

신재생에너지 발전이 우리나라 CO₂ 배출에 미치는 영향분석

김재화*, 김현석**

요 약

최근까지 환경오염과 경제성장 및 에너지 소비량 간의 관계를 분석한 연구들이 다수 진행되어 왔으나, 신재생에너지 발전량의 확대가 온실가스 저감에 미치는 직접적 영향에 대한 연구는 부족하였다. 본 연구는 우리나라의 경제성장과 전력 소비의 증가가 환경오염에 미치는 영향을 분석함에 있어서 신재생에너지 발전의 확대에 따른 영향을 함께 분석하였다. 1970년대 이후 가파른 경제성장으로 장기적으로 소득이 1% 증가할 때 CO₂ 배출량은 305%씩 빠르게 증가하다가 소득 임계점을 지나면 소득이 1% 증가할 때 CO₂ 배출은 15.4%씩 감소하는 것으로 나타났다. 또한 총 전력 소비의 1% 증가는 CO₂ 배출을 37.5% 증가시키는 것으로 나타난 반면, 신재생에너지 발전량 1% 증가는 16.8%의 CO₂ 배출을 감소시키는 것으로 나타났다.

주요 단어 : 신재생에너지 발전, 이산화탄소 배출, 자기회귀분배시차 모형
경제학문헌목록 주제분류 : C22, Q54

* 에너지경제연구원 위촉연구원(주저자). jhkim15206@keei.re.kr

** 경북대학교 농업경제학과 조교수(교신저자). hyun.kim@knu.ac.kr

I. 서 론

기후변화에 관한 국제연합기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)이 1992년 채택된 이후 전 세계는 지구온난화 방지를 위해 대기 중의 온실가스농도를 저감하기 위한 노력에 동참하고 있다. 1997년 채택된 교토의정서 하에 선진국은 온실가스를 감축해야하는 의무를 지고 있으며, 개발도상국은 자발적으로 그 노력에 동참하고 있다. 이러한 온실가스 감축노력은 기술적 혹은 정책적 수단 등 다양한 수단을 이용하여 이루어지고 있다. 우리나라는 온실가스 절감정책의 하나로 2012년부터 신재생에너지 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard, RPS)를 도입하여 시행하고 있다. RPS의 도입은 시장원리를 바탕으로 관련 기술의 개발을 유도하여 이를 통한 신재생에너지 시장의 확대로 기후변화협약에 대응하고 산업육성 기반을 마련하는데 그 목적이 있다. 또한 전 세계의 경제성장에 따른 에너지 소비의 증가로 인해 고갈되어가는 화석연료에 대한 대체와 환경개선의 두 가지 문제를 동시에 해결할 수 있다는 점에서 신재생에너지 기술의 개발 및 시장의 확대는 우리나라뿐만 아니라 해외 주요국에서도 그 중요성을 인식하고 있다.

한 국가의 소득의 증가와 총 에너지 소비량 간에 양(+)의 관계가 있다는 사실은 다수의 연구를 통해 입증된 바 있다. 이러한 연구의 시발점이 된 Kraft and Kraft(1978)의 연구에서는 미국의 경제성장이 에너지 소비를 증가시켰다는 인과관계를 입증하였다. Akinlo(2008) 또한 사하라 사막 이남 11개 아프리카 국가의 경제성장과 에너지 소비량에 관한 인과관계를 분석한 결과 경제성장이 에너지 소비의 증가를 가져왔다는 결과를 확인하였다. Glasure and Lee(1997)는 오차수정모형을 사용한 결과 한국과 싱가포르에서는 두 변

수 간 상호의존 관계를 나타냄을 발견한 반면, Granger 인과관계 검정으로는 싱가포르에 대해서만 경제성장이 에너지 소비를 증가시킨다는 결과를 얻었다. 이러한 연구들의 결과는 경제성장이 에너지 소비를 촉진하게 된다는 것을 보여준다. 또한 경제성장에 따른 에너지 소비량의 증가는 주요 에너지원인 화석 연료 소비의 증가를 가져와 온실가스의 배출을 증가시킬 것이다. 이러한 점에서 볼 때, 신재생에너지의 확대는 화석에너지 소비량을 대체한다는 점에서 온실가스 배출을 저감시키는데 크게 기여할 수 있다.

경제성장이 환경오염에 미치는 영향은 환경쿠즈네츠 곡선(Environmental Kuznets Curve, EKC)으로 설명될 수 있다. 환경쿠즈네츠 곡선은 경제성장과 온실가스 배출량 사이에 역U자형 관계를 가진다는 가설이다. 다시 말해, 한 국가가 경제성장의 초기 단계에는 국민소득 수준의 향상이 중요하기 때문에 제조업 등 에너지 다소비 산업의 확장으로 환경이 악화되지만, 일정한 수준 이상의 소득수준을 달성하게 되면 환경 개선에 보다 집중하게 되어 환경규제 정책의 도입과 에너지 효율산업의 확장 등을 통해 성장과 동시에 환경의 질을 개선해 나간다는 것이다. 이러한 환경쿠즈네츠 곡선을 이용한 소득수준과 환경오염 간의 관계에 대한 실증적 분석은 국내외에서 꾸준히 이루어지고 있다 (Shafik, 1994; Agras and Chapman, 1999; Heil and Selden, 1999; Friedl and Getzner, 2003; Dinda and Coondo, 2006; Managi and Jena, 2008; 박창원·김지욱·김정인, 1999; 정군오·정영근, 2004; 최충익·김지현, 2006; 이광훈, 2010; 정수관·강상목, 2013).

또한 최근까지 환경오염과 소득 및 에너지 소비량 간의 관계를 분석한 연구가 다수 진행되어 왔다(Kraft and Kraft, 1978; Yu and Choi, 1985; Glasure and Lee, 1997; Soyats and Sari, 2006; Akinlo, 2008; Baek and Kim, 2011). 그러나 이들의 연구는 앞서 설명한 경제성장에 따른 에너지 소비의 증가가 환경오염을 증가시킬 것이라는 가설에서 출발하였다. 또한 이들의 연구는 에너지 소비량 자료를 분석 대상국가의 전체 에너지 소비량을 사용하고 있어 신재생에너지 소비량의 확대가 온실가스 저감에 미치는 영향 등을 직접적으

로 알 수 없다. 즉, 화석에너지가 큰 비중을 차지하는 에너지 소비량 자료를 사용함으로써 실질적으로 신재생에너지 등 대체에너지가 환경개선에 미친 영향을 따로 분석하지 못하였다.

Baek and Kim(2013)은 우리나라의 경제성장과 에너지 소비가 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 분석함에 있어 원자력 발전량을 고려하였다. 이들의 연구에 따르면 원자력 발전의 1% 증가가 CO₂ 배출량을 0.45% 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 이들의 연구는 원전을 제외한 다른 신재생에너지원의 발전에 따른 영향을 분석하지 않고 있다. 따라서 본 연구는 최근 원전 안전성의 위험에 따른 원전 폐기 주장이 나오는 가운데, 원전을 제외한 신재생에너지의 증가가 CO₂ 배출에 미치는 영향만을 분석하고자 한다.

요약하자면 본 연구에서는 우리나라의 경제성장과 에너지 소비량이 환경오염에 미치는 영향을 분석함에 있어 에너지 소비량 증가와 에너지 소비 중 신재생에너지의 증가가 온실가스 배출에 어떤 영향을 주는지에 대해 분석하는데 그 주목적을 둔다. 그러나 국가의 총 에너지 소비량 중 신재생에너지의 비중을 나타내는 자료의 획득에 어려움이 있어 이를 전력부문의 총 발전량과 그 중 신재생에너지 발전량으로 분리하여 분석하기로 한다.¹⁾ 분석을 위하여 본 연구는 Pesaran et al.(2001)의 자기회귀분배시차(autoregressive distributed lag, ARDL) 공적분 접근법(이하 ARDL 모형)을 도입하여 그 영향을 분석하였다.

논문의 구성은 II장에서는 추정모형 및 분석자료에 대해 설명하고, III장에서는 경제성장과 총 전력 발전량 및 신재생에너지 발전량이 환경오염에 미치는 영향에 대한 실증분석 결과를 제시한다. 그리고 마지막 IV장에서는 실증분석 결과를 바탕으로 결론을 요약하고 그 시사점을 도출하기로 한다.

1) 우리나라 전력부문은 전체 온실가스 배출의 약 40%를 차지하여 단일 업종으로는 가장 많은 배출량을 차지하고 있어 그 영향의 분석이 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 이 때 종속변수로 전력부문의 CO₂ 배출량을 사용하는 것이 더 적절할 수 있으나, 본 연구에서는 단일 업종으로는 가장 큰 온실가스 배출 비중을 차지하는 전력부문의 신재생에너지 발전량의 증가가 국가 전체 CO₂ 배출 저감에 어떤 기여를 하는지를 보고자 한다.

Ⅱ. 추정모형 및 분석자료

1. 추정모형의 설정

경제성장과 에너지 소비량이 온실가스 배출량에 미치는 영향을 분석하기 위한 이론적인 기본모형은 식 (1)과 같다.

$$E = f(Y, EN) \quad (1)$$

여기서 E 는 온실가스 배출량을 나타내며, Y 는 소득, EN 는 에너지 소비량을 나타낸다. 즉, 온실가스 배출량은 한 국가의 경제성장과 그에 따른 에너지 소비량의 증가의 영향을 받게 된다. 한 국가의 경제성장과 환경오염 사이에 환경쿠즈네츠 가설이 성립한다면 경제변수와 환경오염변수 간에 역U자형 관계가 나타나게 된다. 즉 국가의 경제가 성장함에 따라 초기에는 성장 중심의 산업화로 환경오염이 악화되지만, 일정 소득 수준 이상을 달성하게 되면 환경오염에 대한 인식 제고에 따른 환경개선 비용의 증가로 환경의 질이 개선된다는 것이다. 이 경우, 온실가스 배출량은 소득의 2차함수를 통해 표현 가능하다.

본 연구의 주목적은 전체 발전량 중 신재생에너지 발전량의 증가가 우리나라 온실가스 배출량에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 따라서 식 (1)에서 EN 을 전체 발전량(TE)과 신재생에너지 발전량(RE)으로 대체하여 다시 나타내면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E = f(Y, TE, RE) \quad (2)$$

식 (2)의 온실가스 배출량과 경제변수 및 발전량 간의 관계를 나타내는 함수를 선형로그형태의 추정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\ln E_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_t + \alpha_2 (\ln Y_t)^2 + \alpha_3 \ln TE_t + \alpha_4 \ln RE_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

여기서 ε 는 오차항을 나타낸다. 우리나라에서 환경쿠즈네츠곡선 가설이 성립한다면 온실가스 배출량과 소득 사이에는 양(+)의 관계($\alpha_1 > 0$)가 성립하고 온실가스 배출량과 소득의 제곱 사이에는 음(-)의 관계($\alpha_2 < 0$)가 성립하여 두 변수 간 역U자형 관계를 가지게 된다. 또한 전체 발전량의 증가는 온실가스 배출량을 증가시키므로 두 변수 간에는 양(+)관계($\alpha_3 > 0$)를 나타낼 것으로 기대할 수 있다. 이와 반대로 신재생에너지 발전량의 증가는 화석에너지를 사용한 발전을 대체하여 온실가스 배출량을 감소시키므로 두 변수 사이에 음(-)의 관계($\alpha_4 < 0$)를 나타낼 것으로 예상할 수 있다.

온실가스 배출량과 그에 영향을 미치는 변수들 간의 장·단기 영향을 분석하기 위해서는 Pesaran et al. (2001)에 따라 식 (3)을 식 (4)와 같이 오차수정항 형태의 ARDL 체계로 재구축하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta \ln E_t = & \beta_0 + \sum_{k=1}^p \gamma_k \Delta \ln E_{t-k} + \sum_{k=0}^p \delta_k \Delta \ln Y_{t-k} \\ & + \sum_{k=0}^p \eta_k \Delta (\ln Y_{t-k})^2 + \sum_{k=0}^p \theta_k \Delta \ln TE_{t-k} \\ & + \sum_{k=0}^p \lambda_k \Delta \ln RE_{t-k} + \phi_1 \ln E_{t-1} + \phi_2 \ln Y_{t-1} \\ & + \phi_3 (\ln Y_{t-1})^2 + \phi_4 \ln TE_{t-1} + \phi_5 \ln RE_{t-1} + \mu_t \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 Δ 는 각 변수의 차분을 나타내며, p 는 각 변수에 대한 시차를 의미하는데 각 변수에 대해 다르게 나타난다. ϕ 로 표현된 시차변수들의 선형결합

이 오차수정모형의 오차수정항(ec_{t-1})을 대신하기 때문에 식 (4)를 ARDL에서의 오차수정모형이라고 한다. 즉, ϕ 로 표현되는 계수들은 장기적인 공적분 관계를 나타내며, \sum 을 따르는 계수들은 단기적 관계를 나타낸다.

Pesaran and Shin (1999)에 따르면 ARDL 모형은 변수의 표본 크기가 작더라도 변수 간 장·단기 영향의 추정에 있어 Engel and Granger(1987)나 Johansen(1995)의 전통적인 공적분 방법보다 효과적이라는 장점을 가진다. 또한 전통적 공적분 방법과는 달리 변수들이 $I(0)$ 또는 $I(1)$ 에 상관없이 사용 가능하다는 장점이 있다(Pesaran et al., 2001). 본 연구에서는 에너지 소비량과 이산화탄소(CO₂) 배출량 데이터 수집의 제약으로 1971년부터 2010년까지 40개 연도별 데이터를 사용하였기 때문에 소표본의 추정에 보다 효과적인 ARDL 모형을 사용하였다.

2. 분석자료

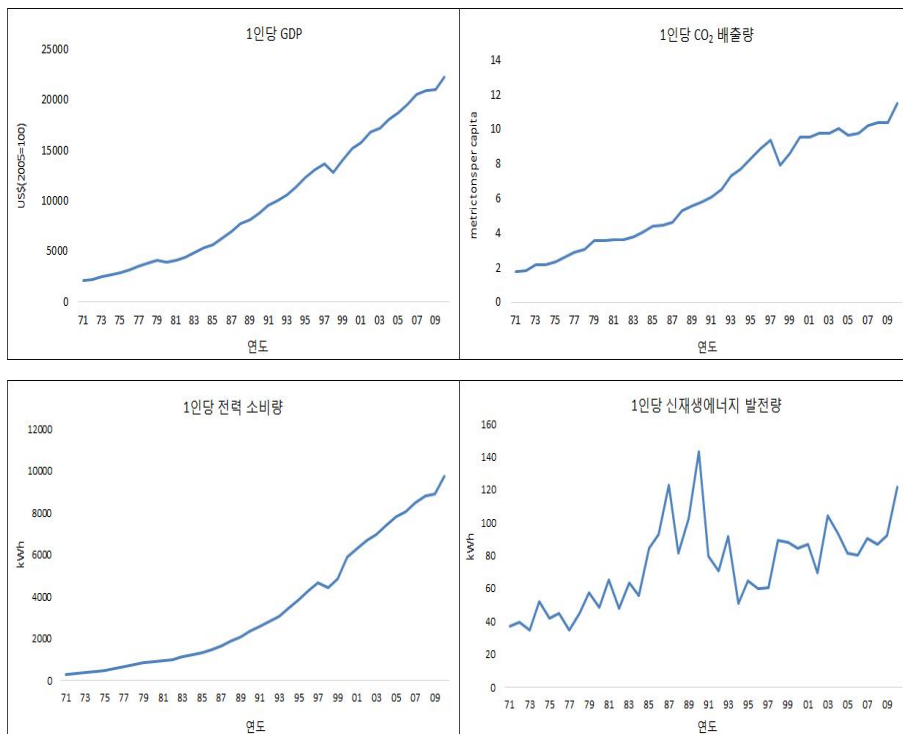
앞 절에서 설정한 모형의 추정을 위하여 우리나라의 1971년부터 2010년까지 연도별 자료를 사용하였다.²⁾ 환경오염을 나타내는 지표로는 CO₂ 배출량을 사용하였으며, 경제성장을 나타내는 지표로는 실질 GDP(2005=100)를 사용하였다. 신재생에너지의 발전량은 총 전력부문 발전량에 수력발전을 포함한 신재생에너지 발전 비중을 곱하여 계산하였다. 수력발전을 제외한 신재생에너지의 발전 비중과 수력발전 비중 데이터는 별도로 존재하기 때문에 이를 합쳐서 사용하였다. 사용된 모든 자료는 1인당 값으로 계산하여 인구증감에 따른 이산화탄소 배출에 대한 영향을 배제하였다. 모든 자료는 World Bank에서 제공하는 World Development Indicators(WDI)의 database에서 획득하였다.

[그림 1]은 본 연구에서 사용하는 각 변수의 시계열 변화추이를 보여주고

2) 우리나라의 에너지 소비량 데이터가 1971년부터 존재하고, CO₂ 배출량 데이터는 2010년까지 존재하므로 본 연구에서는 1971년부터 2010년까지 데이터를 사용하였다.

있다. 1인당 GDP와 CO₂ 배출량, 전력 소비량은 1971년 이후 세 변수 모두 98년 경제위기로 인해 일시적으로 감소하는 경향을 보인 것을 제외하고는 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한 1인당 신재생에너지 발전량의 경우 1970년 이후부터 1980년대 중반까지 소폭 등락을 반복하면서 지속적으로 증가하는 추세를 보였다. 그 이후 1985년부터 1990년 초반까지 큰 폭으로 증가하였다가 감소하는 추세를 보인 이후에도 등락을 반복하면서 소폭 증가하는 추세를 보이고 있다. 따라서 1인당 GDP 및 CO₂ 배출량, 전력 소비량 세 변수 간에는 강한 상관관계가 존재하며, 신재생에너지도 CO₂ 배출에 어느 정도의 영향을 줄 것으로 추측된다.

[그림 1] 사용변수의 연도별 변화추이(1971~2010년)



자료 : World Bank, World Development Indicators(2015)

Ⅲ. 실증분석

1. 단위근 및 공적분 검정

Pesaran et al., (2001)에 따르면 ARDL 모형은 전통적인 공적분 방법과는 달리 변수의 값들이 $I(0)$ 또는 $I(1)$ 에 상관없이 사용할 수 있기 때문에 변수의 사전검정(pre-testing)이 필요하지 않다는 장점이 있다. 그러나 변수들의 값이 $I(2)$ 이상의 진행을 따를 경우 사용할 수 없기 때문에 이를 먼저 확인하기 위해 ADF(augmented Dickey-Fuller)검정을 통해 단위근 검정을 하였다. <표 1>은 본 연구에서 사용된 각 변수에 대한 단위근 검정 결과를 보여주고 있는데, 모든 수준변수가 단위근을 가지고 있는 것으로 나타났고 이를 차분한 변수들은 정상성을 가지는 것으로 나타나 모든 변수가 $I(1)$ 인 것으로 나타났다.

<표 1> ADF 단위근 검정결과

변수	수준변수 tau 값	lag	1차 차분변수 tau 값	lag	결정
$\ln E$	-0.89	5	-7.06*	0	$I(1)$
$\ln Y$	-0.48	5	-6.04*	0	$I(1)$
$(\ln Y)^2$	-0.78	5	-6.04*	0	$I(1)$
$\ln TE$	-0.28	3	-5.08*	0	$I(1)$
$\ln RE$	-2.06	2	-9.82*	0	$I(1)$

주 : *는 1% 유의수준에서 유의함을 나타냄.

ARDL 모형을 이용하여 CO₂ 배출량과 관련 변수 사이의 관계를 분석하기 위해서는 먼저 식 (4)의 최적 시차(lag) p 를 결정하여야 한다.³⁾ 최적 시차 p 의 결정은 라그랑지승수(Lagrange Multiplier, LM) 검정을 통해 변수 간 계열상관(serial correlation)이 없는 것 중에서 Akaike 정보지수(Akaike Information Criterion, AIC)의 값이 가장 작은 것으로 정한다. 그 다음 결정된 최적시차 p 를 이용해 Pesaran et al. (2001)이 제시한 F -한계통계량을 이용한 한계검정을 통해 변수 간 공적분의 존재유무를 검정해야 한다.⁴⁾ 한계검정을 통해 얻은 F -통계값이 유의수준에서 F -한계통계량의 상한 임계값보다 크면 변수 간 공적분 관계가 존재한다. 반대로 F -통계값이 유의수준에서 F -한계통계량의 하한 임계값보다 작으면 변수 간 공적분 관계가 존재하지 않는다. 만약 F -통계값이 F -한계통계량의 상한과 하한 임계값 사이에 위치할 경우에는 변수 간 공적분 관계는 ARDL 모형의 오차수정항의 부호와 통계적 유의성에 따라 결정된다. 이 때 오차수정항이 음(-)의 부호를 가지면서 통계적으로 유의하게 나타나면 변수 간 공적분 관계가 존재한다고 할 수 있다(Kremers et al., 1992).

〈표 2〉 CO₂ 배출량과 관련 변수들 간 공적분 검정 결과

lag(p)	AIC	$\chi^2_{sc}(1)$	F -통계값(2)	공적분
1	71.733	1.850	3.524	유

주 : 1) χ^2_{sc} 는 오차항의 시계열 상관관계 검정에 대한 통계값임.

2) 10% 유의수준에서 F -통계값의 상·하한 임계값은 (2.45, 3.52)임.

3) CO₂ 배출량과 소득 간에 역인과관계가 나타날 수 있기 때문에 본 연구에서는 Iwata et al. (2010)을 따라 소득과 소득의 제곱을 각각 종속변수로 하여 공적분 관계를 검정한 결과 두 경우 공적분 관계를 갖지 않는 것으로 나타났다. 이는 CO₂ 배출량을 종속변수로 할 경우에만 변수들 간 장기적 균형관계를 가짐을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 CO₂ 배출량을 종속변수로 하고, 소득과 소득의 제곱을 설명변수로 하여 추정모형을 설정하였다.

4) 한계검정의 귀무가설은 식 (4)에서 $H_0 : \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi_4 = \phi_5 = 0$ 으로 변수들 간 공적분이 존재하지 않는다는 가설이다.

<표 2>는 변수들 간의 공적분 검정결과를 나타내는데 최소 AIC 값을 가지는 최적 시차는 $p=1$ 이었으며, 이 때 LM 검정값 $\chi^2_{sc}=1.85$ 로 나타나 변수 간 계열상관이 없는 것으로 판명되었다. 한계검정으로부터 구해진 F -통계값이 3.524로 5% 유의수준에서 F -한계통계량의 상한 임계값인 3.52보다 크므로 추정 변수들 사이에 장기적 균형관계가 존재하는 것을 알 수 있다.

2. 장·단기 영향 분석

우리나라의 소득 및 화석에너지 소비량, 신재생에너지 소비량의 CO₂ 배출에 미치는 장기적 영향을 나타내는 식 (3)의 추정 결과는 <표 3>과 같다. CO₂ 배출량의 추정에 사용된 모든 관련 변수는 5% 유의수준에서 통계적으로 유의하며, 앞 장의 모형에서 설명한 이론과 부호가 일치하는 것으로 나타났다. 이를 변수별로 자세하게 살펴보면, 소득($\ln Y$)과 소득의 제곱($(\ln Y)^2$)에 대한 추정치가 각각 양(+)의 부호와 음(-)의 부호를 갖는 것은 소득수준이 일정 수준 이상이 되면서 CO₂ 배출이 줄어드는 EKC 가설이 성립함을 의미한다. 두 변수에 대한 추정치는 1971년 이후 우리나라의 가파른 경제성장으로 소득이 1% 증가함에 CO₂ 배출량은 305%씩 빠르게 증가하다가 소득 임계점을 지나면서 15%이상씩 감소하고 있음을 의미한다.

총 전력 소비량($\ln TE$)의 추정치가 양(+)의 부호를 가지며 그 추정치가 0.375인 것은 경제성장에 따른 전력 소비의 1% 증가가 CO₂ 배출량을 37.5%씩 증가시켰음을 의미한다. 이와 반대로 총 발전량 중 신재생에너지 발전량($\ln RE$)의 증가가 음(-)의 부호를 가지며 그 추정치가 0.168로 나타난 것은 발전부문에서 신재생에너지의 비중이 1% 증가함에 따라 화석연료 발전 대체 효과로 우리나라 총 CO₂ 배출량을 16.8%씩 감소시켰음을 의미한다.

〈표 3〉 CO₂ 배출량의 장기영향계수 추정결과

변수	추정치	t-통계값
상수항	-15.448	-7.077*
$\ln Y_t$	3.054	5.784*
$(\ln Y_t)^2$	-0.154	-5.853*
$\ln TE_t$	0.375	1.953**
$\ln RE_t$	-0.168	-3.205*

주 : *, **는 각각 1%, 5% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

〈표 4〉는 소득과 총 전력 소비량 및 신재생에너지의 발전량이 CO₂ 배출량에 미치는 단기적 영향을 분석하기 위한 식 (4)를 추정한 결과를 보여준다. 소득 및 총 전력 소비량과 신재생에너지 소비량은 단기적으로도 CO₂ 배출량에 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 영향을 미치며 그 부호도 장기적 영향과 동일한 것으로 나타나고 있다. 이는 추정에 사용된 모든 변수들이 장기뿐만 아니라 단기적으로도 환경의 질을 결정하는데 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있음을 의미한다.

〈표 4〉 CO₂ 배출량의 단기영향계수 추정결과

변수	추정치	t-통계값
$\Delta \ln Y_t$	1.874	3.857*
$\Delta (\ln Y_t)^2$	-0.095	-3.621*
$\Delta \ln TE_t$	0.761	3.395*
$\Delta \ln RE_t$	-0.063	-2.355**
ec_{t-1}	-0.613	-4.458*

주 : *, **는 각각 1%, 5% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

마지막으로 오차수정항(ec_{t-1})의 계수가 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하며 음(-)의 부호를 갖는 것으로 나타나는데, 이를 통해 CO₂ 배출과 관련 변수 간 외부 충격 등에 의해 발생하는 불균형관계가 단기조정과정을 통해 장기적으로 균형상태에 놓이게 됨을 의미한다. 즉, 앞에서 설명한 것과 같이 추정에 사용된 변수들 사이에 장기적인 공적분 관계가 성립하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 오차수정항 계수의 절대값은 장기균형을 이루기 위한 단기 조정과정의 속도를 나타낸다. 위 결과에서 오차수정항 계수의 절대값이 0.613으로 나타나는데 이는 CO₂ 배출이 약 61.3%씩 장기균형관계로 조정됨을 의미한다. 즉, 어떤 외부 충격으로 인한 CO₂ 배출과 변수들 사이에 장기불균형이 발생할 경우 1년 동안 약 61.3% 정도씩 장기균형관계로 조정된다는 것을 말한다. 다시 말해 외부 충격에 따른 장기불균형을 수정하기 위하여 약 1.6년(1년/0.613) 정도의 시간이 소요된다는 것을 의미한다.

IV. 결론 및 시사점

1992년 기후변화에 관한 국제연합 기본협약 채택된 이후 전 세계는 지구온난화 방지를 위한 노력에 동참하고 있다. 이러한 온실가스 감축노력의 일환으로 우리나라는 온실가스 저감정책의 하나로 2012년부터 RPS 제도를 도입하여 신재생에너지 시장의 확대를 기후변화협약에 대응하고 산업육성 기반을 마련하고자 노력하고 있다. 신재생에너지 기술의 개발은 화석연료의 대체와 그를 통한 환경개선이라는 두 가지 문제를 동시에 해결할 수 있다는 점에서 우리나라뿐만 아니라 해외 주요국에서도 그 중요성을 인식하고 있다.

최근까지 환경오염과 소득 및 에너지 소비량 간의 관계를 분석한 연구들은 에너지 소비량 자료를 전체 에너지 소비량을 사용하고 있어 신재생에너지 소비량의 확대가 온실가스 저감에 미치는 직접적인 영향을 알 수 없다. 따라서

본 연구는 우리나라의 경제성장과 에너지 소비량이 환경오염에 미치는 영향을 분석함에 있어서, 이를 단일 업종 중 온실가스 배출의 가장 큰 전력부문의 총 발전량과 신재생에너지 발전량의 변화가 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하는데 그 주목적을 두었다. 이를 위하여 ARDL 모형을 도입하여 그 장기·단기 영향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

장기적으로 1971년 이후 우리나라의 가파른 경제성장으로 CO₂ 배출이 빠르게 증가한 것으로 나타났는데, 1%의 소득 증가가 305%의 CO₂ 배출 증가를 유발하다가 소득 임계점을 지나면서 1%의 소득 증가가 15.4%의 CO₂ 배출을 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 이는 우리나라 경제에서 EKC 가설이 성립하고 있음을 의미한다. 경제발전에 따른 전력 소비량의 증가 또한 CO₂ 배출량을 증가시키는 것으로 나타났는데, 총 전력 소비량이 1% 증가함에 따라 CO₂ 배출은 37.5% 증가하였음을 알 수 있었다. 그러나 신재생에너지의 보급 확대에 전체 배출량 중 신재생에너지 발전량이 1% 증가함에 따라 CO₂ 배출량은 16.8%씩 감소하는 것으로 나타났다.

단기적으로도 소득과 총 전력 소비량 및 신재생에너지 발전량의 추정치 모두 통계적으로 유의하면서 장기 추정치와 같은 부호인 것으로 나타나, 이들 변수가 장기뿐만 아니라 단기적으로도 환경의 질을 결정하는데 있어서 중요한 역할을 하는 것으로 분석되었다. 그리고 오차수정항 계수가 통계적으로 유의하며 음(-)의 부호를 갖는 것으로 나타나 외부 충격 등에 따라 발생하게 되는 불균형관계가 1.6년 정도의 조정과정을 통해 장기적 균형 상태에 놓이게 됨을 알 수 있었다.

접수일(2015년 7월 17일), 수정일(2015년 10월 10일), 게재확정일(2015년 10월 22일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 박창원 · 김진욱 · 김정인. 1999. “주요 OECD 국가의 환경쿠즈네츠곡선 검증”. 자원 · 환경연구 8(1):77-108.
- 이광훈. 2010. “국내 지역별 이산화탄소 배출에 대한 환경 쿠즈네츠곡선 추정 및 비교”. 환경정책연구 9(4):53-76.
- 정군오 · 정영근. 2004. “경제성장과 이산화탄소 배출에 관한 다국가 비교분석”. 산업 경제연구 17(4):1077-1098.
- 정수관 · 강상목. 2013. “소득 및 에너지소비와 환경오염의 관계에 대한 분석”. 환경 정책연구 12(3):97-122.
- 최충익 · 김지현. 2006. “경제성장과 환경오염간의 관계에 대한 국제비교연구 : CO₂의 환경쿠즈네츠곡선 검증을 중심으로”. 대한국토계획학회지 41(1):153-166.
- Akinlo, A.E. 2008. “Energy consumption and economic growth: evidence from 11 African countries.” *Energy Economics* 30: 2391-2400.
- Agras, J., and D. Chapman. 1999. “A Dynamic Approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis.” *Ecological Economics* 28:267-277.
- Baek, J., and H.S. Kim. 2011. “Trade Liberalization, Economic Growth, Energy Consumption and the Environment: Time Series Evidence from G-20 Economies.” *Journal of East Asian Economic Integration* 15(1):3-32.
- _____. 2013. “Is Economic Growth good or bad for the environment? Empirical Evidence from Korea.” *Energy Economics* 36:744-749.
- Dinda, S., and D. Coondoo. 2006. “Income and Emission: A Panel Data-Based Cointegration Analysis.” *Ecological Economics* 57:167-181.
- Engle, R. F. and C. W. J. Granger. 1987. “Cointegration and Error Correction Representation: Estimation and Testing”, *Econometrica* 55:251-276.
- Friedl, B., and M. Getzner. 2003. “Determinants of CO₂ Emission in a Small

- Open Economy.” *Ecological Economics* 45:133-148.
- Glasure, Y.U., and A.R. Lee. 1997. “Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy: the case of South Korea and Singapore.” *Resource and Energy Economics* 20: 17-25
- Iwata, H., K. Okada and S. Samreth. 2010. “Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO₂ in France: the role of nuclear energy.” *Energy Policy* 38:4057-4063.
- Heil, M.T., and T.M. Selden. 1999. “Panel Stationarity with Structural Breaks: Carbon Emissions and GDP.” *Applied Economic Letter* 6:223-225.
- Johansen, S. 1995. *Likelihood-based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Model*, Oxford: Oxford University Press.
- Kraft, J., and A. Kraft. 1978. “On the relationship between energy and GNP.” *Journal of Energy and Development* 3: 401-403.
- Kremers, J.J.M., N.R. Ericson and J.J. Dolado. 1992. “The power of cointegration tests”. *Oxford bulletin of economics and statistics* 54:325-348.
- Managi, S., and P.R. Jena. 2008. “Environmental Productivity and Kuznets Curve in India.” *Ecological Economics* 65:432-440.
- Pesaran, M. H. and Y. Shin. 1999. “An Autoregressive Distributed Lag Modeling Approach to Cointegration Analysis”, In S. Strom, ed. *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, Cambridge: Cambridge University Press.
- _____. Shin and R. J. Smith. 2001. “Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships”, *Journal of Applied Economics* 16:289-326.
- Shafik, N. 1994. “Economic Development and Environmental Quality: An Economic Analysis.” *Oxford Economic Papers* 46:757-773.
- Soytas, U., and R. Sari. 2006. “Energy consumption and income in G-7 countries.” *Journal of Policy Modeling* 28:739-750.
- Yu, E.S.H., and J.Y. Choi. 1985. “The causal relationship between energy and GNP: an international comparison.” *Journal of Energy and Development* 10:249-272.

ABSTRACT

The Effect of Electricity Generation through
Renewable Energy on CO₂ Emissions in Korea

Jae wha Kim* and Hyun Seok Kim**

Although there are many previous studies on the relationship between environmental quality and economic growth such as income and energy consumption, relatively little attention has been paid to model the effect of renewable energy generation on the environment. The main objective of this study is to estimate the effect of economic growth, total electricity consumption and amount of electricity generation through renewable energy on CO₂ emissions in Korea. The empirical results show that the environmental Kuznets curve hypothesis is supported for Korea economy. In the long-run, 1% increase in total electricity consumption results in 37.5% increase in CO₂ emissions while 1% increase in electricity generation through renewable energy causes 16.8% decrease in CO₂ emissions. In the short-run, all variables also play key roles in affecting environmental quality.

Key Words : Autoregressive Distributed Lag Model, CO₂ Emissions,
Renewable Energy generation

JEL Codes: C22, Q54

* Research Assistant, Korea Energy Economics Institute, jhkim15206@keei.re.kr

** Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University, hyun.kim@knu.ac.kr