부록의 오염물질별 기초통계량을 확인하면 다른 환경오염물질의 사회적비용보다 400 ~ 560배정도 낮은 12.84 \$/ton의 금액이기 때문에 GHG 배출량에 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다. 또한 해외에서는 가치가 반영된 손실비용 접근법과 회피비용 접근법을 주로 활용하고 있지만 본 연구에서는 유지비용법으로 계산된 값을 사용하여 계수값이 과소

[그림 6] OECD국가 GHG, GDP 산점도



평가 될 소지가 있다. 두 변수만을 확인한 결과를 살펴보면 GHG의 배출량의 감소를 위해 정부의 직접적인 개입이 필요한 것으로 파악된다. 무역의존도와 정부소비비중을 살펴보면 무역의존도의 경우 (-)의 유의한 값으로 앞선 해석과 같으나, 정부소비비중인 경우 (+)의 유의한 값이 도출되어 아직 OECD국가의 정부소비는 온실가스의 배출에 대하여 환경보다도 성장에 중점을 두고 있음을 확인하였다. OECD 2030 환경전망 보고서에 따르면 정책들을 조합한

“OECD 환경전망 종합정책(EO policy package)⁴⁾”를 적용할 경우 2030년에 세계 GDP의 약 1%의 비용, 또는 연평균 GDP 성장률의 0.03%의 하락의 비용으로 온실가스 저감 해결이 가능하다고 보았다. 온실가스 배출량을 줄이기

〈표 6〉 GHG에 대한 환경쿠즈네츠가설 검증결과

변수	로그 모형			선형모형	
	1차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)	2차 모형 (t-value)	3차 모형 (t-value)
1인당 GDP	.4265*** (12.03)	7.3156*** (12.27)	-16.4067** (-2.14)	.0003*** (13.16)	.0011*** (18.15)
1인당 GDP ²	-	-.3351*** (-11.58)	2.0209*** (2.66)	-2.98e-09*** (-10.53)	-2.35e-08*** (-15.50)
1인당 GDP ³	-	-	-.0779*** (-3.10)	-	1.71e-13*** (13.72)
오일가격	-.0768*** (-8.69)	-.0678*** (-8.34)	-.0611*** (-7.30)	-.0115*** (-7.44)	-.0093*** (-6.70)
인구밀도	-.1793* (-1.77)	.1272* (1.32)	.0723 (0.74)	-.0148*** (-2.87)	-.0035(-0.74)
사회적 비용	.04993*** (7.47)	-.0154 (-1.85)	.01139 (0.95)	.02659*** (5.16)	8.05e-06 (0.00)
무역 의존도	-.0994*** (-2.71)	-.1317*** (-3.91)	-.1504*** (-4.42)	-.0154*** (-3.73)	-.0179*** (-4.88)
정부 소비비중	.3200*** (6.35)	.1840*** (3.86)	.1691*** (3.55)	.0392 (1.59)	-.0464** (-2.04)
상수항	-1.8671*** (-4.80)	-37.8189*** (-12.10)	41.9933 (1.62)	5.1907*** (9.78)	-2.3708*** (-2.91)
R-squared	0.4649	0.5517	0.5579	0.3404	0.4816
EKC 가설 수립여부	NO				
관측치 수	725	725	725	725	725
EKC 전환점	\$54,949 (\$45,808)				

4) EO Package의 내용으로는 1.농업 보조금과 관세를 2010년부터 2030년까지 매년 3%씩 총 50%를 삭감하고, 2.OECD국가인 경우 2012년 이후, 그 외는 2030년 이후 이산화탄소 1톤당 25불의 탄소세를 도입, 3.교통, 발전, 정유, 산업에 대해 대기오염 규제 강화, 4.2030년에 2000년 대비 공공하수처리율 50%향상 이 포함되어있다.

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

위한 방법으로는 에너지 절약, 폐기물 재활용, 친환경 상품 사용, 신에너지 개발 등이 있으며 국제 사회는 지구 온난화에 따른 기후 변화에 대응하기 위하여 1992년 6월 유엔환경개발회의(UNCED)에서 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하였고 1997년 12월 교토의정서를 채택하여 2005년 2월에 발효시키는 등 온실가스 배출량을 줄이고 기후변화에 대처하기 위하여 많은 노력을 하고 있다.⁵⁾ 또한 GHG의 사회적 비용은 다른 환경오염물질의 사회적 비용보다 저렴하기 때문에 적극적으로 탄소세를 부과 한다거나 시행중인 탄소배출거래 제도에 정부와 기업의 적극적인 참여를 유도하는 것이 중요하다.

V. 결론 및 토의

본 연구는 1980년에서 2012년까지의 34개 OECD국가에 대한 패널 자료를 이용하여 각 대기환경오염 물질별로 환경쿠즈네츠곡선(EKC)의 형태를 확인하였다. 또한 에너지가격, 인구밀도, 사회적비용, 정부소비비중, 무역의존도의 변화가 각 오염물질별 배출량에 미치는 영향을 탄력성으로 추정하였다. 분석에 사용한 패널 모형은 계량적인 신뢰성을 높이기 위하여 하우스만 검정을 하여 고정효과모형을 이용하였다. 에너지 가격의 탄력성을 추정하기 위하여 Agras, Chapman(1999)은 각 국가의 가솔린가격데이터를 이용하였지만, 본 연구는 대기환경오염물질이 발생할 수 있는 폭넓은 요인들을 포함하기 위해 OECD 각 국가의 원유수입가격 데이터를 이용하여 해석의 신뢰성을 높였다. 또한 경제성분석에 사용하는 각 대기오염물질별 사회적비용 변수를 사용하여 사회적비용이 각 대기오염배출량에 미치는 영향을 확인하였다.

추정에 필요한 모형은 로그모형과 선형모형을 설정하였고, 각 대기오염물질별로 산점도와 추세선을 나타낸 그래프를 포함하였다. 환경쿠즈네츠곡선

5) 저탄소 녹색성장 기본법, 제2조 인용, LURIS, 용어사전(온실가스배출)

(EKC)의 추정 결과, 대기환경오염물질이 증가하다가 감소하는 역 U자형 형태는 SO_x와 VOC로 나타났으며, 증가하다가 감소한 후 다시 증가하는 N자형 형태는 NO_x, CO, 계속 증가하는 형태는 GHG로 추정되었다. 소득전환점은 SO_x, NO_x, CO, VOC, GHG 순으로 각각 \$15,532, \$15,532, \$19,696, \$22,900, \$54,949으로 나타났다. 하지만 3차모형이 적합한 경우, NO_x의 경우는 \$25,384, \$57,037로 나타났으며 CO인 경우는 \$19,020, \$1,042,121의 값을 보이며 GHG인 경우는 \$45,808로 나타났다. 특히, CO인 경우 3차 형태를 만족하지만 현재는 역 U자 형태를 나타낸다고 말할 수 있다. 현재 OECD국가의 평균소득(\$27,036)은 SO_x와 VOC의 소득전환점을 지났으며 두 물질에 대해 역 U자형의 모습을 보임으로써 오염물질 배출량이 감소 추세를 보이는 것으로 확인되었다. 반면에 OECD 국가의 평균소득이 NO_x, CO의 소득전환점을 지났지만 소득이 증가할수록 오히려 배출량이 증가하는 N자형의 모습을 보였다. NO_x은 이동교통수단에서 많이 발생하며 CO인 경우 산업단지에서 많이 발생하는 대기 오염물질이다. 이동교통수단에서의 발생하는 NO_x를 줄이기 위해 선진국에서는 전기차 보급을 추진하고 있다. 그 예로 베이징은 2015년까지 5만대의 전기차 도입, 뉴욕은 시내의 1/3을 전기택시로 전환, 런던은 모든 시내 신규택시(블랙캡 23,000여대) 등록을 전기차에 대해서만 허용하는 정책 등을 시행하고 있으며, 각종 인센티브의 혜택 제공한다. 국내에서도 전기택시 보급 실증사업을 실시하는 등 대기오염물질을 줄이기 위해 노력하고 있다. CO에 대해서는 산업시설과 차량 등에 2차 공기 도입 장치와 촉매전환장치를 의무화 하는 등의 정책적인 노력을 늘려가고 있으므로 분석결과에서는 증가하는 N자 형태를 나타냈지만 추후 감소하는 모습을 보일 것이다. GHG의 경우 매우 높은 \$54,949의 소득전환점과 계속 증가하는 형태의 모습을 보이고 있다. OECD 2030 환경전망보고서에서도 OECD 국가들의 1차 에너지 소비는 2030년까지 29% 증가하고, 전 세계 온실가스 배출량은 2030년까지 37%, 2050년까지 52% 증가할 것으로 예상하였다. 이는 GHG의 소득전환점이 높은 이유와 계속 증가하는 형태를 보인다는 분석결과와 일치한다.

원유수입가격(에너지)탄력성은 대기환경오염물질별 -0.07에서 -0.13의 유의한 값이 나타났으며 이는 에너지 가격 1%의 상승은 -0.07 ~ -0.13%의 대기환경오염 배출량의 감소를 가져온다고 해석 할 수 있다. 논리적으로 인구밀도는 양(+)의 부호가 적절하지만 NO_x, CO, VOC인 경우 음(-)의 부호가 도출되었다. 이와 같은 결과는 OECD 국가는 인구밀도보다는 산업시설의 규모의 영향이 크며 OECD선진국의 경우 일정하게 인구밀도가 정체되는 모습 때문이라고 할 수 있다. 사회적비용은 SO_x와 CO, VOC인 경우에 -0.2, -0.7, -0.05의 유의한 값을 보였으며, NO_x, GHG의 경우 유의한 값을 보이지 못하였다. 이는 지금까지 OECD국가에서는 배출된 대기환경오염물질을 처리하는 것보다 앞으로 발생할 배출량을 감축하는 정책을 시행하였기 때문인 것으로 보인다. 하지만 최근 정책을 실시하기에 앞서 선행하는 환경성평가는 대기환경오염물질을 제거하기 위한 비용과 편익을 계산하는 등 향후 사회적비용의 변수는 대기환경정책에 중요한 변수로 작용할 것이다. 무역의존도는 모든 대기환경오염물질에 대하여 유의한 음(-)의 부호를 보여주었다. 이는 OECD국가에서 환경오염물질 배출량이 많은 산업의 상품을 수입하고 환경오염물질 배출량이 적은 산업을 주력으로 한다는 것을 의미한다. 하지만 대기환경오염물질 배출량을 직접적으로 줄이는 것이 아닌 OECD국가에서 신흥국으로 이전했다는 점은 여전히 해결해야 될 문제로 남아있다. 또 다른 변수인 정부소비비중의 경우 GHG를 제외하고는 정부소비가 환경개선에 기여하였다고 해석할 수 있는 유의한 음(-)의 계수를 보였다. 하지만 GHG의 경우, 유의한 양(+)의 계수값을 나타냈는데 이는 'OECD 2030 환경전망보고서'에서 발표한 내용과 같이 증가하는 1차 에너지의 소비량과 이에 따른 GHG배출량의 증가는 정부소비가 환경보다도 성장에 중점을 두고 사용할 것이라는 것을 보여주는 내용으로 온실가스를 줄이기 위한 각 국가의 정부의 역할이 중요하다.

대기환경문제는 단시간에 해결할 수 있는 문제가 아니다. 본 연구 결과에 따라 OECD 회원국과 비회원국간의 협력과 국제 환경관리 강화를 통해 신흥국으로 이전한 산업에 대한 관리와 감시가 필요하며, 에너지 가격과 사회적비용을 고려한 정부정책의 환경조세(탄소세)와 배출권 거래제도, 보조금의 개혁 등을 통해 친환경 에너지 정책에 맞는 유인이 필요하다. 또한 정부만의 노력

이 아닌 모든 생산과 소비에 반영하여 모든 국민이 함께 협력하는 것도 중요하다. 선진국과 개도국이 목표를 스스로 설정하고 온실가스를 감축한다는 약속인 교토의정서(2005)의 발효에 따라 온실가스 배출량을 1990년을 기준으로 2008-2012년까지 평균 5.2%의 감축을 목표로 하였으며, 우리나라는 2030년 온실가스 감축 목표를 당초 제시한 3안 25.7% 감축에 국제시장을 통한 온실가스 감축분 11.3%를 추가하여 배출전망치(BAU)대비 37% 줄이기로 2015년 6월 30일 확정하였다. 정부는 산업 부문에 대해 BAU 대비 12%를 초과하지 않도록 하고 온실가스 배출권 거래 등을 적극 시행하기로 하였다. 또한 탄소 배출은 줄이면서 새로운 일자리를 창출하는 에너지 신산업을 육성하여 매년 4%대의 성장을 추진하고 있으며, 이번에 확정된 2030 감축 목표를 비롯한 기후 변화 대책, 산정 방법 등의 내용을 담은 대한민국 기여방안인 '자국이 정하는 기여(INDC)'를 유엔에 제출하였으며 유엔은 12월 열리는 파리 당사국 총회에서 2020년부터 적용될 글로벌 신 기후체제 합의문을 도출할 예정이다. 이산화탄소 배출권 거래제도 시행 후 탄소세의 도입도 검토되고 있다는 점을 바탕으로 탄소세 뿐만 아니라 본 연구에서 사용한 SO_x, NO_x, CO, VOC의 환경오염물질별 분석 결과들도 각각의 세금을 도입하는 정책에 중요한 고려 대상이 될 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 OECD국가에 대한 데이터 부족으로 고려하지 못한 환경관련 인식수준과 R&D투자, CO₂흡수원인 녹지율, 환경산업의 비중, 환경보조금, 환경관련조세 등의 데이터가 구축되고, 현재의 oil 가격을 반영한 최신의 데이터가 고려된다면 정확하고 흥미로운 연구결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 객관적이고 통일된 방법으로 사회적비용의 데이터를 구축한다면 좀 더 신뢰성 있는 연구결과를 얻을 수 있을 것이다. 끝으로, 본 연구에서는 각 오염물질 배출량을 공통적인 설명 변수로 통일성 있게 분석하였으나, 예를 들어 수송으로 인한 영향이 매우 커 각 국가의 자동차 대수 설명변수를 추가로 분석해야 할 필요가 있는 NO_x, CO의 경우와 같이 각 오염물질 별로 특성을 반영하는 개별적 분석을 실시한다면 의미 있는 연구결과를 얻을 것이다.

접수일(2015년 8월 31일), 수정일(2015년 11월 3일), 게재확정일(2015년 11월 23일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 국립환경과학원, 2010, 대기환경오염 배출량
- 김재혁, 신동현, 조하현, 2015, “국가별 CO2 배출량의 소득탄력성 비교연구 : 106개 국가의 내생적 구조변화 시점 추정”, 산업경제연구 제28권 제1호 page 89 - 115
- 김준순, 한화진, 박현숙, 이선하, 2002, “육상교통수단의 환경성 비교분석“, 한국환경정책평가연구원, 서울.
- 박추환, 2013, “패널분석을 이용한 6대 권역별 대기오염물질에 대한 환경규제와 경제성장 간의 상호관계분석: EKC(환경쿠즈네츠곡선)가설을 중심으로”, 환경정책연구 제12권 제2호, page 59 - 86
- 서울 대기질 평가 보고서 2012, 서울특별시 기후환경본부
- 서울시 전기택시 실증사업 평가용역, 2015, 서울시립대학교
- 유병철, 2001, “OECD 국가들의 경제성장과 이산화탄소 배출 : 패널공적분에 의한 분석”, 국제경제 연구
- 이광훈, 2010, “국내 지역별 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠 곡선 추정 및 비교”, 환경정책연구 9(3), page 53 - 75
- _____, 2012, “환경 쿠즈네츠 가설하의 일인당 이산화탄소 배출량의 에너지 가격 탄력성 추정”, 환경정책연구 제11권 제2호 , page 55 - 71
- 저탄소 녹색성장 기본법, 제2조, LURIS, 용어사전(온실가스배출)
- 정군오, 정영근, 2004, “경제성장과 이산화탄소 배출에 관한 다국가 비교분석”, 산업경제연구 제17권 제4호, page 1077 - 1098
- 정연찬, 2013, “전기버스 도입사업의 타당성 연구, 서울시 사례 중심”, 서울시립대학교 박사학위 논문, 143p
- 정인태, 이진모, 송중성, 2008, “제품의 온실가스 배출저감에 대한 성과지표 개발, 권조인트 분석을 이용한 지구온난화 영향의 사회적 비용 추정”, 대한환경공학회지 30권 12호 , page 1245 - 1254

철도청, 2003, 철도투자 평가 편람

최충익, 김지현, 2006, “경제성장과 환경오염간의 관계에 대한 국제비교연구 -CO₂의 환경쿠즈네츠곡선 검증을 중심으로”, 대한국토. 도시계획학회지 제41권 1호, page 153 - 166

한국개발연구원, 2008, 예비타당성 조사 연구보고서

한국과학기술원, 1998, 청정연료 사용지역 내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한 연구

A. Markandya, 1998, Economics of Greenhouse Gas Limitations : The Indirect Cost and Benefits of Greenhouse Gas Limitations UNEP, Denmark.

Dasgupta, Laplant, Wang and Wheeler, 2002, “Confronting Environmental Kuznets Curve“, Journal of Economic Perspectives-Volume 16, Number 1-Winter 2002-Pages 147-168

de Bruyn, s., den Bergh, J. and Opschoor, J., 1998, “Economic growth and enmissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets Curve“, Ecological Economics, 25, pages 161 - 175

Gene M. Grossman, Alan B. Krueger, 1994, “Economic Growth and the Environment“, Quarterly Journal of Economics, vol. 110, 1995, pp. 353-378

Holtz-Eakin, D. and T. M. Seldon, 1995, “Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth“, Journal of public Economics, 57, pages 85 - 101

J Agras, D Chapman, 1999, “A dynamic approach to the Environmental Kuznets Curve hypothesis“, Ecological Economics Volume 28, Issue 2, February 1999, Pages 267 - 277

Marzio Galeotti, Alessandro Lanza, 1999, “Richer and cleaner? A study on carbon dioxide emissions in developing countries“, Energy Policy Volume 27, Issue 10, Pages 565 - 573

OECD 2030 환경전망보고서, OECD

OECD statistics (<https://data.oecd.org/>)

Richard Schmalensee, Thomas M. Stoker and Ruth A. Judson, 1998, “World

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050”, The Review of Economics and Statistics Vol. 80, No. 1 (Feb., 1998), pages 15-27

Selden, T. and Song D., 1994, “Environmental quality and development : Is there a Kuznets Curve air pollution emissions?“, Journal of Environmental Economics and Management 27, pages 147 - 162

Schmalensee, R., Stoker, T. and R. Judson, 1998, “World Carbon Dioxide Emissions : 1950-2050:., Review of Economics and Statistics, Vol80, pages 15 - 27

S.M. de Bruyn, J.B. Opschoor, 1997, “Developments in the throughput - income relationship: theoretical and empirical observations“, Ecological Economics Volume 20, Pages 255 - 268

Unruh, G. C. and W. R. Moomaw, 1998, “An Alternative Analysis of Apparent EKC- Type Transitions“, Ecological Economics vol.25, pages 221 - 229

World bank data statistics (<http://data.worldbank.org/>)

Zaim, O. and F. Taskin, 2000, “A Kuznets Curve in Environmental Efficiency : An Application on OECD Countries“, Environmental and Resource Economics, 17, pages 21 - 36

ABSTRACT

Elasticity estimation of oil prices and social costs
on Regional Environmental Kuznets Curves for
Air Pollutants emissions in OECD.

Yong Bin Kim*

This paper estimated elasticity between economic growth and pollution needs to closely examine the environmental Kuznets curve by (EKC) hypothesis. this paper used variables such as per capita GDP(targets OECD 34 countries from 1980 to 2012) and environmental pollutants (sulfur oxides, nitrogen oxides, carbon monoxide, volatile organic compounds, greenhouse gases) social costs and revenues relationships based on the EKC theory between Crude oil prices, population density, specific gravity government consumption, trade dependent variable. Variable was a log-transformed and analyzed using a fixed effects panel analysis. The main results of this paper is the proper sign and an statistically significant coefficient inverse U-shaped, N-shaped form of the EKC curve was estimated, the turning point pollution Income (GDP) calculations were presented. This paper gives results of this analysis will be a material that can see and compare the research and policy for the prevention of pollution by each pollutant.

* University of Seoul (the master's course), subaq725@uos.ac.kr

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

< 부록 >

<부록1> OECD 국가 연도별 평균 기초통계량 ①

	GDP	수입원유가격	인구밀도	정부소비비중	무역의존도 ⁶⁾
	\$ / per	\$ / 배럴	per / km ²	%	%
1980	20992.26	32.58	117.85	18.28	61.59
1981	21182.25	36.43	118.61	18.70	62.35
1982	21251.34	34.05	119.28	18.80	61.32
1983	21518.11	30.17	119.91	18.51	61.79
1984	22226.14	29.14	120.51	18.20	65.45
1985	22880.64	27.88	121.09	18.15	66.18
1986	23566.19	14.88	121.70	17.86	60.67
1987	24199.57	18.23	122.35	18.00	60.58
1988	24957.52	15.04	122.99	17.56	61.09
1989	25698.25	17.81	123.66	17.40	63.00
1990	25034.62	22.78	124.46	18.12	61.24
1991	24585.01	19.99	125.53	18.85	61.19
1992	24114.98	18.91	126.45	19.24	62.27
1993	24247.54	16.54	127.28	19.39	61.61
1994	24933.53	15.80	128.06	18.74	63.94
1995	24607.23	17.30	128.82	18.65	68.90
1996	25227.22	20.94	129.55	18.56	70.19
1997	26104.67	19.47	130.26	18.24	74.29
1998	26884.78	12.85	130.93	18.11	75.81
1999	27775.95	17.46	131.66	18.20	76.15
2000	28890.32	28.39	132.44	17.94	84.26
2001	29294.92	24.26	133.20	18.28	83.84
2002	29671.35	24.50	133.96	18.72	80.56
2003	30018.62	28.88	134.70	18.93	79.42
2004	30932.39	37.21	135.42	18.64	83.99
2005	31669.45	52.30	136.12	18.63	87.26
2006	32608.78	63.29	136.89	18.51	92.28
2007	33622.43	71.09	137.74	18.24	94.53
2008	33522.08	97.38	138.67	18.83	97.20
2009	31951.66	61.68	139.58	20.35	86.09
2010	32444.14	79.39	140.42	19.99	94.08
2011	32822.61	110.58	141.30	19.61	100.54
2012	32765.08	111.63	141.94	19.61	102.98
평균	27036.41	37.24	129.50	18.60	74.75

6) 무역의존도가 100이 넘는다는 것은 수출액+수입액이 국내총생산을 넘었다는 것을 말함.

〈부록2〉 OECD 국가 연도별 평균 기초통계량 ②

	SOx 배출량	NOx 배출량	CO 배출량	VOC 배출량	GHG 배출량
	ton / per				
1980	0.11	0.04	0.20	0.05	9.45
1981	0.06	0.03	0.18	0.04	8.91
1982	0.06	0.03	0.18	0.04	8.62
1983	0.06	0.03	0.17	0.04	8.45
1984	0.05	0.03	0.15	0.04	8.67
1985	0.09	0.04	0.20	0.05	8.85
1986	0.06	0.04	0.19	0.05	8.83
1987	0.06	0.04	0.23	0.06	8.87
1988	0.06	0.04	0.22	0.05	8.94
1989	0.06	0.04	0.21	0.05	9.02
1990	0.06	0.04	0.19	0.04	9.35
1991	0.06	0.04	0.19	0.04	9.32
1992	0.05	0.04	0.18	0.04	9.04
1993	0.05	0.04	0.17	0.04	8.95
1994	0.05	0.04	0.17	0.04	9.00
1995	0.04	0.04	0.15	0.03	8.89
1996	0.04	0.04	0.14	0.03	9.24
1997	0.04	0.04	0.13	0.03	9.14
1998	0.04	0.04	0.12	0.03	9.04
1999	0.03	0.04	0.11	0.03	9.01
2000	0.03	0.04	0.11	0.03	9.10
2001	0.03	0.04	0.10	0.03	9.23
2002	0.03	0.04	0.10	0.03	9.23
2003	0.03	0.04	0.09	0.03	9.50
2004	0.03	0.04	0.09	0.03	9.55
2005	0.03	0.03	0.09	0.03	9.43
2006	0.03	0.03	0.08	0.02	9.41
2007	0.03	0.03	0.08	0.02	9.40
2008	0.02	0.03	0.08	0.02	9.13
2009	0.02	0.03	0.07	0.02	8.54
2010	0.02	0.03	0.07	0.02	8.85
2011	0.02	0.03	0.07	0.02	8.57
2012	0.02	0.03	0.07	0.02	8.35
평균	0.04	0.04	0.14	0.03	9.03

환경 쿠즈네츠 곡선을 활용한 대기오염 배출량의 오일 가격 탄력성과 사회적비용 탄력성 추정

〈부록3〉 OECD 국가 연도별 평균 기초통계량 ③

	SOx	NOx	CO	VOC	GHG
	사회적비용 \$/ ton				
1980	2498.45	2224.42	2148.73	1848.90	4.77
1981	2779.46	2474.61	2390.42	2056.85	5.31
1982	3051.60	2716.90	2624.46	2258.24	5.83
1983	3291.89	2930.83	2831.11	2436.06	6.29
1984	3520.57	3134.43	3027.79	2605.29	6.73
1985	3768.21	3354.91	3240.76	2788.54	7.20
1986	3956.96	3522.96	3403.10	2928.23	7.56
1987	4153.78	3698.19	3572.37	3073.87	7.94
1988	4407.21	3923.83	3790.32	3261.42	8.42
1989	4671.81	4159.41	4017.89	3457.23	8.93
1990	5002.06	4453.44	4301.91	3701.62	9.56
1991	5348.72	4762.07	4600.05	3958.15	10.22
1992	5364.87	4776.46	4613.94	3970.11	10.25
1993	5575.44	4963.93	4795.04	4125.93	10.65
1994	5855.43	5213.21	5035.83	4333.13	11.19
1995	6169.81	5493.11	5306.21	4565.78	11.79
1996	6471.78	5761.96	5565.91	4789.24	12.36
1997	6740.24	6000.97	5796.79	4987.90	12.88
1998	7014.47	6245.13	6032.64	5190.84	13.40
1999	7267.17	6470.11	6249.97	5377.84	13.88
2000	7617.83	6782.31	6551.55	5637.34	14.55
2001	8014.42	7135.40	6892.62	5930.82	15.31
2002	8389.63	7469.46	7215.31	6208.48	16.03
2003	8711.76	7756.25	7492.35	6446.86	16.64
2004	8976.90	7992.32	7720.39	6643.07	17.15
2005	9243.71	8229.86	7949.85	6840.52	17.66
2006	9541.95	8495.38	8206.34	7061.21	18.23
2007	9856.69	8775.61	8477.03	7294.13	18.83
2008	10351.00	9215.71	8902.15	7659.94	19.77
2009	10547.06	9390.26	9070.76	7805.01	20.15
2010	10851.33	9661.16	9332.45	8030.18	20.73
2011	11228.14	9996.64	9656.51	8309.03	21.45
2012	11595.33	10323.56	9972.31	8580.76	22.15
평균	6722.29	5984.99	5781.36	4974.62	12.84