

# 한국의 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량 및 환경규제 간 인과관계 분석

진보영\* · 김근우\* · 박중구\*\*†

\*서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과 박사과정, \*\*교수  
(2020년 2월 19일 접수, 2020년 3월 4일 수정, 2020년 3월 6일 채택)

## A Study on the Causalities Among GDP, Electric Consumption, CO<sub>2</sub> Emission and Environmental Regulation in Korea

Bo-young Jin\* · Geun-u Kim\* · Jung-gu Park†

\*Graduate Student, \*\*Professor Graduate School of Energy & Environment,  
Seoul National University of Science and Technology

(Received 19 February 2020, Revised 4 March 2020, Accepted 6 March 2020)

### 요 약

세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 탄소배출 규제가 강화됨에 따라 한국도 기후변화협약의 당사국으로서 강력한 이행을 권고 받고 있다. 특히 한국은 환경규제 강화에 대한 정부와 산업계, 국민의 이해관계가 복잡한 만큼 환경규제가 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량 감축에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구는 매우 중요하다. 이에 본 논문은 한국에 있어 환경규제와 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량에 관한 인과관계를 실증분석하였다. 이를 위해 1987 ~ 2014년 동안의 시계열 자료를 바탕으로 단위근 검정, 공적분 검정, 벡터오차수정모형(VECM)을 통한 인과성 검정을 실시하였다.

분석의 결과, 환경규제는 전력소비량과 이산화탄소 배출량 간 양방향의 장기 및 강인과관계를 가지며, 전력소비량과 단기적으로 영향을 받는 반면, 경제성장에는 영향을 미치지 못하면서 일방적으로 장기 및 강인과관계로 영향을 받는 것으로 분석되었다. 경제성장은 장기적으로 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제에 영향을 미치면서 단기적으로 전력소비량에 단방향의 인과관계를 보였고, 이산화탄소 배출량은 양방향의 인과관계를 갖는 것으로 나타났다.

이러한 분석결과에 대응할 수 있는 정책적 시사점으로는, 환경규제가 이산화탄소 배출량 감축을 위한 기술혁신과 생산성 향상을 유발하여 경제성장에 기여할 수 있도록 하는 정책개발이 필요하다. 또한 국제 탄소배출 규제가 본격적으로 시행될 경우, 환경규제가 혁신을 통한 경제성장, 전력소비량에 따른 전원구성의 변화와 이산화탄소 배출량의 감축 등에 관련된 정책 간에 충돌을 일으키지 않고 시너지 효과를 창출하도록 하는 세심한 정책구상이 필요하다.

**주요어 :** 경제성장, 전력소비량, CO<sub>2</sub> 배출, 환경규제, 그랜저 인과성 검정, 한국

**Abstract -** The rapid climate change is strengthening carbon emissions regulations internationally. Korea is strongly pressed to accept the obligation to reduce greenhouse gases as one of the United Nations Framework Convention on Climate Change. This article analyzed the Granger causalities among environmental regulation, economic growth, electricity consumption, and CO<sub>2</sub> emission in Korea, using unit root test, cointegration test, and vector error correction model.

As the results, environmental regulation has shown the bidirectional causalities with electricity consumption and CO<sub>2</sub> emission, while being unilaterally affected by economic growth in the long-run and strong

†To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-2-970-6596 E-mail : pjg@seoultech.ac.kr

relationship. Economic growth has affected electricity consumption, CO<sub>2</sub> emission, and environmental regulation in the long-run, in the complex structure of the unilateral and short-run causality with electricity consumption and the bidirectional causality with CO<sub>2</sub> emission.

The policy implications will be as follows: ① environmental regulation should induce sustainable growth through encouraging technological innovation relating to CO<sub>2</sub> reduction and productivity enhancement. ② Responding to the international CO<sub>2</sub> reduction regulation, the synthetic policy initiatives will be considered to make synergy effects among policies relating to economic growth, electricity consumption.

**Key words** : Economic Growth, Electricity Consumption, CO<sub>2</sub> Emission, Environmental Regulation, Granger Causalities Test, Korea

## 1. 서론

세계적으로 온실가스 배출이 확대됨에 따라 지속가능성장에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 문제의 심각성과 복잡성을 해결하기 위해 경제성장과 전력소비량, 이산화탄소 배출량 간 인과관계에 대한 분석이 1990년대 후반 이후 많이 이루어졌다. 특히 각국 정부의 환경규제가 실시되면서 녹색성장(Green Growth)이 강조되어 왔다. 또한 파리기후협약(2015) 이후 에너지 분야의 온실가스 감축정책은 에너지효율 개선, 재생에너지 개발 등 새로운 국면을 맞이하고 있다(IITP, 2018).

영국은 저탄소사회 실현과 경제성장을 동시에 추구한다는 목적으로 국가청정성장전략(Clean Growth Strategy, 2017)을 채택하고 있다. 이에 2020년까지 1990년 대비 온실가스를 40% 저감하겠다는 계획을 2018년에 조기 달성했다. 그리고 2030년까지 재생에너지 발전비율을 31%까지 높일 계획을 발표했다. 또한 영국은 녹색금융, 에너지 서비스 등과 같은 신산업을 개척하여 지속적인 경제발전을 도모하고 있다. 독일은 기후변화정책법(2019) 등을 통해 에너지 전환 정책을 추진하면서, 1차 에너지 소비를 2050년까지 50% 감축하고, 재생에너지 발전 비중을 80%로 높이며, 온실가스 배출량은 2030년까지 50% 감축하겠다는 목표를 제시하였다. 일본은 에너지정책 기조를 에너지 안보, 경제효율성, 환경, 안전(3E+S)으로 설정하고, 제5차 에너지기본계획('18.7)을 통해 파리기후협약에 대응하기 위해 2050년까지 탈탄소화 에너지 전환을 제시하였다. 한국 역시 제3차 에너지기본계획('19.6), 수소경제활성화로드맵 및 온실가스로드맵('19.10), 재생에너지산업육성방안('19.4), 에너지효율혁신전략('19.8), 제5차 국가환경종합계획('19.12) 등을 수립하며, 온실가스 저감 뿐만 아니라 발전원 구성의 변화와 에너지효율 향상을 통한 에너지소비 감축, 녹색기술 연구개발투자를 통한 신산업육성 등을 강화하고 있다. 그러나 한국의 대응 수준은 주요국에 비해 미흡한 수준으로 평가되고 있다(Climate

Transparency, 2018).

환경규제는 이산화탄소 배출뿐만 아니라, 경제성장, 에너지 절약 등에 심대하면서도 복잡한 영향을 미치고 있다(Geng, C. & Cui, Z., 2020). 환경오염을 줄이기 위한 세계적, 국가적 관심은 법적 규제에 대한 논의를 동반하고 있다. 한편, 환경규제는 경제성장 및 산업의 경쟁력 약화, 전력소비량의 변화 등을 동반할 수도 있어 세심한 정책적 접근이 필요하다고 할 수 있다. 그러나 현재까지 이들 간 인과관계에 대한 분석은 주로 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량 등에 대해 2변수 간, 3변수 간 관계를 분석하는데 집중해 왔다. 분석의 결과 역시 대상국가와 분석방법론에 따라 상이한 것으로 분석되었다(Soytas & Sari, 2007; Ang, 2007; Zhang & Cheng, 2009; He & Richard, 2010). 이에 따라 분석의 설명력을 높이기 위해 추가적인 변수의 도입이 필요하다는 지적이 제기되었으며(Hajko, et al., 2018; Menegaki & Tsani, 2018; Hossain, 2011; Wang, 2018), 특별히 환경규제도 제시되었다(Dinda, et al., 2000; Rubashkina, et al., 2015; Yin, et al., 2015). 그러나 한국을 대상으로 한 분석에서 환경규제를 포함한 종합적인 연구는 아직 미흡한 편이라고 할 수 있다(Lee, 2003; Jo, 2003; Kang, 2006; Lee & Lee, 2011).

이에 따라 본 논문은 그동안 경제성장-전력소비량-이산화탄소 배출량 간 인과관계에 대한 분석에 환경규제를 포함하여, 환경규제-경제성장-전력소비량-이산화탄소 배출량 간 인과관계와 환경규제 하에서 경제성장-전력소비량-이산화탄소 배출량 간 인과관계를 분석하기로 한다. 분석기간은 환경규제로써 투자된 환경오염방지시설투자액의 확보 가능한 기간을 고려하여 1987년 ~ 2014년으로 설정하였으며, 분석방법론으로 먼저 단위근 검정을 실시하고, 각 변수 간 장기적 관계의 존재여부를 추정하는 공적분 검정을 수행한다. 공적분이 존재할 경우 장·단기 인과관계를 추정하는 벡터오차수정모형(VECM: Vector Error Correction Model)을 활용하여

분석하기로 한다.

본 논문은 1장 서론에 이어 2장에서는 선행연구들을 고찰한다. 3장에서 구체적인 통계와 방법론을 제시하며 4장에서는 한국을 대상으로 한 실증분석의 결과를 설명한다. 마지막으로, 5장에서는 결론 및 정책적 시사점, 본 논문의 한계와 추후 연구과제에 대해 살펴보기로 한다.

## 2. 선행연구

지난 30년간 경제성장과 전력소비, 이산화탄소 배출 간 인과관계에 대한 연구는 다양한 국가를 대상으로 경제 및 기후과학 학자들에 의해 수행되어 왔다(Table 1. 참조). 그러나 대상 국가와 연구 기간, 고려된 변수 등에 따라 위 세 변수 간 그래저 인과관계(Granger Causality)는 다르게 분석되며, 같은 국가를 대상으로 연구한 경우라도 연구방법론에 따라 상이한 분석결과를 나타내기도 하였다.

### 2-1. 2변수 간 관계

연구 초기에는 Grossman and Krueger(1991), Shafik (1994)의 연구를 시작으로 Narayan & Narayan(2010), Jaunky(2011)의 연구와 같이 환경오염, 경제성장, 또는 에너지 소비 중 두 변수 간의 인과관계가 중점적으로 이루어졌다.

경제성장과 전력소비 간 인과관계에 대해서는 4가지 가설에 대한 검증이 집중적으로 이루어졌다. 그 중 ① 성장가설은 전력소비에서 경제성장에 이르는 단방향 인과관계를 분석하였으며, ② 보존가설은 경제성장에서 전력소비에 이르는 단방향 인과관계를 지원하였다. ③ 피드백(feedback) 가설은 경제성장과 전력소비 간 양방향 인과관계를 검증하였으며, ④ 중립가설은 경제성장과 전력소비 간에 서로 영향을 미치지 않는다고 분석하였다(Roh, et al., 2016).

경제성장과 환경오염 간 인과관계에 대해서, Shafik, et al.(1994)는 149개 국가를 대상으로 국민소득과 이산화탄소 배출량 간 인과관계를 분석한 결과, 이산화탄소 배출량에 대한 양의 소득탄력성을 갖는 것으로 나타났다.

다음으로, 전력소비와 환경오염 간 인과관계에 대해서는 최근 주요 선진국들의 기후변화 대응방안에서 논의되고 있는데(Climata Transparency, 2018), 전력 등 에너지전환정책이 개별 에너지원별 안정적 보급보다 환경오염과 같은 외부효과를 내재화하는 방향으로 마련되고 있다.

### 2-2. 3변수 간 관계

이후, 경제성장, 에너지 소비, 이산화탄소 배출의 세 변수 간 인과관계가 중요한 정책적 함의를 내포하고 있어 이들 모두를 고려한 연구 수행이 바람직하다는 주장이 제기되었다. Soytas & Sari(2007)는 미국을 대상으로 분석한 결과, 장기적으로 국민소득은 이산화탄소 배출에 영향을 주지 않으나, 에너지 소비가 이산화탄소 배출에 영향을 미친다고 분석했다. Ang(2007)은 프랑스를 대상으로 경제성장, 에너지소비, 이산화탄소 배출에 관한 인과관계 분석한 결과, 3변수 간 강력한 장기적 인과관계 및 경제성장이 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 직접적인 영향을 미치는 것으로 분석했다. Zhang & Cheng (2009)은 중국을 대상으로 분석한 결과, 경제성장은 에너지 소비에 영향을 미치고, 에너지 소비가 이산화탄소 배출에 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면, 이산화탄소 배출은 에너지 소비와 경제성장에 영향을 주지 못함에 따라 중국 정부는 장기적으로 적극적인 이산화탄소 배출 감축정책을 시행해야 한다 주장했다. 그러나 종합적으로 이러한 결과들은 분석 대상국과 국가별 소득수준, 연구기간, 분석 방법 등에 따라, 그리고 같은 대상국을 대상으로 분석하였다 할지라도 서로 다른 결과를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

### 2-3. 4변수 간 관계

최근 연구들은 위 3변수 간 상이한 인과관계에 대한 연구를 더욱 체계화하고, 이들 간 인과관계에 변화를 가져올 수 있는 정책의 결정을 반영하기 위해, 새로운 변수를 도입할 필요성을 강조하고 있다(Hajko, et al., 2018; Menegaki & Tsani, 2018).

Hossain(2011), Wang(2018), 등은 도시화(Urbanization)가 경제성장과 환경오염, 에너지 소비에 영향을 주는 또 다른 결정요인이라 주장했다. Lee(2009), He, et al.(2012), Peng, et al.(2016) 등은 다국적기업이 환경비용을 절감하기 위해 전력가격과 환경규제가 낮은 국가로 이동하여 이산화탄소 배출과 경제성장, 전력소비량을 견인하기 때문에 외국인직접투자(FDI: Foreign Direct Investment)가 매우 중요한 결정요인이라 분석하였다. 또한 Weber et al.(2008), Yunfeng & Laike(2010) 등은 개발도상국의 경우 무역 개방도가 환경오염과 경제성장에 고려되어야 할 주된 변수라 주장했다. Arminen & Menegaki(2019)는 정부의 부패지수를 새로운 변수로 도입하고 분석하였는데, 고소득 및 중소득 국가에서는 정부조직의 부패수준이 에너지소비와 이산화탄소 배출에는 제한적인 영향을 미치고 있는 반면, 경제성장과 에너지소비 간 양방향 인과관계를 나타내고 있었다.

Table 1. Summary of existing empirical studies on the relationships

Variables	Authors	Period	Country/Territory	Methodology	Causality results
GDP, CO2	Narayan & Narayan(2010)	1980-2004	43 developing countries	EKC analysis	35% of the countries shown EKC evidences
GDP, CO2	Jaunky(2011)	1980-2005	36 high-income countries	EKC analysis	GDP→CO2 EKC evidence found
GDP, E, CO2	Soytas & Sari(2007)	1960-2004	G-7 countries	Multivariate cointegration, ECM, generalized variance decompositions	GDP→E
GDP, E, CO2	Ang(2007)	1960-2000	France	Panel VAR	GDP→E, E→CO2, GDP→CO2
GDP, E, CO2	Zhang & Cheng(2009)	1981-2006	China	VAR Granger causality	GDP→E, E→CO2
GDP, E, CO2	Menegaki & Tasni(2018)	1997-2007	EU	Multivariate panel framework	E→CO2
GDP, E, CO2, TRADE, URB	Hossain(2011)	1971-2007	Brazil & MENA countries	Panel Granger causality	E→CO2, GDP→CO2
GDP, E, CO2, URB	Wang, et al.(2018)	1980-2011	170 countries	Panel Granger causality	GDP → E, CO2
GDP, E, FDI	Lee(2009)	1971-2001	G-11 countries	VAR model	GDP→E in France, Italy, and Japan
GDP, E, FDI	He, et al.(2012)	1985-2010	China	VAR Granger causality	GDP→FDI, E→FDI
GDP, CO2, FDI	Peng, et al.(2016)	1985-2012	16 Cities in China	Bootstrap Panel Granger causality	FDI→GDP, FDI↔CO2(Beijing & 4Cities)
TRADE, CO2, GDP	Weber, et al.(2008)	1987, 1990, 1995	China	IOT(input-output table)	TRADE→CO2
GDP, E, CO2, Corruption	Arminen & Menegaki(2019)	1985-2011	High-income and upper-middle-income countries	causality	GDP→E
GDP, Pollution, SO2, SPM	Dinda, et al.(2000)	1979-1990	42 Cities (spm 39 cities/ SO2 26 countries)	Panel OLS	SO2, SPM→Pollution, GDP (+) effect
R&D, PE, TFP, PACE	Rubashkina, et al.(2015)	1997-2009	17 European countries	Panel OLS	PACE→PE (+) effect
CO2, REG, TECH, P, EE, ES, IS, Trade, FDI	Yin, et al.(2015)	1999-2011	China	Panel OLS	REG, EE, ES, IS, P→CO2 (-) effect

NOTE: GDP-Real Gross Domestic Product/ E-Energy Consumption/ CO2-Carbon dioxide/ FDI-Foreign Direct Investment/ URB-Urbanization/ TRADE-Trade Volume/ R&D-Research and Development/ PE-Patents/ TFP-Total Factor Productivity/ PACE-Pollution Abatement and Control expenditures/ REG-Environment Regulation/ TECH-Technical Progress/ P-Population/ EE-Energy efficiency/ ES-Energy structure/ IS-Industrial structure/ SO2-Sulfur dioxide/ SPM-Suspended Particulate Matter

**2-4. 환경 규제를 포함한 연구**

이러한 4변수 간 인과관계 분석에 있어서 환경규제를 포함한 연구들도 나오고 있다. Dinda, et al. (2000)는 세계 주요 42개 도시를 소득수준으로 나눠 분석한 결과, 1인당 실질소득과 자본집중도가 높아질수록 환경오염을 덜 유발하는 것으로 분석되었다. Rubashkina, et al.(2015)는 유럽 17개국의 제조업 분야를 중심으로 환경규제가 혁신활동과 생산성에 미치는 연구를 수행한 결과, 환경규제는 특허와 같은 혁신활동에 긍정적인 영향을 미치나, 생산성 향상에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. Yin, et al.(2015)은 중국을 대상으로 한 연구에서, 환경규제의 시행으로 이산화탄소 배출량이 빨리 감소되었고, 쿠즈네츠 곡선의 변곡점이 더 일찍 발견되었으며, 환경규제로 인한 기술혁신이 장기적으로 이산화탄소 배출 저감에 효과를 나타냈다고 분석하였다.

Lee(2003), Jo(2003), Kang(2006)은 한국을 대상으로 한 연구에서 환경규제가 기업의 기술혁신과 생산성에 부분적으로 긍정적인 영향을 미친다고 주장했다. 또한 Lee, et al.(2011)는 한국을 대상으로 환경규제가 기업 생산성에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, 환경규제가 강화됨에 따라 산업의 기술혁신이 증가하였다고 분석하였다.

이러한 선행연구에 대한 분석결과에 기반하여, 본 논문은 환경규제를 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량 간 인과관계 분석에 도입하여 종합적인 분석을 하기로 한다.

**3. 연구방법론**

**3-1. 기초통계 및 자료**

본 논문은 1987 ~ 2014년 간 한국의 경제성장을 대리하는 실질국내총생산(Gross Domestic Product: GDP), 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제의 시계열 자료를 기초통계로 이용한다. 각 변수는 세계은행(World Bank) 자료를 사용하였다.

구체적으로, 실질GDP 변수는 2010년을 기준으로, 불변가격으로 환산된 1인당 실질GDP를 이용하였고, 전력소비량 변수는 1인당 연간 총 전력소비량(kWh)을 활용하였다. 이산화탄소 배출은 1인당 연간 이산화탄소 발생량(metric tons)을 사용하였으며, 환경규제는 대리변수로서 환경오염방지시설투자 중 대기오염방지시설 공사금액을 1인당 연간 공사금액으로 환산하여 활용하였다.

분석기간은 해당 자료들의 수집가능 기간을 고려하여 설정하였다. 실질GDP와 전력소비량의 경우

**Table 2.** Descriptive Statistics

Variables	LGDP	LELEC	LCO2	LREG
Mean	-4.06132	2.152687	8.560097	16.63308
Maximum	-3.86196	2.252589	8.716826	16.69381
Minimum	-2.85813	2.468351	9.258798	17.15198
Std. dev.	-5.9264	1.532308	7.423119	15.85199
Skewness	0.774148	0.264564	0.574807	0.390023
Kurtosis	-0.85068	-0.83467	-0.4748	-0.43272
Observation	3.06761	2.644063	1.955486	2.019503

Note; LGDP: log of GDP per capita, LELEC: log of electricity Consumption per capita, LCO2: log of CO2 emission per capita, LREG: log Environmental pollution prevention facility investment per capita.

**Table 3.** Correlation Analysis

Variables	LGDP	LELEC	LCO2	LREG
LGDP	1.000000	0.940541	0.928321	0.927731
LELEC	-	1.000000	0.975257	0.974970
LCO2	-	-	1.000000	0.998499
LREG	-	-	-	1.000000

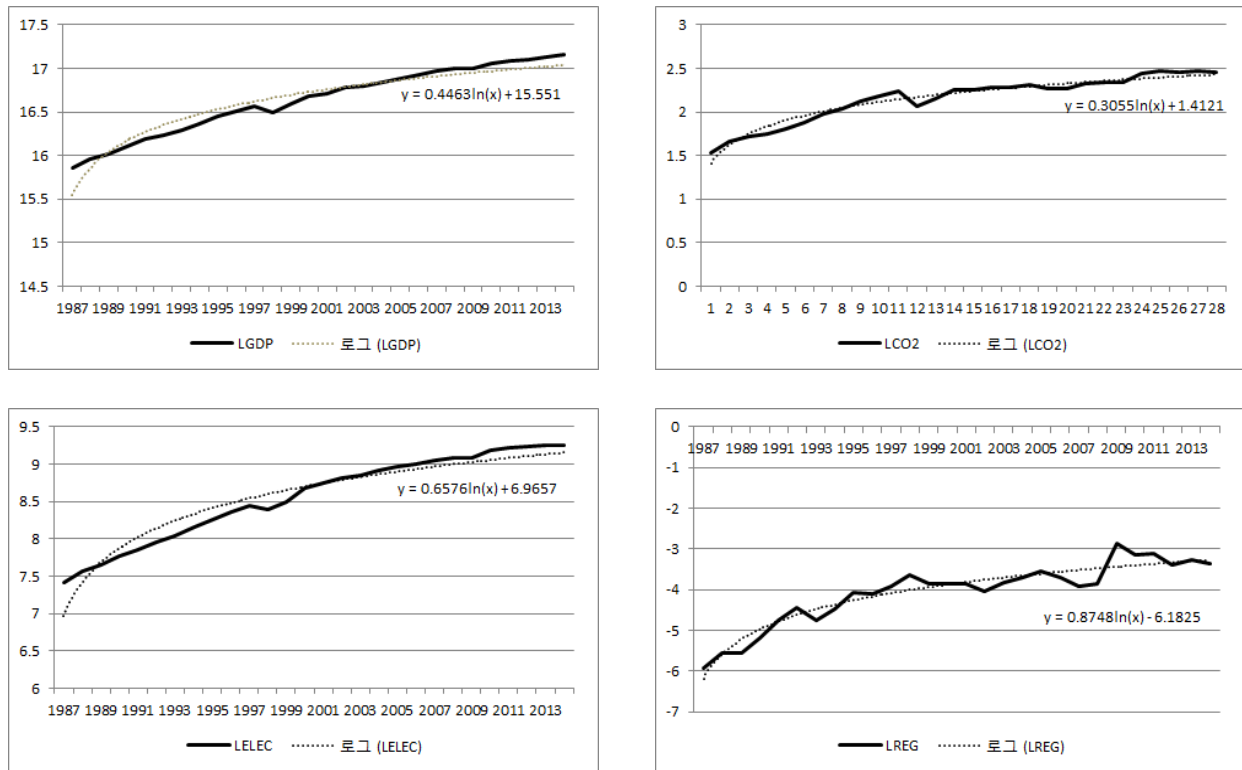


Fig. 1. Time Series Plots of 4 Variables, 1987-2014

1960년부터 2018년까지 활용이 가능하며, 환경오염방지시설 투자액은 1987년부터 2017까지 자료가 수집되었다. 반면, 이산화탄소 배출량 통계는 2014년까지 통계가 최신 자료이었다. 이에 따라 본 논문은 1987년부터 2014년까지로 분석기간을 설정하였다.

실증분석은 EViews 10을 사용하였으며, 모든 변수는 로그(Logarithm, 이하 Log)로 변환하여 수행하였다. 분석에 활용된 기초 통계는 Table 2. 이며, 변수 간 상관관계로 보아 각 변수들은 모두 매우 높은 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다(Table 3. 참조). 각 변수 별 추세는 Fig 1.에서 나타나는 바와 같이 연도별 증가 추이를 보이는 것으로 나타났다.

### 3-2. 분석방법

경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제 간 인과관계 분석을 위해 식(1)과 같이 관계식을 설정하기로 한다.

$$GDP_t = f(ELEC_t, CO2_t, REG_t) \quad (1)$$

여기서 경제성장의 대리변수로는 실질GDP, ELEC은 전력소비량, CO2는 이산화탄소 배출량, REG는

환경규제를 각각 나타낸다. 동 함수는 Bekhet and Othman(2011)의 분석방법에 따라 아래의 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 분석에 있어서 선형함수의 취급 용이성, 변수 간 탄력성 계산을 고려하여 식(3)과 같이 모두 로그변환 하였다.

$$GDP_t = \alpha_0 ELEC_t^{\alpha_1} CO2_t^{\alpha_2} REG_t^{\alpha_3} \quad (2)$$

$$\ln GDP_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln ELEC_t + \alpha_2 \ln CO2_t + \alpha_3 \ln REG_t + e_t \quad (3)$$

위의 식에서  $\alpha_0$ 는 상수이고,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 는 추정계수이며,  $e_t$ 는 오차항이다.

본 논문은 시계열자료를 이용한 변수 간 인과관계 분석에 있어 가장 보편적으로 사용되는 검정기법인 Granger 인과성 검정을 사용하기로 한다(Granger, 1969). 인과성 검정을 통한 변수 간 인과관계를 규명하기 위해서는 관련되는 변수의 시계열자료가 안정적인지에 대한 확인이 필요하다. 인과성 검정에서 불안정한(non-stationary) 자료를 활용하게 되면 가성적인 검정 결과를 야기할 수 있기 때문이다. 이에 Engle and Granger(1987)의 연구방법에 따라 각 변수의 시계열 자료가 안정적(stationary)인지에 대한 확실한 판단을 위해 단위근 검정(unit root

test)를 수행한다. 원래의 시계열자료 (I(0))에 대한 ADF(Augmented Dicky Fuller) 검정결과, 단위근이 존재하여 시계열자료가 불안정적(non-stationary)이라는 귀무가설이 기각되지 않으면, 1차 차분 데이터 (I(1))에 대한 정상성 검정을 수행하여야 한다 (Roh, et al., 2016). 1차 차분 데이터에 대한 귀무가설 [ $H_0: Y_t \sim I(1)$ ] 이 기각되어 데이터의 안정성이 확보된다면 표준적인 Granger 인과성 분석을 활용할 수 있다(Diekey & Fuller, 1979).

다음으로, 각 변수 간 최적 시차를 추정하고, 변수 간 장기적 관계가 있는지 여부를 파악하기 위해 공적분(Co-integration) 검정을 수행한다(Johansen & Juselius, 1990). 원시 시계열자료가 단위근을 갖는 불안정적 시계열자료 일지라도 선형결합을 통해 안정적인 시계열자료가 생성되는 경우 이들 개별 시계열은 공적분 관계에 있다고 하며, 이들 시계열 간 회귀분석은 의미를 갖게 된다. 이에 시계열간 공적분이 존재하는지에 대한 확인을 위해 Johansen 검정을 수행하기로 한다.

이를 통해 공적분 관계가 확인되면 회귀계수의 추정을 위해 벡터오차수정모형(VECM, Vector error correction model)을 이용한다. 이때 시계열자료의 정상성(Stationary)확보를 위해 차분방정식으로 변환하고, 오차수정항의 변화가 종속변수에 미치는 영향, 독립변수의 차분항이 종속변수에 미치는 영향 등을 도출하여 변수 간 장·단기 인과관계를 분석한다. 그러나 만약 공적분 검정의 결과, 공적분 관계가 없는 것으로 나타날 경우에는 VAR(Vector Autoregressive Model)모형을 통해 인과관계 검정을 실시하기로 한다. 위와 같은 분석을 위해 식(3)은 아래 식(4) ~ 식(7)로 변환될 수 있다.

$$\Delta I GDP_t = \beta_{10} + \sum_{i=1}^l \beta_{11i} \Delta I ELEC_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_{12j} \Delta I CO2_{t-j} + \sum_{i=1}^l \beta_{13k} \Delta I REG_{t-k} + \beta_{14} ect_{t-1} + \mu_{1t} \quad (4)$$

$$\Delta I ELEC_t = \beta_{20} + \sum_{i=1}^l \beta_{21i} \Delta I GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_{22j} \Delta I CO2_{t-j} + \sum_{i=1}^l \beta_{23k} \Delta I REG_{t-k} + \beta_{24} ect_{t-1} + \mu_{2t} \quad (5)$$

$$\Delta I CO2_t = \beta_{30} + \sum_{i=1}^l \beta_{31i} \Delta I GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_{32j} \Delta I ELEC_{t-j} + \sum_{i=1}^l \beta_{33k} \Delta I REG_{t-k} + \beta_{34} ect_{t-1} + \mu_{3t} \quad (6)$$

$$\Delta I REG_t = \beta_{40} + \sum_{i=1}^l \beta_{41i} \Delta I GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^l \beta_{42j} \Delta I ELEC_{t-j} + \sum_{i=1}^l \beta_{43k} \Delta I CO2_{t-k} + \beta_{44} ect_{t-1} + \mu_{4t} \quad (7)$$

여기서  $\Delta$ 는 차분 연산자이며,  $\beta$ 는 추정해야 할 모수를,  $\mu_t$ 는 교란항을 의미한다. 아울러  $ect_{t-1}$ 은 잔차의 시차값(lagged value)를 의미하는 오차수정항이다.

표준적인 Granger-인과성 검정은 오차수정항을 제외한 각 독립변수인  $\Delta I X_{t-i}$ 의 추정계수가 통계적으로 유의하면 단기적으로 Granger-인과한다고 하며 오차수정항  $ect_{t-1}$ 의 추정계수가 통계적으로 유의할 경우 장기적으로 Granger-인과성이 존재한다고 한다. 만약 독립변수의 추정계수와 오차수정항의 추정계수 모두 통계적으로 유의하면 독립변수가 종속변수에 강(strong) Granger-인과성을 나타낸다고 할 수 있다. 즉, 오차수정모형(VECM)은 단기적 인과성 뿐만 아니라 장기적 경로도 제시하는 장점을 가지며, 특히 추정된 오차수정항의 계수는 장기 균형관계에서의 이탈이 단기에 종속변수에 영향을 주어 장기 균형관계로 조정되도록 하는지 의미하는 단기 조정계수의 성격을 가진다. Glasure & Lee (1997)에 따라 단기적 인과관계는 F-검정을 통해 확인하며 장기적 인과관계는 t-검정으로 확인한다.

## 4. 분석 결과

### 4-1. 단위근 검정

실질GDP, 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제의 4변량 시계열 자료에 대한 ADF 단위근 검정을 실시한 결과(Table 4. 참조), 4개 시계열 자료가 단위근을 갖는다는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 이는 시계열 통계가 불안정적인 것을 의미한다. 이에 따라 네 변수에 대한 1차 차분을 실시하여 재검정한 결과 유의수준 1%에서 귀무가설이 기각되었으며, 이는 차분자료가 안정성을 확보하고 있는 것을 의미한다.

1) 불안정한 시계열 자료를 이용하여 전통적 회귀분석을 하는 경우 변수간 아무런 상관관계가 없음에도 불구하고 외견상 상관관계가 있는 것처럼 보일 수 있다(Mohammadi, 2009)

**Table 4.** Unit Root Test

Variables	ADF Test(t-value)	
	Level t-value(Prob.)	1st Difference t-value(Prob.)
LGDP	-1.8585 (0.6477)	-6.1512 (0.0002)
LELEC	-0.7235 (0.9611)	-5.9919 (0.0002)
LCO2	-2.0070 (0.5724)	-5.6956 (0.0004)
LREG	-2.4141 (0.3649)	-6.1997 (0.0001)

Note: Intercept & trend / The null hypothesis is nonstationary

**Table 5.** Optimal Lag Length Criteria

Lag	LR	AIC	SC	HQ
0	-	-5.911847	-5.719871	-5.854763
1	183.1751*	-13.05280	-12.09292*	-12.76738
2	19.71128	-12.96269	-11.23491	-12.44893
3	25.33054	-13.58683	-11.09114	-12.84473
4	15.73867	-13.97551*	-10.71192	-13.00507*

Note: LR - Sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

AIC - Akaike information criterion

SC - Schwarz information criterion

HQ - Hannan-Quinn information criterion

**Table 6.** Result of Johansen Cointegration Test

Null hypothesis	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	P-value
$\gamma=0$ (None)	0.682725	64.22730	47.85613	0.0007
$\gamma \leq 1$ (At most 1)	0.435596	32.08370	29.79707	0.0268
$\gamma \leq 2$ (At most 2)	0.372240	16.06812	15.49471	0.0410
$\gamma \leq 3$ (At most 3)	0.102609	3.031386	3.841466	0.0817

Note:  $\gamma$  is Cointegration Rank.

#### 4-2. 공적분 검정

공적분 검정에 앞서 각 변수 간 최적시차를 추정하기 위해 AIC(Akaike Information Criterion)검정, SC(Schwarz Information Criterion)검정 등을 실시하였다(Table 5. 참조). AIC 검정은 최적시차가 4를 나타낸 반면, SC검정은 최적시차가 1로 분석되었다. 시차를 너무 넓게 결정하면 오차항의 계열상관은 줄일 수 있으나 효율성이 다소 떨어진다는 상충관계가 나타남에 따라, 본 논문에서는 SC값으로 최적시차를 1로 설정하였다.

다음으로, 시계열의 손실 없이 변수들 간에 장기

적 관계를 검정하기 위하여 Johansen 검정을 통해 공적분검정을 수행하였다. 분석의 결과(Table 6. 참조), 공적분 방정식의 개수가 0이라는 귀무가설이 통계적 유의수준 5%에서 기각되어, 95% 신뢰수준에서 적어도 1개 이상의 공적분이 존재하는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 논문은 VECM(Vector Error Correction Model) 검정기법을 적용하기로 한다.

#### 4-3. 벡터오차수정모형(VECM)을 통한 인과관계 분석

분석의 결과(Table 7, Fig 2. 참조), 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제 간 인과관계는



Table 7. Results of Granger Causality Test

Dependent Variables	Independent Variables								
	Short-run (F-values)				Long-run (t-values)	Joint: Short/long-run (F-values)			
	$\Delta LGDP$	$\Delta LELEC$	$\Delta LCO_2$	$\Delta LREG$	ECT	$\Delta LGDP, ECT$	$\Delta LELEC, ECT$	$\Delta LCO_2, ECT$	$\Delta LREG, ECT$
$\Delta LGDP$	-	0.05	3.73*	0.00	-1.39	-	1.26	3.79**	1.20
$\Delta LELEC$	6.21**	-	0.11	0.18	2.34**	4.29**	-	3.22*	3.05**
$\Delta LCO_2$	3.19*	0.98	-	0.03	-1.89*	2.49	1.85	-	2.57*
$\Delta LREG$	0.44	3.72*	2.84	-	-4.20***	9.25***	8.95***	9.02***	-

Note: ECT is the error correction term composed of the remaining variables excluding the dependent variable.

\* Indicates significance at 10% level.

\*\* Indicates significance at 5% level.

\*\*\* Indicates significance at 1% level.

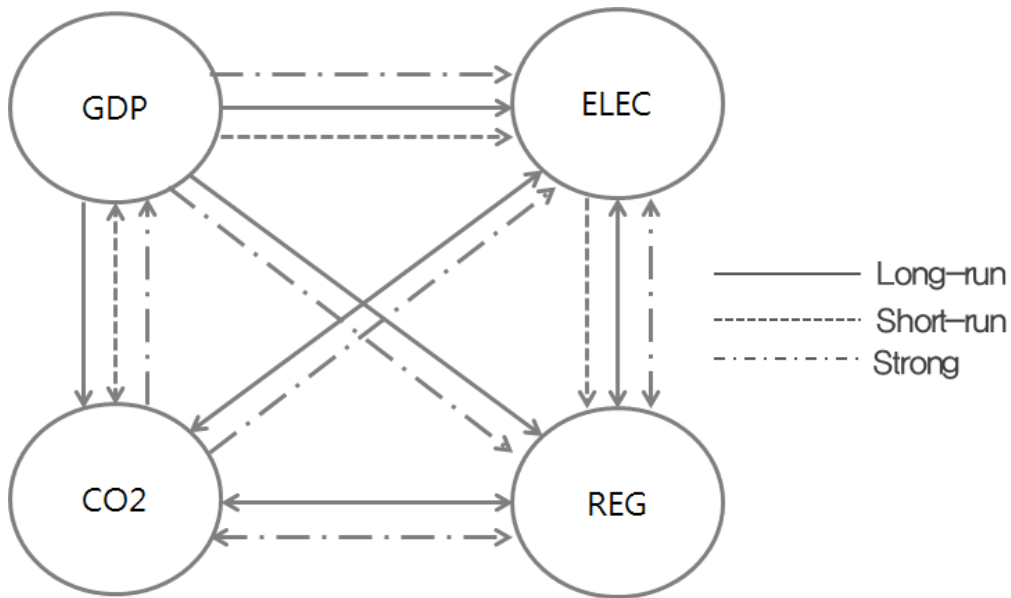


Fig. 2. Causality Relationships Flow

복잡하면서도 상호간 의존경로를 나타내고 있다. 인과관계가 장기 관계와 장·단기 종합적 영향인 강 인과관계에 걸쳐 상호 영향을 주고받고 있으며, 이러한 관계가 단기에 있어서는 또 달리 나타나고 있기 때문이다.

4변수 간 장기·단기·강인과 관계의 복잡성을 변수별로 종합하면, 첫째, 환경규제는 이산화탄소 배출량과는 양방향의 장기, 강인과관계를 나타낸 반면, 단기적으로 인과관계를 가지지 못한 것으로 분석되었다. 이와 같은 분석결과는 중국을 대상으로 분석한 Yin, et al.(2015)의 결과와 유사하다. 환경규제는 경제성장에 의해서 장기적으로, 강인과관계를

가지면서 영향을 받아온 반면, 경제성장에 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과는 한국을 대상으로 환경규제가 기업의 생산성에 긍정적 영향을 미친다는 Lee(2003), Jo(2003), Kang(2006) 등의 연구결과와는 다른 것으로 분석되었다. 그러나 유럽을 대상으로 환경규제가 생산성 향상에 미치는 영향이 없다는 Rubashkina, et al.(2015)의 분석결과와는 유사하다. 또한 환경규제는 한편으로 전력소비량과 양방향으로 장기적이면서 강인과관계를 나타낸 반면, 다른 한편으로 단기적으로는 전력소비량에 의해 영향을 받아온 반면, 영향을 미치지 못한 것으로 분석되었다.

둘째, 경제성장은 장기적으로 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제 등에 영향을 미치면서, 단기적으로는 환경규제를 제외한 전력소비량과 이산화탄소 배출량에 영향을 미치고, 전력소비량과 환경규제에는 강인과관계를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 그러나 경제성장은 장기적으로 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제에 의해 영향을 받지 않는 것이며, 이산화탄소 배출량에 의해 단기적으로 강인과관계를 가진 것으로 분석되었다. 이러한 분석 결과는 경제성장이 전력소비량을 확대한다는 보존 가설을 증명하고 있으며, 나아가 고소득국가의 경우 경제성장이 전력소비량과 이산화탄소 배출량을 확대한다는 Wang, et al.(2018)의 분석과 유사하다.

셋째, 전력소비량은 이산화탄소 배출량, 환경규제 등과 장기적으로 강인과관계를 나타내면서 영향을 주고 받은 반면, 경제성장으로부터 장·단기적으로 강인과관계를 나타내면서 영향을 받기만 한 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 미국을 대상으로 에너지소비가 이산화탄소 배출량에 직접적인 영향을 미치고 있다는 Soyta & Sari(2007)의 일부 결과와 유사하다. 한편, 전력소비량은 장기적으로 강인과관계를 가지면서 환경규제에 양방향의 인과관계를 가지면서 단기적으로도 환경규제에 영향을 미쳐온 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 한국이 세계경제포럼(2019)이 발표한 국가별 에너지 전환지수(ETI: Energy Transition Index)에서 에너지 관련 접근성과 안정성은 양호하지만 환경문제가 취약한 것으로 분류되고 있다는 것과 유사하다. 또한 주요 선진국들이 에너지전환정책을 통해 환경오염과 같은 외부효과를 내재화하면서 에너지 효율혁신에 기반한 경제성장과 에너지소비 감소를 동시에 달성하려는 데 비해 한국은 미흡하며, 특히 전력과 운송분야에서 대응이 미흡하다는 Climate Transparency(2018)의 분석결과와도 유사하다.

넷째, 이산화탄소 배출량은 장기적으로 전력소비량, 환경규제 등과 양방향으로 인과관계를 가지고 있는 반면, 경제성장으로부터 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 특히 경제성장과는 단기적으로 양방향 인과관계를 나타내고 있다. 이러한 분석결과는 프랑스를 대상으로 경제성장, 에너지소비량, 이산화탄소 배출량 간 강력한 장기적 인과관계를 보인다는 Ang(2007)의 결과와 유사하다. 한편, 한국에서 이산화탄소 배출량이 환경규제에 의해 장기적으로 강인과관계를 나타내면서 영향을 받고 있다는 분석결과에 유의할 필요가 있다.

## 5. 요약 및 정책적 시사점

세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 탄소배출

규제가 강화됨에 따라 한국도 기후변화협약의 당사국으로서 강력한 이행을 권고 받고 있다. 특히 한국은 환경규제 강화에 대한 정부와 산업계, 국민의 이해관계가 복잡한 만큼 환경규제가 경제성장과 전력소비량, 이산화탄소 배출량 감축에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구는 매우 중요하다.

이에 본 논문은 한국에 있어서 환경규제와 경제성장, 전력소비량, 이산화탄소 배출량에 관한 인과관계를 실증 분석하였다. 이를 위해 1987 ~ 2014년 동안의 시계열 자료를 바탕으로 단위근 검정, 공적분 검정, 벡터오차수정모형(VECM)을 통한 인과성 검정을 실시하였다.

분석의 결과, 환경규제는 전력소비량과 이산화탄소 배출량 간 양방향의 장기 및 강인과관계를 가진 것으로 분석되었으며, 전력소비량과 단기적으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면 환경규제는 경제성장에 영향을 미치지 못하며 일방적으로 장기 및 강인과관계를 받는 것으로 분석되었다. 경제성장은 장기적으로 전력소비량, 이산화탄소 배출량, 환경규제에 영향을 미치면서 단기적으로 전력소비량에 단방향의 인과관계를 보였고, 이산화탄소 배출량과는 양방향의 인과관계를 갖는 것으로 나타났다.

정책적 시사점으로, 환경규제가 이산화탄소 배출량에 장기적으로 강인과관계를 가지면서 양방향으로 인과관계를 가지고 있는 반면, 경제성장에는 영향을 미치지 못하고 있다는 분석결과를 반영하여 환경규제가 이산화탄소 배출량 감축을 위한 기술혁신과 생산성 향상을 유발하여 경제성장에 기여할 수 있도록 하는 정책개발이 필요하다. 또한 국제탄소배출 규제가 본격적으로 시행될 경우, 환경규제가 혁신을 통한 경제성장, 전력소비량에 따른 전원구성의 변화와 이산화탄소 배출량의 감축 등에 관련된 정책 간에 충돌을 일으키지 않고 시너지 효과를 창출하도록 하는 세심한 정책구상이 필요하다.

본 논문의 한계점으로는 환경규제의 대리변수로서 현실적으로 통계가 있는 대기부문의 환경오염방지투자액을 활용하고 있다는 점을 들 수 있다. 향후 환경규제에 관한 보다 적절한 변수를 모색할 필요가 있다. 추후 연구과제로서, 목표와 수단이 충돌 가능한 정책 간 시너지효과를 창출하기 위해 이해관계자(stakeholders) 간에 수용성(acceptance)을 제고하는 연구가 추진될 필요가 있다.

## 사 사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. Kim, W. J., 2018, Climate agreement in response to the role of government policy and ICT (in Korean), IITP, pp. 1~5
2. Climate Transparency, 2018, G20 Brown to Green Report 2018
3. Geng, C. & Cui, Z., 2020, Analysis of spatial heterogeneity and driving factors of capital allocation efficiency in energy conservation and environmental protection industry under environmental regulation, *Energy Policy*, Vol. 137, 111081
4. Soytas, U., Sari, R., Ewing, B. T., 2007, Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States *Ecological Economics*, Vol. 62, pp. 482-489
5. Ang, J. B., 2007, CO2 emissions, energy consumption, and output in France, *Energy policy*, Vol. 35, No. 10, 4772-4778
6. Zhang, X-P., Cheng, X-M., 2009, Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China, *Ecological Economics*, Vol. 68, pp. 2706-2712
7. He, J., Richard, P., 2010, Environmental Kuznets curve for CO2 in Canada, *Ecological Economics*, 69 (5), pp. 1083-1093
8. Hajko, V., et al., 2018, Chapter 1 - The Energy-Growth Nexus: History, Development, and New Challenges, *The Economics and Econometrics of the Energy-Growth Nexus*, Academic Press, pp.1-46
9. Menegaki, A. and Tsani, S., 2018, Chapter 5 - Critical Issues to Be Answered in the Energy-Growth Nexus (EGN) Research Field, Academic Press, pp.141-184
10. Hossain, S., 2011, Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries, *Energy Policy*, Vol. 39, pp. 6991-6999
11. Wang, S., et al., 2018, Urbanization, economic growth, energy consumption, and CO2 emissions: Empirical evidence from countries with different income levels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 pp. 2144-2159
12. Dinda, S. and Coondoo, D., 2006, Income and emissions: a panel based cointegration analysis, *Ecological Economics*, Vol. 57, pp. 167-181
13. Rubashkina, Y., et al., 2015, Environmental regulation and competitiveness: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors, *Energy Policy*, Vol. 83, pp. 288-300
14. Yin, J., et al., 2015, The effects of environmental regulation and technical progress on CO2Kuznets curve: An evidence from China, *Energy Policy*, Vol. 77, pp.97-108
15. Lee, M. H., 2003, A Study on the Relationship between Industrial Environmental Innovation and Environmental Policy(in Korean), *Korean Public Administration Review*, Vol. 37, No. 1, pp293-313
16. Jo, J. H., 2013, Environmental Regulation Implementation and Efficiency Analysis - Focusing on Korean manufacturing industry (in Korean), *Journal of Industrial Economics and Business*, Vol. 16, No. 3, pp. 85-107
17. Kang, M. O., 2006, A Panel Data Analysis of the Effects of Environmental Regulation on Competitiveness of the Korean Manufacturing Sector, *Journal of Environmental Policy and Administration(in Korean)*, Vol. 14, No. 1, pp.168-193
18. Lee, W. H., and Lee, H. Y., 2010, Changes in Korea's Environmental Regulations and Their Features: Focusing on regulatory types and strategies, *Korean Policy Science Review*, Vol. 14, NO. 3, pp.29-54
19. Grossman, G. M. and Krueger, A. B., 1991, Environmental Impacts of the North American Free Trade. NBER. Working Paper 3914, <http://www.nber.org/papers/w3914.pdf>
20. Shafik, N., 1994, Economic development and environmental quality: an econometric analysis *Oxford Economic Papers*, Vol. 46, pp. 757-773
21. Narayan, P. K. and Narayan, S., 2010, Carbon dioxide and economic growth: panel data evidence from developing countries, *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 661-668
22. Jaunky, V. C., 2011, The CO2 emissions-income nexus: evidence from rich countries. *Energy Policy*, Vol. 39, pp. 1228-40
23. Roh, K. K., et al., 2016, An Empirical Analysis of the Causal Relations between Economic Growth, Electricity Consumption, and Carbon Dioxide Emissions in Korea(in Korean), *New & Renewable Energy*, Vol. 12, No. S1, pp. 34-41
24. Lee, C. G., 2009, Foreign direct investment, pollution and economic growth evidence from Malaysia, *Applied Economics*, Vol. 41, No. 13, pp. 1709-1716

25. He, W., et al., 2012, The relationship of energy consumption, economic growth and foreign direct investment in Shanghai, *Advances in Applied Economics and Finance (AAEF)*, Vol. 3, pp.507-512
26. Peng, H., et al., 2016, Economic growth, foreign direct investment and CO2 emissions in China A panel Granger causality analysis, *Sustainability*, Vol. 8, No. 3
27. Weber, C. L., et al., 2008, The contribution of Chinese exports to climate change, *Energy Policy*, Vol.36m No. 9, pp. 3572-3577
28. Yunfeng, Y. and Laike, Y., 2010, China's foreign trade and climate change: a case study of CO2 emissions, *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, pp. 350-356
29. Arminen, H. and Menegaki, A. N., 2019, Corruption, climate and the energy-environment-growth Nexus, *Energy Economics*, Vol. 80, pp.621-634
30. Hussain A. B., et al., 2011, Causality analysis among electricity consumption, consumer expenditure, gross domestic product (GDP) and foreign direct investment (FDI): Case study of Malaysia, *Journal of Economics and International Finance* Vol. 3, No. 4, pp. 228-235
31. Granger, C. W. J., 1969, Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, pp. 424-438
32. Engle, R. F. and Granger, C. W. J., 1987, Cointegration and error-correction: representation, estimation and testing, *Econometrica*, Vol. 55, 251-276
33. Dickey, D. A. and Fuller, W. A., 1979, Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 74
34. Johansen, S. and Juselius, K., 1990, Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with application to the demand formoney, *Oxford Bulliton of Economics*, 52, pp. 169-210
35. Mohammadi, H., 2009, Electricity prices and fuel costs: Long-run relations and short-run dynamics, *Energy Economics*, Vol. 31, No. 3, pp.503-509
36. Glasure, Y. U. and Lee, A., 1997, Cointegration, error correction and the relationship between GDP and energy: the case of South Korea and Singapole, *Resource and Energy Economics*, Vol. 20, pp. 17-25
37. World Economic Forum, 2019, *Fostering Effective Energy Transition 2019 edition*